Kleinräumige Modellierung von Naturräumen für Österreich ausgehend von edaphischen und klimatischen Faktoren in digitaler Form

Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades
Magister der Naturwissenschaften
an der Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften
der Universität Wien

eingereicht von
Leonhard SCHWARZ
Wien, Okt. 2002

Danksagung

Meinem Diplomarbeitsbetreuer Ao. Univ.-Prof. Dr. Berthold Bauer vom Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien möchte ich für seine fachliche Unterstützung sowie für die erfolgreiche Antragstellung für wichtiges Datenmaterial danken. Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Diplomarbeitsbetreuer der Abteilung für Umweltplanung der ARCS (Austrian Research Centers Seibersdorf) Dr. Mag. Wolfgang Loibl, welcher sich stets ausreichend Zeit genommen hat, um mir zahlreiche fachliche Anregungen zu geben sowie mich computertechnisch zu unterstützen (was insbesondere für das aml gilt). Einen besonderen Dank möchte ich auch D.I. Dr. Manfred Lexer vom Institut für Waldbau / Universität für Bodenkultur aussprechen, welcher mir in zahlreichen Gesprächen wichtige waldökologische und methodische Aspekte nähergebracht hat und darüber hinaus auch meine Arbeit kritisch durchgesehen hat.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Dr. Wolfgang Schöner und Mag. Roland Potzmann von der ZAMG, welche mir ohne bürokratischen Aufwand zahlreiche wichtige klimatische Datensätze zur Verfügung gestellt haben. Vielen Dank auch an Ass. Prof. Dr. Mag. Karl Reiter und Dr. Norbert Sauberer vom Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, von welchen ich völlig unproblematisch die digitalen Karten von MAYER 1977, KILIAN ET AL. 1994 und GRABHERR, SAUBERER, NIKLFELD, WRBKA 1995 beziehen konnte. Mein Dank geht auch an Min.R. D.I. Rudolf Themessl vom BMLFUW sowie D.I. Dr. Karl Schieler, D.I. Dr. Klemens Schadauer und D.I. Richard Büchsenmeister von der forstlichen Bundesversuchsanstalt (FBVA), von welchen ich den wichtigen Bodendatensatz der Waldinventurpunkte erhalten habe. Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Mag. Dr. Herbert Formayer vom Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur, für den Erhalt des Datensatzes der Trockenperioden, welchen er speziell auf mein Ansuchern gerechnet hat. Ein Dankeschön geht in diesem Zusammenhang auch an Mag. Sabine Eckhardt vom selben Institut. Mein Dank geht auch an Dr. Otmar Harflinger von der österreichischen Bodenschätzung und Dr. Helfried Scheifinger von der ZAMG, von denen ich Daten beziehen durfte, welche ich zwar letztendlich nicht in meine Berechnungen einbezogen habe, welche mir aber dennoch wertvolle Erkenntnisse lieferten.

Mein Dank gilt auch den ARCS generell für die Auszahlung des Stipendiums sowie für die zur Verfügungstellung eines Computerplatzes und wichtigen Datenmaterials. Bedanken möchte ich mich auch bei allen Kollegen der Abteilung für Umweltplanung der ARCS, für die sehr freundliche Aufnahme und die computertechnische Unterstützung, allen voran Mag. Mario Köstl und Johann Züger. Ein großes Dankeschön möchte ich auch D.I. Dr. Edgar Cabela aussprechen, welcher sich für die Verlängerung meines Stipendiums eingesetzt hat. Auch Thomas Pesl möchte ich für seine Unterstützung danken.

Schließlich möchte ich mich noch bei meinen Eltern für ihr Vertrauen und ihre finanzielle Unterstützung während der Studienzeit herzlich bedanken.

KURZFASSUNG 1

1 PROBLEMDARSTELLUNG & ZIELSETZUNG 3

2 NATURRAUMGLIEDERUNGEN 5
2.1 Unterschiedliche Ansätze von Naturraumgliederungen 5
2.2 Auswahl und Vergleich bestehender Naturraumgliederungen für Österreich 6
2.2.1 Die natürliche Pflanzendecke Österreichs (WAGNER 1971) 6
2.2.2 Waldgebiete und Wuchsbezirke des Ostalpenraums (MAYER 1974) 9
2.2.3 Ökologische Gesamtwertung (BOBEK und MRAS 1979) 13
2.2.4 Vereinfachte Landschaftsgliederung Österreichs (NOWAK 1990) 16
2.2.5 Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs (KILIAN ET AL. 1994) 18
2.2.6 Naturräumliche Einheiten zur Ausweisung von Natura 2000-Gebieten (SAUBERER ET AL. 1995) 21
2.2.7 DMEER- Digital Map of European Ecological Regions (PAINHO und AUGUSTO 2000)..... 22
2.2.8 Die landwirtschaftlichen Kleinproduktionsgebiete Österreichs (SCHWACKHÖFER 1966)..... 24
2.2.9 Klimatypenkarte (BOBEK ET AL. 1971) 26

3 NATURRAUMGLIEDERUNG AUFGRUND KLIMATISCHER UND EDAPHISCHER RAHMENBEDINGUNGEN TERRESTRISCHER ÖKOSYSTEME 27
3.1 Ökosysteme 27
3.2 Terrestrische Ökosysteme 29
3.3 Definition und Problematik der vorliegende Naturraummodellierung 30

4 ÖKOLOGISCHE FAKTOREN FÜR DAS PFLANZENWACHSTUM 32
4.1 Zusammenhänge zwischen Standortsfaktoren und Pflanzengesellschaften 32
4.2 Die Lage-Faktoren 35
4.2.1 Die Lage im Großraum 35
4.2.2 Die örtliche Lage 36
4.2.2.1 Die Höhenlage 36
4.2.2.2 Die Hanglage und die Geländeform 38
4.3 Die Geologie 39
4.4 Klimatische Faktoren 42
4.4.1 Die Strahlung 42
4.4.2 Der Wind 47
4.4.3 Die Temperatur 47
4.4.4 Niederschlag, Verdunstung und Wasserhaushalt 56
4.5 Edaphische Faktoren 67
4.5.1 Der Nährstoffgehalt des Bodens 68
4.5.2 Der pH-Wert 70
4.5.3 Das Bodenwasser 72
4.5.4 Die Gründigkeit 74
4.5.5 Die Bodenart 74
4.5.6 Das Bodengefüge (Bodenstruktur) 75
4.5.7 Die Humusform 76
4.5.8 Der Bodentyp 77
4.6 Die Verbreitung der Wälder aufgrund von klimatischen und edaphischen Faktoren 86
4.6.1 Standorte von Waldgesellschaften 86
4.6.2 Verbreitung der Waldgesellschaften in Österreich aufgrund von klimatischen und edaphischen Faktoren .. 89

5 MATERIAL, METHODEN UND WERKZEUGE 91
5.1 Datenmaterial 91
5.1.1 Bodendaten 91
5.1.1.1 Bodengruppen der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) 91
5.1.1.2 Zusammenfassung der Bodengruppen 93
5.1.1.3 Reduktion der Inventurpunkte 95

5.1.2 Klimadaten 95
5.1.2.1 Temperaturmittel des wärmsten Monats (MAX_TEMP) 96
5.1.2.2 Temperaturmittel des kältesten Monats (MIN_TEMP) 96
5.1.2.3 Jährliche Temperaturamplitude (AMPLJA) 97
5.1.2.4 Länge der Vegetationsperiode (VEG_PERI) 98
5.1.2.5 Growing Degree Days (GDD) 99
5.1.2.6 Absolute Sonnenscheindauer im Juli (SO_ABS_JUL) 100
5.1.2.7 Frosttage (FROSTT) 101
5.1.2.8 Hygrische Kontinentalität nach GAMS (GAMS) 102
5.1.2.9 Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 40 mm PET (TROC_40) 103
5.1.2.10 Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 60 mm PET (TROC_60) 105
5.1.2.11 Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (H_BIL_VEGP) 106
5.1.2.12 Sonstige, nicht in die Clusteranalyse eingegangene Datensätze 107
5.1.3 Die Niederschlagskarte mittels Neuronaler Netze 108
5.1.3.1 Neuronale Netze 108
5.1.3.2 Berechnung der Niederschlagskarte mittels Neuronaler Netze 110
5.1.4 Digitales Höhenmodell (DHM) 123
5.2 Methodik und Werkzeuge 124
5.2.1 Geographische Informationssysteme 124
5.2.2 Hard- und Software-Ausstattung 124
5.2.3 Clusteranalyse 124
5.2.3.1 Theorie der Clusteranalyse 124
5.2.3.2 Auswahl der verwendeten Variablen 127
5.2.3.3 Durchführung der Clusteranalyse 132

6 ERGEBNISSE 136
6.1 Clustervarianten allgemein 136
6.2 Clustervarianten mit thermischen Variablen (Varianten T) 137
6.2.1 VarianteT1 137
6.2.1.1 Kurzresümee der Variante T1 141
6.2.2 Variante T2 141
6.2.2.1 Kurzresümee der Variante T2 145
6.2.3 Variante T3 145
6.2.4 Variante T4 146
6.2.4.1 Kurzresümee der Variante T4 146
6.2.5 Variante T5 147
6.2.5.1 Kurzresümee der Variante T5 148
6.2.6 Variante T6 148
6.2.6.1 Kurzresümee der Variante T6 149
6.2.7 Zusammenfassung der Clustervarianten mit thermischen Variablen 150
6.3 Clustervarianten mit hygrischen Variablen (Varianten H) 150
6.3.1 Variante H1 150
6.3.1.1 Kurzresümee der Variante H1 152
6.3.2 Variante H2 153
6.3.2.1 Kurzresümee der Variante H2 157
6.3.3 Variante H3 158
6.3.4 Variante H4 158
6.3.4.1 Kurzresümee der Variante H4 161
6.3.5 Zusammenfassung der Clustervarianten mit hygrischen Variablen 161
6.4 Clustervarianten mit klimatischen Variablen (Varianten K) 162
6.4.1 Variante K1 162
6.4.1.1 Kurzresümee der Variante K1 164
6.4.2 Variante K2 166
6.4.2.1 Vergleich zur Variante K1 169
6.4.2.2 Kurzresümee der Variante K2 170
6.4.3 Variante K3 170

6.4.3.1 Vergleich zur Variante K1 172
6.4.3.2 Kurzresümee der Variante K3 172
6.4.4 Variante K4 173
6.4.4.1 Vergleich zur Variante K2 175
6.4.4.2 Vergleich zur Variante K3 176
6.4.4.3 Kurzresümee der Variante K4 176
6.4.5 Variante K5 177
6.4.5.1 Vergleich zur Variante K2 179
6.4.5.2 Kurzresümee der Variante K5 180
6.4.6 Zusammenfassung der Clustervarianten mit klimatischen Variablen 180
6.5 Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen (Varianten KE) 182
6.5.1 Variante KE1 183
6.5.1.1 Vergleich zur Variante K1 (9 Cluster) 187
6.5.1.2 Kurzresümee der Variante KE1 188
6.5.2 Variante KE2 190
6.5.2.1 Vergleich zur Variante KE1 197
6.5.2.2 Vergleich zur Variante K2 197
6.5.2.3 Kurzresümee der Variante KE2 198
6.5.3 Variante KE2b 198
6.5.4 Variante KE2b-re (reduziert) 200
6.5.5 Variante KE3 201
6.5.5.1 Vergleich zur Variante KE1 206
6.5.5.2 Vergleich zur Variante K3 207
6.5.5.3 Kurzresümee der Variante KE3 208
6.5.6 Variante KE4 209
6.5.6.1 Vergleich zur Variante KE2 215
6.5.6.2 Vergleich zur Variante KE3 216
6.5.6.3 Vergleich zur Variante K4 219
6.5.6.4 Kurzresümee der Variante KE4 219
6.5.7 Variante KE4b 220
6.5.8 Variante KE5 222
6.5.8.1 Vergleich zur Variante K5 227
6.5.8.2 Vergleich zur Variante KE2 228
6.5.8.3 Kurzresümee der Variante KE5 229
6.5.9 Variante KE6 229
6.5.9.1 Kurzresümee der Variante KE6 230
6.5.10 Zusammenfassung der Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen 231
6.6 Vergleich der Clustervarianten und Variantenauswahl 233
6.6.1 Vergleich der räumlichen Homogenitäten 233
6.6.2 Vergleich mit der Wuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET AL. (1994) 234
6.6.3 Vergleich mit der Karte “Wälder des Ostalpenraums“ nach MAYER (1977) 239
6.6.4 Vergleich der F-Werte 243
6.6.5 Vergleich der Seehöhenamplituden 245
6.7 Vergleich der klimatischen Variablenausprägungen 246
6.7.1 Vergleich der Mittelwerte & t-Werte der klimatischen Variablen und der Seehöhen 246
6.7.2 Vergleich der F-Werte der klimatischen Variablen 247

7 DISKUSSION 248

8 LITERATURVERZEICHNIS 253

9 TABELLENVERZEICHNIS 261

10 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 263

11 ANHANG 266

Kurzfassung

In Österreich existieren eine Reihe von verschiedenen Naturraumgliederungen, welche nach unterschiedlichen Kriterien bzw. mit verschiedenen Zielsetzungen vorgenommen worden sind. Gemein ist all diesen Gliederungen, dass sie von Experten der jeweiligen Fachrichtungen aufgrund ihres detaillierten Fachwissens erstellt worden sind. Die Methodik der Abgrenzung der Naturräume, welche stets aufgrund der subjektiven Einschätzung des jeweiligen Autors erfolgt ist, ist jedoch für den Betrachter oft nicht genau nachvollziehbar. Bei der hier vorliegenden Arbeit wurde nun erstmals in Österreich versucht, eine objektive, nachvollziehbare Naturraumgliederung unter Verwendung statistischer bzw. digitaler Hilfsmittel auf empirischer Grundlage zu erzeugen. Diese Naturraumgliederung Österreichs, ausgehend von klimatischen und edaphischen Variablen in digitaler Form, sollte ganz allgemein hinsichtlich terrestrischer Ökosysteme vorgenommen werden, wobei das Entwicklungspotenzial von Waldwachstum eine besondere Berücksichtigung erfuhr.

Zu diesem Zweck wurden aufgrund der Literaturrecherche und aufgrund bisheriger Naturraumgliederungen (v.a. der Waldwuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET AL. (1994)) klimatische und edaphische Standortfaktoren auf ihre ökologische Relevanz untersucht und für die Modellierung ausgewählt. Da zahlreiche Datensätze nicht in digitaler Form bzw. in gewünschter Auflösung (mindesten 1 x 1 km) und Qualität vorhanden waren, mussten einige Datensätze selbst erzeugt oder durch ähnliche substituiert werden. Auf einige v.a. edaphische Datensätze musste auch zur Gänze verzichtet werden. Hierbei wurde u.a. die Niederschlagskarte von LOIBL (1998) mittels Neuronaler Netze auf 1 x 1 km verfeinert, um auch die Talregionen ausweisen zu können. Mit den nun zur Verfügung stehenden klimatischen Grid-Datensätzen wurde eine Korrelationsmatrix erzeugt, in welcher hochkorrelierende Datensätze (ca. > 0,9 Korrelation) eliminiert wurden. Da jeweils innerhalb der thermischen und der hygrischen Datensätze sehr hohe Korrelationen auftraten, kam es zu einer starken Reduktion des gesamten Datensatzes, wobei auch nur bestimmte Variablenkombinationen gerechnet werden konnten.

Die letztlich für die Modellierung verwendeten, als Grids vorliegenden klimatischen Datensätze waren: die Growing Degree Days (Grenzwert: 5,5 °C), das Temperaturmittel des wärmsten Monats, das Temperaturmittel des kältesten Monats, die jährliche Temperaturamplitude, die absolute Sonnenscheindauer im Juli, die Frosttage, die Länge der Vegetationsperiode (Grenzwert: 5,5 °C), die klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode, die hygrische Kontinentalität nach Gams, die Trockenperioden in der Vegetationsperiode (Grenzwert: PET – NS > 40) und die Trockenperioden in der Vegetationsperiode (Grenzwert: PET – NS > 60). Dabei lag die Auflösung der klimatischen Wasserbilanz und der hygrische Kontinentalität bei 1 x 1 km, jene der restlichen Datensätze bei 250 x 250 m. Als edaphischer Datensatz standen die in 26 Bodengruppen vorliegenden ca. 11.000 Punkte der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) zur Verfügung. Diese wurden auf 3585 Punkte bzw. 8 Boden-Großgruppen, welche mit 0/1 kotiert wurden, reduziert. Diese als digitale Punktkarte vorliegenden Daten stellten den einzig zufrie-

denstellende edaphische Datensatz dar, da nur sie direkt vor Ort erhoben und auch nach waldökologischen Kriterien gruppiert wurden.

Als Modellverfahren wurde eine hierarchische Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit einer quadrierten euklidischen Distanz ausgewählt. Die Clusteranalyse stellt ein Verfahren zur Gruppenbildung dar, welches bestrebt ist, innerhalb der Gruppen eine weitgehend große Homogenität, zwischen den Gruppen hingegen eine möglichst große Heterogenität zu erzeugen, wobei das Ward-Verfahren diesbezüglich als besonders effektiv gilt. Die Clusteranalyse wurde auf den reduzierten 3585 Punkten der ÖWI gerechnet, wobei die klimatischen Variablen auf die ÖWI-Punkte in einem Geographischen Informationssystem (GIS) extrahiert wurden. Dieser gemeinsame Datensatz aus klimatischen und edaphischen Variablen wurde nun in ein Statistikprogramm exportiert, in welchem die Clusteranalyse gerechnet wurde. Der Ergebnisdatensatz der Clusteranalyse wurde in das GIS zurück importiert, in welchem das Ergebnis visualisiert, räumlich analysiert und die gewünschte Clusterzahl ausgewählt werden konnte. Als Entscheidungshilfe bei der Wahl der Clusteranzahl diente die räumliche Homogenität und Überschaubarkeit der Clustervariante, die Ähnlichkeit mit bestehenden Naturraumgliederungen (v.a. KILIAN ET AL. (1994)) und der Karte der PNV (potentiellen natürlichen Vegetation) nach MAYER (1977), sowie mitunter auch Dendrogramme.

Die Durchführung der Clusteranalyse erfolgte schrittweise. Zunächst wurden unterschiedliche Clustervarianten mit verschiedenen thermischen Variablenkombinationen gerechnet, danach wurden Clustervarianten mit verschiedenen hygrischen Variablenkombinationen gerechnet. Dann wurden Clustervarianten mit klimatischen Variablen, welche thermische und hygrische Variablenkombinationen umfassten, errechnet und schließlich wurden noch die Bodengruppen mit einbezogen, so dass man zu den Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen gelangte. Auf diese Weise konnte man den Einfluss der neu hinzugekommenen Variablen gut studieren, wobei meist versucht wurde, nur *eine* neue Variable in die Modellierung aufzunehmen. Danach wurden noch mehrere Variationen der Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen gerechnet, in dem einerseits die Gewichtung der Bodenvariablen variiert wurde. Andererseits wurden mittels eines vorgeschalteten Single-Linkage-Verfahrens Ausreißer eliminiert und danach nochmals das Ward-Verfahren gerechnet.

Da eine Auswahl der „besten“ Clustervariante mit klimatischen und edaphischen Variablen praktisch nicht möglich ist, wurden die Clustervarianten schließlich nach verschiedenen Gesichtspunkten bewertet. Diese Beurteilungskriterien waren die räumliche Homogenität, der Vergleich mit der Wuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET. Al (1994), der Vergleich mit der Karte der PNV nach MAYER (1977), die Homogenität innerhalb der Cluster (F-Werte) und die Größe der Seehöhenamplituden der Cluster. Dabei zeigte sich, dass mit Hilfe der hier verwendeten Methode sehr ansprechende Ergebnisse in bezug auf räumliche Homogenität und Homogenität innerhalb der Cluster (F-Wert) erzielt werden konnten. Es konnten auch sehr schöne Parallelen zu KILIAN ET AL. (1994) (v.a. zu den Hauptwuchsgebieten), sowie zu MAYER (1977) erzeugt werden, wobei die Übereinstimmungen mit MAYER (1977) meist noch größer waren, als jene mit KILIAN ET AL. (1994).

1 Problemdarstellung & Zielsetzung

Für das gesamte Bundesgebiet Österreichs existieren eine Reihe von verschiedenen Naturraumgliederungen, welche nach unterschiedlichen Kriterien bzw. mit verschiedenen Zielsetzungen vorgenommen worden sind. So führten z.B. BOBEK und MRAS (1979) eine "Ökologische Gesamtwertung Österreichs" durch, welche Eignungspotentiale für Siedlungs- und Verkehrsflächen, Ackerbau und Grünlandnutzung ausweist und somit eine Planungsgrundlage für die Raumplanung darstellt. KILIAN ET AL. (1994) gliederten Österreich in "forstliche Wuchsgebiete", welche v.a. durch die Nennung der natürlichen Waldgesellschaft als Grundlage für eine ökologisch orientierte Waldbewirtschaftung herangezogen werden können. SAUBERER ET AL. (1995) grenzten „Naturräumliche Einheiten zur Ausweisung von Natura 2000-Gebieten" ab, welche die Grundlage eines ökologischen Schutzgebietsnetzes zur Erhaltung der natürlichen Artenvielfalt bilden. SCHWACKHÖFER (1966) schied die "Landwirtschaftlichen Kleinproduktionsgebiete Österreichs" aus, welche eine aussagekräftigere Agrarstatistik und somit gezieltere Landwirtschaftsförderungen ermöglichen, um nur einige zu nennen.
Gemein ist all diesen Gliederungen, dass sie von Experten der jeweiligen Fachrichtungen aufgrund ihres detaillierten Fachwissens in meist langwieriger Kleinarbeit erstellt worden sind. Hierbei ist die gängige Methode, eine Zusammenschau verschiedener Karten von ökologisch relevanten Geoökofaktoren in analoger Form, welche je nach Fragestellung, Fachwissen und Erfahrung des Autors gewichtet und zu Naturräumen zusammengefasst werden. Das Einbringen dieses Fachwissen ist natürlich für die jeweilige Fragestellung von großer Bedeutung, es führt jedoch stets zu einer individuellen Abgrenzung der Naturräume durch den Autor, basierend auf dessen subjektiver Einschätzung. Daher sind diese Naturraumgliederungen für den Betrachter nicht immer nachvollziehbar, und es bleibt oft unklar, welche Methodik und welche Standortfaktoren in welcher Gewichtung genau zur Grenzziehung herangezogen worden sind, bzw. wie diese Gliederung generell zustande gekommen ist.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, erstmals eine Naturraumgliederung Österreichs mittels statistischer Verfahren auf empirischer Grundlage zu erzeugen, wobei diese Gliederung auf Basis von klimatischen und edaphischen, also abiotischen Geoökofaktoren in digitaler Form durchgeführt wird. Die Gliederung soll ganz allgemein hinsichtlich terrestrischer Ökosysteme vorgenommen werden, wobei das Entwicklungspotenzial von Waldvegetation eine besondere Berücksichtigung erfährt (siehe Kapitel 3.3). Jeder der so erhaltenen Naturräume soll weitgehend einheitliche Standortfaktoren aufweisen, so dass innerhalb eines Naturraumes auch eine weitgehend einheitliche potentiell natürliche Vegetation erwartet werden kann. Zu diesem Zwecke werden mittels Geographischer Informationssysteme digitale Karten der jeweiligen Standortfaktoren erzeugt bzw. schon bestehende digitale Karten aufbereitet, aus welchen dann über eine Clusteranalyse die Naturräume gebildet werden. Erfreulicherweise stehen dem Verfasser hierfür sehr

aktuelle digitale klimatologische Karten der ZAMG (POTZMANN und SCHÖNER in AUER ET AL. 2001), des Instituts für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur (FORMAYER 2001), der ARCS (Austrian Research Centers Seibersdorf) (LOIBL und SCHWARZ 2001), sowie die Bodentypen der Waldinventurpunkte der FORSTLICHEn BUNDESVERSUCHSANSTALT (FBVA 1995) zur Verfügung.

Die hier vorliegende Arbeit knüpft durch die Zusammenschau dieser unterschiedlichen geoökologischen Datenquellen an die bisherigen Naturraumgliederungen an. Es wird hier jedoch eine noch breitere Datengrundlage als bei den bisherigen Naturraumgliederungen herangezogen, da einerseits eine größere Zahl an Geoökofaktorenkarten vorliegt und andererseits auch die Datenqualität durch aktuellere, digitale, mit neueren Interpolationsverfahren (z.B. Kriging) berechnete Karten verbessert werden konnte.

Ein Teilziel dieser Diplomarbeit liegt somit auch schon in der Synthese dieser zahlreichen, jedoch in unterschiedlicher Qualität und Auflösung vorliegenden Datenquellen sowie in der Auswahl der für die Fragestellung ökologisch relevanten Datensätze.

Diese Diplomarbeit orientiert sich darüber hinaus an einer ähnlichen Arbeit, welche von HARGROVE und LUXMOORE (1998) für die USA ebenfalls mit Clusteranalyse durchgeführt wurde. Sie unterscheidet sich von dieser jedoch die Clusterungsmethodik und die Variablenauswahl.

2 Naturraumgliederungen

Definitionen: Der Naturraum ist nach LESER ET AL. (1984) *"eine allgemeine Bezeichnung für einen Erdraum, der mit biotischen und abiotischen Geoökofaktoren ausgestattet ist, die einer mehr oder weniger intensiven Nutzung durch den Menschen unterliegen können"*.
Die Naturraumgliederung stellt einen Sammelbegriff für unterschiedliche geographisch-landschaftsökologische bzw. geoökologische Raumgliederungen dar, welche alle letztlich aufgrund von biotischen oder abiotischen Geofaktoren vorgenommen werden, diese jedoch in verschiedener Auswahl und in verschiedenen Maßstäben betrachtet werden. So wird methodisch vielfach zwischen einer deduktiven „naturräumlichen Gliederung" und einer induktiven landschaftsökologischen „naturräumlichen Ordnung" unterschieden (LESER ET AL. 1984, LESER 1997).

2.1 Unterschiedliche Ansätze von Naturraumgliederungen

Bei den verschiedensten Naturraumgliederungen wurden im Laufe der Geschichte bis in die heutige Zeit, je nach Wissensstand und Zielsetzung, unterschiedliche Ansätze gewählt.
Frühe Arbeiten in der Geographie verfolgten v.a. den geomorphologischen Ansatz, welcher sich meist in morphographisch-geologischen oder orohydrographischen Naturraumgliederungen niederschlug und eine starke Betonung auf das Relief legte. Ein wichtiger Vertreter dieser Richtung war PASSARGE (1913), der sich in seinen Werken v.a. mit der geomorphologischen Landschaftstypologie beschäftigte. Darüber hinaus gehen heutige Arbeiten, die versuchen morphologische und morphodynamische Prozesse miteinzubeziehen und diese zu quantifizieren, was sich jedoch meist auf kleinere Räume beschränkt.
Eine naturräumliche Bewertung im Sinne eines vegetationsgeographischen Ansatzes geht in seinen Ursprüngen schon weit zurück (z.B. LINNE 1707 – 1778) und erhielt wichtige Impulse durch die forstliche Standortskartierung von KRAUSS (1936), welcher Großdeutschland in "Naturräumliche Landschaften" unter forstwirtschaftlichen Gesichtspunkten gliederte. Wichtige Beiträge hierzu lieferten auch SCHMITHÜSEN (1942) und TROLL (1959), welche die räumliche Verteilung und Erscheinungsformen von Zeigerpflanzen zur Beurteilung landschaftshaushaltlicher Prozesse einsetzten. Noch weiter gespannt wäre der bioökologische Ansatz, welcher die Verbreitung der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften und deren Funktionsbeziehungen zur Umwelt stoffhaushaltlich untersucht (LESER 1997).
Im landschaftsgeographischen Ansatz wird die Landschaft zunehmend funktional betrachtet, wobei Einheiten und Seinsbereiche ausgewiesen werden, die durchaus vom Menschen mitbestimmt worden sind. So tritt v.a. im Bereich der Kulturlandschaftsgeographie (z.B. SCHMITHÜSEN (1942) und TROLL (1950)) die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen Mensch und Landschaft auf, wobei der Begriff der „Gesamtlandschaft" nach dem klassischen

Humbold´schen Totalitätsprinzip durchaus noch eine große Bedeutung hatte. Hier werden auch die Begriffe „Naturplan“ und „Kulturplan“ verwendet und deren Zusammenhänge untersucht, wobei der Mensch versucht, die im Naturplan der Landschaft bestehenden Eignungen optimal zu nutzen (LESER 1976). Daher spielen neben der Landschaft auch geisteswissenschaftliche und kulturgeographische Gliederungsargumente eine wichtige Rolle.
Im landschaftsökologischen Ansatz (z.B. TROLL 1939) ist das komplexe Wirkungsgefüge zwischen Lebensgemeinschaften und Umweltbedingungen in einem Landschaftsausschnitt von großer Bedeutung. Hier kommt es zur quantitativen und qualitativen Ausweisung von ökologischen Raumtypen. Neben der Untersuchung der haushaltlichen Prozesse und der räumlichen Differenzierung der einzelnen Raumeinheiten, spielt auch die Bewertung dieser im Hinblick auf Nutzung und Weiterentwicklung für den Menschen eine große Rolle. Grundlage für eine solche landschaftsökologische Ausweisung einzelner Naturräume sind demnach das genaue Erfassen der Geofaktoren und der in ihnen ablaufenden ökologischen Prozesse (NAGL 1995).
Ähnlich zum geomorphologischen Ansatz ist der pedologische Ansatz (z.B. FINK ET AL. 1979), welcher, neben dem Bodenwasserhaushalt und der Vegetation, v.a. den Boden als Hauptbestandteil der landschaftlichen Substanz räumlich und funktional analysiert. Ausgehend von einer Bestandsaufnahme wird vielfach eine Bewertung in Hinblick auf das Nutzungspotential vorgenommen. Naturräumliche Einheiten ergeben sich hier kleinmassstäbig meist aufgrund geologisch-geomorphologischer Differenzierungen, großräumig spielen auch geomorphogenetische Substrattypen und Georeliefgrundstrukturen eine Rolle (LESER 1997).
Weiters erwähnt seinen noch Raumgliederungen aufgrund von klimatologischen bzw. hydrologischen Aspekten, welche nach klimatologischen Faktoren (z.B. BOBEK ET AL. 1971) bzw. nach der Wasserbilanz (z.B. NAGL 1983) vorgenommen werden.

2.2 Auswahl und Vergleich bestehender Naturraumgliederungen für Österreich

Da die hier vorgenommene Naturraumgliederung im weiteren Sinne den vegetationsökologischen bzw. landschaftsökologischen Ansatz (s.o.) verfolgt, werden im Folgenden v.a. Naturraumgliederungen mit ähnlichen Ansätzen angeführt.

2.2.1 Die natürliche Pflanzendecke Österreichs (WAGNER 1971)

Definitionen: *„Die heutige potentielle natürliche Vegetation (PNV) ist eine rein gedanklich vorzustellende, den gegenwärtigen Standortbedingungen entsprechende und höchstentwickelte Vegetation, bei deren Konstruktion neben den natürlichen Ausgangsbedingungen auch nachhaltig anthropogene Standortveränderungen (z.B. Veränderung des Wasserhaushaltes) zu berücksichtigen sind”* (KOWARIK 1987, siehe auch TÜXEN 1956). Die PNV gilt im Natur-

schutz, in der Landschaftsplanung und der Forstwirtschaft (als PNWG = potentiell natürliche Waldgesellschaft) als eine Sollgröße, an der die aktuelle Vegetation im Hinblick auf Störeinflüsse gemessen oder bewertet werden kann (KAISER 1996).
Die natürliche Vegetation ist jene Vegetation, welche noch heute vorhanden wären, hätte der Mensch dort niemals eingegriffen, wobei die natürlichen Veränderungen von biotischen und abiotischen Ausgangsbedingungen zu berücksichtigen sind (GRABHERR ET AL. 1998). Azonale Vegetation ist an einen, aber in verschiedenen Klimazonen gleichermaßen auftretenden Geoökofaktor gebunden und tritt daher in verschiedenen Landschaftszonen in gleicher Form auf. Extrazonal ist hingegen jene Vegetation, welche sich aufgrund eines anderen Geoökofaktors in eine andere Klimazone hineinstreckt, ohne dabei ihre Ausbildungsform zu ändern, zonale Vegetation ist v.a. großklimatisch bedingt (LESER ET AL. 1984, WAGNER 1989).

Diese Landschaftsgliederung (siehe Abb. 2.1) wurde aufgrund der Karte „Natürliche Vegetation“ 1:1 Mio. des „Atlas der Republik Österreich“ IV/3 (WAGNER 1971) vorgenommen. Ziel dieser Karte war es, in einem ersten, durchaus unvollkommenen Versuch die damalige Kenntnis der Vegetationsbedingungen Österreichs zusammenzufassen. Sie sollte eine Anregung und Grundlage für genauere Vegetationskartierungen in Österreich darstellen und verfolgte somit v.a. den vegetationsgeographischen, aber auch den landschaftsökologischen Ansatz.
WAGNER (1971) stützte sich bei der Erstellung der Vegetationskarte auf zahlreiche Vorlagen (siehe Kapitel 2.2.2), welche allerdings immer nur Teilgebiete umfassten und verschiedene Auffassungsunterschiede enthielten (z.B. Karte Kärntens 1:75000 (HUECK), Tiroler Kartierungen 1:500000 (SCHIECHTL), Aufnahmen Vorarlbergs 1:300000 (GAMS), TSCHERMAKs Kartierung der vorherrschenden Bestandstypen der Ostalpen 1935b). Diese Karten wurden von WAGNER nach eigenen Angaben subjektiv interpretiert und koordiniert, wobei die großen Lücken zwischen den Karten durch eigene Beobachtungen bzw. Interpolation aus den benachbarten Karten unter Zuhilfenahme der geologischen und topographischen Karten ausgefüllt wurden. Aufgrund dieser Tatsache und wegen des Maßstabs von 1:1 Mio. war die Auswahl der darzustellende Vegetationseinheiten stark eingeschränkt. Die hier dargestellte Vegetation ist die PNV, wobei laut WAGNER aufgrund des kleinen Maßstabs der Unterschied zwischen einer natürlichen Vegetation und der PNV zu vernachlässigen war (vergl. auch Kapitel 4.6.1).

WAGNER teilte die v.a. großklimatisch bedingte zonale Vegetation nach den Höhenstufen ein, wobei er innerhalb der Höhenstufen aufgrund des Grundgesteins differenzierte, so dass sich für Österreich folgende Vegetationsstufen ergaben:

A. *Niederungs- und Hügelstufe*: Pannonische Niederung, Eichenwald der pannonischen Hügelstufe, Laubwälder der illyrisch-submediteranen Hügelstufe, Eichen-Hainbuchenwälder der mitteleuropäischen Hügelstufe, Submontane Eichen-Buchenwälder
B. *Bergstufe*: Montane bodensaure Buchen- und Eichenwälder, Montane randalpine Buchen-Tannenwälder, zwischenalpine Tannen-Fichtenwälder, inneralpine Fichtenwälder

C. *Subalpine Stufe*: Lärchen-Zirbenwald, Subalpine Strauchstufe auf Kalk bzw. auf Silikat
D. *Alpine Stufe*: Alpine Grasheide auf Kalk bzw. auf Silikat, Nivale Stufe und Gletscher

Die azonale Vegetation ist vorwiegend boden-, grundwasser- oder lokalklimatisch bedingt:
A. *Trockenstandorte*: Flaumeichengebüsch, Pannonische Sandfluren, Salzvegetation
B. *Kiefernwälder*: Dolomit-Kiefernwald, Schwarzkiefernwald, Inneralpiner Kiefernwald und Trockenrasen, Sanddornkiefernwälder auf Schotterauen, Kolline Eichen-Kiefernwälder, Bodensaure Kiefernwälder
C. *Feuchtbiotope*: Auwälder, Versumpfte Talmulden am Alpenostrand, Schilfröhricht, Flach- und Anmoore, Hochmoore

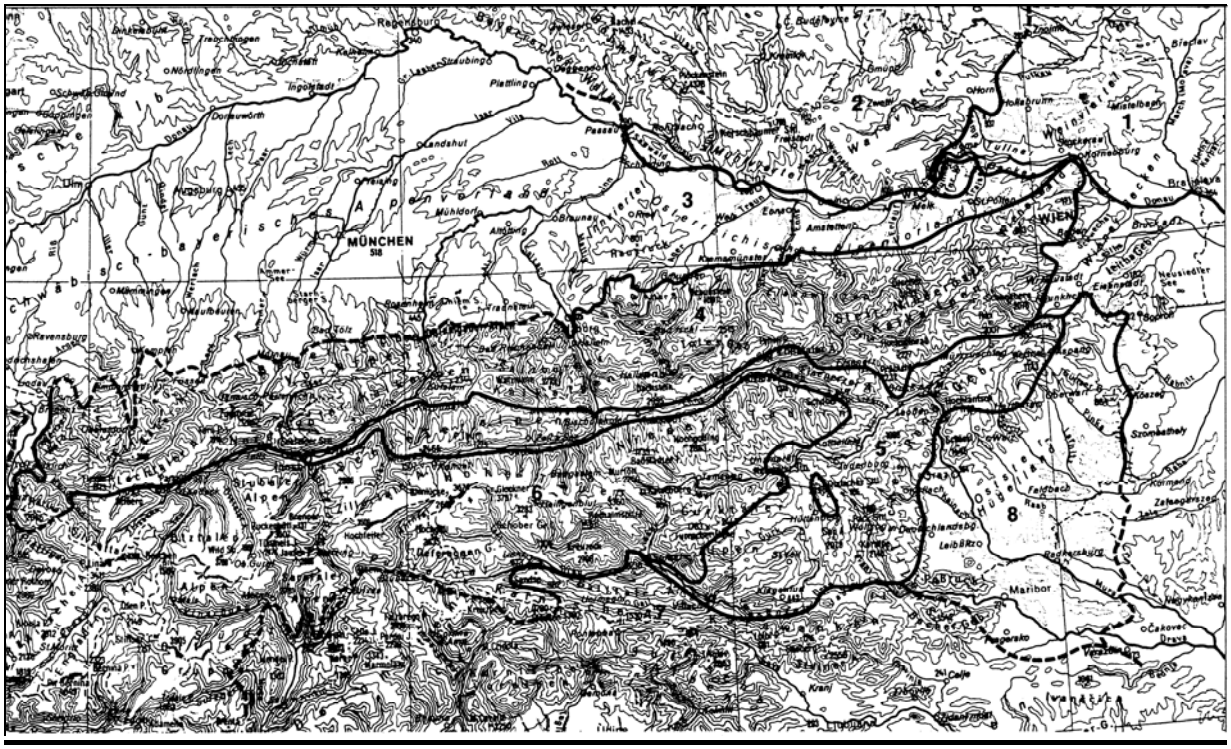


Abb. 2.1: Die natürliche Pflanzendecke Österreichs (WAGNER 1971) Quelle: WAGNER (1989)

Diese potentiellen Vegetationseinheiten wurden nun von WAGNER zu räumlich zusammengehörende Einheiten zusammengefasst, woraus sich eine Landschaftsgliederung Österreichs (siehe Abb. 2.1) ergab, welche WAGNER als *„bereits klimatisch-geologisch-orographisch vorgezeichnet“* bezeichnete. Versuche solche Raumeinheiten auszuweisen gab es bis dahin schon von TSCHERMAK (1940) für die damaligen Reichsgaue der Ostmark bzw. Bayern und von WERNECK (1950, 1953) für Niederösterreich und Oberösterreich. Für die einzelnen Räume und Vegetationseinheiten gab WAGNER, neben der PNV, z.T. auch die Geomorphologie, das Klima (Klimaprovinz, Sommertemperaturen, Extremtemperaturen, Jahresniederschlag), das Grundgestein und den Boden (sauer-basisch), so wie die forstliche und landwirtschaftliche Nutzung an, so dass diese Parameter als Gliederungsargumente verstanden werden können. Folgende 8 Einheiten wurden dabei ausgeschieden:

Der *Pannonische Raum* (1) mit artenreichem Eichenmischwald als dominierende PNV, das *Böhmische Massiv* (2) mit v.a. bodensauren montanen Buchen- und Eichenwäldern, montanen Buchenwäldern sowie Fichtenwäldern als PVN, das *Alpenvorland* (3) mit weitgehend Eichen-Hainbuchenwald und submontanem Eichen-Buchenwald als PNV, die *Nördlichen Flysch- und Kalkalpen* (4) mit v.a. submontanem Eichen-Buchenwald, bodensauren Buchenwäldern bzw. nährstoffreichen Buchen-Tannen-Wäldern als PNV, die *Zwischenalpen* (5) mit vorwiegend Tannen-Fichtenwald und bodensaurem Fichtenwald als PNV, die *Inneralpen* (6) mit v.a. bodensaurem Fichtenwald, Lärchen-Zirbenwald und inneralpinem Kiefernwald als PNV, die *Südalpen* (7) mit v.a. montanem Buchenwald als PNV sowie, das *Oststeirische Tertiärhügelland* (8) mit v.a. submontanem Eichen-Buchenwald und bodensaurem Eichen-Kiefernwald als PNV (WAGNER 1989).
Diese sehr grobe großräumige Gliederung entspricht im Wesentlichen schon den zahlreichen späteren Gliederungsschemen, wobei bemerkenswert ist, dass hier die Zwischenalpen jeweils westwärts früh enden und auch das Klagenfurter Becken umfassen, wobei der nördliche Arm der Zwischenalpen sehr schmal ausfällt.

2.2.2 Waldgebiete und Wuchsbezirke des Ostalpenraums (MAYER 1974)

Def.: Waldgebiete (= Wuchsgebiete) können allgemein als einheitliche Naturräume verstanden werden, welche aus forstökologischen Gesichtspunkten, unter besonderer Berücksichtigung des landschaftseigenen Klimacharakters und der Geomorphologie, abgegrenzt sind. Sie sind durch eine gesetzmäßige Abfolge von Standorten und Waldgesellschaften gekennzeichnet (KILIAN ET AL. 1994). Wuchsgebiete sind weitgehend einheitlich in bezug auf die vorherrschende Schlusswaldgesellschaft, Klimacharakter, Waldgesellschaftskomplex, waldgeschichtliche Entwicklung, waldbauliche und forstgenetische Ausgangssituation (SCHRETZENMAYR 1961).

Eine Waldgesellschaft ist eine von Bäumen dominierte Pflanzengemeinschaft, welche in enger Beziehung zu fixen Standorteigenschaften steht und menschlich verändert werden kann. Sie weist unter ähnlichen Bedingungen einen ähnlichen spezifischen Artenbestand, sowie eine spezifische Regenerations- und Konkurrenzökologie auf, wobei ihre Sukzessionsvorgänge mit anderen Waldgesellschaften in Verbindung stehen (ENGLISCH und KILIAN 1998, MAYER 1974). Eine Schlusswaldgesellschaft ist „*die regionale oder reife Endphase der Vegetationsentwicklung mit weitgehendem Gleichgewichtszustand in einer bestimmten Höhenstufe, wo durch das Fehlen lokalklimatischer und edaphischer Extreme die klimatische Gesamtwirkung am besten widergespiegelt wird*“ (MAYER 1974).

Ziel dieser Gliederung (siehe Abb. 2.2) im Maßstab 1:2 Mio. war die Ausweisung von Waldgebieten und Wuchsbezirken als Grundlage für Fragen der Baumartenwahl, waldbautechnische Fragen und Saatgutbeschaffung in der forstlichen Praxis sowie für Fragen der Raumordnung

und Landesplanung. Dadurch kann der Aufbau naturgemäßer Wirtschaftswälder von biologischer Nachhaltigkeit und größtmöglicher Leistungsfähigkeit verbessert werden. Somit ist diese Karte dem vegetationsgeographischen, aber auch dem landschaftsökologischen Ansatz zuzurechnen. In dieser Gliederung wurde erstmals versucht, die bisherigen waldvegetationskundliche Ergebnisse für waldbauliche Zwecke zusammenzufassen, wobei das Ergebnis aufgrund des heterogenen Unterlagenmaterial v.a. im Alpenvorland noch nicht ganz befriedigte.
Die Gliederung basierte auf einer umfassenden Inventur der Waldgesellschaften und waldbaulicher Behandlungseinheiten sowie der Kartierung der klimabedingten Schlusswaldgesellschaften. Dabei wurde in Österreich auf die schon bestehenden Gliederungen von TSCHERMAK (1940, 1950, 1953) und MAYER (1971) (s.o.) aufgebaut und auf zahlreiche vorliegende vegetationskundliche Arbeiten zurückgegriffen. Zur induktiven Ausscheidung der Waldgebiete wurde die *klimabedingte Schlusswaldgesellschaft* (auch: natürliche Waldgesellschaft) mit ihrem spezifischen Areal herangezogen, da dadurch gleichzeitig auch eine komplexe indirekte Standortscharakterisierung erfolgen konnte.

Um das Wesen einer natürlichen Waldgesellschaft erfassen zu können, bedarf es einer genauen soziolosch-ökologische-kombinierten Analyse verschiedener Kriterien, wobei je nach vorliegender Situation die Schwerpunkte verschieden gesetzt werden. Wichtige Kriterien zur Ausweisung der natürlichen Waldgesellschaft sind der „vegetationskundliche Aufbau“ mit seinen gesellschaftsprägenden Arten, der „Standort und die Gesellschaftsökologie“ als untrennbare Einheit mit der Waldgesellschaft, die „spezifische Gesellschaftsentwicklung“ mit ihrer Initialphase – Optimalphase – Terminalphase, die „Gesellschaftsgeschichte“, welche eine unterschiedliche Entstehung gleicher Gesellschaften aufzeigen kann, die „Gesellschaftsverbreitung“ mit Parameter wie Arealcharakter, zentrale oder randliche Lage, subatlantisch oder subkontinentale Ausbildung sowie Hoch- und Tieflagenvariante und die „Gesellschaftssystematik“, um lokal erfasste Gesellschaften in überregionale Gesellschaftssysteme einzuordnen.
Im alpinen Raum wurde die Auffindung der Schlusswaldgesellschaft stark erschwert, da ihr Verteilungsmuster hier oft kleinflächig sehr differenziert verläuft. Auch infolge der anthropogenen Förderung der Nadelbäume konnte die natürliche Waldvegetation vielfach nur schwer rekonstruiert werden, wobei z.B. im zwischen- und inneralpinen Raum das Fichten-Tannenwald-Areal durch die anthropogen bedingte Dominanz der Fichte, schwer erfasst werden konnte. So sind z.B. viele von TSCHERMAK (1935b) als natürlich kartierte Waldformen zum Teil erheblich anthropogen beeinflusst (MAYER 1974).

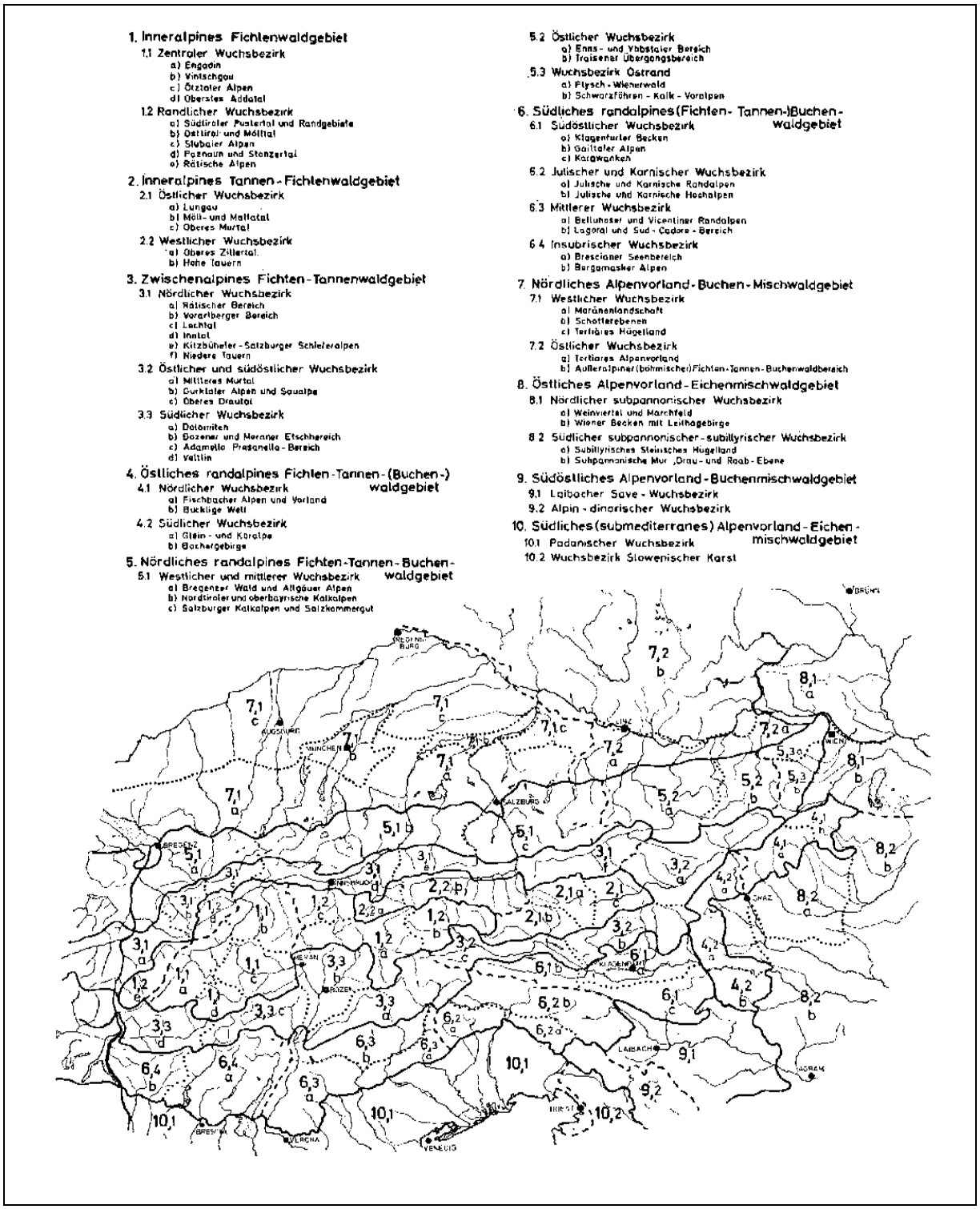


Abb. 2.2: Die Waldgebiete und Wuchsbezirke (MAYER 1974)

Aufgrund dieser Kartierungen wurde die „Vegetationskarte der Schlusswaldgesellschaften des Ostalpenraumes“ (MAYER 1977) (siehe Abb. 2.3) erstellt, wobei diese unter Ergänzungen, lokaler Verbesserungen und Zusammenfassungen auf der Karte „Die natürliche Pflanzendecke Österreichs” von WAGNER (1971) aufbaute und als Karte der PNV bezeichnet werden kann (vergl. auch Kapitel 4.6.1) (MAYER 1974, 1977; KIRCHMEIR in GRABHERR ET AL. 1998). Änderungen zu WAGNER (1971) ergeben sich z.B. durch das weitgehende Ersetzen

des zwischenalpinen Fichtenwaldes durch den Fichten-Tannenwald, eine getrennte Ansprache von montanem (kontinentalem) und tiefsubalpinem Fichtenwald oder die Änderung des montanen bodensauren Buchen-Eichenwaldes in einen montanen Buchenwald. Diese Vegetationskarte bildete nun die wesentliche Grundlage für die horizontale Großgliederung in Wuchsgebiete.

Zur zusätzlichen Charakterisierung und Abgrenzung der einzelnen Wuchsgebiete wurden die Parameter Klima, Geologie, Geomorphologie, Standortseinheiten, pflanzengeographische Stellung und natürliche Landschaftsgliederung verwendet. Als Hilfsmittel für die großräumige klimatische Abgrenzung wurde die „Alpenkarte im Klimadiagrammweltatlas“ von WALTER und LIETH (1965) herangezogen, zur klimatischen Feindifferenzierung wurden WALTER-Klimadiagramme von waldvegetationskundlich repräsentativen Stationen verwendet. Da im Ostalpenbereich der Klimacharakter teilweise stark durch den Niederschlag geprägt wird, wurde zur klimatischen Differenzierung noch zusätzlich eine „Karte der Jahresniederschläge für tiefmontane (600 – 1000 m) Standorte“ entwickelt, welche wiederum auf der Niederschlagskarte von STEINHAUSER-PIPPAN (1960) basierte. Da nun die Verbreitung der Schlusswaldgesellschaft primär klimatisch und sekundär edaphisch bedingt ist, spielte die Geologie eine wechselnde Rolle. Sie wurde v.a. zur Differenzierung der untergeordneten Herkunftsbereiche verwendet. Zu diesem Zwecke wurde eine „waldvegetationskundlich angewandte geologische Übersichtskarte“ in Anlehnung an die geologische Karte von VETTERS (1933) erstellt. Hierbei wurden saure, intermediäre und basische Gesteine ausgewiesen.

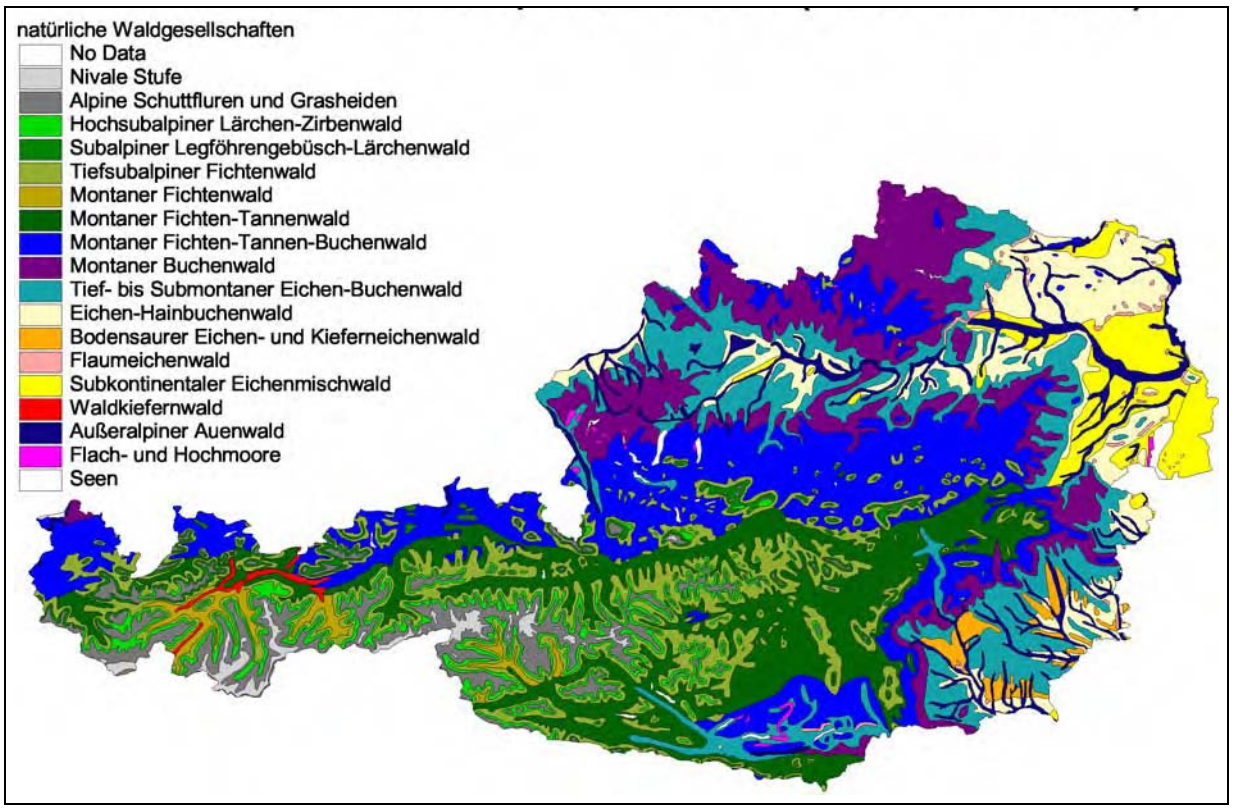


Abb. 2.3: Wälder des Ostalpenraumes (MAYER 1977)
Quelle: Institut für Pflanzenphysiologie / Universität Wien

Die Gliederung MAYERs (siehe Abb. 2.2) umfasste für Österreich 8 Wuchsgebiete mit 16 Wuchsbezirken, so dass sich unter Berücksichtigung der Höhenstufen (siehe Kapitel 4.2.2.1) knapp 50 Einheiten ergaben. Die weitere Untergliederung in *Wuchsbezirke* erfolgte aufgrund unterschiedlicher Geomorphologie, Geologie, Klima und Ausbildung einer Schlusswaldgesellschaft, sofern diese zu bedeutenden Unterschieden für den Gesellschaftskomplex, die Baumartenvergesellschaftung, den Wachstumsrhythmus und die Wuchsrelation führen. Innerhalb der Wuchsbezirke wurden noch *Herkunftsbereiche* ausgeschieden, um lokale Eigenheiten auszuweisen. V.a. im Ostalpenbereich wurden nun die Wuchsbezirke und Herkunftsbereiche in Höhenstufen unterteilt, welche durch das Vorkommen bestimmter Waldgesellschaften am besten charakterisiert werden können, da die Grenzen der Höhenstufen stark schwanken, innerhalb eines Wuchsgebietes aber einheitlich sind (MAYER 1974).
Die Wuchsgebiete lassen für Österreich eine Großgliederung erkennen, welche im alpinen Bereich die trockenen *Inneralpen* (getrennt in ein *zentrales* trockeneres Fichtenwaldgebiet (1) und ein *randliches* Tannen-Fichtenwaldgebiet (2)), die etwas feuchteren Fichten-Tannenwald-geprägten *Zwischenalpen* (3), sowie die humiden Fichten-Tannen-Buchen-geprägten *Randalpen* (getrennt in ein trockenes *östliches* (4), ein feuchtes *nördliches* (5) und ein wärmeres *südliches* Gebiet (6)) umfassen. Im außeralpinen Bereich werden sämtliche Gebiete als *Alpenvorland* bezeichnet, wobei ein feuchteres *nördliches* (7) Buchen-Mischwald-geprägtes und ein *östliches* (8) Eichenmischwald-geprägtes *Alpenvorland* unterschieden werden. Die wesentlichen Unterschiede zu WAGNER (1971) sind die Trennung der Inneralpen, die Ansprache von Alpenvorland und Böhmischer Masse als ein Wuchsgebiet, sowie die Einführung der östlichen Randalpen. Interessant ist, dass z.B. die Böhmische Masse oder das Klagenfurter Becken nicht einmal als eigene Wuchsbezirke ausgeschieden werden.

2.2.3 Ökologische Gesamtwertung (BOBEK und MRAS 1979)

Die Zielsetzung dieser Karte (siehe Abb. 2.4 (die sehr detaillierte Legende kann aus Platzgründen hier nicht angeführt werden)) bestand darin, Raumtypen mit spezifischen, nutzbaren Eignungspotentialen für den Mensch in bezug auf Siedlung, Verkehr, Ackernutzung und Grünlandnutzung auszuweisen und zu bewerten. In diesem Sinne sollte sie v.a. der Raumplanung als Planungsgrundlage bzw. Bewertungshilfe im Hinblick auf die Belastbarkeit des Naturraumpotentials dienen. Diese Karte aus dem „Atlas der Republik Österreich IV/5“ stellte den ersten Versuch einer komplexen ökologischen Raumgliederung und Raumbewertung für ganz Österreichisch dar und verfolgte somit den landschaftsökologischen Ansatz.
Als Arbeitsgrundlage diente bereits vorliegendes Kartenmaterial, wobei v.a. zahlreiche Karten aus dem „Atlas der Republik Österreich“ 1960 – 1980 im Maßstab 1:1 Mio. (geologische Übersichtskarte II/3 (BECK-MANNAGETTA 1963), Quartäre Sedimente und Formen II/6 (FINK und NAGL 1979), Morphographische Karte II/7 (BOBEK 1975), Klimatypen III/9 (BOBEK ET AL. 1971), Hydrogeologie III/12 (GATTINGER 1968), natürliche Vegetation IV/3 (WAGNER 1971)) aber auch andere Karten (Geologische Karte der Republik Österreich

1:500 000 (VETTERS 1933), natürliche Vegetation 1:2 Mio., Tafel 171 aus dem “Atlas der Donauländer” (NIKLFELD 1973)) verarbeitet wurden. Darüber hinaus wurden auch zahlreiche bodenkundliche Studien (v.a. FINK 1969 sowie Vorentwürfe zur Karte „Böden und Standortbeurteilung IV/4 1:75 000 (FINK ET AL. 1979)“ des Atlas der Republik Österreich)) herangezogen. Bedingt durch den Maßstab 1:1 Mio. war eine komplexe Faktorenkennzeichnung innerhalb einer topographische Darstellung gerade noch möglich.

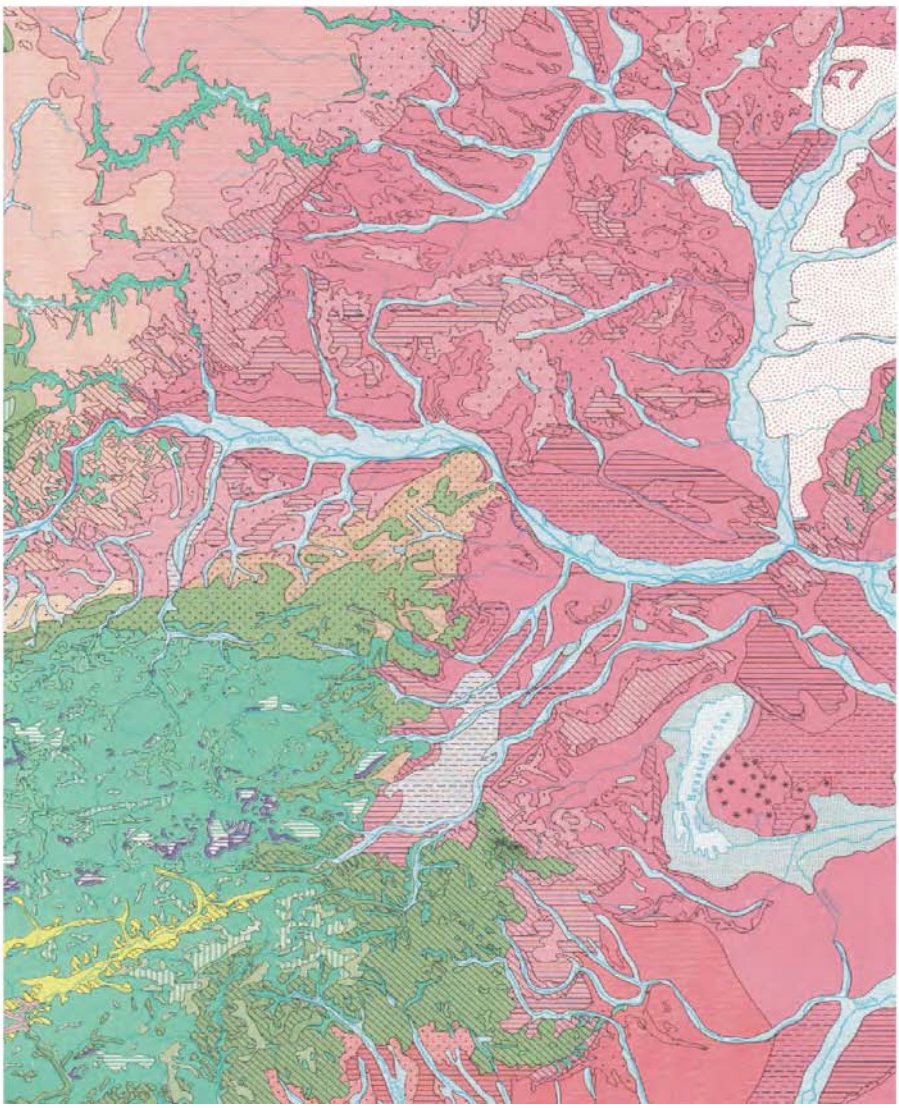


Abb. 2.4: Ökologische Gesamtwertung (BOBEK und MRAS 1979); Detail
Quelle: Geographischer Jahresbericht 1992

Die Gliederungsmethodik umfasste zwei Arbeitsschritte: Zunächst wurde analysiert, welche Merkmalskombinationen von Geofaktoren ökologisch entscheidend sind. Die eigentliche Raumtypenfindung wurde im zweiten Schritt über eine zweischichtige Analyse von den Faktorenkomplexen „Klima“ und „Substrat“ vollzogen. Die Koinzidenz dieser Geofaktoren mit den ökologischen Indikatoren „natürliche Vegetation“ und „Boden“ ließen Wechselwirkungen im

Ökosystem erkennen und ermöglichten es, die Faktoren als ökologisch signifikante Parameter indirekt zu „eichen“ und die Faktoren mit spezifischen Wertigkeiten als „Typen von bestimmten Klima- und Substratcharakter“ zusammenzufassen. Für die Schwellenwerte der Wärme- und Feuchtewirksamkeit spielte die ökologische Valenz der Pflanze eine entscheidende Rolle.

Die ökologisch relevanten Klimawerte wurden v.a. aus der Klimatypen-Karte von BOBEK ET AL. (1971) (siehe Kapitel 2.2.9) übernommen und beinhalten die „mittlere Niederschlagsjahressumme“ bzw. „Niederschlagshäufigkeit (Zahl der Tage mit >1 mm)“ und das „wahre Temperaturmittel des Juli bzw. Jänner“ als thermisches Maße für das Sommerhalbjahr, die Winterstrenge bzw. die thermische Kontinentalität. Aus anderen Karten wurden noch die Faktoren “mittlere Zahl der Tage mit Schneebedeckung” als Maß für die Winterruhe und “mittlere Zahl der Tage mit > 5°C Tagesmittel” als Maß für die Vegetationsperiode (siehe Kapitel 4.4.3), sowie zur weiteren Differenzierung die “jahreszeitlichen Niederschlagsschwankungen” übertragen. Weiters wurde versucht, die „Feuchtigkeit“ über den “hygrothermischen Quotient (HTQ)” nach SELJANINOW (1937) (8) (siehe Kapitel 4.4.4) für Einzelmonate und für das Sommerhalbjahr zu erfassen. Aus diesen Klimaparametern wurden schließlich mittels des Typenfindungsverfahrens (s.o.) 9 thermische Höhenstufen (I bis IX: von sehr sommerheiß bis nival), und 3 Feuchtigkeitsabstufungen (a = sehr feucht, b = mäßig feucht, c = trocken) ausgewiesen, wobei jeder Stufen eine PNV, landwirtschaftliche Nutzung bzw. Grünlandnutzung zugewiesen wurde. Durch die starke Anlehnung an die Klimatypenkarte ergab sich ein ähnliches Bild zu dieser.
Die Substratkomponente ergabt sich aus der Kombination von Relief und Boden. Die Hangneigung wurde hierfür als reliefcharakterisierende Größe ausgewählt und auf ihre Nutzungseigenschaften im Hinblick auf Landwirtschaft, Verkehrsanlagen, Siedlungstätigkeit und Freizeittätigkeiten untersucht, woraus sich 5 Hangneigungsklassen ergaben. Der Boden wurde mit Hilfe der Bodenkennwerte „Profilform, Humusform, Gründigkeit, Bodenart, Nährstoffgehalt und Wasserhaushalt“ zu 5 spezifischen „Ökologischen Bodentypengruppen“ zusammengefasst, wobei für jede Gruppe die PNV, die landwirtschaftliche- und Grünlandeignung, sowie die Abtragungsgefährdung ausgewiesen wurde. Unterschieden wurden drei Gruppen welche eine klimabestimmte Abfolge von Bodentypen im Einklang mit klimazonalen Vegetationsgesellschaften aufweisen (1.“tiefgründige, mullhumusreiche und fruchtbare Schwarzerden, Braunerden und unvergleyte Parabraunerden” auf nährstoffreichen, trockenen Standorten, 2.„mäßig vergleyte Parabraunerden und sandig-lehmige gut drainierte Braunerden“ mit guter Basen- und Nährstoffversorgung sowie ausgeglichenem Wasserhaushalt und 3.„ausgeprägte Pseudogleye und stark vergleyte Braunerde und Podsole“ mit wechselnder Wasserversorgung und schlechter Basen- und Nährstoffversorgung). Auf der noch zonalen 4. Gruppe der “grobskelettreichen, seichtgründigen tonkolloid- und humusarmen Böden”, wie karge Rendsinen und Ranker, mit geringer Wasserspeicherkapazität und hoher Erosionsanfälligkeit ist gute Waldwüchsigkeit noch, Landwirtschaft jedoch nur eingeschränkt möglich. Die 5. Gruppe der „Böden mit zerstörter Entwicklung“ (z.B. Podsole sommerkalter Hochgebirgsstufen) weisen nur noch adaptive

Pflanzengesellschaften und landwirtschaftliche Grenzertragsböden auf, eine Sondergruppe bildeten azonale Böden (z.B. Grundwasserböden und Moore).
Die Ausweisung der Raumtypen erfolgte schließlich über die so gewonnene Ökofaktorenmatrix mit Klimatypen (thermische Höhenstufe, Feuchtigkeitsabstufung) bzw. Substrattypen (Hangneigung, Bodentyp) in x- bzw. y-Richtung, wobei diese Matrix für jeden der 4 Großräume (Alpen, Gneis- u. Granithochland, Alb-Schichttafelland (D) und Alpenvorland) extra erstellt wurde. Die thermischen Höhenstufen und Niederschlagsverhältnisse mussten hierbei im Alpenraum stark zusammengefasst werden, und auch im Substratkomplex war generell eine starke Generalisierung nötig. Zur überregionalen Gliederung und Vergleichbarkeit der einzelnen Teilräume wurden schließlich die thermischen Höhenstufen bzw. die PNV herangezogen. Für jeden dieser Teilräume wurde nun das Eignungspotential für den menschlichen Lebensraum qualifiziert. Zur Ausweisung der Ackerbau- und Grünlandnutzung waren alle klimatischen und substratbedingten Faktoren mehr oder weniger von Bedeutung, wobei ein dominierender, sehr ungünstiger Faktor nicht mehr von anderen Faktoren aufgewogen werden konnte. Die Eignung für Siedlung und Verkehr wurde v.a. durch die Parameter Hangneigung und Winterverhältnisse charakterisiert (NAGL und MRAS 1992).
Die Karte zeigt ein sehr differenziertes Gesamtbild, im Wesentlichen sind aber als große Einheiten die Böhmische Masse (hygrisch differenziert in Mühl- und Waldviertel), der Pannonische Raum, der Illyrische Raum, das östliche und nördliche Alpenvorland (letzteres hygrisch differenziert), das Klagenfurter Becken, das Rheintal, die Alpen (stark untergliedert nach hygrischen und morphologischen Aspekten) sowie größere Alpentäler zu erkennen. Der Vorteil des hier verwendeten Typenfindungsverfahrens (s.o.) ist eine gewisse Nachvollziehbarkeit und eine Vergleichbarkeit der Raumtypen, was für die wenigsten herkömmlichen Raumgliederungen gilt. Positiv zu bemerken ist auch die starke Differenzierung innerhalb der Karte. Der hier verwendete Parameter „Niederschlagshäufigkeit > 1 mm" gilt jedoch als wenig aussagekräftig, ökologisch viel wichtiger wären Trockenperioden, um den Trockenstress zu charakterisieren.

2.2.4 Vereinfachte Landschaftsgliederung Österreichs (NOWAK 1990)

Ziel dieser im Auftrag des Umweltbundesamt erstellten Naturraumgliederung (siehe Abb. 2.5) war es, eine Untersuchungsgrundlage für die Auswahl repräsentativer Überwachungsräume zu schaffen, welche die Basis für eine langfristige ökosystemare Umweltüberwachung zur Sicherung des Lebensraumes bilden sollen. Die Abgrenzung von Raumtypen erfolgte an Hand von stark vereinfachten, analytischen Karten (Geologie, Boden, Klima und Vegetation), regionalen Untersuchungen und der Geländekenntnis des Verfassers. Hierbei spielten auch ökologische Faktoren für Umweltbelastungen (Pufferfähigkeit des Bodens, Inversions- und Kaltluftseebildung und Wasserkapazität der durchlässigen Karstlandschaft in bezug auf Schadstoffeinträge) eine Rolle. Somit verfolgte diese Gliederung am ehesten den landschaftsökologische Ansatz.

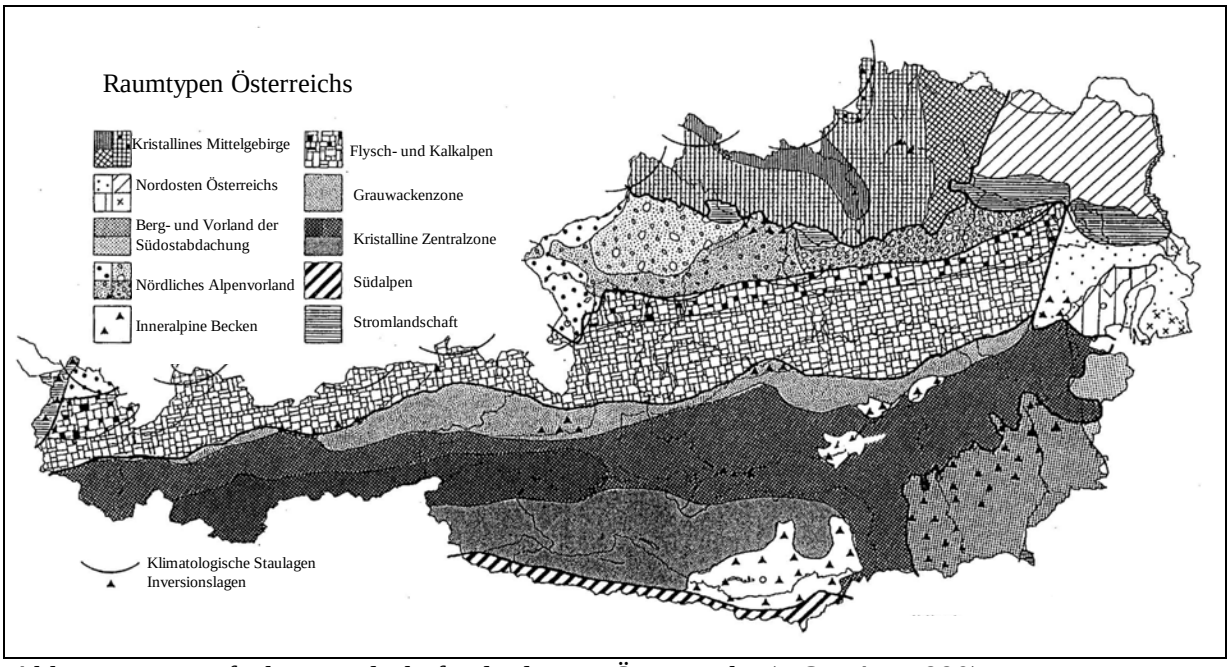


Abb. 2.5: Vereinfachte Landschaftsgliederung Österreichs (NOWAK 1990)

Für die Geologie wurden die „geologische Übersichtskarte der Republik Österreich“ (BECK-MANNAGETTA 1963) und der „Abriss der Geologie von Österreich“ (DEL NEGRO 1977) herangezogen. Eine Generalisierung nach lithologisch-stratigraphischen Aspekten, ergab folgende geologische Einheiten: *Böhmische Masse, Molasse Vorland und Wiener Becken, Flysch-Helvetikum, Nördliche Kalkalpen (einschließlich Klippenzone und Drauzug), Grauwackenzone, Kristalline Zentralalpen (einschließlich inneralpine Becken), Südalpen, Tertiäre Senkungsgebiete im Südosten Österreichs.*

Bei der Abgrenzung der Böden ergaben sich unter Verwendung der Bodenkarten von FINK 1958 und FINK ET AL. 1979 sowie einzelner Bundesländer folgende Bodenregionen, wobei Bodentypenkomplexe zu Subregionen zusammengefasst wurden: *Böhmische Masse, Nordostregion* (Weinviertel, Marchfeld, Wiener Becken*), Bergland und Vorland im Südosten Österreichs, Flysch- und Kalkalpen, Zentralalpen und Südalpen, Nördliches Alpenvorland, Stromland.*

Klimatisch wurden unter Verwendung der Klimakarten von BOBEK ET AL. (1971) (s.u.), STEINHAUSER und NOWAK (1963), FLIRI (1962) und NAGL (1983) aufgrund der Parameter mittlerer Jahresniederschlag, mittlere Jahressumme der Temperatur, mittlere Zahl der Tage mit > 1 mm Niederschlag folgende Klimaprovinzen ausgeschieden: *Alpines Klima, Atlantisch geprägtes Klima, Pannonisch-kontinental geprägtes Klima, Illyrisch geprägtes Klima.*

Die Vegetationsgliederung folgte vorwiegend der Gliederung von WAGNER (1984), welche die PNV wiedergibt. Sie ist dadurch v.a. eine Höhenstufengliederung, welche durch die Klimadifferenz zwischen atlantischem Westen und kontinentalem Osten bestimmt wird, wobei folgende Einheiten ausgewiesen wurden: *Pannonische Niederung und Hügelstufe, Illyrische Niederung und Hügelstufen, Untere Laubwaldstufe, Obere Laubwaldstufe, Montane Mischwälder, Montane bis subalpine Nadelwaldstufe, Alpine Grasheide und Nivale Zone.*

Aufgrund dieser Karten wurde ein Raumgliederung in folgende Raumtypen vorgenommen: *Kristallines Mittelgebirge* (Kristalline Höhenzone, Kristalline Mittelgebirgslandschaft, Kristalline Übergangszone, Litschauer Teichplatte), *Nordostösterreich* (Weinviertel, Wiener Becken und nördliches Burgenland, Randzone des Wiener Beckens und Leithagebirge, Seewinkel), *Berg- und Vorland der Südostabdachung* (Mittleres Burgenland, Steirische Riedel- u. Terrassenlandschaft), *Nördliches Alpenvorland* (Jungmoränen- und Terrassenlandschaft, Jungtertiäre Schotterkörper des Hausruck und Kobernaußerwaldes, Übergangszone mit Moränen- und Terrassenablagerungen, Riedel- und Terrassenlandschaft des östlichen Alpenvorlandes), *Flysch- u. Kalkalpen* (Flyschzone, Kalkalpenzone), *Grauwackenzone*, *Kristalline Zentralzone* (Hauptkamm der Zentralzone, Nord- und Ostteil der Zentralalpen, Südabdachung d. Zentralalpen), *Südalpen, Inneralpine Becken, Stromlandschaften* (NOWAK 1990).
Diese 2 stufig hierarchische Gliederung weist im Unterschied zu den meisten anderen vorgestellten Gliederungen auch kleinere Raumeinheiten (z.B. Stromlandschaften) auf, was v.a. nördlich der Alpen zu einer bodenbedingten starken Unterteilung führt. Innerhalb der Alpen fallen die fehlenden östlichen Zwischenalpen und die inversionsbedingten inneralpinen Becken auf. Ansonsten lässt sich in der oberen Hierarchiestufe wieder das gängige Schema erkennen.

2.2.5 Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs (KILIAN ET AL. 1994)

Def.: *„Regionalwaldgesellschaften sind potentiell natürliche Waldgesellschaften der Normalstandorte in der montanen Stufe der jeweiligen Region“* (KILIAN und ENGLISCH 1998).

Diese waldökologische Naturraumgliederung (siehe Abb. 2.6) stellte eine Vereinheitlichung bereits bestehender Waldgebietsgliederungen von TSCHERMAK (1953), MAYER (1971, 1974) (s.o.), JELEM (1960), JELEM und KILIAN (1972) und KILIAN (1981) dar. Sie ist somit die aktuelle forstliche Wuchsraumgliederung Österreichs und ist als solche rechtliche Grundlage für den Verkehr mit forstlichem Vermehrungsgut. Ziel der Gliederung war es, ähnlich zu MAYER (1974), v.a. durch die Nennung der natürlichen Waldgesellschaften die Basis für eine ökologisch orientierte Waldbewirtschaftung zu schaffen und dadurch Fragen über die Auswahl standortstauglicher Baumarten, Herkunftsgebiete für forstliches Saatgut, des natürlichen Produktionspotentials sowie der allgemeinen Raumplanung und Landschaftsökologie zu beantworten. Somit stellt diese Gliederung wiederum eine Kombination aus vegetationsgeographischem und landschaftsökologischem Ansatz dar.

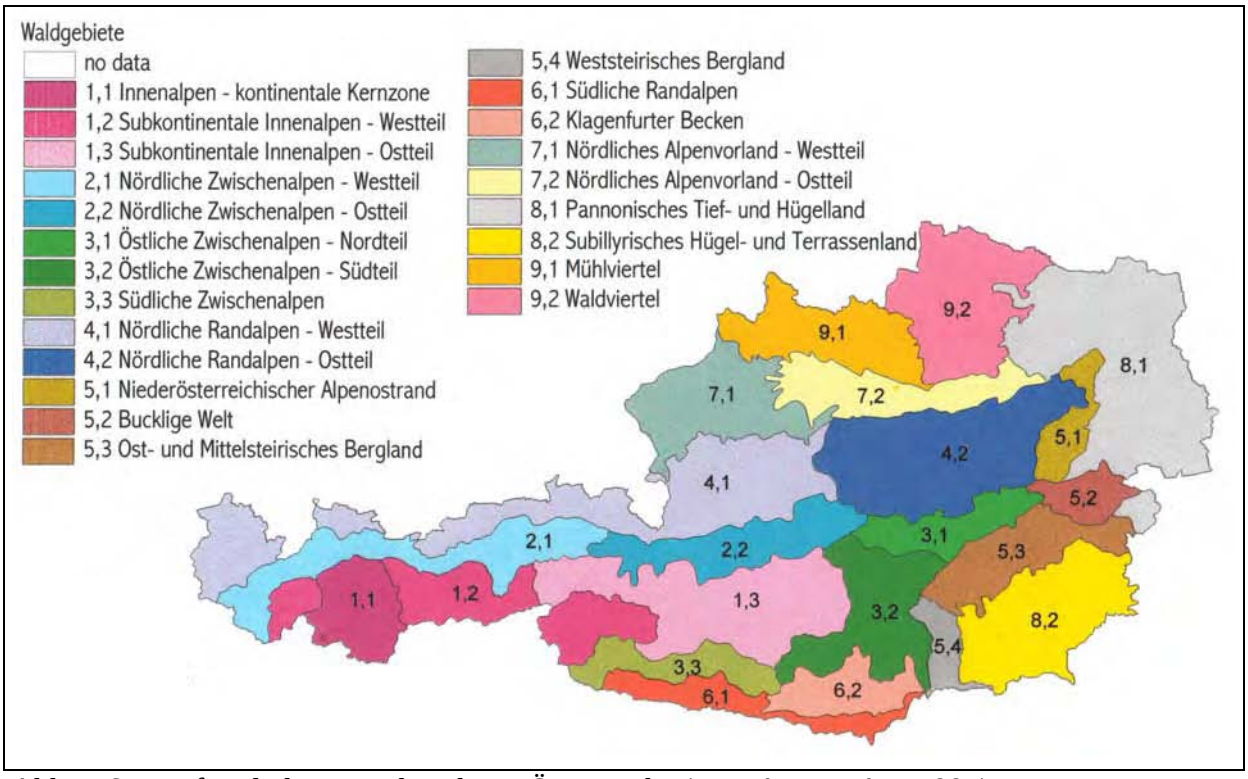


Abb. 2.6: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs (KILIAN ET AL. 1994)
Quelle: Institut für Pflanzenphysiologie / Universität Wien

Im Wesentlichen wurden die bestehenden Gliederungen zusammengeführt (s.o.), wobei auch auf zahlreiches Datenmaterial aus der Waldbodenzustandsinventur, der Waldinventur sowie aus zahlreichen Einzelprojekten zurückgegriffen wurde. Dieses Datenmaterial konnte zwar seit den letzten Gliederungsversuchen nicht wesentlich erweitert werden, jedoch lagen den Autoren neuere und bessere Erkenntnisse über natürliche Waldgesellschaften und klimatische Höhenstufeneinteilungen vor.

Für die Abgrenzung hatten das Regionalklima und die klimatisch geprägten natürlichen Waldgesellschaften ein größeres Gewicht als bodenkundliche und geomorphologische Faktoren. Mitunter wurde die Gewichtung jedoch geändert, so dass große geomorphologische Einheiten, wie die Böhmische Masse, erhalten blieben. So wurden im alpinen Bereich die Hauptwuchsgebiete v.a. nach der Kontinentalität gruppiert (ozeanische Randalpen, subkontinental-subozeanische Zwischenalpen und kontinentale Inneralpen), innerhalb der Hauptwuchsgebiete wurden die Wuchsgebiete in den Alpen v.a. klimatologisch abgegrenzt (West-Ost-Gradient, pannonischer- bzw. illyrischer Klimaeinfluss). Die außeralpinen Hauptwuchsgebiete wurden hingegen nach geomorphologisch und klimatisch vorgegebenen Landschaften abgegrenzt, die Unterteilung in Wuchsgebiete erfolgte hier wieder nach regionalklimatischen Gegebenheiten. Der letztlich entscheidende Indikator zur Gebietsabgrenzung waren schließlich die *klimageprägten Regionalwaldgesellschaften*, wobei jedoch die Verknüpfung von Klimakennwerten und Waldgesellschaften oft als nicht zufriedenstellend angesehen werden musste, da diese z.T. nur durch Extrapolation der Klimawerten von Talstationen gewonnen werden konnte.

Da die Wuchsgebietsgrenzen in der Realität breite Übergangszonen darstellen, wurden sie vereinfachend und z.T. willkürlich (z.B. zwischen Wuchsgebieten 4.1 und 4.2) an Kammlinien, Flussläufen bzw. an politischen Grenzen, oder aufgrund der persönlichen Erfahrung der Autoren angenommen. Als Hilfsmittel für die klimatologische Abgrenzung wurde v.a. die Klimatypen-Karte (BOBEK ET AL. 1971) (s.u.), zur edaphischen Abgrenzung die Bodenkarte von FINK ET AL. (1979) herangezogen (KILIAN ET AL. 1994, MÜLLER mündlich).

Diese Gliederung ist im Gegensatz zu TSCHERMAK (1953) und MAYER (1974) nur eine 2-stufig hierarchische Gliederung, jedoch ließen sich nicht alle Flächen problemlos den übergeordneten Gebieten zuordnen: 9 Hauptwuchsgebieten, welche großgeographisch-klimatischen Bezeichnungen entsprechen (z.B. nördliche Randalpen), wurden 22 Wuchsgebiete mit einheitlichem Klimacharakter und einheitlicher Geomorphologie untergeordnet, Wuchsbezirke wurden nur vereinzelt ausgeschieden (siehe Kapitel 2.2.2). Auch die Höhenlagen der 7 Höhenstufen (von kollin bis hochsubalpin) (siehe Kapitel 4.2.2.1), welche für jedes Wuchsgebiet unterschiedlich sind, wurden neu überarbeiteten und je Wuchsgebiet angegeben, da die Höhenstufen im Bergland die regionalen Eigenheiten der Wuchsgebiete überlagern.
Die Charakterisierung der einzelnen Wuchsgebiete erfolgte durch die Parameter *Klima* (jahres- und tageszeitliche Temperaturschwankungen, Überschreitung des Temperaturminimums des Baumwachstums, Jahresniederschlagssumme, Niederschlagsmaximum, WALTER-Klimadiagramm, hygrische und thermische Kontinentalität), *Geomorphologie* (Geländeformen und Grundgestein), *Böden* (Bodentyp z.T. auch Gründigkeit), *Seehöhe* (Lage des tiefsten und höchsten Punktes), *Höhenstufe* (Seehöhe der Höhenstufen im jeweiligen Gebiet als Rahmenwerte) und *PNWG* mit jeweiliger Höhenverbreitung und der für das Wuchsgebiet charakteristischen Waldgesellschaften (Leitgesellschaft (klimabedingte Schlusswaldgesellschaft mittlerer Standorte), Regionalwaldgesellschaften) (KILIAN ET AL. 1994).
Auch diese Gliederung lässt wiederum das Grundschema der Hauptwuchsgebiete *Randalpen-Zwischenalpen-Innenalpen* mit zunehmender Kontinentalität, trockener *sommerwarmer Osten*, feuchteres *nördliches Alpenvorland*, sowie *Böhmische Masse* erkennen. Wesentliche Unterschiede zu MAYER (1974) sind die Ausweisung der *Böhmischen Masse* als eigenes Hauptwuchsgebiet, deren Aufspaltung in ein *Wald-* und ein feuchteres *Mühlviertel*, die Aufspaltung der Zwischenalpen in kühle, niederschlagsreichere *nördliche Zwischenalpen* (feuchterer *Westteil* und trockenerer *Ostteil*) und wärmere, niederschlagsärmere *östliche* (nordstaulagenbeeinflusster *Nordteil* und milderer, südstaulagenbeeinflusster *Südteil*) bzw. niederschlagsreichere, stärker südstaulagenbeeinflusste *südliche Zwischenalpen*, die Ausweisung des kontinentalen *Klagenfurter Beckens* und der weniger illyrischen, kühleren *Buckligen Welt* als eigene Wuchsbezirke, sowie der Einbezug des Mittelburgenlandes in den *pannonischen Wuchsbezirk*.

2.2.6 Naturräumliche Einheiten zur Ausweisung von Natura 2000-Gebieten (SAUBERER ET AL. 1995)

Ziel dieser Naturraumgliederung (siehe Abb. 2.7) war es, eine Grundlage für die Ausweisung von „Natura-2000"-Gebieten gemäß den FFH (Flora-Fauna-Habitat)-Richtlinien zu schaffen. Diese seit 1992 geltenden EU-Richtlinien verpflichten die Mitgliedsstaaten ein ökologisches Netz von Schutzgebieten einzurichten, mit dem Ziel, die natürliche Artenvielfalt zu bewähren und die Lebensräume von wildlebenden Tieren und Pflanzen zu erhalten bzw. wiederherzustellen (PAAR 1998). Somit verfolgte diese Gliederung v.a. den biogeographischen Ansatz.
Die Regionsabgrenzung erfolgte in erster Linie aufgrund von großräumigen Naturraumgrenzen, beruhend auf den Parametern Klima und Geologie, und in zweiter Linie aufgrund von biogeographischen und arealkundlichen Überlegungen sowie Kulturlandschaftsentwicklungen. Arealkundlich gibt es z.B. eiszeitliche Überdauerungsräume südöstlich der Alpen, welche für viele Tier- und Pflanzenarten Zufluchtsräume darstellten. Die Kulturlandschaftsentwicklung kann bewirken, dass ein ursprünglich in 2 Regionen vertretener Habitattyp durch das Einwirken des Menschen nur noch auf eine Region beschränkt wird. Die Experten gingen weniger aufgrund von konkreten Klimafaktoren, sondern v.a. aufgrund ihrer persönliche Einschätzung vor. So standen, je nach Gebiet, unterschiedliche Gliederungsaspekte im Vordergrund.
Die Abgrenzung der großräumigen außeralpinen Naturräume *nördliches Granit- und Gneishochland, nördliches Alpenvorland, Pannonische Flach- und Hügelländer* und *Südöstliches Alpenvorland* war weitgehend unbestritten. Abgrenzungsprobleme stellten sich jedoch v.a. an den Übergangszonen der Gebirgsrändern (z.B. beim Pannonikum aufgrund des allmählichen Klimagradienten und somit Floren- und Vegetationsgradienten zu den feuchteren Vorländern) und bei der Zuordnung des Mittelburgenlandes, welches klimatisch zwischen Pannonikum und dem südöstlichen Vorland liegt. Größere Probleme bereitete die Untergliederung der Alpen, wobei die grobe geologische Dreiteilung der Alpen (nördliche Flysch- und Kalkalpen, vorwiegend silikatische Zentral- und Schieferalpen, vorwiegend karbonatische Südalpen) als Grundlage diente. Die Nordalpen wurden hierbei aus arealgeographischen Überlegungen in die *Mittleren und Westlichen Nordalpen* sowie die *Östlichen Nordalpen* aufgespalten, die *Südalpen* blieben als eine Einheit erhalten. Die Zentralalpen wurden v.a. nach physiogeographischen Aspekten in die *Zentralalpen - zentraler Teil* mit vorwiegend Hochgebirgscharakter und die *Zentralalpen – südöstlicher Teil* mit Mittelgebirgscharakter unterteilt.
Die *großen Flusstäler* (z.B. Donautal), die *inneralpinen Täler* (z.B. Inntal), die *inneralpinen Becken* (z.B. *Klagenfurter Becken*) sowie die *Übergangszonen* zwischen Alpen und Vorländern (z.B. Thermenalpen) weisen eine ganz spezifische Habitatausstattung auf, weshalb sie als eigene Einheiten behandelt wurden, wobei diese mit Ausnahme des Klagenfurter Beckens in der hier gezeigten Karte jedoch nicht dargestellt sind. Hierbei sind v.a. die Thermenalpen sowie die Mannhartsberglinie sehr artenreich, die inneralpinen Bereiche sind jedoch aufgrund des hohen menschlichen Nutzungsdrucks schon recht verarmt (SAUBERER und GRABHERR 1995, SAUBERER schriftlich, FINK 1993, NIKLFELD 1993).

Auch diese Gliederung orientierte sich an dem gewohnten großräumigen Schema der Naturräume, wobei vereinfachend die Zwischenalpen nicht gesondert ausgewiesen wurden, sondern zum überwiegenden Teil den Zentralalpen zugewiesen wurden. Eine genauere Differenzierung als bei den meisten anderen Gliederungen erfolgte hingegen bezüglich des als eigener Naturraum ausgewiesenen Klagenfurter Beckens, sowie der zahlreichen, in der Karte nicht ersichtlichen großen Flusstäler, der inneralpinen Täler und Becken, sowie der Übergangszonen.

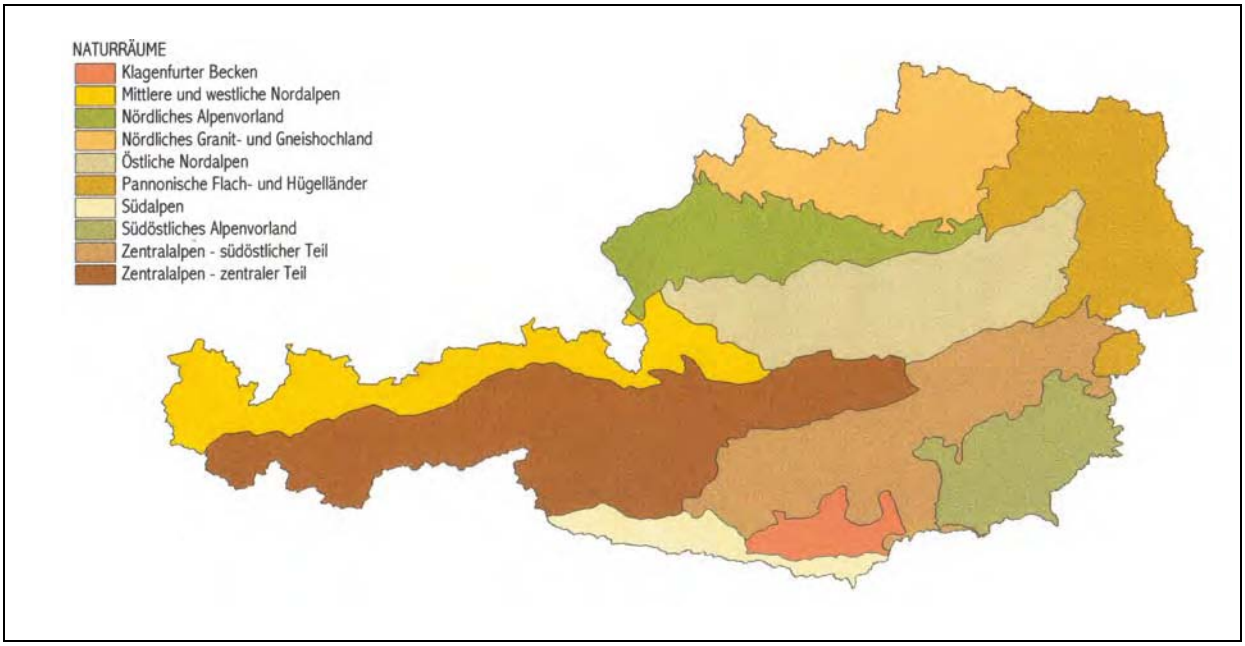


Abb. 2.7: Naturräumliche Einheiten zur Ausweisung von Natura 2000-Gebieten (SAUBERER ET AL. 1995) Quelle: Institut für Pflanzenphysiologie / Universität Wien

2.2.7 DMEER - Digital Map of European Ecological Regions (AUGUSTO und PAINHO 2000)

Die DMEER (siehe Abb. 2.8) wurde im Auftrag des ETC/NC (European Topic Center/Nature Conversation) von der Universität Lissabon (Institut für Statistik und Informationsmanagement; PAINHO) bearbeitet. Das erklärte Ziel der Karte war es, das biogeographische Wissen verschiedener europäischer Experten zu vereinigen. Sie dient als Bearbeitungsrahmen für Biodiversitätsuntersuchungen bezüglich Flora- und Faunahabitaten, wobei die hier erzeugten ökologischen Regionen ein ähnliches Potential aufgrund homogener ökologischer Bedingungen aufweisen sollten. Weiters stellt diese Karte einen Konsens zwischen dem ETC/NC als Teil der EEA (European Environment Agency) und dem WWF (Worldwide Fund for Nature) dar. Somit verfolgte diese Karte v.a. den biogeographischen Ansatz.

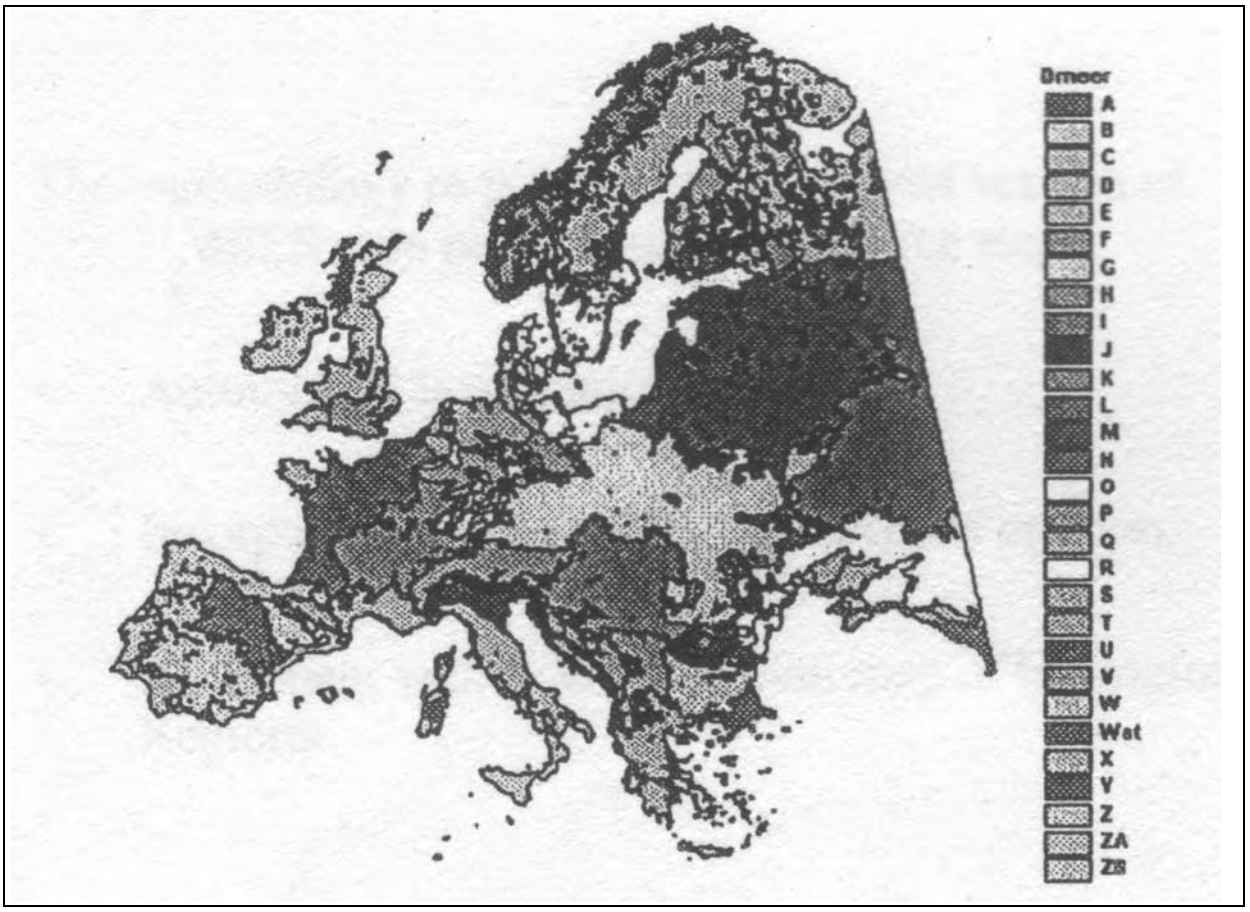


Abb. 2.8: Digital Map of European Ecological Regions (AUGUSTO und PAINHO 2000)

Im ersten Schritt wurde eine automatische Klassifikation mittels Clusteranalyse durchgeführt. Hierbei wurde die ITE-Karte (Institute of Terrestrial Ecology) von Europa, welche Klimaklassen aufgrund von Lufttemperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Wasserdampfdruck, Wind, Frost, Niederschlagshäufigkeiten von 1961 – 1990 beinhaltet, mit der Karte der Potentiell Natürlichen Vegetation Europas (1:2,5 Mio.) des BfN (Bundesamt für Naturschutz/Bonn) verschnitten. Die Karte der PNV Europas ist das Ergebnis der Forschungstätigkeit von 102 Wissenschaftlern aus 31 Ländern, und wurde im Zeitraum 1979 – 2000 erstellt. Sie wurde aufgrund des einheimischen Pflanzenartenbestandes, klimatischer Gegebenheiten (Temperatur, Niederschläge und deren jahreszeitliche Verteilung) und der Bodenbedingungen (Struktur und Textur, Wasserhaushalt, Nährstoffangebot) angefertigt. Die Ermittlung der PNV fußte im Wesentlichen auf erhalten gebliebene Restbestände der natürlichen und naturnahen Ökosysteme und deren Korrelation mit bestimmten Standortbedingungen wie Wärme-, Nährstoff- und Wasserhaushalt. Durch Verschneidung dieser beiden Polygon-Cover entstanden 16158 Polygone mit jeweils zwei Attributen (potentielle Vegetation, Klimatypen). Es folgte eine hierarchische Clusteranalyse mit einer Lance und Williams Distanz-Matrix und dem ungewichteten arithmetischen Mittel als Cluster-Methode. Um verschiedene Aggregationsniveaus zu erhalten, wurde das Dendrogramm an 6 verschiedenen Stellen abgeschnitten. Für jedes dieser 6 Ergebnisse (Klassenzahl zwischen 40 und 153) wurde nun eine eigene Karte erzeugt und zur weiteren Bearbeitung biogeographischen Experten übergeben.

Im zweiten Schritt erfolgte die Bearbeitung durch die EEA ETC/NC Experten. Die untereinander abgestimmten Biogeographen entschieden nun anhand dieser 6 Karten für jede Region gesondert, welches Aggregationsniveau die ökologische Charakteristik des jeweiligen Gebietes am besten widerspiegelt. Teilweise zeigte das Clusterergebnis nicht die gewünschte räumliche Verteilung, so dass die Experten hier (v.a. in Südeuropa) anhand der Karte der PNV klassifizierten. Anschließend wurden im Expertenergebnis Polygone mit gleicher Klassennummer miteinander verschmolzen. Zuletzt wurden die Öko-Regionen-Karte des WWF und die DMEER aufeinander abgestimmt. Das Endprodukt enthält nun 69 Öko-Regionen in 28 Klassen, wobei auch, je nach Aggregationsniveau, 46 bis 183 Region ausgeschieden werden können (BFN 2000, AUGUSTO und PAINHO 2000, OSTERMANN 2000, HOWARD schriftlich).

Die DMEER stellt eine Verschmelzung von Clusteranalyse und Expertenmeinung dar und kann daher, bei gleichzeitiger statistischer Analyse, auf die jeweiligen regionalen Besonderheiten eingehen. Da die Karte für ganz Europa erstellt wurde, ist sie natürlich nur sehr grob und für genauere Fragestellungen innerhalb Österreichs nicht wirklich geeignet (innerhalb von Österreich liegen nur 3 Polygone). Die Verschneidung einer PNV-Karte, welche zu einem guten Teil auf Klimawerten basiert, mit einer klimatischen Karte kann jedoch hinterfragt werden.

2.2.8 Landwirtschaftliche Kleinproduktionsgebiete Österreichs (SCHWACKHÖFER 1966)

Ziel dieser Einteilung (siehe Abb. 2.9 (umfasst nur die Hauptproduktionsgebiete)), welche die verwaltungspolitische Gliederung ersetzen sollte, war eine Gliederung der über das Land verteilten landwirtschaftlichen Produktion in natürliche Raumeinheiten. Diese sollten Räume mit ähnlichen natürlichen, wirtschaftlichen und agrarstrukturellen Produktionsbedingungen darstellen. Dadurch sollte u.a. die Wirksamkeit der Landwirtschaftsförderung verbessert werden, die Aussagekraft der allgemeinen Agrarstatistik erhöht werden und die Auswahl gebietscharakteristischer “landwirtschaftlicher Vergleichsgebiete” erleichtert werden. Diese Gliederung kann aufgrund ihrer starken wirtschaftlichen Ausrichtung eigentlich kaum einem der Ansätze, am ehesten noch dem landschaftsökologischen bzw. geomorphologischen Ansatz, zugeordnet werden.
Die Gliederungsmethodik ging von der Landesnatur aus, welche sich aus Geländeform (Morphologie und Seehöhe), Klima (Jahresdurchschnittstemperatur bzw. 14h-Temperatur, Jahresniederschlag), Boden (Bodentyp) und Geologie ergab. In weiterer Folge wurden zur Abgrenzung und Charakterisierung der Gebiete dann wirtschaftliche Produktionsbedingungen (Besiedelung und Verkehrslage), Betriebsformen, Betriebsgrößen, Erwerbsarten, Bodennutzung und Form der Viehhaltung herangezogen. Die Grenzziehung musste aufgrund der statistischen Unterlagen vielfach entlang der Grenzen der Ortsgemeinden erfolgen, wobei manche, v.a. alpine Gemeinden auch auf mehrere Produktionsgebiete aufgeteilt werden konnten.

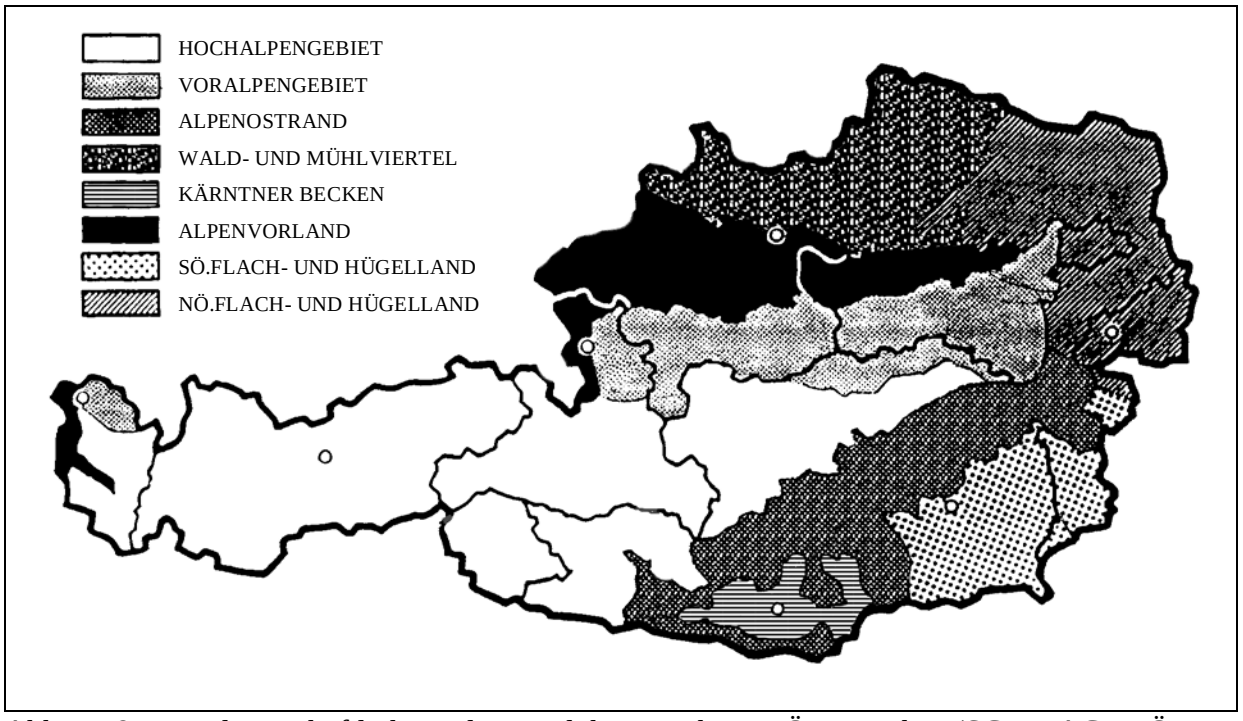


Abb. 2.9: Landwirtschaftliche Kleinproduktionsgebiete Österreichs (SCHWACKHÖFER 1966) Quelle: NAGL 1995

Bei der hier vorliegenden Raumgliederung wurde die ursprüngliche Gliederung von STEDEN und SCHMITTNER (1951) auf 8 Hauptproduktionsgebiete und 94 Kleinproduktionsgebiete abgeändert. Diese sind das Ergebnis der geographisch-betriebswirtschaftliche-sozialökonomischen Regionaluntersuchungen des Argrarwirtschaftlichen Instituts der Hochschule für Bodenkultur, der Land- und forstwirtschaftlichen Landes-Buchführungsgesellschaft, des Agrarwirtschaftlichen Instituts des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft und den Landwirtschaftskammern. Dabei wurden die Hauptproduktionsgebiete *Hochalpen*, *Voralpen*, *Alpenostrand*, *Wald- und Mühlviertel*, *Kärntner Becken*, *Alpenvorland*, *Südöstliches Flach- und Hügelland* und *Nordöstliches Flach- und Hügelland* ausgeschieden (SCHWACKHÖFER 1966).

Diese Raumgliederung zeigt im außeralpinen Bereich, welcher auch das Rheintal umfasst, eine weitgehende Übereinstimmung mit den meisten anderen Gliederungen. Innerhalb der Alpen wird jedoch nur sehr grob zwischen *Alpenostrand*, welcher auch die Karawanken umfasst und am ehesten den Zwischenalpen von WAGNER (1971) entspricht, den *Voralpen*, welche im Wesentlichen den östlichen Nordalpen bis zum Nordalpen-Hauptkamm bei SAUBERER ET AL. (1995) entsprechen, sowie den *Hochalpen* unterschieden.

2.2.9 Klimatypenkarte (BOBEK ET AL. 1971)

Diese klimatologische Karte (siehe Abb. 2.10) findet hier Erwähnung, da sie von zahlreichen Autoren (BOBEK, KILIAN und NOVAK) als wichtige Grundlage für die klimatische Gliederungskomponente verwendet wurde, wobei auch MAYER (1974) die Übereinstimmung der Klimakarte mit der Wuchsgebietsgliederung hervorhob. Aus der Kombination der Klimaparameter „Niederschlagsjahressumme“, „Zahl der Tage mit >1mm Niederschlag“, „Temperaturmittel im Jänner“ und „Temperaturmittel im Juli“ ergaben sich 73 Klimafacetten, welche zu 33 Klimabereichen bzw. zu den 6 Klimatypen *Oberdeutscher-*, *Pannonischer-*, *Illyrischer-*, *Submediterran beeinflusster-*, *Subalpiner-* und *Alpiner Klimatyp* zusammengefasst wurden (ZWITTKOVITS 1983).

Diese Klimakarte wurde von NAGL (1983) als einzige echte synthetische Klimakarte angesehen und auch KIRCHMEIR (in GRABHERR ET AL. 1998) bezeichnet diese Karte als beste flächendeckende Klima-Datenquelle. Entscheidender Fortschritt dieser Karte ist nach NAGL (1983) z.B. die hier erstmals zu erkennende Trennung des alpin geprägten Mühlviertels und des pannonisch geprägten Waldviertels, noch immer mangelhaft ist u.a. die Ausweisung alpiner Trockengebiete. Dies war aufgrund des Datensatzes, v.a. aber aufgrund der diesbezüglich geringen Aussagekraft der „Zahl der Niederschlagstage mit > 1mm“, hier nicht möglich.

NAGL (1983) führte diese Klimatypisierung noch weiter, indem er als zusätzliche Parameter die „Strahlungsverhältnisse“, „hygrische und thermische Kontinentalität“ sowie „tägliche Temperaturschwankungen“ heranzog, die „Tage mit > 1 mm Niederschlag“ ersetzte er durch die aussagekräftigere „Häufigkeit und Andauer von Trockenperioden > 10 Tage“. So ergaben sich ein *Alpiner-*, *Atlantischer-*, *Pannonischer– und Illyrischer Klimabereich.* NAGL fasste weiters Wasserbilanztypen zusammen, wobei er großes Gewicht auf die für die Vegetation wichtigen lokalen und temporären Wasserrücklagen (Grund-, Bodenwasser, Schnee, Eis) legte.

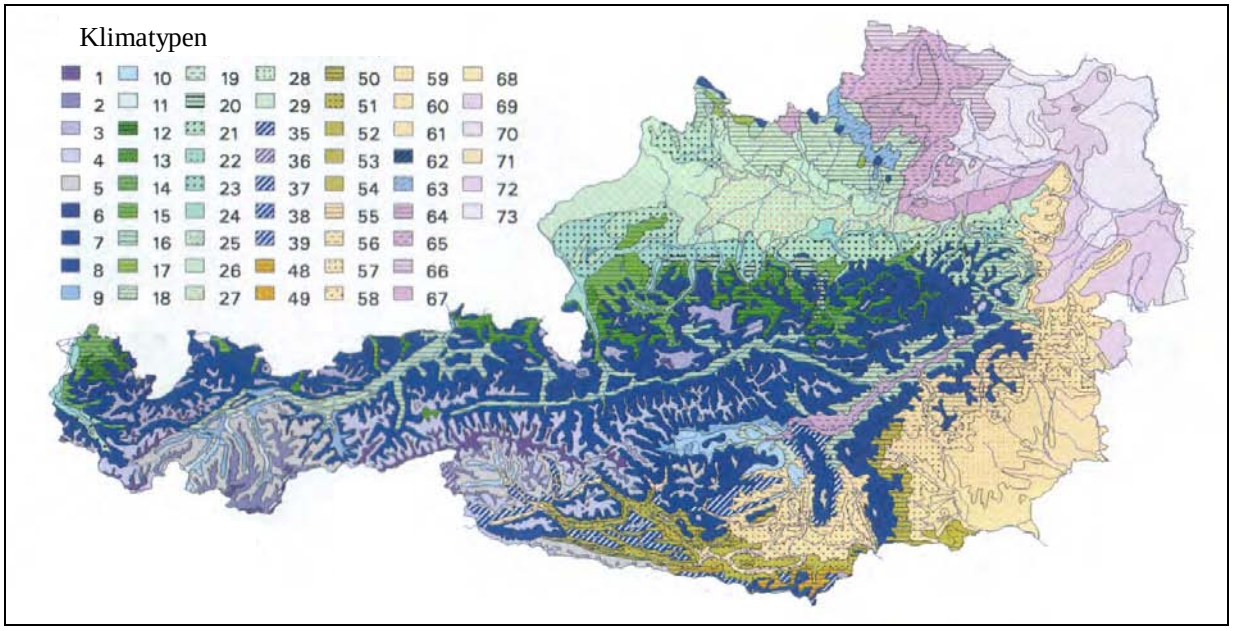


Abb. 2.10: Klimatypenkarte (BOBEK ET AL. 1971) Quelle: GRABHERR ET AL. 1998

3 Naturraumgliederung aufgrund klimatischer und edaphischer Rahmenbedingungen terrestrischer Ökosysteme

3.1 Ökosysteme

Unter einem Ökosystem versteht man ganz allgemein das Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt. Ökosysteme sind offene Systeme, das heißt, dass äußere Einflüsse auf sie einwirken und sie keine scharfen Grenzen besitzen. Ökosystemen sind selbstregulierend und besitzen ein dynamisches Gleichgewicht (s.u.), welches auch dann besteht, wenn sich im Augenblick keine sichtbaren Veränderungen zeigen. Jedes Ökosystem besitzt ganz bestimmte Eigenschaften und kann in bezug auf Funktion und Leistung typisiert und klassifiziert werden. Maßzahlen, die Ökosysteme charakterisieren, wären die Netto-Primärproduktion, die Biomasse, die Artendiversität oder die Zahl der standortfremden Spezies, wobei sich diese Werte zeitlich ändern und so auch die Sukzession kennzeichnen. Innerhalb eines Ökosystems bestehen fördernde und hemmende biotische Einflüsse zwischen den jeweiligen Organismen. So beeinflussen sich diese Organismen gegenseitig v.a. durch ihre Nahrungsbeziehungen, sie sind aber als Gruppe relativ unabhängig gegenüber anderen Organismengruppen.
Die Pflanzen- (Phytozönose) und Tiergemeinschaften (Zoozönose) eines Biotops verändern sich im Laufe der Zeit aufgrund von sich ändernden Umweltbedingungen, wobei sich die Entwicklung der Pflanzenbestände als Übergang von Gesellschaft zu Gesellschaft beschreiben lässt. Diese Sukzession strebt schließlich einer Endgesellschaft, der Klimaxgesellschaft zu, welche das Schlussglied einer natürlichen Vegetationsentwicklung darstellt (KNAUER 1981). Zur *primären Sukzession* kommt es aufgrund von sich andauernd verändernden Umweltbedingungen, wie Klimaschwankungen, bei denen es zur Verlagerung von Landschaftspotentialen kommen kann. Zur *sekundären Sukzession* kommt es, wenn sich die Umweltbedingungen katastrophenartig ändern, wie bei einem Bergsturz, oder wenn Faktoren andauernd wirksam sind, wie bei Lawinenbahnen (NAGL 1995).

Modellmäßig kann ein Ökosystem durch die folgenden Komponenten beschrieben werden, wobei jeweils nur eine Momentaufnahme wiedergegeben werden kann und sich viele Beziehungen zwischen den Komponenten im Laufe der Entwicklung verändern können:

- die Wachstumsfaktoren: Nährstoffe, Wasser, Sauerstoff, Kohlendioxid, Licht und Wärme
- die Raumstruktur und das Substrat als Lebensraum für Pflanzen und Tiere
- die Primärproduzenten: Autotrophe Lebewesen, die anorganische Stoffe durch das Überführen in organische Bindungen auf ein höheres Energieniveau heben. Dies vollführen grüne Pflanzen durch Photosynthese und verschiedene Mikroorganismen durch Chemosynthese

- die Konsumenten: Heterotrophe Lebewesen, die sich von organischen Nährstoffen ernähren, welche von Primärproduzenten stammen. Hier werden Herbivoren (= Pflanzenfresser) und Karnivoren (= Fleischfresser) unterschieden
- die Zersetzer: Sie bauen Abfälle von Pflanzen und Tieren ab. Hier werden Destruenten (setzen als Abfallfresser die organische Substanz um) und Reduzenten (üben biogeochemische Funktionen aus und sind als Mineralisierer tätig) unterschieden.

Die abiotische Umwelt (= abiotische Faktoren) setzt sich aus den Wachstumsfaktoren, der Raumstruktur und dem Substrat zusammen, wobei mitunter auch mechanische Faktoren als lokal bedeutsame Einzelmerkmale wie Wind (siehe Kapitel 4.4.2), Feuer, Wasser in bezug auf Erosion, oder Schnee (siehe Kapitel 4.4.4) dazu gerechnet werden. Die Wachstumsfaktoren sind ein wesentlicher Bestandteil aller Ökosysteme, wobei die Primärproduzenten die Strahlungsenergie aufnehmen, diese speichern und an die Konsumenten weitergeben. Das Substrat bildet meist der Boden, aus dem die Lebewesen meist auch die Nährstoffe beziehen. Wasser ist einerseits zur Aufrechterhaltung vieler Lebensvorgänge der Biozönose vonnöten, andererseits stellt es meist eine Verbindung zwischen verschiedenen Kompartimenten dar. Die Luft liefert das zur Atmung benötigte O_2 und das zur Assimilation benötigte CO_2. Die Raumstruktur des Mediums, in dem die Lebewesen angesiedelt sind, beeinflusst die Entwicklung der Pflanzen- und Tierwelt. Die biotische Umwelt wird in der Form von Konkurrenz und Koexistenz (siehe Kapitel 4.1) oder durch Verbiss und Tritt wirksam (KNAUER 1981, PFADENHAUER 1997).

Ökosysteme befinden sich in einem dynamischen Gleichgewicht und werden durch einen von außen zugeführten Energiestrom in Funktion gehalten. Aus diesem Energiefluss, welcher das Bindeglied zwischen allen Lebewesen des Systems darstellt, wird auf jeder neuen Stufe ein großer Anteil für die Lebensvorgänge der verschiedenen Lebewesen abgezweigt. Damit unterscheidet sich der Energiehaushalt deutlich vom Stoffhaushalt, der durch einen nahezu verlustlos geschlossenen Stoffkreislauf (Wärme-, Wasser-, Kohlenstoff-, Stickstoff-, und Mineralstoffkreislauf) gekennzeichnet ist. Die Dynamik eines Ökosystems spiegelt sich v.a. in der Struktur ihres Nahrungsnetzes wieder, wobei die Stabilität dieser Netze v.a. von der Vielfältigkeit der Wechselbeziehungen und Regulationsmechanismen zwischen den verschiedenen trophischen Stufen abhängt. Mit der Zahl der Arten steigt hierbei i.A.. die Zahl der stabilisierender Wechselwirkungen. Meist stellen sich Produzenten-Konsumenten-Verhältnisse ein, die für die Primärproduktion dieser Systeme keine Gefährdung mit sich bringen. So sorgen einfache Kontrollmechanismen dafür, dass die Populationen der verschiedenen Lebewesen nicht die für das System zulässigen Grenzen überschreiten. Der bedeutendste Rückkoppelungsmechanismus ist das Nahrungsangebot, welches sowohl die Stabilität, als auch die zeitlichen Veränderungen eines Ökosystems beeinflusst.
So wird der Zustand des gesamten Ökosystems und seine zeitliche Weiterentwicklung (vom Pioniersystem zum Klimaxsystem) durch die von außen in das System zufließenden Energien und Stoffen bzw. einwandernden Pflanzen und Tierarten, aber auch durch konkurrenzbedingte

verschobenen Anforderungen der einzelnen Teile des Ökosystems sowie den Möglichkeiten zur Befriedigung des veränderten Bedarfs, bestimmt. Stabile Ökosysteme kehren bei geringen und kurzfristigen (z.B. menschlichen) Eingriffen häufig wieder in den alten Zustand zurück. In Entwicklung zum Klimaxstadium befindliche Ökosysteme verändern sich in Abhängigkeit von der Stabilität der einzelnen Faktoren zu einem neuen Stabilitätsniveau. Vom Menschen künstlich erhaltene Systeme bleiben zunächst auf ihrem Niveau, nach Beendigung der Fremdregulation streben sie in Abhängigkeit vom Ausgangszustand dem neuen Niveau natürlicher Ökosysteme zu. Langfristige Eingriffe in solche Systeme haben auch langanhaltende und meist irreversible Veränderungen der betroffenen Ökosysteme zur Folge (KNAUER 1981).

3.2 Terrestrische Ökosysteme

Terrestrische Ökosysteme bilden zusammen mit marinen- (prägender Faktor: Salzwasser), limnischen- (Süßwasser), semiterrestrischen- (Nassboden und Luft) und urban-industriellen (Bauten) Ökosystemen die Gruppe der *Mega-Ökosysteme*. Diese Mega-Ökosysteme sind umfassende Einheiten, welche an vielen Stellen der Erde vorkommen und v.a. durch die Lebensmedien charakterisiert werden. *Makro-Ökosysteme* hingegen sind übergeordnete Einheiten, welche sich durch die Biomasse, die Produktivität der Primärproduzenten, die begrenzenden Faktoren für Produktivität und Biomasse, sowie regelmäßige Stoffgewinne oder –verluste voneinander unterscheiden (z.B. Wälder). Diese Makro-Ökosysteme können weiter in *Meso-Ökosysteme* (Ökosysteme im engeren Sinn) unterteilt werden, wobei hierfür weitere Umweltfaktoren berücksichtigt werden, wie z.B. die Temperatur, besondere Pflanzenarten-Gruppen bzw. die Tierwelt (KNAUER 1981). Es gibt jedoch kein einheitliches Schema zur Untergliederung von Ökosystemen in Teilsysteme, denn die Abgrenzung der einzelnen Partialsysteme hängt von jahreszeitlichen Bedingungen, der geographischen Ausdehnung und den unterschiedlichen Substraten ab (ELLENBERG 1973).
Terrestrische Ökosysteme beziehen sich auf das Lebensmedium durchlüfteter Boden. Hier ist die Höhe der Primärproduktion abhängig von der Länge der Vegetationszeit, der Wasser- und Nährstoffversorgung und der gebietstypischen oder anthropogen eingeführten Flora (KNAUER 1981). Die Produzenten werden in terrestrischen Ökosystemen von den höheren Pflanzen (Gefäßpflanzen, mit deutlicher Gliederung in Wurzel, Spross und Anhangsorgane) gebildet, wobei die niederen Pflanzen (Lagerpflanzen: Algen, Flechten, Moose, Farne, Pilze) nur eine untergeordnete Rolle spielen (WALTER 1983, SCHRITZ 1997).
Eine Untergliederung der terrestrischen Ökosysteme in *Makro-Ökosysteme* kann aufgrund verschiedener Vegetationsformen vorgenommen werden: Dichtgeschlossene Wälder, offene Wälder, Gebüsche, Zwergstrauchheiden, baumfähige Grasländer, baumfeindliche Grasländer, Trocken-Halbwüsten und Wüsten, Wüstenähnliche Ökosysteme, Kulturpflanzen-Bestände. *Meso-*

Ökosysteme sind innerhalb der dicht geschlossenen Wälder warm-humide immergrüne Wälder, kühl-humide frostfreie immergrüne Laubwälder, wechselwarme semihumide Hartlaubwälder, winterkalte-humide immergrüne Nadelwälder, trockenkahle Wälder, kältekahle Wälder und extrem xeromorphe Wälder (ELLENBERG 1973). *Mikro-Ökosysteme* sind schließlich jene Untereinheiten, die als typische Abweichungen auftreten, wie z.B. innerhalb der kältekahlen Wälder (=sommergrüne Wälder der gemäßigten Zone) die oft überfluteten, die selten überfluteten, die grundwassernahen usw. Wälder. Innerhalb der Mikro-Ökosysteme kann man schließlich noch *Nano-Ökosysteme* ausweisen, welche kleine Ökosysteme mit begrenzter Eigenständigkeit darstellen (KNAUER 1981).
Die einzelnen Komponenten terrestrischer Ökosysteme stellen sich am Beispiel des Laubwaldes der gemäßigten Zone, wie folgt dar: Die Hauptprimärproduzenten sind die Laubbäume, die Rolle der Konsumenten übernehmen Insekten und Säugetiere, v.a. große Huftiere und kleine Nagetiere, die Zersetzer werden von Pilzen, Bakterien, sowie größeren (z.B. Regenwürmer) und kleineren (z.B. Milben) Wirbellosen der Bodenfauna verkörpert (WALTER 1983).

3.3 Definition und Problematik der vorliegende Naturraummodellierung

Die hier vorliegende Modellierung soll nun eine Naturraumgliederung darstellen, die aufgrund einer Analyse der für die Fragestellung relevanten abiotischen Umwelt (s.o.) terrestrischer Ökosysteme vorgenommen wird, wobei das Entwicklungspotential des Waldwachstums eine besondere Berücksichtigung erfährt. Denn diese abiotische Umwelt, welche unter „4 Ökologische Faktoren für das Pflanzenwachstum“ genauer beschrieben wird, beeinflusst ja die natürliche Verbreitung und das Wachstum der Primärproduzenten, in diesem Fall die Waldvegetation. Von Standorten mit einigermaßen gleichartiger abiotischer Umwelt und folglich spezifischen, einigermaßen gleichartigen Entwicklungsbedingungen ist daher auch eine gleichartige (potentielle natürliche) Waldvegetation zu erwarten. Diese Standorte können daher zu einem Naturraum zusammengefasst werden. Biotische Faktoren können aufgrund des Modellansatzes, der Komplexität sowie des Maßstabes im Modell nicht berücksichtigt werden. Die durch die Modellierung gewonnenen Naturräume sollen also in etwa „terrestrischen Ökosystemen“ jener Klimaxstadien entsprechen, die sich im Sinne der PNV (siehe Kapitel 2.2.1) aufgrund der jetzigen abiotischen Umwelt einstellen würden. Von der Größenordnung her könnte man die Naturräume als Konglomerate ähnlicher „Mikro- bis Nano-Terrestrischer Ökosysteme“ bezeichnen. Der menschlicher Einfluss soll nur dann berücksichtigt werden, sofern dieser schon stattgefunden hat und dort zu nachhaltigen anthropogenen Standortveränderungen geführt hat (z.B. Veränderung des Wasserhaushaltes durch einen Dammbau).
Die Problematik bei der Modellierung von Naturräumen geht schon aus der Definition der Ökosysteme, ihrer Dynamik bzw. Sukzession und damit auch ihrer abiotischen Umwelt hervor

(s.o.), denn die Grenzen von Ökosystemen sind in zeitlicher und räumlicher Dimension unscharf. Da folglich Gleiches auch für die Naturräume gilt, können deren Grenzen räumlich stets nur repräsentativ für einen fließenden Übergang stehen. Auch die zeitliche Unschärfe dieser Grenzen kann nur unter der Annahme einer gleichbleibenden abiotischen Umwelt und einem Ausbleiben weiterer menschlicher Eingriffe im Sinne der PNV (siehe Kapitel 2.2.1) eliminiert werden. In Zeiträumen von einigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten verändern sich in der Realität jedoch die klimatischen und edaphischen Verhältnisse einerseits durch die natürliche Dynamik, andererseits auch durch anthropogen ausgelöste Prozesse. Daher finden Änderungen der abiotischen Umwelt bei einer realen Entwicklung bis zur Klimaxgesellschaft sehr wohl statt.

Da aber bei Weitem nicht alle Datensätze der abiotischen Umwelt österreichweit digital verfügbar (siehe Kapitel 5.2.3.2) bzw. für die Fragestellung von Belang sind (siehe Kapitel 4.1), beschränkt sich die abiotische Umwelt dieser Modellierung auf die wesentlichen und digital vorliegenden klimatischen und edaphischen Rahmenbedingungen.

Eine Problematik, die sich bei der digitalen, statistischen Naturraumgliederung in Form einer Clusteranalyse ergibt, ist die Tatsache, dass die einzelnen Faktoren nicht lokal unterschiedlich gewichtet werden können, wie dies bei auf Expertenwissen beruhenden Einteilungen der Fall ist.

4 Ökologische Faktoren für das Pflanzenwachstum (Standortfaktoren)

4.1 Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren und Pflanzengesellschaften

Definition: Standortfaktoren sind die im Ökosystem als Gesamtheit aller äußeren Lebensbedingungen für pflanzliche und tierische Organismen auftretende Bedingungen, wobei abiotische und biotische Faktoren (s.o.) unterschieden werden können (LESER ET AL. 1984).

Die Wachstumsfaktoren (Nährstoffe, Wasser, Sauerstoff, Kohlendioxid, Licht und Wärme) als Teil der abiotischen Umwelt sind der Pflanze in verschiedener Form zugänglich: Aus der direkten oder indirekten Sonnenstrahlung bezieht die Pflanze das Licht, Kohlendioxid und Sauerstoff entnimmt sie der Atmosphäre, die Wärme bezieht sie teils ebenfalls aus der Atmosphäre, teils aus der direkten Sonnenstrahlung, das Wasser und die Nährstoffe stammen zumeist aus dem Boden. Bei der hier vorliegenden Modellierung, sowie in der Pflanzengeographie generell, stellt sich nun die zentrale Frage, bei welcher dieser Komponenten relevante räumliche Unterschiede auftreten, die eine Differenzierung der Pflanzenausbreitung bewirken.
Komponenten, die kaum räumliche Unterschiede aufweisen, sind die relativ gleichmäßig verteilten Gase Kohlendioxid und Sauerstoff, weshalb sie in der Modellierung unberücksichtigt bleiben. Das Licht wird einerseits in den mittleren Breiten als *„für eine großräumige Vegetationsgliederung weitgehend ohne Belang“* (PFADENHAUER 1997) bezeichnet, es ist andererseits aber sehr wichtig für die Photosynthese und das Pflanzenwachstum, weshalb es bei der Modellierung indirekt durch die Sonnenscheindauer (als Maß für die Globalstrahlung) berücksichtigt wird. Der Gehalt an Mineralstoffen ist lokal sehr verschieden und geht über das Substrat ein. Wasser und Wärme sind v.a. reliefbedingt ungleichmäßig verteilt und werden durch die Klimafaktoren Niederschlag, Verdunstung, Temperatur, aber auch Sonnenscheindauer im Modell berücksichtigt. Hierbei weist das Wasser auch eine Substratkomponente (Bodenwasserhaushalt) auf. Da biotische Faktoren im Rahmen dieser Fragestellung nicht behandelt werden können (s.o.), beschränkt sich diese Modellierung nun auf die für die Fragestellung relevante abiotische Umwelt in der Form von klimatischen, edaphischen und darin integrierter Lage- (Relief-)Faktoren (SCHROEDER 1998, LARCHER 1994).

Auch nach NEBE (1992) gelten Klima und Boden, die durch das Relief modifiziert werden, als die entscheidenden Standortfaktoren, welche sich jeweils in dazugehörende Standortelemente aufspalten lassen (siehe Tab. 4.1). Der Geologie kommt hier nur die Rolle der Hintergrundvariablen zu, da sie die Voraussetzungen für spezifische Bodenbildungen und Relieftypen schafft.

Tab. 4.1: Standortfaktoren und Standortelemente nach NEBE (1992)

Standortfaktoren	Klima	Boden	Lage
Standortelemente	Strahlung	bodenphysikalische	Höhenlage
	Niederschlag	bodenchemische	Hanglage
	Temperatur	bodenbiologische Parameter	Oberflächenform

Die Standortelemente beeinflussen in ihrer Gesamtheit das Leben von Pflanzen und Pflanzengesellschaften. Das heißt, dass nicht die Einzelparameter, sondern v.a. die Kombination der Standortelemente ökologisch ausschlaggebend sind. Diese stehen mit einer bestimmten Lokalität in einem gesetzmäßigen Zusammenhang und wirken andauernd auf die Pflanzen ein. Das Pflanzenwachstum wird primär von jenem Faktor limitiert, welcher in der ungünstigsten Dosierung auftritt. Dies kann in der Form von Überschuss oder Mangel eines oder mehrerer Standortfaktoren stattfinden, wodurch Stress (siehe Kapitel 4.4.3, 4.4.4) für die Pflanzen verursacht wird. Die Fähigkeit der Pflanze bestimmten Stresssituationen wirksam zu begegnen, ohne selbst geschädigt zu werden, ist daher für deren Verbreitung von großer Bedeutung. Es können auch weitere, schwächere Mangelfaktoren die Wirkungsweise des Hauptmangelfaktors beeinflussen. Es ist auch möglich, dass es zu einer Kompensation zwischen Klima- und Bodenfaktoren kommt. Wichtige Standortelemente, die das Waldwachstum begrenzen sind niedrige Temperaturen, geringe Wasserversorgung, Nährstoffmangel und neuerdings Immissionsbelastungen. Die integrierte Wirkung der Standortelemente auf das Pflanzenwachstum wird häufig am Ertrag gemessen, wobei bei der Dosierung bestimmter Standortelemente (Wasser, Wärme, Licht oder Nährstoffe) ein zeitlicher Gang zu beobachten ist (PFADENHAUER 1997, NEBE 1992).

Für ihr Gedeihen verlangt nun jede Pflanzenart eine abgestimmte Dosierung der einzelnen Standortelemente, wobei die Entwicklung der Pflanze umso besser verläuft, je näher die Standortelemente an dieses ökologische Optimum herankommen. Dieses schließt im Gegensatz zum physiologischen Optimum auch die Konkurrenz anderer Pflanzen (s.u.) mit ein. Das ökologische Optimum kann als Maximum der Häufigkeitsverteilung des Auftretens einer Pflanzenart entlang eines ökologischen Gradienten (z.B. pH-Wert) angesehen werden (ELLENBERG ET AL. 1991). Diese Häufigkeitsverteilung folgt meist der Gauß`schen Verteilung, sie kann aber auch schief, bimodal oder irregulär sein.
Umgekehrt sind auch für jeden natürlichen Standort einige Pflanzenarten typisch, welche der abiotischen Ausstattung des Standortes am besten angepasst sind und diese Standortfaktoren durch ihr Auftreten widerspiegeln. Auf dieser Überlegung fußt das Konzept der Zeigerpflanzen. Die Zeigerwerte (z.B. ELLENBERG ET AL. 1991) stellen ein numerisches Zeigerwertsystem dar, welches durch seine klar definierten Skalen eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse einer ökologischen Standortcharakterisierung zulässt. Das System ELLENBERGs wird auch in abgewandelter Form von der ÖWBZI (Österreichischen Waldbodenzustandsinventur) verwendet, wobei numerische „ökologische Zeigerwerte“ wie Lichtzahl, Temperaturzahl, Kon-

tinentalitätszahl, Feuchtezahl, Reaktionszahl (pH-Wert) bzw. Stickstoffzahl auf einer Skala von meist 0 - 8 dargestellt werden (NEBE 1992, PFADENHAUER 1997, FBVA 1992).

Für das Vorkommen einer Pflanze spielt neben der Bewältigung von Stresssituationen auch der Konkurrenzdruck auf die Standortfaktoren eine wichtige Rolle. *„Konkurrenz ist eine Wechselbeziehung zwischen Individuen, die sich aus einem gemeinsamen Anspruch auf eine begrenzte Ressource ergibt, und die zu einer Beeinträchtigung des Überlebens, des Wachstums und/oder der Vermehrung der beteiligten Individuen führt“* (BEGON ET AL. 1998).
Konkurrenz kann intraspezifisch, also zwischen Individuen der selben Art innerhalb einer Population, oder interspezifisch, also zwischen Individuen verschiedener Arten, stattfinden. Intraspezifische Konkurrenz fördert die Fitness konkurrenzstarker Individuen und ist für dichteabhängige Regelungen des Populationswachstums verantwortlich. Interspezifische Konkurrenz führt zur Verdrängung der konkurrenzschwächeren durch die konkurrenzstärkere Art, außer sie können nach dem Konkurrenzausschlussprinzip durch eine Nischendifferenzierung (s.u.) koexistieren.
Dadurch ist das ökologische Optimum nicht nur von den Standortelementen, sondern auch von der Konkurrenzkraft der Mitbewerbern sowie jener der Art selbst abhängig. So haben schwachwüchsige (konkurrenzschwache) Arten vielfach eine breite physiologische Valenz, wodurch sie an Standorten wachsen können, welche anspruchsvollere (konkurrenzstärkere) Arten nicht mehr besiedeln können. So wächst z.B. die *Waldföhre* ebenso wie die meisten anderen Baumarten auf mittleren Standorten (zwischen trocken und nass) am besten, wird aber von schnell wachsenden Laubhölzern wie Buche und Eiche auf weniger günstige Randbereiche verdrängt. Sie ist jedoch sehr gut physiologisch an Extrembedingungen angepasst, da sie Trockenheit (durch nadelförmige Blätter und Transpirationsschutz) und Nässe, sowie extrem basische und saure Böden toleriert, so dass sie sich in diesen Bereichen gut behaupten kann.
Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Pflanzenverteilung ist auch die Fähigkeit zur Koexistenz, dem Zusammenleben von verschiedenen Arten an einem Ort bei partieller Konkurrenzfreiheit. Diese kann einerseits als „positive Interaktion“, einer wechselseitigen Förderung der Arten untereinander und andererseits als „Nischendifferenzierung“ in Form von unterschiedlichen Positionen der Arten in Stoffkreisläufen, Pflanzenbeständen, im Blührhythmus oder in zeitlichen Prozessen auftreten (PFADENHAUER 1997).

4.2 Die Lage-Faktoren

4.2.1 Die Lage im Großraum

Die Lange im Großraum des Standortes wird v.a. durch die geographischen Koordinaten festgelegt, welche die Periodizität der Sonnenscheindauer im Jahres- und Tagesgang bestimmen, wobei diese Größe aufgrund der geringen Ausdehnung Österreichs vernachlässigt werden kann. Größere Bedeutung für Österreich hat hingegen die Lage zum Meer, da durch die vom Meer kommenden gemäßigten Westwinde, bzw. teilweise auch Südwinde, einige Gebiete unter den Einfluss des ozeanischen Klimas geraten, wobei die windzugewandten Luvseiten von Erhebungen stärker betroffen sind (siehe Kapitel 4.4.4).
Ozeanische Klimate besitzen eine geringe Variabilität von Niederschlag und Temperatur, hohe Niederschlagssummen und Luftfeuchte, starke Bewölkung, hohe Windgeschwindigkeiten, staubarme Luft sowie eine längere Herbst- und Frühlingsphase. Die Temperaturkurven weisen Verzögerungen gegenüber dem Sonnenstand auf. Dies wirkt sich einerseits direkt auf die Baumartenzusammensetzung aus (häufiger Buchenstandort), andererseits indirekt, da es in ozeanischen Klima durch die verminderte Evapotranspiration leichter zu einer Auswaschung der Silikatböden kommt.
Das kontinentale Klima ist von einer größeren jährlichen und täglichen Temperaturamplitude, geringerer mittlerer Windstärke, kürzeren Übergangsjahreszeiten, trockenerer Luft mit größeren Staubanteilen und Wolkenarmut, und somit großen Ein- und Ausstrahlungsunterschieden, geprägt. Die Winterkälte verursacht hier viel häufiger Ruhepausen der Vegetation als im ozeanischen Klima. Durch das gehäufte Auftreten von Spät- und Frühfrösten kommt es im kontinentalen Klimabereichen zum Fehlen der frostempfindlichen Buche und zu einer Vorherrschaft der Eiche in der kollinen Stufe (NEBE 1992, TUHKANEN 1980, PFADENHAUER 1997).
Die Kontinentalität ist daher eine komplexe, schwierig zu erfassende Größe, welche sich aber in eine thermische und hygrische Komponente aufspalten lässt: Als thermisches Kontinentalitätsmaß dient i.A.. die jährliche Temperaturamplitude (Differenz zwischen wärmsten und kältesten Monatsmittel, bzw. zwischen mittlerer jährlicher Maximum- und Minimumtemperatur). Von den vielen thermischen Kontinentalitätsindizes (C) sei hier der häufig verwendete Index von CONRAD (1946) (1) erwähnt (A = jährliche Temperaturamplitude, Φ = geographische Breite):

$$C = (1{,}7*A/\sin(\Phi+10°))-14 \qquad (1)$$

Für die hygrische Kontinentalität wird häufig der Index von GAMS verwendet, welcher speziell für die Alpen entwickelt wurde und als Maßeinheit die Stärke der Niederschlagszunahme mit der Höhe aufweist (je stärker die Niederschlagszuname mit der Höhe, desto ozeanischer):

$$\text{Cotang } C = NS/h \quad (2)$$

h = Höhe über Meeresniveau
NS = Jahresniederschlag

Der Kontinentalitätsindex C in (2) ist daher ein Winkel, wobei die Kontinentalität mit wachsendem C ansteigt. GAMS gibt einige Winkelwerte als Vegetationsgrenzen an (z.B. 45° als Grenze zwischen niederschlagsreichem Buchenklima und niederschlagsärmerem Zirbenklima) (GAMS 1931, TUHKANEN 1980). KIENAST und ZIMMERMANN 1999 verbesserten diesen Index, so (3) dass er unter Klimaänderungsszenarien verwendet werden kann:

$$SHSUB = 100*((T_o - T_a)/GT) \quad (3)$$

SHSUB = Substituierte Seehöhe
To = Jahresmitteltemperatur auf Meereshöhe
Ta = Jahresmitteltemperatur am Standort
GT = Höhengradient für Temperaturmittel

Weiters existieren noch Indizes, welche versuchen die thermische und hygrische Kontinentalität zu vereinigen, (z.B. KOTILAINEN 1933) wobei diese aufgrund der Komplexität der Kontinentalität eher problematisch sind (TUHKANEN 1980, KRAMER 1988).

Aus der Kombination der thermischen mit der hygrischen Kontinentalität ergeben sich nun nach NAGL (1993) 4 Möglichkeiten mit folgendem Verbreitungsgebiet in Österreich: *Thermische* und *hygrische Kontinentalität* (Ötztaler Alpen, zentrales Weinviertel), *thermische* und *hygrische Ozeanität* (nördliche Kalkvoralpen), *thermische Kontinentalität, hygrische Ozeanität* (Wiener Becken, Weinviertel) und *thermische Ozeanität* und *hygrische Kontinentalität* (östliche Zentralalpen, Teile des Waldviertels). Die thermische Kontinentalität in den Ötztalern sowie die hygrische Kontinentalität im Weinviertel konnte jedoch vom hier vorliegenden Kartenmaterial nur bedingt bis gar nicht bestätigt werden (siehe Kapitel 5.1.2.3 und 5.1.2.8, vergl. 6.5.9 Variante KE6).

4.2.2 Die örtliche Lage

4.2.2.1 Die Höhenlage

Für die Höhenlage eines Standortes, welche durch die Seehöhe über dem Meeresspiegel bestimmt wird, ist die Bestimmungsgröße das Makrorelief (Ausdehnungen im 100er- bzw. 1000er-Meterbereich), wobei relative Höhenangaben auch von Bedeutung sein können. Mit zunehmender Seehöhe verändern sich nahezu alle ökologisch wichtigen Klimaparameter (NEBE 1992). Es kommt unter anderem zur Abnahme der Luft- und Bodentemperatur, der Sommertage (Höchsttemperatur <25°C), der Luftfeuchtigkeit sowie der Tage mit trockenen

Boden und (meist) zur Zunahme des Niederschlags, der Schneefalltage, der maximalen Schneehöhe, der Schneedeckendauer, der Frosttage, der Strahlungsintensität bei voller Besonnung, der Windstärke und –häufigkeit (siehe Abb. 4.1) (LARCHER 1994, NEBE 1992, TURNER 1993). Die Jahresmitteltemperatur nimmt ca. um 0,65°C/100 m ab, wobei es in steil aufragenden Gebirgszügen oder an Einzelbergen zu einer schnelleren Temperaturabnahme als in massigen Gebirgen kommt. In den humiden Gebieten Mitteleuropas steigen mit der Höhe meist auch die Niederschläge mit rund 50 bis 120 mm /100 m an (FLEMMING 1994).

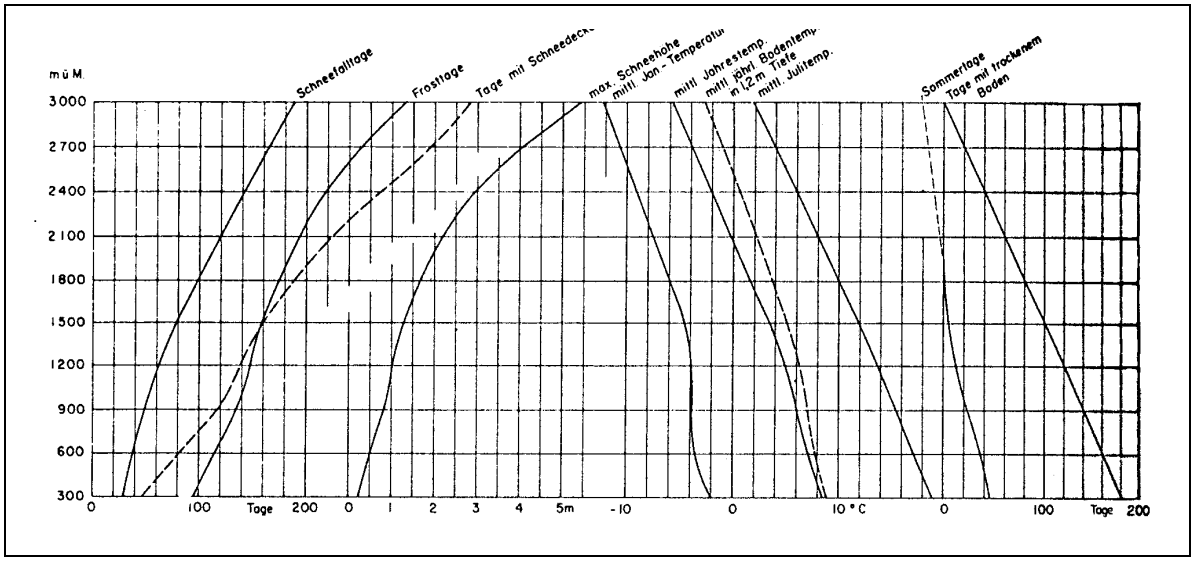


Abb. 4.1: Seehöhenabhängigkeit ökologisch wichtiger Klimaparameter nach TURNER (1993)

Diese höhenbedingten Veränderungen von Temperatur und Niederschlag bewirken nun Klima- oder Höhenstufen, welche auch durch eine vertikale Abfolge natürlicher Waldgesellschaften repräsentiert werden können. Für die Gebirge Mitteleuropas gilt hierbei, dass die Höhenstufengliederung der Vegetation stärker durch die Temperaturverhältnisse bestimmt werden, so dass besonders in Kammlagen die Unterschiede im Wasser- und Nährstoffhaushalt kaum mehr differenzierend zur Geltung kommen. Die Abgrenzungsmerkmale für die Höhenstufen bilden meist Seehöhe, Temperatur- und Niederschlagswerte (NEBE 1992).
In Österreich hat sich eine alpine Höhenstufengliederung durchgesetzt, in der die Höhenstufen nach klimatisch-pflanzensoziologischen Gesichtspunkten und nicht nach bestimmten Seehöhenwerten definiert werden. KILIAN ET AL. (1994) geben für jedes Wuchsgebiet eine eigene Höhenbegrenzung der Höhenstufen an, diese Höhenangaben sind jedoch nur Rahmenwerte für die Schwankungsbreite der Grenzen. In allen Berglagen findet man einander entsprechende Höhenstufen, jedoch kommt es je nach Wuchsgebiet zu einer unterschiedlichen spezifischen Ausbildung.

Die Höhenstufen sind durch spezifische Leitgesellschaften charakterisiert:

- *Planare Stufe*: Tiefland; artenreiche Laubwälder, v.a. Buche und buchenreicher Eichenwald
- *Kolline Stufe:* Hügellandstufe; Eichen-Hainbuchen- u. Eichenwälder; je nach Klimabereich unterschiedliche Waldgesellschaften
- *Submontane Stufe:* Übergang von kolliner zu tiefmontaner Stufe, daher sind beide Vegetationsformen gemischt: Buche, Hainbuchen, Eichen
- *Tiefmontane Stufe:* Hier liegt das Optimum der Buche, beigemischt sind Tanne, Rotföhre
- *Mittelmontane Stufe:* v.a. Fichte, sonst: Tanne, Buche
- *Hochmontane Stufe*: v.a. Buche, die regional je nach Kalk- bzw. Silikatgehalt unterschiedlich stark auftritt; weiters: Fichte und Tanne
- *Tief-Subalpine Stufe:* v.a. Fichten, beigemischt sind Lärche, Zirbe
- *Hoch-Subalpine Stufe:* Zirbe, Lärche, Latsche (Grünerle), durch Almwirtschaft verändert

Montane Stufen: In dieser Berglandstufe gibt es unterschiedliche Ausprägungen, ob außeralpin, randalpin (Laubwald), zwischenalpin (Fichte-Tanne) oder inneralpin (Fichte). Die Grenze zu Subalpin wird durch die Obergrenze von Buche und Tanne gebildet (KILIAN ET AL. 1994, NIKLFELD 1993, PFADENHAUER 1997, WAGNER 1989).

4.2.2.2 Die Hanglage und die Geländeform

Für die Hanglage, welche die wesentliche Einflussgröße des Geländeklimas darstellt, ist das Mesorelief (Längsausstreckung > 50 m, Höhendifferenz > 5 m) die Bestimmungsgröße. Aus ökologischer Sicht sind hier Exposition und Inklination von Bedeutung, da diese die lokalen Abwandlungen des Regionalklimas bezüglich Wasser- und Wärmehaushalt bewirken. Diese reliefbedingten Klimaabwandlungen werden wiederum durch die differenzierte Wirkung der richtungsabhängigen Klimafaktoren Wind, Niederschlag und Sonnenstrahlung (siehe Kapitel 4.4.1, 4.4.3) hervorgerufen.
Bei der Angabe der Geländeform ist entscheidend, ob sich diese dem Mikro-, Meso- oder Makrorelief zuordnen lässt, wobei das Mikrorelief für diese Naturraumgliederung zu vernachlässigen ist. Die Geländeform übt folgenden Einfluss auf das Mesoklima aus:
Hänge sind vielfach begünstigte Standorte, da sie über den in der Nacht entstehenden Kaltluftseen liegen, dem Wind aber nicht so ausgesetzt sind, wie die Kuppen. Je größer die Hangneigung, desto stärker sind die expositionsbedingten Klimaabwandlungen, wobei die Modifizierung des Strahlungsklimas (siehe Kapitel 4.4.1) durch die Hanglage im Winter wesentlich stärker ist als im Sommer. In Mitteleuropa sind W- bis NW-exponierten Hänge aufgrund der Dominanz der regenbringenden Westwinde niederschlagsbegünstigt, ostexponierte Hänge erhalten am wenigsten Niederschlag. Diese expositionsbedingte Niederschlagsdifferenzierung ist in trockenen Gebieten v.a. auf Steilhängen besonders stark ausgeprägt (JUNGHANS 1967).

Reliefbedingte Klimamodifikationen prägen sich besonders stark in Tallagen aus. Die Kaltluftbildung in Tälern mit geringem Gefälle bewirkt oft sehr tiefe nächtlichen Temperaturen (siehe Kapitel 4.4.3), wobei in weiten Tälern die hohe Sonneneinstrahlung am Tag eine große tägliche Temperaturamplitude bewirken kann. Enge Täler, Täler mit stärkerem Gefälle und Standorte in konkave Hohlformen (Mulden, Gräben, Schluchten) weisen hingegen häufig feuchte, kühlere und strahlungsärmere Verhältnisse auf und besitzen ein gleichmäßigeres Klima. Ost-West verlaufenden Täler können durch den Föhn zeitweise wärmebegünstigt sein.
Konvexe Vollformen (Kuppen, Kämmen, Oberhängen) sind stärker durch Wind und Strahlung beeinflusst und daher durch erhöhte Verdunstung trockenere Standorte. In klaren, windruhigen Nächten kann es infolge der erhöhten Ausstrahlung zu einem starken Temperaturrückgang kommen, Kuppen in tieferen Lagen können jedoch durch das Abfließen der Kaltluft wärmebegünstigt sein (siehe Kapitel 4.4.3). Extreme Tag-Nacht-Temperatur-Amplituden und Frosttrocknis können v.a. im Winter und in höheren Gebirgslagen schädliche Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum haben.
In ebenen Lagen kommt es aufgrund der fehlenden Horizontüberhöhung zu einer verstärkten Sonneneinstrahlung, welche in Kombination mit einer nächtlichen Kaltluftbildung zu einer größeren täglichen Temperaturschwankung führt als auf den Hängen. Ebene Lagen, sowie mäßig geneigte Hänge modifizieren das regionale Klima jedoch kaum, so dass hier die Bodeneigenschaften stärker über das Waldwachstum entscheiden (GRABHERR ET AL. 1998, ENGLISCH und KILIAN 1998, NEBE 1992).
Die Eigenschaften der Hanglage und Geländeform können aber nur bedingt bis gar nicht in die Modellierung einfließen, da sie zu kleinräumig bzw. österreichweit nicht mehr erfassbar sind.

4.3 Die Geologie

Die Geologie bildet ein wesentliches Grundgerüst der Landschaft und kann als langfristig weitgehend konstant angesehen werden. Ihr kommt in bezug auf das Pflanzenwachstum die Rolle einer Hintergrundvariablen zu, da sie die Voraussetzungen für die spezifische Bodenbildungen und die Relieftypen schafft (NEBE 1992, BASTIAN und SCHREIBER 1999).
So wirkt sich die Geologie in verschiedenen Dimensionsbereichen auf die Reliefbildung aus: In der geosphärischen Dimension gehen die großen Georeliefrichtungen und –strukturen, wie Flachformen, Gebirgsrümpfe oder junge Gebirgsbildungen, auf geologisch-tektonische Prozesse zurück. Aber auch in der feineren Gestaltung des Georeliefs spielen, von der Gestalt und Anlage vieler Talformen bis hin zur Schrägstellung von Tafelländern, geologisch-tektonische Gegebenheiten eine wichtige Rolle. Für die weiteren Verwitterungsprozesse und die damit verbundene Reliefformenentwicklung haben nun die geologischen Parameter „Lagerungsverhält-

nisse des oberflächennahen Untergrundes“, „Gesteinsstruktur“ (s.u.) und „Materialart“ (hart-weich; leichtlöslich-schwerlöslich) eine große Bedeutung (LESER 1995).
Auf das Pflanzenwachstum wirkt sich das Georelief nun indirekt aus, indem es die Ökofaktoren *Boden, Klima* und *Wasser* entscheidend mitbestimmt (siehe Kapitel 4.2.2 und 4.4.1). Es beeinflusst die Bodenentwicklung durch Erosion und Akkumulation, das Geländeklima durch Exposition, Neigung und Höhenlage, welche wiederum unterschiedliche Besonnungen, Temperaturen, Windsysteme, Niederschlagsverhältnisse und Inversionslagen bewirken sowie den Boden- und Sickerwasserhaushalt und somit die Pedogenese (FINKE 1996).
Die Geologie stellt das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung dar, so dass die petrographischen, geogenetischen und stratigraphischen Verhältnisse der oberflächennahen Gesteine einen großen Einfluss auf Genese und Dynamik der Böden und somit auf deren Standorteigenschaften haben. Man kann zwischen geologischem Substrat (in Bodenbildung einbezogenes Gestein), Deckschichten und unterliegendes Grundgestein unterscheiden. Deckschichten (Löß, Fließerde, Moränen, Hangschutt..) können das anstehende Gestein überlagern und sich hinsichtlich chemischer und physikalischer Eigenschaften von diesem stark unterscheiden. Deckschichten sind in den meisten geologischen Karten nicht vermerkt, sind aber z.T. zur Gänze in die Bodenbildung einbezogen und daher kaum mehr erkennbar. Beim Grundgestein muss daher zwischen bodenbildendem und nicht-bodenbildendem Grundgestein unterschieden werden.
Eine wichtige ökologische Bedeutung für das Pflanzenwachstum haben bei jüngeren Lockersedimenten die Geogenese (fluviatile, glazigene Entstehung) und die Körnung, welche sich v.a. auf die physikalischen Bodeneigenschaften auswirken. Bei den Festgesteinen sind v.a. die petrographischen Eigenschaften im Hinblick auf Mineralbestand und Verwitterungsverhalten entscheidend, stratigraphische Eigenschaften sind eher im regionalen und lokalen Bezug wichtig. Die Geologie hat daher einen starken Einfluss auf die ökologischen Parameter Trophie und Wasserhaushaltstufen (ENGLISCH und KILIAN 1998).
Eine besonders starke Bedeutung für die ökologischen Bodeneigenschaften besitzt das Muttergestein bei jungen, unreifen Böden, wobei sich je nach Gesteinsart die Verwitterungsböden stark unterscheiden. Generell ist die Struktur der Gesteine von großer Bedeutung für den Verwitterungsgrad: So zerfallen grobkörnige Gesteine (z.B. Granite) aufgrund der unterschiedlichen Temperaturausdehnung sehr schnell in die einzelnen Mineralien, während porphyrische Gesteine aus mikroskopisch kleinen Kristallen und größeren Mineraleinsprengungen viel langsamer verwittern. Schiefrige Gesteine werden bei steil aufgerichteten Schichten leicht angegriffen, sonst nur schwer. Bilden sich hier als Verwitterungsprodukte kleine Glimmerplättchen aus (z.B. Phyllit), so entstehen schluffige Böden mit sehr ungünstigen Eigenschaften in Hinblick auf Wasserführung, Durchlüftung und Wurzelentwicklung (WALTER 1960).
Aus waldökologischer Sicht ist z.B. eine Unterteilung in *bodenbasische, intermediäre* und *bodensaure Gesteine* sinnvoll, wie sie MAYER (1974) in seiner Waldwuchsgebietsgliederung verwendet, da die chemischen Eigenschaften stark vom Basen- bzw. Kalkgehalt der Gesteine abhängen (siehe Kapitel 2.2.2, 4.5.2, s.u.). Die *intermediäre* Gesteinszone (Dilivium und Alluvium (Moräne), tertiäre Sande und Kiese (Molasse), Flysch, Bündener Schiefer, Gosaukreide,

Altpaläozoische Schiefer (Grauwacke)) erstreckt sich v.a. übers nördliche Alpenvorland. Die *bodenbasische* Gesteine (Trias- und Jura-Kalke, Dolomit, Kreidekalke, Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer, Altpaläozoische Kalke und Dolomite, Basische Ergussgesteine) treten v.a. in den nördlichen Kalkalpen auf, den größten Teil der österreichischen Alpen nehmen jedoch *bodensaure* Gesteine (Para- und Ortogneise, Quarzphyllit, Quarzit, altpaläozoische Schiefer, Granite (Tonalit), Saure Ergussgesteine, Quarzporphyr) ein. Auch in den außeralpinen Grundgebirgen herrschen bodensaure Gesteine (Gneis, Granit) vor (MAYER 1974).

Böden auf Kalkgestein und Silikatgestein

Im kühl-gemäßigten Klima ist ein klarer Unterschied zwischen der Pflanzendecke auf kalkreichem und kalkarmen bzw. –freiem Boden zu erkennen. Die Vegetationszusammensetzung auf Kalk ist sowohl artenreicher als auch generell anderer Natur. Besonders deutlich tritt dies oberhalb der Waldgrenze in Erscheinung, da hier Gesteinseigenschaften aufgrund der dünnen Bodendecke unmittelbarer als im Tiefland wirksam werden.

Böden auf kalkreichem Gestein sind aufgrund ihrer sehr langsamen Bodenbildung flachgründiger und skelettreicher. Daher ist die Bodenoberfläche v.a. in steilen Lagen unruhig und weist zahlreiche konkurrenzarme Mikrostandorte auf. Sommerliche Austrocknung des Oberbodens v.a. an Südhängen mit zeitweilig verminderter biogener Nachlieferung von N, P und K führt weiters zu einem unausgeglichenen Wasser- und Nährstoffhaushalt, wobei sich Mull oder Moder entwickeln. Es kommt zu einem Ionen-Ungleichgewicht in der Bodenlösung mit hohen Mengen von Ca^{++}- und HCO_3^- -Ionen und einem geringen K-Ionen-Anteil. Für die Vegetation hat dies zur Folge, dass es häufig zur Ausbildung einer offenen Pflanzendecke mit konkurrenzschwachen, kleinwüchsigen, aber ausbreitungsstarken „Lückenbüßer-Arten“ mit Pioniercharakter kommt. Daher werden diese Standorte vermehrt von xerophytischen und ernährungsphysiologischen Spezialisten, v.a. Grasartigen, welchen den Ca-Ionen Überschuss ausgleichen können, besiedelt. Eine typische Waldform ist hier der Orchideen-Buchenwald. Verdrängt werden dafür Arten mit effizienter Ca-Aufnahme bzw. mit obligater NH_4^+-Ernährung.

Böden auf Silikatgestein sind tiefgründiger, skelettärmer und weisen eine gleichförmigere Oberfläche sowie einen ausgeglicheneren Wasser- und Nährstoffhaushalt auf. In einem schwach bis mäßig saurem Milieu findet man nun eine optimale Ernährungssituation (hohe P-, N- und K-Verfügbarkeit) und ein meist ausgeglichenes Ionenverhältnis in der Bodenlösung vor, es bildet sich Moder oder Mull. Im stark sauren Milieu (pH –Wert < 5) mit NH_4^+ als Stickstoffform, hohem H^+- und Al^{+++}-Anteil und geringer BS tritt Moder oder Rohhumus auf. Für die Vegetation hat dies meist die Ausbildung einer geschlossenen Pflanzendecke (z.B. Silikatmagerrasen mit anspruchsvollen Arten) mit wenigen Lückenbüßern, Xerophyten und Grasartigen zur Folge. Eine typische Waldform ist hier der Hainsimsen-Buchenwald. Im stark sauren Milieu treten vermehrt H^+- und Al^{+++}-resistente sowie NH_4-bevorzugende Pflanzen auf (z.B. Zwergsträucher der Familie Ericaceae) (PFADENHAUER 1997).

4.4 Klimatische Faktoren

Das Klima kann nach HÄCKEL (1993) als Summe aller Wetterzustände eines Ortes angesehen werden. Dabei kann man folgende Größenordnungen unterscheiden, welche in der Vegetationskunde von Bedeutung sind:

- *regionales Klima (Großklima oder Makroklima):* Zonale Gliederung aufgrund der Bestimmungsgrößen topographische Lage (Sonnenstand), Höhenlage, Lage zum Meer und globales Windsystem
- *lokales Klima (Geländeklima oder Mesoklima):* Bestimmungsgröße ist v.a. die Hanglage
- *Kleinklima (Mikroklima)*: Bestimmungsgrößen sind das Mikrorelief und der Pflanzenbestand

Regionales und lokales Klima können als zeitlich weitgehend gleichbleibend angesehen werden, wobei diese nach Humidität bzw. Aridität, Ozeanität/Kontinentalität und nach Dauer der Vegetationsperiode (s.u.) gegliedert werden können. Das Kleinklima besitzt hingegen nur beschränkte Gültigkeitsdauer, da es in hohem Maße von der Vegetation selbst abhängig ist. Das regionale Klima bedingt die großmaßstäbliche Verbreitung der Pflanzengesellschaften, das lokale Klima, welches sich in der Größenordnung von Tälern, Hängen und Bergen bewegt, bedingt zusammen mit den Bodeneigenschaften die örtlichen Variationen.
Das Regionale und das lokale Klima sind für die hier vollzogene Naturraumgliederung von Bedeutung, das Kleinklima, welches sich auf Areale wie ein einzelner Acker bezieht, hat jedoch für die Modellierung aufgrund der Kleinräumigkeit keine Relevanz mehr (NEBE 1992, ENGLISCH und KILIAN 1998, PFADENHAUER 1997, HÄCKEL 1993).

4.4.1 Die Strahlung

Definitionen: Unter CO_2-Assimilation versteht man jene Reaktion in den Blättern, die zur Bildung von Glucose aus CO_2 und Wasser unter Mitwirkung der Lichtenergie sowie des Blattfarbstoffs Chlorophyll führt, wobei es zur Abgabe von Sauerstoff und Wasser kommt (LESER ET AL. 1984, NAGL 1995).
Stress ist eine außergewöhnliche Abweichung vom Lebensoptimum, welche zunächst reversible Veränderungen auf allen Funktionsebenen des Organismus hervorruft, weiters aber auch bleibende Schäden bewirken kann (LARCHER 1994).

Die kurzwellige Globalstrahlung setzt sich aus direkter Sonnenstrahlung (S) und diffuser Himmelsstrahlung (H) zusammen, wobei der Strahlungsgewinn um die Albedo (R) (Reflexstrahlung) vermindert wird. Im langwelligen Strahlungsbereich wird zwischen der Ausstrahlung an der Erdoberfläche (E) und der atmosphärischen Gegenstrahlung (A) differenziert. (S +

H - R) wird als *effektive Einstrahlung*, (E - A) als *effektive Ausstrahlung* bezeichnet. Die *gesamte Strahlungsbilanz* (Q) ergibt sich als Q = (S + H - R) - (E - A) (ENDLICHER 1991).

Die Strahlung stellt für die Pflanze eine primäre Energiequelle, einen entwicklungssteuernden Reiz sowie mitunter einen Belastungsfaktor dar und bestimmt sowohl die Lichtverhältnisse, als auch den Wärmehaushalt eines Standorts (NAGL 1995, LARCHER 1994). Die Einstrahlung bewirkt in erster Linie eine Erwärmung des Bodens, welcher dann durch die Wärmeleitung die Luft erwärmt. Ein beachtlicher Teil der zugestrahlten Wärme wird aber für die Evapotranspiration aufgewendet, wobei dieser Anteil in der Vegetationsperiode meist größer ist, als jener für die Erwärmung von Luft und Boden (VAN EIMERN und HÄCKEL 1984). Große Bedeutung hat die Strahlung für die Assimilation, wofür die Pflanzen den Bereich des sichtbaren Lichts benötigen. Dieser Strahlungsanteil liegt im Wellenbereich von 380 - 740 nm und wird auch *photosynthetisch aktive Strahlung* (PhAR) genannt, jedoch beträgt er nur 45 – 50% der gesamten Globalstrahlung. Die Wellenbereiche < 380 nm werden für die ozon- und gestaltbildende ultraviolette Strahlung (UV) und jene > 740 nm für die temperatursteuernde infrarote Strahlung (IR) verwendet (NEBE 1992, KRAMER 1988, HÄCKEL 1993, LARCHER 1994).
Mit steigender Lichtintensität nimmt bei gleich hoher Temperatur und Respiration (siehe Kapitel 4.4.3) die Nettophotosynthese (Bruttophotosynthese – Lichtatmung) der grünen Pflanzen zu, bis ein Lichtsättigungsgrad erreicht wird, ab dem die Photosyntheseleistung nicht mehr ansteigen kann. Bei nachlassender Belichtung hingegen übersteigt ab einem gewissem Punkt der Abbau von Assimilaten durch Respiration die Neubildung von Assimilaten durch Photosynthese. Diesen Punkt nennt man Kompensationspunkt. Er liegt bei Lichtbaumarten, wie Birke, Kiefer und Lärche höher als bei Schattenbaumarten, wie Tanne, Buche und Linde und ist im selben Baum bei Lichtblättern höher als bei Schattenblättern. Jungpflanzen vertragen meist eine Beschattung recht gut, und weisen auch einen niedrigeren Kompensationspunkt auf als ältere Pflanzen. Lichtentzug wirkt sich jedoch um so stärker aus, je ungünstiger die Standortverhältnisse sind. Bei niedrigen Temperaturen benötigen Pflanzen jedoch für die gleiche Nettoprimärproduktion eine geringere Lichtmenge (siehe Kapitel 4.4.3) (KRAMER 1988, LARCHER 1994).

Das Pflanzenwachstum ist nun direkt von der Fähigkeit der Pflanze anhängig, die Strahlung aufzufangen und in Kohlenhydrate umzuwandeln, wobei v.a. die Strahlungssumme während der Vegetationsperiode von Bedeutung ist, da ja die Photosynthese unmittelbar von der Strahlung abhängt (s.o.). Die Strahlung wird von einem Blatt reflektiert (Remission (5 – 10 % der PhAR)), ein anderer Teil der Strahlung dringt durch das Blatt durch (Transmission (je nach Blattdicke sehr unterschiedlich: 3 - 40%)). Der Rest der Strahlung (60 – 80 %) kann von den Zellen absorbiert und zur Erhaltung von Lebensvorgängen verwendet werden. Diese Vorgänge sind je nach Wellenbereich unterschiedlich intensiv (siehe Abb. 4.2), wobei ein ausgeprägtes relatives Maximum von Reflexion und Transmission (und somit ein relatives Minimum der Absorption) im grünen Wellenbereich bei 550 nm liegt. Die Maxima der Absorption liegen

hingegen in den Bereichen um 450 (blau) und um 670nm (orangerot). Unter einem dichten Blätterdach ist nur noch photosynthetisch recht wertlose Strahlung vorhanden, da nur ein geringer Teil der Strahlung durchdringt. Der Ausnutzungsgrad der Strahlung ist daher recht gering, so dass nur 2 bis 3% in Kohlenhydraten gebunden werden kann.

Mit wachsender Belaubungsdichte steigt auch die photosynthetisch aktive Oberfläche, weshalb der Blattflächenindex (Leaf Area Index (LAI = Gesamtsumme der Blattflächen/Bodenfläche)) eine wichtige Steuerungsgröße des Pflanzenwachstums darstellt. So besteht eine positive Korrelation zwischen Nettoprimärproduktion (NPP) und LAI, wobei es aber bei hohen LAI-Werten vielfach wieder zu einer Abnahme der NPP kommt, da sich dann die Assimilationsflächen überlagern (HÄCKEL 1993, LARCHER 1980, 1994, WOODWARD 1987, KOZLOWSKI ET AL.1991). Die Lichtzufuhr ist auch ein wichtiger Faktor für die Transpiration (siehe Kapitel 4.4.4), da die Spaltenöffnung stark lichtabhängig ist (TRANQUILLINI 1992).

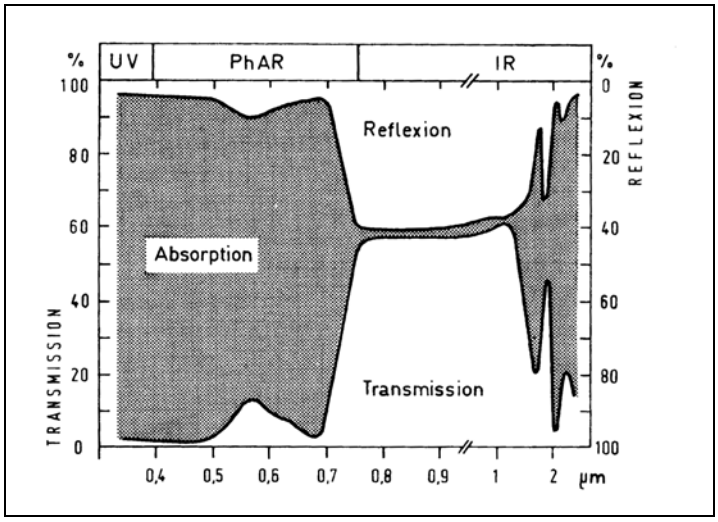


Abb. 4.2: Reflexion, Absorption und Transmission eines Pappelblatte in Abhängigkeit von der Wellenlänge nach LARCHER (1994)

Der ökologisch wichtige Strahlungsgenuss eines Ortes hängt großräumig vom Zustand der Atmosphäre (Bewölkung, Trübung der Atmosphäre) und der geographischen Breite ab, kleinräumiger ist das Relief in der Form von Exposition, Neigung, Höhenlage und Horizontkontur entscheidend, wobei sich große Unterschiede ergeben können (LARCHER 1994, NAGL 1993). Aufgrund der Schwächung der Strahlung durch den Wasserdampf- und Aerosolgehalt (atmosphärische Trübung) steigt die Globalstrahlung im Mittel mit der Höhe an, im Sommerhalbjahr nimmt sie aufgrund der Bewölkung der Berggipfel mit zunehmender Höhe bis ca. 2000 m jedoch ab. Im Winterhalbjahr hingegen kommt es aufgrund der dunst- und nebelerfüllten Inversionsschichten im Tal zu einer Zunahme der Strahlung mit der Höhe (TURNER 1993, SAUBERER 1958, HÄCKEL 1993). Die höchsten Strahlungsintensitäten erfahren daher winterliche Hochgebirge, die geringsten treten in Niederungen im Sommer auf (SAUBERER 1958). Die tatsächlich auf die Pflanze wirkende Strahlung, die von Seiten der Sonne, des

Himmels und der reflektierenden Bodenoberfläche einfällt, ist die Zirkumglobalstrahlung, wobei diese durch die Schneereflexion erheblich erhöht werden kann (TURNER 1993).
Die Strahlung wird durch die zugeführte Energie, welche ein Produkt aus Sonnenscheindauer und Strahlungsintensität darstellt, ökologisch wirksam. Obwohl im Sommerhalbjahr Nordhänge von 20° Inklination länger bestrahlt werden als entsprechende Südhänge, ergibt sich daraus für diese noch keine größere Energiezufuhr. Denn für den Strahlungsgenuss ist der Winkel der Sonnenstrahlen und die Neigung der die Strahlung empfangenden Fläche von Bedeutung. Die strahlungsbedingte Energiezufuhr (Strahlungsstrom J [W/m²]) wird daher bei standortkundlichen Analysen auf die Horizontalprojektion der Hangflächen bezogen, so dass Südhänge jeder Neigung bei wolkenlosem Himmel das ganze Jahr über höhere Monatssummen der direkten Sonnenstrahlung erhalten als Nordhänge (NEBE 1992, HÄCKEL 1993).
Den größten Strahlungsgenuss in der Vegetationsperiode erhalten ca. 30° geneigte Südhänge, gleichgeneigte Nordhänge erhalten ungefähr die halbe Menge an Strahlungsenergie. So treten vielfach zwischen Süd- und Nordhang extreme strahlungsbedingte Unterschiede der Luft-, aber v.a. der Bodentemperatur auf, wobei die Temperaturdifferenzen im Winter aufgrund der Überschattung des Nordhanges noch viel höher liegen. Es können auf strahlungsbegünstigten SW- bis S-Hängen bei Lufttemperaturen von weniger als 30°C die Bodentemperaturen auf 80°C ansteigen, was bei längerer Dauer zu einem völligen Austrocknen des unbewachsenen Rohhumusbodens führen kann (TURNER 1993, RICHTER 1997). Diese Wärmebegünstigung von Süd- und Südwesthängen kann sich daher in trockenen, warmen Tieflagen negativ (Temperatur- und Trockenstress), in feuchten Hochlagen mit geringerer Verdunstung positiv auf die Vegetation auswirken (ENGLISCH und KILIAN 1998). Diese Strahlungsunterschiede zwischen Nord- und Südhängen äußern sich nun bezüglich der PNV in einer unterschiedlichen Höhenverbreitung von der gleichen Pflanzenart von rund 200 m, sie können auch schön an der Schneedeckendauer abgelesen werden. Die reliefbedingten Strahlungsunterschiede steuern auch die lokale Thermik, da strahlungsbedingte Variationen der Temperaturverteilung eine unterschiedliche Druckverteilung schaffen. Aufgrund der nicht vorhandenen Reliefunterschiede fehlen diese geländeklimatischen Effekte daher im Flachland (RICHTER 1997).

Bei einem Überangebot der PhAR bzw. einer erhöhten Absorption von UV-Strahlung kann es in Pflanzen zu Strahlungsstress kommen. Dieser führt zu einer Überforderung des Photosyntheseprozesses und somit zu einer Verringerung der Assimilationsleistung (Photoinhibition), bei weiterer Strahlungszunahme werden die Photosynthesepigmente zerstört (Photodestruktion). Starklichtgewöhnte Pflanzen (z.B. Hochgebirgspflanzen) vertragen hohe Einstrahlungen besser. Pflanzen schützen sich gegen Strahlungsstress durch Schrägstellen der Blätter zum Licht, Wandverdickung der Epidermis oder Behaarung an der Blattoberseite. Gegenüber einer übermäßige UV-Strahlung sind höhere Pflanzen jedoch Dank ihrer starken UV-Absorptionsfähigkeit weitgehend geschützt. Intensive Globalstrahlung kann auch eine wesentliche Voraussetzung zur Entstehung von bodennahem Ozon darstellen, welches bei Pflanzen zu Ozonstress führen kann. Hierbei zerfällt das Ozon schnell im Pflanzengewebe und beginnt alle

Biomembranen zu schädigen, wobei es nach längerer Einwirkung von Ozon zu signifikanten Einbußen in der Stoffproduktion und dem Wachstum kommt (LARCHER 1994, HAVLIK 1991).

Die Sonnenscheindauer ist die zeitliche Länge der direkten Sonnenbestrahlung pro Tag, Monat oder Jahr in Stunden. Durch die geographische Lage des Ortes und die Horizontüberhöhung ergibt sich die *effektiv mögliche Sonnenscheindauer*. Die *tatsächliche Sonnenscheindauer* berücksichtigt die Horizontüberhöhung und die Bewölkungsverhältnisse und ist die maßgebende Größe für das Strahlungsklima eines Ortes. Dividiert man die tatsächliche durch die effektiv mögliche Sonnenscheindauer, so erhält man die *relative Sonnenscheindauer* (in %), welche einen direkten Vergleich zwischen Orten unterschiedlichen Horizontverlaufes in bezug auf Gunst bzw. Ungunst der allgemeinen Witterungsverhältnisse ermöglicht (MOHNL 1998, STEINHAUSER 1958). Statistisch und physikalisch kann ein enger Zusammenhang zwischen Sonnenscheindauer und Globalstrahlung nachgewiesen werden, so dass die Sonnenscheindauer auch als grobes Maß für die Globalstrahlung herangezogen werden kann, wobei naturgemäß aufgrund der schwachen Strahlung am Morgen und Abend zu diesen Tageszeiten große Unterschiede bestehen (BRORS 1986, HARTMANN und SCHNELLE 1970).
Der Bewölkungsgrad müsste mit der Sonnenscheindauer in einem bestimmten Verhältnis stehen, dieses wird jedoch durch zahlreiche Registrierungs- bzw. Schätzfehler der Bewölkung stark verzerrt (SAUBERER und HÄRTEL 1959). Neben dem Bedeckungsgrad hat auch die Art der Bewölkung einen wichtigen Einfluss auf die Abschwächung der Strahlung. Sehr gering ist die Abschwächung bei lockeren Cirruswolken, bei den höher gelegenen Cirrostratus-Wolken ist sie schon größer, starke Abschwächung verursachen tiefe Schichtwolken, bei tiefen Regenwolken kann die Strahlung sogar auf bis nur 4% eines Strahlungstages verringert werden (WALTER 1960, MITSCHERLICH 1981). Eine durchschnittliche Bewölkung verringert die Globalstrahlung um 20 – 30 %, wobei der diffuse Strahlungsanteil mit zunehmender Bewölkung ansteigt. Während es also am Tag zu einer bewölkungsbedingten Abnahme der Strahlung kommt, verringern sich nachts durch die verstärkte Gegenstrahlung die Strahlungsverluste. Diese Strahlungsabschwächung führt daher bei den Pflanzen am Tag zur verminderten Photosynthese, wobei sich strahlungsbedingte geländeklimatologische Unterschiede stark verringern, nachts verstärkten sich die Atmungsverluste (siehe Kapitel 4.4.3) (MITSCHERLICH 1981).

4.4.2 Der Wind

Vom Klimaelement Wind sind für das Pflanzenwachstum die Richtung, die Geschwindigkeit und die Turbulenzen von Bedeutung, da diese Eigenschaften Transportprozesse atmosphärischer Eigenschaften und Bestandteile (Pollenflug und Samentransport) verursachen, Einfluss auf die Transpiration ausüben (siehe Kapitel 4.4.4) und auch zu Windwurf führen können. Die strahlungsbedingte, kleinräumig unterschiedliche Druckverteilung (siehe Kapitel 4.4.1) verursacht lokale und regionale Luftmassentransporte, wie Berg-Talwindsysteme, lokale Hangzirkulationen, Düseneffekte sowie Kaltluftflüsse und –staus, welche sich häufig nach Sonnenuntergang umkehren. Weitere Funktionen des Windes sind die Schneeverfrachtung (siehe Kapitel 4.4.4) bzw. die Austrocknung (NEBE 1992, RICHTER 1997, ENGLISCH und KILIAN 1998). Der Faktor Wind kann jedoch für den hier angestrebten - österreichweiten - Maßstab aufgrund dessen keinräumiger Variabilität nicht in die Modellierung einfließen.

4.4.3 Die Temperatur

Die Lufttemperatur ist neben dem Niederschlag jener Klimafaktor, der den gravierendsten Einfluss auf die horizontale und vertikale Verbreitung von Pflanzenarten ausübt. Die Erwärmung der Boden- und Pflanzendecke hängen in erster Linie von der einfallenden Wärmeeinstrahlung ab (siehe Kapitel 4.4.1). So liegt der adiabatische Temperaturgradient bei ca. 6,5°C / 100 m, wobei dieser Wert am Tag bzw. im Sommer größer ist als in der Nacht bzw. im Winter. Darüber hinaus haben auch Struktur und Wasserhaushalt des Bodens Einfluss auf die Erwärmung, da sich nasse Böden im Gegensatz zu trockenen, lufterfüllten Böden langsamer erwärmen, die Wärme aber besser speichern. Je nach Untergrund kommt es daher zu einer Phasenverschiebung zwischen Jahresgang der Lufttemperatur und jahresperiodischem Strahlungsverlauf (NEBE 1992, KNEES und HARLFINGER 1999, FLEMMING 1994, PFADENHAUER 1997). Entscheidende Temperaturwerte für die Verbreitung von Vegetationstypen sind v.a. zeitbezogene Mittelwerte, Extremwerte, Andauerwerte, Häufigkeiten sowie Temperaturschwankungen, welche wesentlich aussagekräftiger sind, als der Jahresmittelwert. Dies liegt daran, dass sich die Gehölze im Hinblick auf verträgliche Extremwerte, optimal nutzbaren Zeitraum für die Stoffproduktion und Wärmeoptimum stark voneinander unterscheiden (NEBE 1992, SCHROEDER 1998). So hat z.B. die 10°C-Juli-Isotherme nach TROLL und PFAFFEN 1964 Bedeutung als Abgrenzung des borealen Nadelwaldes von der Tundra, bzw. in den Alpen zwischen dem Nadelwald-Krummholzgürtel und der alpinen Mattenzone.

Die Wärmeverhältnisse haben eine große Bedeutung für die Wachstumsvorgänge, da die Assimilation von der Temperatur und der Strahlung, die Holzbildung jedoch vorwiegend von der Temperatur beeinflusst wird (KRAMER 1988) (siehe Kapitel 4.4.1). Darüber hinaus steuert die Temperatur auch die Transpiration, welche den Wasser- und Nährstoffkreislauf antreibt. Die

Temperatur hat direkten Einfluss auf die Enzymreaktionsgeschwindigkeit einer Zelle und somit auf die Photosynthese und die Respiration. So nimmt die Enzymreaktionsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur zu, und fällt bei weiterer Temperaturzunahme wieder ab. Die Funktion der Nettophotosynthese (bzw. jene des Baumwachstums) in Abhängigkeit von der Temperatur hat daher die Form einer Parabel, welche sich ungefähr zwischen 0 und 50°C bewegt und deren Scheitel das Maximum der Nettophotosynthese darstellt (siehe Abb. 4.3). Die Baumtemperatur hängt wiederum von der Fähigkeit des Baumes ab, je nach Witterung die Transpiration zu erhöhen bzw. zu verringern (BOTKIN 1993).

Das Optimum der Photosynthese hängt im hohem Maße vom Lichtgenuss ab und liegt nach MÜLLER (1928) bei schlechten Lichtverhältnissen im niedrigen Temperaturbereich, bei günstigeren Lichtverhältnissen steigt das Temperaturoptimum jedoch an. So errechneten PISEK und WINKLER (1959) das Temperaturoptimum der Nettophotosynthese einer Fichte bei 3000 Lux mit ca. 12°C, bei 30000 Lux wandert dieses Optimum auf ca. 18°C (BOTKIN 1993). Das Wärmeoptimum der Nettophotosynthese liegt bei sommergrünen Laubbäumen der gemäßigten Zone zwischen 20 und 25°C und bei immergrünen Nadelbäumen zwischen 10 und 25°C. Die Hitzegrenze der CO_2-Aufnahme liegt bei sommergrünen Laubbäumen der gemäßigten Zone zwischen 40 und 45°C und bei immergrünen Nadelbäumen zwischen 35 und 42°C. Die Kältegrenze für die Assimilation schwankt bei natürlichem CO_2-Angebot und Lichtsättigung je nach Klimazone und Höhenlage. So liegt sie bei sommergrünen Laubbäumen der gemäßigten Zone zwischen –3 und –1°C und bei immergrünen Nadelbäumen zwischen –5 und –3°C (LARCHER 1994, PFADENHAUER 1997).

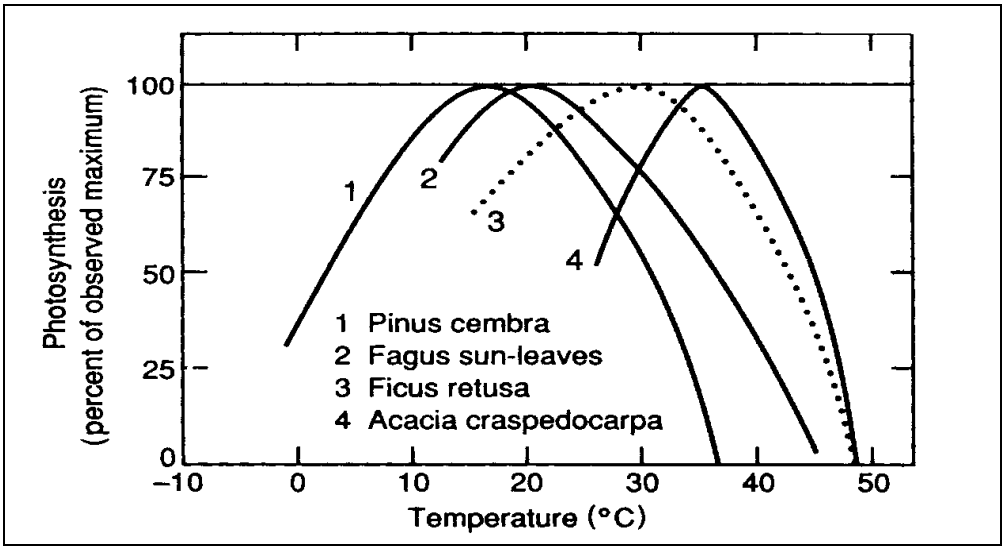


Abb. 4.3: Temperatur-Nettophotosynthese-Kurve nach BOTKIN (1993)

Bei der CO_2-Bilanz einer Pflanze sind jedoch noch die CO_2-abbauenden Atmungsverluste zu berücksichtigen, welche artenspezifisch und bei Laubbäumen bzw. Lichtholzbäumen größer als bei Nadelbäumen bzw. Schattenholzarten sind. Bei der Atmung wird durch Oxydation Energie freigesetzt, die zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen verwendet oder als Wärme abge-

geben wird, wobei CO_2 und H_2O als Endprodukte zurückbleiben. Sie ist vom Licht unabhängig und erfolgt daher Tag und Nacht (KRAMER 1988, LYR 1992, NAGL 1995). Die CO_2-Tagesbilanz ist daher die Nettophotosynthese (siehe Kapitel 4.4.1) minus der Nachtatmung der Blätter, wobei noch zu berücksichtigen ist, dass ganzjährig auch eine permanenten Atmung an Wurzeln, Stämmen und Ästen stattfindet. Die Winteratmung ist in kalten Wintern gering, bei winterlichen Wärmeeinbrüchen, oder bei langanhaltender gänzlicher Einschneiung, kann sie jedoch aufgrund der fehlenden Assimilation zu hohen $C0_2$-Verlusten führen. Auch bei der Atmung ist die Temperatur der wichtigste Steuerungsfaktor. Ab etwa ca. -10°C wird die Atmung messbar, mit steigender Temperatur nimmt sie dann exponentiell zu, hat bei ca. 45°C ihr Maximum und nimmt dann schlagartig wieder ab, wobei sie bei 50 – 60°C dann völlig erlischt. So sind die Atmungsverluste in der Nacht aufgrund der fehlenden Assimilation hoch, in kühlen Nächten und im Winter hingegen gering (LARCHER 1994, LYR 1992). Zu einer positiven Nettoprimärproduktion kommt es aufgrund der Atmungsverluste erst ab Tagesdurchschnittstemperaturen von ca. +5°C (siehe Kapitel 4.4.3).
Die Keimungsaktivität kann wiederum durch eine temperaturabhängige Funktion beschrieben werden, welche mit steigender Temperatur bis zu einem Optimum wächst und bei höheren Temperaturen wieder abfällt. Das Optimum liegt hier bei alpinen Pflanzen zwischen 5°C und 30°C (GATES 1993), bei Pflanzen der gemäßigten Zone für Koniferen zwischen 15 – 25 °C, für Laubbäume zwischen 20 – 30°C. Die Minimumtemperatur für die Keimung liegt für Koniferen zwischen 4 – 10°C, für Laubbäume < 10°C. Andererseits keimen die Samen von einigen Bäumen (z.B. Birke, Buche, Fichte) besser, wenn sie in angequollenem Zustand über längere Zeit niedrigen Temperaturen (Kaltstratifikation 0 - 8°C) ausgesetzt waren. Für die Samenproduktion ist bei es bei manchen Baumarten erforderlich, dass die Wintertemperaturen niedrige Werte (< 0 Grad) erreichen um das Dormanzstadium zu brechen, da sonst die Blühknospen nicht richtig entwickelt werden und es daher zur eingeschränkten bis gar keiner Samenproduktion kommen kann (LARCHER 1994, 1995; LEXER ET AL. 2001).

Die Extremtemperaturen, v.a. aber Winterminima, Spät- und Frühfröste und als Differenz der Extremtemperaturen die jährlichen sowie die täglichen Temperaturschwankungen bedingen maßgeblich die Ausbreitungsgrenzen der Waldvegetation (NEBE 1992). Die Temperaturschwankungen geben die ökologisch wichtige thermische Bilanz zwischen Einstrahlung am Tag und nächtlicher Ausstrahlung bzw. zwischen Sommer und Winter wieder (siehe Kapitel 4.2.1). Ein nicht zu hoher Wechsel von Tag- und Nachttemperaturen wirkt sich auf Wachstum und Entwicklung der Pflanzen meist positiv aus, eine tägliche Temperaturamplituden von 5 – 10°C gilt nach LARCHER 1994 für die Pflanzen der gemäßigten Zone vielfach als optimal. Die Extremtemperaturen bewirken direkt Hitze- und Kältestress, und üben dadurch einen wichtigen Einfluss auf die Artenzusammensetzung aus (PFADENHAUER 1997, KLINK 1998).

Hitzestress tritt bei sommergrünen Bäumen und Sträuchern bei ca. 50°C auf und äußert sich durch Membranschädigung und Eiweiß-Denaturierung. Dadurch wird die Photosynthesefunk-

tion gestört, es kommt zu einer Photosynthesedepression und schließlich zum Abstreben der Zelle. Der Schwellenwert des Hitzestresses kann durch eine andere Stresskomponente (z.B. Strahlung) noch herabgesetzt werden. Pflanzen versuchen durch Ausweichen vor starker Sonnenstrahlung oder durch Transpirationskühlung (siehe Kapitel 4.4.4) der Überhitzung entgegenzuwirken. Die Hitzetoleranz des Protoplasmas kann selbst bei nahe verwandten Arten sehr große Unterschiede aufweisen. Die Hitzeresistenz unterliegt jedoch bei manchen Pflanzen, ähnlich wie beim Kältestress (s.u.), einem jahreszeitlichen Rhythmus (PFADENHAUER 1997, LARCHER 1994). Als Maß für den Hitzestress kann die Maximumtemperatur angesehen werden, welche vielfach durch das Temperaturmittel des wärmsten Monats approximiert wird. Die Maximumtemperatur limitiert jedoch die Verbreitung des Pflanzenwachstums äquatorwärts nicht so klar, wie die Minimumtemperatur polwärts (s.u.). Vielmehr wird die Pflanzenverbreitung äquatorwärts als Ergebnis des Konkurrenzkampfes der Pflanzen in Abhängigkeit von unterschiedlichen lokalen Standortfaktorenkombinationen angesehen (WOODWARD 1987).

Kältestress bewirkt in Pflanzen eine verringerte Energie-, Nährstoff- und Wasseraufnahme, was zu einer Verminderung der Stoffproduktion und in weiterer Folge zu einem Wachstumsstillstand führt. Diese negativen Auswirkungen auf die Pflanzen sind umso stärker, je häufiger und länger niedrige Temperaturen auftreten bzw. je tiefer diese Temperaturen sind, wobei auch die zur Frostzeit herrschenden Wetterverhältnissen (z.B. Humidität) einen Einfluss auf die Frostschäden haben (TUHKANEN 1980, LARCHER 1994).
Kältestress kann auch schon ohne Frost bei Temperaturen zwischen 0 und +10°C auftreten und bewirkt dann Erkältungsschäden, welche sich durch Schäden an den Zellmembranen äußern. Für kälteempfindliche Pflanzen kann dies schon letal sein. Fällt die Temperatur hingegen unter 0°C, gefrieren meist zuerst Blätter, periphere Leitungsbahnen und Kondenswasser, wodurch es zur Bildung von extrazellulärem Eis kommt. Ab einem bestimmten Temperaturgrenzwert (kann auch > 0°C sein) wird die Zellmembran durchlässig und Wasser tritt aus der Zelle aus und gefriert, so dass die Zelle kontrahiert. Dies führt sukzessive zu einer irreversiblen Denaturation der Proteine und anderen makromolekularen Strukturen, welche einen Zusammenbruch der Energieversorgung und somit ein Absterben der Zelle bewirken. Kommt es zur Bildung von intrazellulärem Eis, so gehen gefrierempfindliche Pflanzen gleich zugrunde, gefrierbeständige Pflanzen sterben langsam ab.
Eisbildungen in den Xylemen (wasserleitende Gefäßteile der Pflanze) des Stammes oder gefrorener Boden rufen auch Frostschäden hervor, da das durch die Evapotranspiration verlorengegangene Wasser nicht mehr ersetzt werden kann. Dies bewirkt im Protoplasma einen Wasserentzug wodurch es zur Frosttrocknis kommt. Sie äußert sich in einer Dehydrierung der Pflanze und einer Schädigung des Enzymsystems. Es kommt zum Erstarren der Protoplasmaströmung, weiters zu einer Beeinträchtigung der Photosynthese und zum Abwerfen der Blätter. Aber auch das Auftauen des Eises in den Xylemen stellt eine Belastung für die Pflanze dar, da sich infolge dessen Luftblasen bilden, welche die Gefäße blockieren. Dadurch wird bei Laubbäumen die Wasserzirkulation eingeschränkt, was die Bildung neuer Xyleme hemmt (HUBER und

SCHMIDT 1936). Koniferen hingegen können durch seitliche Vertiefungen in den Tracheide (röhrenförmige Gefäßzelle der Pflanze) die entstandenen Embolien isolieren und die Wasserzirkulation und somit die Xylemfunktion nach dem Auftauen aufrecht erhalten (WHITEHEAD und JARVIS 1981, PFADENHAUER 1997, LARCHER 1994, WOODWARD 1987).
Frosttrocknis und Temperaturempfindlichkeit der Membran sind also jene Faktoren, welche die Überlebensfähigkeit der Pflanzen bei niedrigen Temperaturen steuern. V.a. aus diesen Gründen, und weil das Auftreten von niedrigen Temperaturen auch Einfluss auf die Samenproduktion hat (s.o.), wird von verschiedene Autoren (z.B. LARCHER und BAUER 1981) angenommen, dass die absolute Minimumtemperatur *die* maßgebliche Größe für die Vegetationsverbreitung polwärts, bzw. im Gebirge höhenwärts darstellt (WOODWARD 1987). Nach BUGMANN (1994) kann aufgrund der guten Korrelation anstatt der absoluten Minimumtemperatur auch das Temperaturmittel des kältesten Wintermonats herangezogen werden. Auch LARCHER (1987) verwendet die Mitteltemperatur des kältesten Monats in Zusammenhang mit der jährlichen Temperaturamplitude, um Koniferen aufgrund der Frostresistenz der Ruheknospen in verschiedene Verbreitungszonen zu gruppieren (siehe Abb. 4.4). Weitere wichtige, die Frosttätigkeit charakterisierende klimatologische Werte sind mittlere und extreme Daten des ersten und letzten Frostes, die Anzahl der Frosttage in den einzelnen Monaten (v.a. April – September) und die mittlere Dauer der frostfreien Zeit. Frosttage sind Tage mit einem Temperaturminimum < 0°C, wobei Frostschäden meist durch Spät- oder Frühfröste in der Vegetationsperiode auftreten und da besonders kritisch sind (KNEES und HARLFINGER 1999, KRAMER 1988).

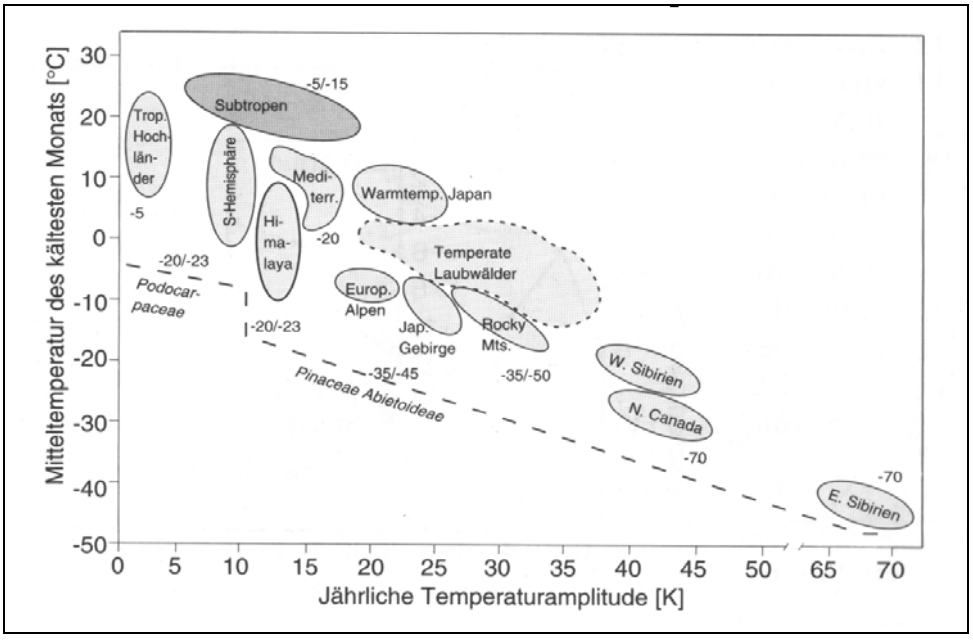


Abb. 4.4: Verbreitungsgruppierung von Koniferen aufgrund der Frostresistenzen der Ruheknospen nach LARCHER (1994)

Ein Vergleich der Frostresistenzen der Blätter (Nadeln) von a) immergrünen Laubbäumen bzw. b) Koniferen (siehe Abb. 4.5), zeigt dass die Koniferen wesentlich frostbeständiger sind, wobei der Grenzwert von einigen Koniferenarten so tief liegt, dass er gar nicht mehr ermittelt werden

konnte (ca. -75 °C). Interessanterweise zeigen jedoch die Frostresistenzen der Knospen von d) Koniferen und c) Laubbäumen (hier sind auch sommergrüne Laubbäume enthalten) bzw. der b) Koniferennadeln eine recht ähnliche Verteilung. Man erkennt einen gewissen Grenzwert der Überlebensfähigkeit für immergrüne Laubbäume von ca. –15°C, für Koniferen und sommergrüne Laubbäume (bei denen Frostresistenzen noch ermittelt werden konnten) von ca. –40°C. Für die meisten potentiell dominanten und sommergrünen Laubbäume gelten Frostresistenzen zwischen –15 und –40°C. Unter –40°C Frosttoleranz weisen v.a. einige frostresistente Koniferenarten auf (SAKAI und WARDLE 1978, LARCHER und BAUER 1981, WOODWARD 1987).

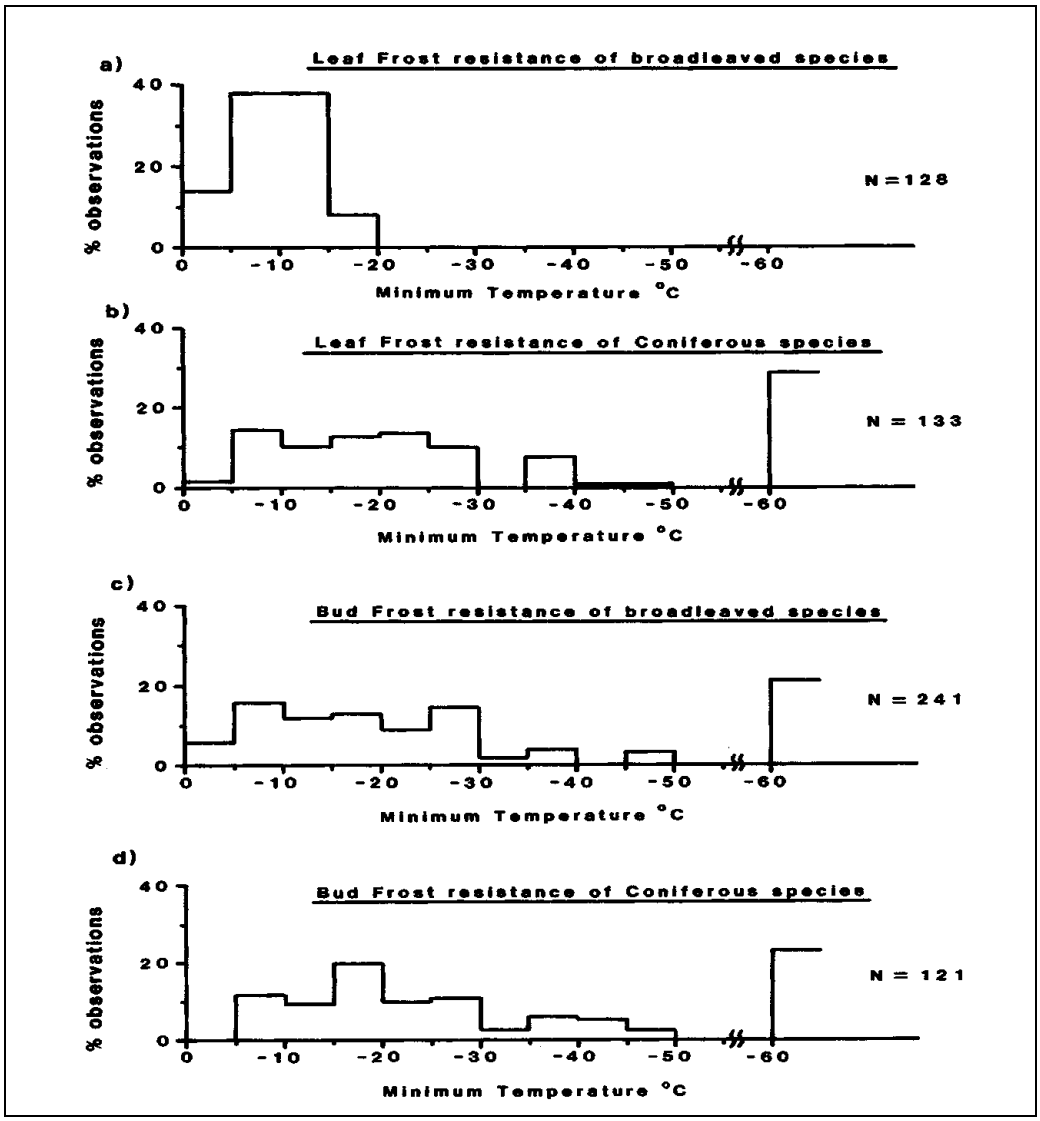


Abb. 4.5: Vergleich der Frostresistenzen von Laubbäumen und Koniferen nach WOODWARD (1987)

Ein Schutz der Pflanzen vor Frostschäden ist die physiologische Frosthärte, welche als Abhärtungsvorgang in den ersten kühlen Herbstnächten beginnt. Hierbei wird durch die Erhöhung des Zuckerspiegels im Zellsaft der Gefrierpunkt kontinuierlich bis weit unter 0°C herabgesetzt, ohne dass dabei der Zellsaft gefriert. So liegt z.B. die Frosthärte von Nadelbäumen an der

Waldgrenze (Fichte, Arve) im Sommer bei nur -7°C, im Winter hingegen bei bis zu ca. –40°C. Die Frosthärte differenziert stark zwischen Pflanzen südlicher (z.B. Sommerlinde) und nördlicher Verbreitung (z.B. Birke), wobei junge Triebe von Laub- und Nadelbäumen besonders anfällig sind. Daher sind in spätfrostgefährdeten Beckenlagen spät austreibende Arten (Eiche, Esche) begünstigt. Gegen Frosttrocknis können sich v.a. Tundra-, Hochgebirgspflanzen und nordische Baumarten schützen, da sie teilweise sogar gefrorenen Böden noch Wasser entziehen können. Eine weitere Form des Schutzes vor Frostschäden v.a. im Hochgebirge stellt z.B. die Überwinterung unter einer mächtigen Schneedecke (siehe Kapitel 4.4.4) dar (PFADENHAUER 1997).

Ein wichtiger ökologisch relevanter Temperaturaspekt ist hier die Kaltluftbildung, welche an die langwellige Ausstrahlung vom Boden gebunden, die in klaren Nächten am größten ist. Diese dichtebedingte Schichtung mit Temperaturinversion bleibt v.a. dann stabil, wenn es, wie häufig in Hochdrucklagen, zu keiner Durchmischung der Luftschichten durch Turbulenzen kommt. Die höhere Dichte der kalten Luft bewirkt in offenen Rinnen einen Kaltluftabfluss, in geschlossenen Mulden kommt es zur Ausbildung von Kaltluftseen. Demnach sind Hohlformen stärker frostgefährdet als Oberhänge und Wölbungen. Die durch Kaltluftseen verschärften Früh- und Spätfröste können zu einer Vegetationsumkehr (z.B. in Dolinen) führen. Kaltluftseen, welche häufig von extrazonalen, natürlichen Fichtenwäldern eingenommen werden, können auch bei nur sehr flach geneigten Relief entstehen und nur Tiefen von z.B. 2 m erreichen, was schon Frostschäden bewirken kann. In engen Gebirgstälern hingegen können Kaltluftseen Mächtigkeiten von bis zu 700 m erreichen. Am oberen „Ufer“ des Kaltluftsees findet man die sogenannte „warme Hangzone“, in welcher es mitunter um bis zu 5°C wärmer ist als am Grund des Kaltluftsees, so dass die Frostgefahr hier deutlich verringert ist. Hier findet man häufig zonale Tannen-Buchenwälder. Ein Kaltluftsee kann jedoch für das Pflanzenwachstum auch von Vorteil sein, da nachts bei tieferen Temperaturen die Atmungsverluste geringer ausfallen (HÄCKEL 1993, PFADENHAUER 1997, RICHTER 1997).

Definition: Die thermische Vegetationsperiode ist jene Jahresperiode, in der ein Pflanzenwachstum und andere physiologische Prozesse möglich sind. Dies ist entweder die Zeit zwischen dem letzten tödlichen Frühlingsfrost und dem ersten Herbstfrost (häufig in Amerika verwendeten Definition), oder jene Zeit, in der die Tagesmitteltemperatur oder ein anderer vergleichbarer Temperaturwert über einem bestimmten Schwellenwert liegt (TUHKANEN 1980). Die hygrische Vegetationsperiode ist nach SCHULTZ 1995 jene Zeit, in der das Verhältnis zwischen Niederschlag und Mitteltemperatur > 2 liegt.

Für die zonale und extrazonale Vegetationsgliederung spielt in Mitteleuropa die thermisch bestimmte Vegetationszeit sowohl im Nord-Süd Gefälle, wie auch in der vertikalen Gebirgsgliederung die wichtigere Rolle (SCHULTZ 1995). Definitionen des Schwellenwertes für die thermische Vegetationsperiode gibt es zahlreiche, so liegt dieser z.B. nach WOODWARD

(1992) bei 0°C (s.u.), für immergrüne Nadelbäume nach KLINK (1998) bei +5°C (häufig verwendet) bzw. nach BOTKIN (1993) bei +4,4°C und für Laubbäume nach KRAMER (1988) bei +10°C. Nach LARCHER (1995) wird bei mitteleuropäischen Baumarten ab einem Wert von +5,5°C die positive Nettoprimärproduktion erreicht. In der Forstwirtschaft wird als Vegetationsperiode auch grob die Zeit vom 1. Mai bis zum 30. September definiert, wobei dies nur für niedrige Lagen als Vergleichszeitraum herangezogen werden kann, da die Vegetationsperiode ja höhenabhängig ist (HARTMANN und SCHNELLE 1970).
Die Vegetationsperiode kann aber auch durch Trockenheit und in Gebieten mit winterlicher Schneedecke vom Zeitpunkt der Ausaperung bzw. Einschneiung bestimmt werden. So entspricht die Vegetationsperiode im Gebirge meist der schneefreien Zeit, wobei sie aufgrund der unterschiedlich hohen Schneeablagerungen (siehe Kapitel 4.4.4) auf gleicher Höhenstufe sehr differenzieren kann (LESER ET AL. 1984). Die Vegetationsperiode verkürzt sich im Gebirge aufgrund der Schneeschmelze um ca. 10 Tage pro 100 m Seehöhe, wobei die apere Zeit an Südhängen um ca. einen Monat länger dauert als an Nordhängen (TURNER 1993). Öfters wird die Vegetationszeit jedoch auch von einem Helligkeitswechsel, in Zusammenhang mit einem Temperaturwechsel begrenzt (LARCHER 1994).
Eine entscheidende Bedeutung für die Entwicklung des Pflanzenwachstums haben die Länge der Vegetationsperiode und die Klimaverhältnisse die während der Vegetationsperiode herrschen, wie Strahlung, Temperatursummen, Niederschlag und Trockenperioden. Letztere v.a. deshalb, da die Vegetationsperiode die Zeit des größten Wasserbedarfs ist. Eine Pflanzenart ist gut akklimatisiert, wenn sie die Vegetationsperiode in ihrer vollen Länge ausnützen kann, so dass für sie kein Schadensrisiko durch hereinbrechende ungünstige Jahreszeiten entsteht. Schlecht angepasste Pflanzen treiben hingegen zu früh bzw. zu spät aus oder entwickeln sich zu langsam, so dass sie durch Spät- bzw. Frühfrösten gefährdet sind. Schlechte Anpassung zeigt sich auch durch ein zu schnelles Beenden der physiologischen Aktivität, so dass die günstige Zeit unvollständig ausgenutzt wird (SCHNELLE und HARTMANN 1970, LARCHER 1994).

Die jahreszeitliche Entwicklung der Pflanzendecke (Phänologie) wird ebenfalls von der Temperatur gesteuert. Holzpflanzen passen sich an den Jahreszeitenwechsel durch periodische Veränderungen im Protoplasmazustand, der Stoffwechselaktivität, der Entwicklungsvorgänge (wie Knospenöffnung, Blattfaltung, Laubverfärbung und Laubabwurf) und des Resistenzverhaltens an. So kommt es zu einem Wechsel zwischen einer Aktivitätsphase mit vegetativen Wachstum bzw. reproduktiven Blühen und Fruchten und einer Ruhephase. Diese äußern sich in schubweisen Auf- und Entleerungen von Reserven sowie schubweisen Wachstumsvorgängen.
Der Beginn und die Länge der Entwicklungsvorgänge sind jedoch witterungsabhängig von Jahr zu Jahr verschieden. Auslöser der Vorgänge im ersten Halbjahr (Laubaustrieb, Aufbrechen der Knospen und Blühbeginn) ist v.a. die Überschreitung einer Temperaturschwelle (s.o.), wobei aber auch zahlreiche andere Faktoren (z.B. Stoffertrag, Wetter des Vorjahres) hier eine Rolle spielen. Die Temperaturschwellen für das Öffnen der Knospen bzw. das Aufblühen liegen

meist bei 6 –10°C, Gebirgspflanzen (0 - 6°C) sowie Pappeln, Birken und manche Koniferen treiben früher (0°C), viele ringporige Bäume treiben später aus (10 – 15°C). Über die phänologischen Termine des zweiten Halbjahres, wie Fruchtreife, Laubverfärbung und Blattfall entscheidet hingegen eher das Wärmeangebot in Form von Wärmesummen (s.u.), wobei auch das Nährstoff- und Wasserangebot sowie die Photoperiode eine Rolle spielen.
In der Vegetationsruhe ist die Pflanze am besten gegen Schädigungen aufgrund niedriger Temperaturen geschützt (s.o.). Die Winterruhe kann unterteilt werden in eine *Vorruhe*, gekennzeichnet durch kürzer werdende Tage und Nachttemperaturen von < 5°C, eine *Vollruhe* von November bis ca. zur Wintersonnenwende, in welcher die Pflanzen auch bei vorübergehender Erwärmung nicht aktiviert werde können, sowie eine *Nachruhe*, in welcher die Pflanze wieder entwicklungsbereit und somit für den Austrieb bereit wird. Bei Nicht-Erreichen von niedrigen Temperaturen in der Winterruhe kann es sogar zum Ausbleiben der Samenproduktion kommen (s.o.) (LARCHER 1995, LEXER ET AL. 2001, PFADENHAUER 1997).

Als Wärmesumme (= GDD (growing degree days)) bezeichnet man die aufsummierte Temperatur, welche über einen bestimmten Schwellenwert, übers Jahr oder über eine definierte Periode gerechnet wird. Wird der Schwellenwert für die thermische Vegetationsperiode (s.o.) herangezogen, so bezeichnet man dies als „effektive Temperatursumme“ (TUHKANEN 1980). Die Standardmethode zur Ermittlung der Temperatursumme (W) von REAUMUR (1735) (4) hat folgende Form (Schwellenwerte: s.o.) (TUHKANEN 1980):

$$W = \sum(t-t_o) \qquad (4)$$

t = mittlere Tages-, Monatstemperatur über bestimmten Schwellenwert
to = Schwellenwerttemperatur

Wärmesummen stellen eine wichtige Größe dar, um die thermischen Bedingungen von Pflanzenstandorten in bezug auf die Photosynthese zu charakterisieren und werden teilweise als *die* wichtigste Variable zur Charakterisierung des Waldwachstum bezeichnet (FULLER ET AL. 1987). Sie werden vielfach für vegetationsorientierte Klimaklassifikationen (z.B. DOMRÖS und GONGBING 1988) verwendet, da die Ausbreitungsgrenzen von Baumarten in etwa mit ihren Isopleten übereinstimmen, wobei die nördliche Ausbreitungsgrenze die minimal, die südliche Ausbreitungsgrenze die maximal mögliche Temperatursumme dieser Pflanzenart darstellt. Es besteht eine ausgeprägte empirische Beziehung zwischen Temperatursumme und Baumwachstum (siehe Abb. 4.6), welche (analog zur Beziehung zwischen Temperatur - Photosynthese (s.o.)) die Form einer meist asymmetrischen Parabel annimmt, wobei ihr Scheitel das Wachstumsoptimum darstellt (SHUGART 1984, BOTKIN 1993).
SOLOMON ET AL. (1984) errechnen die Grenzen der potentiellen Waldvegetation für Nordamerika aufgrund der Variablen GDD und Jahresniederschlag. WOODWARD (1992) zieht die Wärmesummen für die nördliche Verbreitung der Wälder heran und begründet den Schwel-

lenwert 0°C mit dem Blattwachstum der Tundrenvegetation bei Temperaturen > 0°C: Tundra: 200 – 700°C, sommergrüne Koniferen: 700 – 1100°C, immergrüne Koniferen: 900 – 1500°C.

Kritisch sei aber noch angemerkt, dass man beim Vergleich zweier Temperatursummen bei unterschiedlich langer Vegetationsperiode und unterschiedlich hohen mittleren Temperaturen zum gleichen Ergebnis kommen kann, welches jedoch für die Pflanzen durchaus verschiedene Auswirkungen zur Folge hat. Daher ist als Zusatzinformation die Dauer der Vegetationsperiode mitunter wertvoll. Auch geht man bei der Bildung von Temperatursummen davon aus, dass jedes Grad der Temperatur die gleiche physiologische Bedeutung hat. Tatsächlich ist aber der Zusammenhang zwischen Temperatur und biotischer Aktivität nicht linear, sondern logarithmisch bzw. parabolisch (s.o.) (TUHKANEN 1980, ZWITTKOVITS 1983).

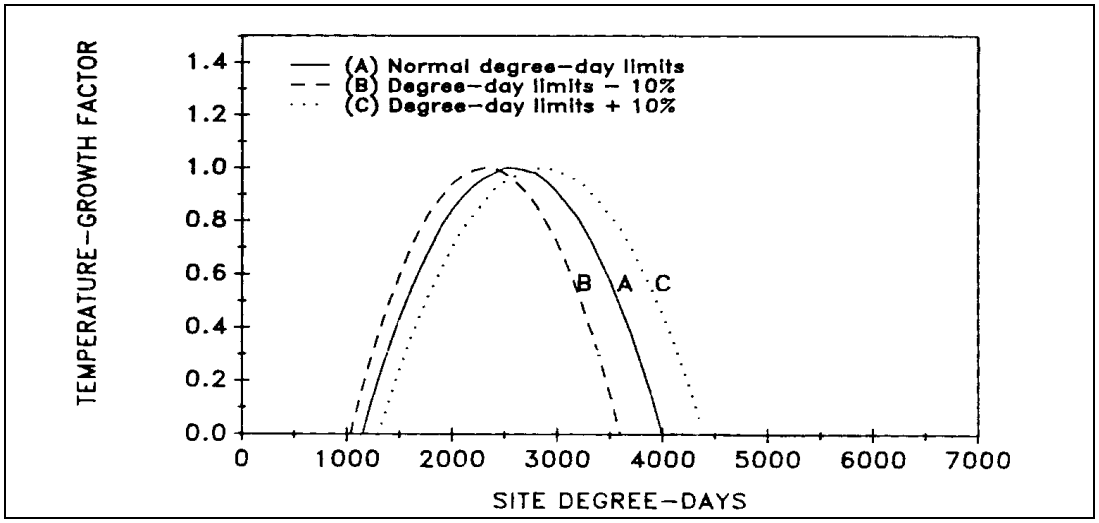


Abb. 4.6: Baumwachstum – Wärmesumme – Kurve einer Kiefer nach BOTKIN (1993)

4.4.4 Niederschlag, Verdunstung und Wasserhaushalt

Die Wasserversorgung ist, neben der Temperatur und dem Stickstoffangebot, einer der drei wesentlichen limitierenden Faktoren für das Pflanzenwachstum, da ein Wasserdefizit nahezu alle physiologischen und morphologischen Aspekte des Wachstums beeinträchtigt (KOZLOWSKI ET AL.1991). Für die Pflanzen ist von Bedeutung, dass die Wasserversorgung in Zeiten des größten Bedarfs, also in der Vegetationsperiode, sichergestellt ist (LARCHER 1994). Daher ist für Klimawerte wie Niederschlag oder Trockenperioden (s.u.) der Betrachtungszeitraum Vegetationsperiode von größerer Bedeutung, als jener übers ganze Jahr.
Das Wasser wird von den Pflanzen als Baustoff für zahlreiche Wasserstoffverbindungen benötigt und fungiert auch als Träger des Transpirationsstroms (s.u.), welcher für die Nährstoffzulieferung und die Assimilation von großer Bedeutung ist (KRAMER 1988). Eine indirekte Wirkung des Wassers auf die Assimilation ist auch dadurch gegeben, dass das Blätterwachstum und der LAI (siehe Kapitel 4.4.1) mit zunehmendem Wasserangebot ansteigt, da das Ex-

pansionsvermögens der Zellenwände von der aufgenommenen Wassermenge abhängt (WOODWARD 1987). Nährstoffaufnahme, Nährstofftransport, Gewebespannung, Assimilation und Wärmehaushalt hängen daher alle von einer ausreichenden Wasserversorgung ab (NAGL 1995).

Niederschlag deckt auf terrestrischen Standorten den Wasserbedarf der Pflanzen v.a. in der Form von fallenden, abgesetzten (Tau, Reif) und nebelförmigen Niederschlag oder Schnee. Meist liegen Messungen jedoch nur vom fallenden Niederschlag vor (NEBE 1992). In Mitteleuropa spielt der Regen für die Wasserversorgung der Vegetation die größte Rolle, Schneeniederschlag hat dort (v.a. im Gebirge) eine größere Bedeutung, wo er nach dem Abtauen einer geschlossenen Schneedecke die Bodenfeuchte (siehe Kapitel 4.5.3) und das Grundwasser entscheidend auffüllt (MITSCHERLICH 1981).

In Mitteleuropa ist die Menge des abgesetzten Niederschlags etwa 2 bis 4 %, des Nebelniederschlags in Hoch- und Kammlagen 5 bis 15 %, zum Teil sogar bis zu 30 % des fallenden Niederschlages. Nebelniederschläge stellen eine für den Wald charakteristische Erscheinung dar, da aus dem Nebel beachtliche Wassermengen von Blättern und Zweigen gewonnen werden können (FLEMMING 1994). Abgesetzte Niederschläge sind v.a. in Trockengebieten, Nebelniederschläge v.a. in Gebirgslagen von Ökologischer Bedeutung (NEBE 1992). Vom gefallenen Niederschlag gelangen jedoch nur rund 5 - 20 % in den Boden und reichern die für das Pflanzenwachstum entscheidende Bodenfeuchte (siehe Kapitel 4.5.3) an bzw. versickern, der Rest fließt oberirdisch ab oder verdunstet (NAGL 1995). Die vorherrschende Beziehung zwischen Niederschlagsangebot und Pflanzenleben wird auf jeden Fall durch das im Boden gespeicherte Wasser etwas verwischt (PFADENHAUER 1997, NEBE 1992).

Ein Ansteigen der Niederschlagsmenge mit zunehmender Seehöhe, welche durch erzwungenes Aufsteigen der Luft an Gebirgen bzw. durch die Zunahme von Wind und Luftfeuchte mit der Höhe hervorgerufen wird, gilt jedoch nur bedingt. Vielmehr wirkt sich hier die Geländeform aus, welche an Luvseiten und Kammlagen ergiebige Steigungsniederschläge bewirkt, wobei es in höheren Gipfelregionen wieder zu einer Niederschlagsabnahme kommt, da diese häufig aus den Wolken herausragen. So wird für die Alpen die Zone der größten Niederschläge in einer Höhe von etwa 2000 – 2500 m angenommen, demzufolge Gebirgswälder noch unterhalb dieser Umkehrzone liegen. Leeseiten weisen geringere Niederschlagsmengen auf, da die hier absinkenden Luftmassen sich erwärmen und austrocknen, wobei sich diese Wirkung an Steilabfällen noch verstärkt. Bei geringeren Erhebungen kann sogar bei starkem Wind der Niederschlag erst im Leebereich hinter der Erhebung zu Boden fallen (FLEMMING 1994, MITSCHERLICH 1981) (siehe Kapitel 4.2.1).

Da ein über verschiedene Höhenlagen gleichmäßig angelegtes Netz von Niederschlagsmessstationen fehlt und sich die meisten Stationen am Talboden befinden, sind gesicherte Aussagen über die Niederschlagsverteilung v.a. im Gebirge kaum möglich (HARTMANN und SCHNELLE 1970). Weiter muss mit strahlungs- und v.a. windbedingten Niederschlagsmessfehlern gerechnet werden, so dass die Messung bei Regen um 8 – 13 %, bei Schnee sogar um

ca. 25 % und auf windexponierten Stellen noch viel stärker nach oben korrigiert werden muss (FLEMMING 1994).

Zur Charakterisierung der Schneeverhältnisse werden die Zahl der Tage mit Schneefall, die Schneehöhe und v.a. die Zahl der Schneedeckentage herangezogen. Probleme ergeben sich jedoch aus der Definition eines Schneedeckentages, denn dieser kann bei 0,5 cm oder erst bei 1 cm Schneedecke vorliegen. Ökologisch wirkt sich die Schneedecke v.a. bei Jungpflanzen positiv als Frostschutz (siehe Kapitel 4.4.3), als Schutz vor dem Vertrocknen (Auswintern) und durch die Wasserzulieferung für die Bodenfeuchte bei der Schneeschmelze aus. Negative Folgen haben Schneeschimmelbildungen, die mechanische Wirkung in Form von Schneebruch, welcher v.a. an Laubbäumen starke Schäden verursachen kann, aber auch Rauheis, welches aus unterkühltem Nebel hervorgeht und in höheren Lagen schwere Schäden verursachen kann.
In Gebieten mit ausgeprägter Schneedecke (v.a. im Gebirge) markieren Anfang und Ende der Schneedecke auch Beginn und Ende der Vegetationszeit (siehe Kapitel 4.4.3), so dass die Schneedecke hier auch als Maß für die Winterruhe herangezogen werden kann. So ergeben sich oberhalb der Waldgrenze differenzierte Vegetationsmuster, welche größtenteils von der Dauer der Schneedecke abhängen. Die Verbreitung der Schneedecke selbst ist wiederum von Parametern wie Seehöhe, Hangneigung, Hangrichtung, Bewuchs, Untergrund, Sonnenstrahlung, Windverhältnisse oder Lawinen abhängig. Hierbei spielen die vom Wind geschaffenen Schneeablagerungen eine größere Rolle als die strahlungsbedingten Unterschiede der Schneeschmelzgeschwindigkeit (PFADENHAUER 1997, KRAMER 1988, KNEES und HARLFINGER 1999, LESER ET AL. 1984, TURNER 1993, NAGL und MRAS 1992, ELLENBERG 1996).

Der ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG (1980) verwendet zur Kennzeichnung der Wasserverhältnisse die mittlere Niederschlagssumme im Jahr und in der Vegetationszeit (hier Mai – September), die Niederschlagsverteilung übers Jahr, die mittlere Zahl der Tage mit Schneedecke sowie Werte über die relative Luftfeuchte (KRAMER 1988). DEFANT und OBST (1923) bezeichnen die Jahresniederschlagsmenge, die jahreszeitliche Verteilung, Art und Intensität des Niederschlags als besonders wichtig für das Pflanzenwachstum. SOLOMON ET AL. (1984) errechneten die Grenzen der potentiellen Waldvegetation für Nordamerika aufgrund der Variablen Jahresniederschlag und GDD.
Da die Pflanzen den gesamten gefallenen Niederschlag oft nicht nützen können, ist auch die Niederschlagshäufigkeit, in der Form von Niederschlagstagen, ökologisch von Bedeutung. So geht z.B. bei einem Starkregenereignis ein großer Teil des Wassers über den Oberflächenabfluss für die Pflanzen verloren. Daher sind z.B. 4 mal 10 mm Niederschlag im Monat für die Pflanzen wesentlich effektiver als 1 mal 40 mm. So kommt es im pannonischen Klima im Juli trotz des Niederschlagsmaximums zu einer Trockenklemme, da die Niederschläge nur an wenigen Tagen als Starkregen fallen. Die Zahl der Niederschlagstage in Kombination mit der Niederschlagssumme kann so auch als Maß für die Niederschlagsintensität herangezogen wer-

den. Die Länge von Trockenperioden (s.u.) ist jedoch ökologisch wesentlich aussagekräftiger (TUHKANEN 1980, NAGL 1995).

Die Verdunstungsverluste, welche v.a. durch meteorologische Faktoren wie das temperaturabhängige Sättigungsdefizit der Luft, Strahlung und Wind bestimmt werden, vermindern jedoch das Wasserangebot. Aber auch andere Faktoren wie Pflanzenart (Pflanzenmasse, Pflanzendichte, Pflanzenhöhe), Pflanzenentwicklung und Bodenfeuchte und somit die Bodenart haben auf diese einen Einfluss, so dass die Verdunstung sehr schwierig zu erfassen ist. Die potentielle Evapotranspiration (PET), ist die bei ständiger Wasserversorgung klimatisch mögliche Verdunstung, während die aktuelle Evapotranspiration (AET) vom tatsächlichen Wasserangebot bestimmt wird. Die PET kann sich mit zunehmender Höhe aufgrund der erhöhten Strahlung und Windgeschwindigkeit verstärken, sie kann jedoch auch wegen der steigenden relativen Luftfeuchtigkeit abnehmen. Die AET nimmt jedoch i.A.. mit der Höhe ab und mit der Vegetationsdichte zu. So verdunsten an einem Sommertag von einer Kiefer nur 2,35 mm, von einer Birke aber 4,7 mm (FLEMMING 1994, MITSCHERLICH 1981, NAGL 1995, NEBE 1992).

Die Transpiration (produktive Verdunstung) macht im Waldgebieten ca. 60 % der gesamten Evapotranspiration aus (FLEMMING 1994). Sie hat eine große Bedeutung für das Pflanzenwachstum, denn sie bewirkt den Transpirationsstrom, welcher von den Wurzeln zu den Blättern fließt und gelöste Nährstoffe zu den verschiedenen Pflanzenteilen transportiert. Die Transpiration, welche von der Größe der Spaltöffnungen (Stomata) der Blättern abhängt, ist auch notwendig, damit die Pflanze überhaupt assimilieren kann, weil durch die Transpiration der Gasaustausch mit der Atmosphäre gewährleistet wird. Da die Pflanze die Wasserbilanz (s.u.) weitgehend ausgeglichen halten muss, besteht zwischen Wasseraufnahme und Transpiration eine enge wechselseitige Beziehung. Bei starker Transpiration gleicht die Pflanze den Wasserverlust durch intensive Wasseraufnahme über das Wurzelsystem aus. Bei ungenügender Wasserversorgung schließen sich die Spaltöffnungen aufgrund des sinkenden Turgordrucks (Druck des Zellsaftes auf die Pflanzenzellwand) in den Schließzellen, wodurch die Transpiration und somit die Assimilation vermindert werden (KRAMER 1988, WALTER 1960). So kommt es zu einer Einschränkung der Evapotranspiration aufgrund unzureichender Wasserversorgung, wenn die Bodenfeuchte in der Wurzelzone 60 – 70 % der nutzbaren Kapazität unterschreitet, und zum vollständigen Erliegen der Evapotranspiration bei einer Austrocknung der durchwurzelten Bodenschicht auf den Welkepunkt (VAN EIMERN und HÄCKEL 1984).
Die Höhe der Transpiration ergibt sich aus einer Kombination der Faktoren Licht und Wasserdampfdruck, so dass ansteigende Temperaturen zweierlei bewirken können: Einerseits bewirkt eine zunehmende Beleuchtungsstärke ein Ansteigen der Transpiration, direkt durch die Vergrößerung der Stomata und indirekt über steigenden Temperaturen, welche zu einem erhöhten Wasserdampfdruckgefälle Blatt – Luft führen. Durch diese sogenannte Transpirationskühlung, welche nur bei ausreichender Wasserversorgung sichergestellt ist, wirken Pflanzen dem Hitzestress entgegen (siehe Kapitel 4.4.3). Andererseits beginnen sich die Stomata bei einem weite-

ren Ansteigen des Blatt-Luft Wasserdampfgradienten ab einem gewissen pflanzenspezifischen Schwellenwert als Austrocknungsschutz wieder zu schließen und die Transpiration wird reduziert, wobei trockener Boden diesen Prozess verstärkt. Wind bringt trockene Luft an die Blattoberfläche und erhöht dadurch meist die Transpiration, im Winter ist die Transpiration durch die abnehmende Tageslänge und Frosttrocknis (siehe Kapitel 4.4.3) stark eingeschränkt (LARCHER 1994, TESCHE 1992, TRANQUILLINI 1992).
Eine wichtige Größe ist hierbei auch die Interzeption, welche vom Blattflächenindex, von der Rauhigkeit, Größe, Anordnung, Elastizität und dem Wasserdefizit der Blätter, der Art und Temperatur des Niederschlages und vom Wind abhängt. Die Interzeptionsverluste betragen im Wald 15 – 30 % (Laubwälder ca. 10, Buchenwälder ca. 20, Fichtenwälder bis 40 %) des Jahresniederschlags (s.u.), so dass der Bodenwasserhaushalt (siehe Kapitel 4.5.3) auch von den jeweiligen Pflanzenformationen abhängig ist. Da die Interzeptionsverdunstung zu einem Herabsetzen der Transpiration führt, kann sie an heißen Tagen durchaus zu einer Verbesserung der Hydratur des Baumes und somit zu einer länger andauernden Assimilation aufgrund längerer Stomataöffnungszeiten führen (MITSCHERLICH 1981, NAGL 1995, RICHTER 1997).

TRANSEAU (s.u.) zeigte schon 1905 für die USA bzw. CURRIE und PAQUIN (1987) für Nordamerika, Großbritannien und Irland, dass das Verhältnis Niederschlag/Verdunstung bzw. die Evaporation die Pflanzenverteilung wesentlich besser widerspiegelt als nur der Niederschlag alleine. ROSENZWEIG (1968) betont die starke Korrelation zwischen der PET (nach THORNTHWAITE 1948 (5)) und der Nettoprimärproduktion. Diese große Bedeutung der Evapotranspiration ist dadurch begründet, dass die Evapotranspiration die drei wesentlichen Faktoren für das Pflanzenwachstum Niederschlag, Strahlung und Temperatur, in sich vereint (KOZLOWSKI ET AL.1991) und sie auch eine wesentliche Größe für die ökologisch wichtige Bodenfeuchte (siehe Kapitel 4.5.3) darstellt (NAGL 1995).
Die sehr komplex zu ermittelnde Evaporation wird vielfach vereinfachend als lineare Funktion der Temperatur angenommen (siehe Klimadiagramm von WALTER; Humiditäts- und Aridi-tätsindizes), da diese Größen in außertropischen Gebieten stark korrelieren (0.9) und daher die Evaporationskurve mit der Temperaturkurve im positiven Temperaturbereich weitgehend parallel verläuft (WALTER 1955, GIESE 1974). BAUMGARTNER ET AL. 1983 haben speziell für den Alpenraum Mittelwerte der Jahresverdunstung in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur und der Seehöhe errechnet. So ergibt sich z.B. für eine Jahresmitteltemperatur von 10°C eine Verdunstung von 695 mm, der Verdunstungsgradient beträgt 18 mm / 100 m und 34 mm / 1°C. THORNTHWAITE 1948 berechnet die PET nach folgender Formel (5):

$$\underline{PET_M} = (1{,}6*((10*T_M)/TE)\text{^}A)*Clat_{M,Lat} \qquad (5)$$

$$TE = \sum((0{,}2*T_M)\text{^}1{,}514)$$

$$A = 0{,}9262/(2{,}42 - \log TE)$$

PETm = potentielle Evapotranspiration für das Monat M
TE = Temperatureffizienzindikator

A = empirischer Koeffizient
Clat = Korrekturfaktor für Breitengrad und Monat (charakterisiert Sonnenstand, etc.)

Die Humidität, als Grad der Feuchte im Sinne eines Niederschlagsüberschusses im Verhältnis zur Verdunstung (LESER ET AL. 1984), ist eine weitere wichtige ökologische Größe und von wesentlich größerer Bedeutung als der Jahresniederschlag, da sie das den Pflanzen zur Verfügung stehende Wasserangebot angibt. Sie ist jedoch wesentlich schwieriger zu ermitteln als thermische Komponenten da sie von den drei verschiedenen Klimamerkmalen *Menge* bzw. *jahreszeitliche Verteilung des Niederschlags* und den zugleich *vorherrschenden Temperaturen* abhängt, wobei diese Temperaturen ja schon ein vereinfachtes Maß für die komplexe Verdunstung darstellen (s.o.). Da diese 3 Größen nun unabhängig von einander variieren, sind die verschiedensten Kombinationen möglich, es kann aber auch ein und die selbe Wirkung durch verschiedene Kombinationen erreicht werden. Die Humidität kann einerseits durch Klimaindizes (s.u.), in die alle diese Komponenten eingehen, ausgedrückt werden. Diese Werte sind jedoch unanschaulich und die Ausgangswerte lassen sich nicht mehr erkennen (SCHROEDER 1998).

Die zweite Möglichkeit der Humiditätsdarstellung ist das Klimadiagramm von WALTER (1955) (siehe Abb. 4.7), welches eigens für ökologische Zwecke konzipiert wurde und diese Nachteile (s.o.) durch die graphische Darstellung zwar beseitigt, dynamische Gesichtspunkte der Luftkörperklimatologie allerdings nur ungenügend berücksichtigt (FLIRI 1962). Das Verhältnis zwischen mittlerer Monatstemperatur und mittlerem monatlichen Niederschlag beträgt hier 1:2 (1°C = 2 mm). Eine *aride Jahreszeit* (m: punktierte Fläche) herrscht aufgrund des Zusammenhangs Temperatur - Evaporation (s.o.) dann vor, wenn die Kurve der mittleren Monatstemperatur (k) jene des mittleren Monatsniederschlages (l) übersteigt, eine *humiden Jahreszeit* (n: schraffierte Fläche) ist umgekehrt definiert. Bei einer *Trockenzeit* kommt die erniedrigte (strichlierte) Niederschlagskurve (p: 1°C = 3 mm) unter der Temperaturkurve zu liegen (SCHROEDER 1998). Diese Trockenheitsdefinition ist jedoch nicht überall anwendbar, da die höhenabhängige Verdunstung und der oberflächliche Abfluss von Niederschlagswasser hierbei nicht berücksichtigt werden (LARCHER 1994).
Weitere, nach WALTER (1955) auslesende Faktoren für die Vegetation, die hier vermerkt werden sind die *Monate mit Spät- und Frühfrösten* (r: schraffierter Balken) (siehe Kapitel 4.4.3), *Kältezeiten* (Monate mit mittlerem Tagesminimum < 0°C) (q: schwarzer Balken) und *absolut frostfreie Monate* (freie Fläche dazwischen). Beim Gehölzanbau werden noch zusätzlich ökologisch relevante Werte wie die *Häufigkeit von Extremtemperaturen* bzw. *von Trockenzeiten* angegeben. Darüber hinaus werden noch folgende, ökologisch wesentliche Klimaelemente numerisch angegeben: *Mittlere Jahrestemperatur (d), mittlere jährliche Niederschlagsmenge (e), mittleres tägliches Minimum des kältesten Monats (f), absolutes Minimum (g), mittleres tägliches Maximum des wärmsten Monats, absolutes Maximum, mittlere tägliche Temperaturschwankung, mittlere monatliche Niederschläge > 100 mm, frostfreie Periode in*

Tagen, Humiditätsgrad (Verhältnis der schraffierten zur punktierten Fläche). Nicht-klimatische Angaben betreffen den Stationsname (a), die Seehöhe (b) und die Zahl der Beobachtungsjahre (c) (NEBE 1992, SCHROEDER 1998, WALTER 1955).

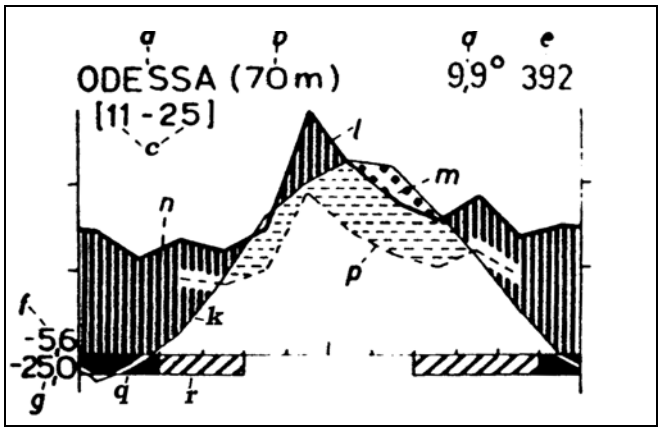


Abb. 4.7: Klimadiagramm nach WALTER (1955) Quelle: SCHROEDER 1998

Die zahlreichen Humiditäts- und Ariditätsindizes versuchen auch die für das Pflanzenwachstum relevante Humidität zu ermitteln, indem sie meist die Klimakennwerte *Jahresmittelwert der Temperatur (T)* und des *Niederschlages (N)* als ökologische Größe miteinander verknüpfen und so das Feuchteregime der Standorte charakterisieren. Viele Indizes nehmen jedoch (wie auch WALTER 1955) eine lineare Abhängigkeit der Evaporation von der Temperatur an (s.o.), und können darüber hinaus auch nicht die für das Pflanzenwachstum wichtige saisonale Variation von Temperatur und Niederschlag berücksichtigen. Im der Folge sind einige Beispiele aufgelistet, wobei die klimatische Wasserbilanz (s.u.) auch noch dazu gezählt werden kann:

Der Regenfaktor nach LANG (1915)

$$Fl = N/T \qquad (6)$$

Dieser Regenfaktor (6) wurde später zum „reduzierten Regenfaktor“ verfeinert, bei dem statt T die Temperatursumme der Monatsmittelwerte dividiert durch 12 herangezogen wird, wobei nur Temperaturen > 0°C eingehen. Der Grenzwert für den Übergang von arid zu humid liegt hier 40.

Der Ariditätsindex nach DE MARTONNE (1926)

$$i = N/(T + 10) \qquad (7)$$

Dieser Ariditätsindex (7) wird auch heute noch vielfach verwendet. +10 im Nenner relativiert hier den Einfluss der Temperatur und macht die Formel auch für kältere Gebiete anwendbar. Für kürzere Perioden kann dieser auch auf Monatsbasis in der Form i = (n*12)/(t + 10) angegeben werden. Der Grenzwert von arid und humid liegt hier bei 20, ab einem Wert von ca. 30 können Bäume auftreten (NEBE 1992, TUHKANEN 1980).

Hygrothermischer Quotient (HQ) nach SELJANINOW (1937):

$$HQ = (N/\sum t)*10 \quad (8)$$

N = Niederschlag innerhalb eines bestimmten Zeitraumes
$\sum t$ = die Temperatursumme für diesen Zeitraum

Nach SELJANINOW (1937) liegt in Osteuropa die Grenze vom Waldgebiet zur Waldsteppe dort, wo in einem Sommermonat der HQ (8) kleiner 1 ist. Dieser Wert entspricht der *Trockenzeit* nach WALTER (s.o.), da für einen Monat mit Niederschlag N_o und Temperaturmittel t_o gilt: $(N_o/30t_o)*10 = (N_o/3t_o)$. SELJANINOW definiert die Grenze der Waldsteppe zur Steppe durch einen HQ von < 0,7, was der *Dürrezeit* nach WALTER entspricht (WALTER 1955, NAGL und MRAS 1992).

Die Pflanze ist in ein Wasserpotentialgefälle (siehe Kapitel 4.5.3) zwischen Boden und Atmosphäre eingebunden, welches sie durch den Transpirationsstrom ausgleicht. Dieses wird durch die Größen *Wasserpotential im Boden* (abhängig von Bodenart (siehe Kapitel 4.5.5, 4.5.3)), *Wasserpotential der Pflanze* (Bilanz aus osmotischem und Gewebedruck-Potential) sowie *Wasserpotential der Atmosphäre* (abhängig von der Temperatur) gesteuert (PFADENHAUER 1997).
Diese bedingen die Wasserbilanz der Pflanze, als Differenz zwischen Absorption und Transpiration, welche das Ausmaß und die Richtung einer Ablenkung vom Fließgleichgewicht anzeigt. Die Wasserbilanz pendelt ständig zwischen einer positiven und negativen Abweichung, verschlechtert sich tagsüber fast immer und wird nachts wieder ausgeglichen. Erwachsene Bäume müssen aufgrund ihrer großen verdunstenden Oberfläche und des langen Weges von den Wurzeln zu den Blättern ständig einer unausgeglichenen Wasserbilanz durch Schließen der Stomata entgegenwirken, um keine größeren Wasserverluste zu erleiden (s.o.). Eine beginnende Unterbilanz in den Blättern wird durch gespeichertes Wasser in anderen Pflanzenteilen ausgeglichen. In Trockenzeiten kann sich der Wasserhaushalt jedoch über Nacht nicht mehr erholen und es kommt zum täglichen Anwachsen der Unterbilanz bis zum nächsten Regen (LARCHER 1994).

Den Wasserhaushalt eines Pflanzenbestandes und des durchwurzelten Bodens erfasst man über die Wasserbilanzgleichung (9), wobei alle Größen auf eine Grundflächeneinheit bezogen werden und als Niederschlagsäquivalente in mm angegeben werden:

$$N = \Delta W + V_{ET} + V_{AV} \quad (9)$$

N = mittlere Jahresniederschlagssumme
ΔW = Änderung des Wasservorrates
V_{ET} = Evapotranspiration aus Pflanzen und Boden (incl. Interzeption)
V_{AV} = Verluste durch oberirdischen Abfluss, oberflächennahen Abfluss und Versickerung

Auch die Wasserbilanz ist aufgrund der Komplexität der Evapotranspiration (s.o.) schwierig zu ermitteln. Die Gleichung (9) basiert auf der vereinfachten Annahme, dass der Wasserhaushalt

der Pflanzendecke ausschließlich durch die Niederschläge versorgt wird und es zu keinen seitlichen Zuflüssen kommt. ΔW kann entweder die Änderung der Wasservorrats im Ökosystem, oder die Änderung der für die Pflanzen wichtigen Bodenwasserreserven (Haftwasser und verwertbares Sickerwasser) bedeuten.
Die höchsten Wassergehalte im Boden (siehe Kapitel 4.5.3) treten im Frühjahr nach der Schneeschmelze auf, da im Winter die Pflanzen weniger Wasser verbrauchen, als durch Niederschlag zugeführt wird. Im Sommer jedoch benötigen die Pflanzen mehr Wasser, als Niederschlag fällt, so dass es dann zu einem Absinken des Wassergehaltes bis zu einem Minimumwert im Spätsommer kommt. Der Wassergehalt in der Vegetationsschicht schwankt tageszeitlich und jahreszeitlich, wobei es zu einem Maximumwert in der Belaubungsphase kommt (LARCHER 1994, FLEMMING 1994, MAYER 1992). Berechnet man nur die monatliche Differenz zwischen Niederschlag und PET, so erhält man die klimatische Wasserbilanz, welche als weiteres Maß für die Aridität bzw. Humidität des Klimas (s.o.) herangezogen werden kann (VAN EIMERN und HÄCKEL 1984).
STEPHENSON (1990) betont, dass die Verteilung von Pflanzenarten in Nordamerika stärker mit der Wasserbilanz korreliert als mit der jährlichen Niederschlagssumme. Er spaltet hierbei die Wasserbilanz in die jährliche AET und das jährliche Wasserdefizit auf (siehe Abb. 4.8). Werden diese Komponenten auf den Koordinatenachsen aufgetragen, so verteilen sich die Baumarten entlang der Achse der AET und werden von einem jährlichen Wasserdefizit von 400 mm begrenzt. Nach NEBE (1992) können in wärmeklimatisch einheitlichen Gebieten unterschiedliche Wasserhaushalte scharfe Grenzen zwischen Vegetationseinheiten verursachen.

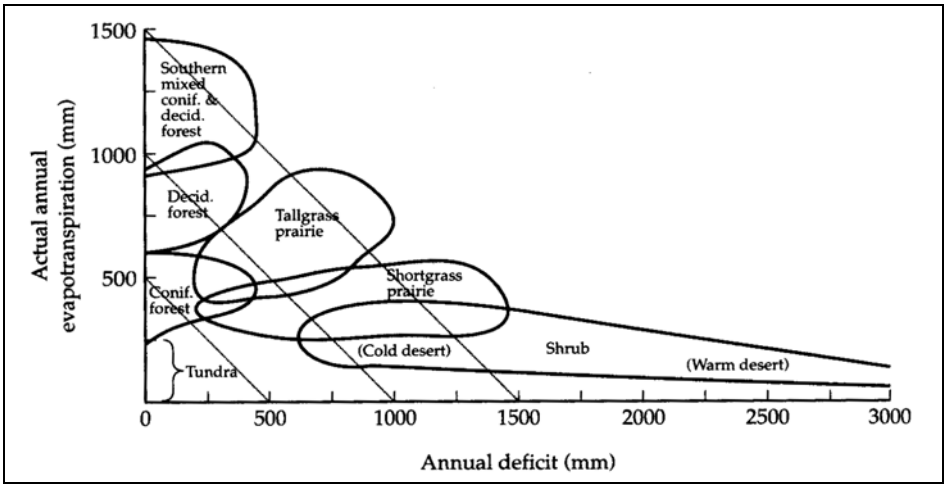


Abb. 4.8: Pflanzenverteilung Nordamerikas aufgrund der jährlichen aktuellen Evapotranspiration und des jährlichen Wasserdefizit nach STEPHENSON (1990) Quelle: GATES (1993)

Ein wichtiger Indikator für die Wasserversorgung der Vegetation während der Vegetationsperiode ist der „Soil Moisture Index“ (SMI) (10), welcher aus der standortspezifischen Wasserbilanz abgeleitet wird und das relative Feuchtedefizit während der Vegetationsperiode charakterisiert. Der Bereich des SMI einer Baumart wird sowohl durch deren Feuchtigkeitsanspruch als auch durch deren Trockentoleranz beschrieben, wobei Baumarten mit höheren Feuchtigkeits-

ansprüchen empfindlicher auf Wassermangel reagieren und eine geringere Trockentoleranz aufweisen. Die Berechnung der AET erfolgt hier durch die PET, die Bodenart, den aktuellen Bodenwassergehalt und die nutzbare Feldkapazität (LEXER und HÖNNINGER 1997a, STEINER 1998).

$$SMI = \sum(PET_v - AET_v)/ \sum PET_v \quad (10)$$

PETv = potentielle Evapotranspiration während der Vegetationsperiode
AETv = aktuelle Evapotranspiration während der Vegetationsperiode

Der Wasserverbrauch, den Bäume zur Produktion von 1 g Trockensubstanz benötigen ist unterschiedlich hoch. Eiche, Kiefer und Birke haben einen starken, Lärche einen hohen, Fichte eine mittleren und Buche und Douglasie einen geringen Wasserverbrauch. Bäume können sich weitgehend durch Ausbildung der Wurzeln an verschiedene Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse anpassen, wobei nach ERTELD und HENGST (1966) geringes Wachstum öfters durch mangelnde Wasserversorgung als durch ungünstige Nährstoffversorgung bedingt ist (KRAMER 1988).

Die Artenverbreitung hängt stark von der Fähigkeit der Pflanzen ab, auf Trocken- oder Nässestress zu reagieren. Nässestress kann durch An- oder Überstauung des Grundwassers bzw. Überflutung (Auen) durch Fremdwasser verursacht werden, äußert sich durch Sauerstoffarmut und wirkt sich meist schädlich auf das Baumwachstum aus. Bäume im gemäßigten Klima reagieren darauf vermutlich durch eine zeitweise Umstellung auf anaerobe Atmung. Jedoch können selbst sehr nässeverträgliche Arten (Weiden, Erlen) nur dort gedeihen, wo in oder kurz nach der Hauptwachstumszeit der Grundwasserspiegel soweit absinkt, dass sich die Bodenporen im Wurzelraum mit Luft füllen können (PFADENHAUER 1997).

Trockenstress hat einen wichtigen Einfluss auf die Pflanzenverbreitung und führt zu einem reduziertem Pflanzenwachstum (s.u.), da Trockenstress die meisten physiologischen Prozesse beeinflusst. Er entsteht, wenn den Pflanzen zu wenig Wasser in geeignetem thermodynamischen Zustand zur Verfügung steht, das heißt, wenn das Wasserpotential (siehe Kapitel 4.5.3) unter einen bestimmten Grenzwert sinkt. Durch Bodentrockenheit, hohe Verdunstung, aber auch flachgründige Standorte (siehe Kapitel 4.5.4), die eine angemessene Ausdehnung des Wurzelsystems behindern, kommt es zu einer begrenzten Wasseraufnahme und zur fortschreitenden Anspannung der Wasserbilanz. Häufig ist die Bodentrockenheit mit Lufttrockenheit und starker Einstrahlung, also mit hoher Verdunstungsbelastung gekoppelt. Eine Trockenbelastung in Sprosspflanzen tritt im Gegensatz zu anderen Stressereignissen nicht abrupt auf, sondern bahnt sich langsam an und verstärkt sich mit der Ausdauer der Trockenheit, so dass die Zeitkomponente hier ein wichtiger Faktor ist (s.u.).

Der Wassermangel bewirkt eine Volumsverminderung der Zelle, eine Erhöhung der Zellsaftkonzentration und die Entquellung des Protoplasmas. Die erste Reaktion auf Wassermangel ist ein Rückgang des Tugors und somit eine Verlangsamung von Wachstumsvorgängen. Weitere Folgen länger anhaltender Trockenheit sind die Beeinträchtigung des Proteinstoffwechsels, der Nitratreduktaseaktivität und eine Zunahme des Phytohormons Abscisinsäure, welche das Schließen der Stomata bewirken und dadurch die Transpiration, Photosynthese und Atmung herabsetzen. Sichtbare Zeichen des Stresszustandes sind zunächst ein reversibles Welken der Blätter, die Beschleunigung von Alterungsprozessen und schließlich eine sukzessiven Vergilbung älterer Blätter sowie eine Verringerung des Wurzelwachstums. Eine starke Austrocknung führt letztendlich zum Absterben der Pflanze (WOODWARD 1987, BUSCHMANN ET AL. 1999, LARCHER 1994, KOZLOWSKI ET AL.1991).
Durch Trockenstress kann es besonders bei Laubbäumen zur Abtrennung der Blätter kommen. Da Bäume (v.a. Koniferen) das Wasser jedoch v.a. im Stamm speichern können, sind sie während einer Trockenperiode noch unterschiedlich lange imstande, von ihrem Wasservorrat zu zehren. Dieses Wasserreservoir ist direkt proportional zum Volumen und zum LAI des Baumes (WOODWARD 1987). Auf Trockenstress reagieren Dürre-empfindliche Pflanzen durch ausweichen der Trockenperioden, indem sie z.B. die Trockenzeit durch Samen überdauern, Dürreresistente Pflanzen verzögern die Austrocknung z.B. durch verbesserte Wasseraufnahme mittels eines intensiven Wurzelwerks (Magerrasen) (PFADENHAUER 1997).

Trockenperioden stellen eine wichtige Größe für die Verteilung von Pflanzenarten dar, da sie Auswirkungen auf die Bodenfeuchte bzw. die Grundwasserspende haben und in weiterer Folge Trockenstress (s.o.) verursachen. Die negativen Auswirkungen einer Trockenperiode auf das Pflanzenwachstum sind sehr stark von der Länge der Trockenperiode, vom herrschenden Wasserdefizit sowie der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens abhängig (TUHKANEN 1980, KOZLOWSKI ET AL.1991, NAGL 1995). Für eine Wuchsraumgliederung sind hierbei v.a. Trockenperioden während der Vegetationsperiode von Bedeutung (NOBILIS 1985).
Problematisch ist jedoch die Definition von Trockenperioden. Die einfachsten Definitionen beziehen sich auf aride Monate, in denen ein gewisser Schwellenwert des Niederschlags bzw. Humiditäts-Indexes (s.o.) nicht überschritten wird. So kann z.B. nach DAVIDSON (1937) unter einem N/PET-Verhältnis von 0,5 bzw. nach dem Trockenheitsindex (TI) von GAUSSEN (1953) (TI = (3*T)/N) ab 1,5, die Pflanzen nicht mehr genug Feuchtigkeit für das Wachstum beziehen. Nach WALTER (1955) (s.o.) liegt ab einem Verhältnis von N = 2*T eine Trockenzeit bzw. ab N = 3*T eine Dürrezeit vor, wobei dies nur groben Grenzwerte sind (TUHKANEN 1980). NAGL (1995) spricht von einer Trockenperiode ab 10 Tagen, da ab diesem Wert nur Grundwasser die oberirdischen Abflüsse füllt. Jedoch bleiben z.B. bei Fichtenbeständen an Sommertagen selbst 5 mm Niederschlag aufgrund der Interzeption wirkungslos und unterbrechen nicht eine Trockenperiode (siehe Kapitel 4.4.4). Für den Hydrographischen

Dienst liegt ab 6 Tagen mit täglichen Niederschlagshöhen bis zu 0,2 mm eine Trockenperiode mm vor (NOBILIS 1985).
In Deutschland wird als klimatologische Trockenperiode ein mindestens 5 tägiger niederschlagsfreier Zeitraum angesehen, in welchem das klimatologische Wasserdefizit mindestens 10 mm beträgt (MAURER 1975). An diese Definition anknüpfend veröffentlichte SCHÜEPP (1984) eine Studie, die besagt, dass im Kanton Basel Waldschadensereignisse aufgrund von Trockenstress ab einem klimatologischen Wasserdefizit von mindestens 40 mm auftreten, wobei diese Schäden in Jahren mit einem gesamten aufsummierte Wasserdefizit von mehr als 100 mm vorkommen. HAVLIK (1991) zieht den Wert 40 mm als klimatologischen Grenzwert zur Quantifizierung des Trockenstresses heran, wobei dieser Wert v.a. für tiefergelegene Bereiche Westmitteleuropas gilt und nur mit Einschränkungen auf die Alpen übertragbar ist.
Mittelwert und Varianz der Dauer von Trockenperioden übers Jahr und die Vegetationszeit eignen sich sehr gut, um klimatische Großräume in Österreich abzugrenzen, wobei inneralpine Trockentäler und die Trennung des Granit- und Gneisplateaus gut ausgeschieden werden. Von besonderer Bedeutung für die Forstwirtschaft sind Aussagen über extreme Trockenperioden während der Vegetationszeit (z.B. Länge einer 10 jährigen Trockenperiode) (NOBILIS 1985).

4.5 Edaphische Faktoren

Definition: *"Ein Boden ist ein Naturkörper, bei dem ein Gestein unter einem bestimmten Klima und einer bestimmten streuliefernden Vegetation durch bodenbildende Prozesse, das heißt Verwitterung und Mineralbildung, Zersetzung und Humifizierung, Gefügebildung und Verlagerung, umgewandelt wurde und wird"* (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).
Die Böden stellen Kompartimente von Ökosystemen dar, in denen Wasser und Nährstoffe von Speicher-, Filter- und Puffersystemen in pflanzenverfügbarer Form angeboten werden. Da die höheren Pflanzen in diesem Bereich wurzeln, findet hier ein wesentlicher Teil des pflanzlichen Energie- und Stoffhaushaltes statt. Böden sind ein inhomogenes Medium, weshalb auch die Durchwurzelung der Pflanzen auf kleinstem Raum wechselt (siehe auch Kapitel 4.5.8) (NEBE 1992).

4.5.1 Der Nährstoffgehalt des Bodens

Die Mineralböden bilden für die Vegetation die initiale Quelle und eine Reserve an anorganischen Spurenelementen, wobei diese chemischen Elemente (s.u.) in unterschiedlichen Bindungen vorliegen können und zwar als Salze, austauschbar an der Oberfläche von Sorbienten (s.u.), in schwer austauschbarer Form in Zwischenschichten von Tonmineralien, in organischen Substanzen, in der Biomasse oder immobil in Silikaten oder Eisen- bzw. Manganoxiden. Sie können jedoch nur dann von den Pflanzen genutzt werden, wenn sie als Ionen in ausreichender Menge, in ausgewogenen Verhältnis zueinander, pflanzenverfügbar in der Bodenlösung (wässrige Phase des Bodens) vorhanden sind.
Abweichungen von diesen Bedingungen verursachen Stresssituationen für die Pflanzen, welche eine selektive Wirkung auf die Artenzusammensetzung ausüben. So ist immer der in zu geringer Menge zur Verfügung stehende Nährstoff wachstumsbegrenzend, auch wenn alle anderen wichtigen Elemente ausreichend vorliegen. Nährstoffmangel von einem oder mehreren Elementen entsteht v.a. in mäßig bis stark sauren (pH-Wert< 5) oder kalkreichen (pH-Wert ≥ 7), trockenen (im humiden Klima mit flachgründigen gleichzusetzen), klimatisch kühleren oder nassen Böden. Die Ursache dafür ist meist die mangelnde Nachlieferung von Mineralstoffen aus der organischen Substanz aufgrund reduzierter Aktivität der Destruenten. Durch Nährstoffmangel werden Mechanismen zur Verbesserung der Nährstoff-Aufnahme-Effizienz (z.B. Symbiosen) bzw. Gebrauchseffizienz (Nährstoffspeicherung im Herbst) von den Pflanzen aktiviert. Durch Ionenüberschuss treten vermehrt Pflanzen mit Vermeidungs- bzw. Toleranzstrategien (z.B. Abwurf chemisch belasteter Organe) auf. Daher kommt es zum verstärkten Auftreten von spezialisierten Arten (z.B. Föhrenwälder, Trockenrasen) und zum Fehlen von anspruchsvollen, meist hochwüchsigen Pflanzen (PFADENHAUER 1997, RICHTER 1997).

Die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanze hängt von zahlreichen Faktoren, wie der Konzentration der Nährstoffe in der Bodenlösung, der Quantität von Nährstoffen in leicht verfügbarer Form, der Transportrate zu den Pflanzenwurzeln (durch Bodenfeuchte und Bodengefüge bestimmt), der Ionenkonkurrenz, den toxischen Stoffen, der Bodendurchlüftung, der Bodentemperatur, der Durchwurzelbarkeit (siehe Kapitel 4.5.4), dem Aufschlussvermögen für schwerlösliche Nährstoffe und der biologischen Aktivität ab. Indikatoren für die Nährstoffverfügbarkeit gibt es daher einige (s.u.), am wichtigsten sind der pH-Wert, das C/N-Verhältnis, die Austauschkapazität und die nutzbare Feldkapazität. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Die Nährstoffverfügbarkeit hängt auch von der Qualität und dem Umfang der Sorbienten (Austauscher) ab. Diese Sorbienten sind Tonminerale und organische Substanzen, welche als Bodenkolloide (Durchmesser < 2 µm) vorliegen und ihre negative Ladung durch die Anlagerung von Kationen an ihrer Oberfläche ausgleichen. Diese Kationen können durch andere Kationen (z.B. H-Ionen aus Wurzeln) ausgetauscht werden, wobei diese neuen Kationen vor Auswa-

schungen geschützt sind, aber trotzdem den Pflanzen verfügbar bleiben. Dieser Kationenaustausch hat einen großen Einfluss auf wichtige Bodeneigenschaften wie die chemische Filterwirkung, die Speicherfähigkeit leicht verfügbarer Nährstoffe, das Bodengefüge, den Wasser- und Lufthaushalt, die biologische Aktivität und die Bodenreaktion, was letztlich zu einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit führt.
Die Summe der austauschbaren Kationen ist die Austauschkapazität (AK), deren Höhe von der Zusammensetzung der angewandten Austauschlösung, der organischen Substanz sowie von der Bodenart abhängt und meist mit dem Tongehalt und dem pH-Wert steigt. Die Basensättigung (BS), der Anteil der austauschbaren Basen (Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen) an der AK, ist in neutralen und schwachsauren Böden hoch, in stark sauren Böden niedrig. Die Sorptionsleistung der Böden steigt mit dem Anteil von Austauschern mit großer spezifischer Oberfläche, wobei die höchsten Werte von aufweitbaren Dreischicht-Tonmineralen und Humusstoffen erreicht werden. Zur schwachen Adsorption kommt es dagegen beim Zweischicht-Tonmineral Kaolinit, bei niedrigem Restmineralgehalt und beim Fehlen einer organischen Substanz. Analog zu den Kationen gibt es auch eine Anionenadsorption und einen Anionenaustausch, welche sich v.a. auf die Nährstoffe Sulfat, Phosphat, Molybdat und Borat beziehen und ebenfalls große Bedeutung auf den Stoffhaushalt des Bodens ausüben (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, FBVA 1992, LESER ET AL. 1984, FREY und LÖSCH 1998, RICHTER 1997).

Wichtige chemische Elemente für Wachstum und Reproduktion von Pflanzenarten sind v.a. die Hauptnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und in geringerer Quantität Schwefel (S), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg), sowie in Spuren Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn), Natrium (Na). Andere Metalle (z.B. Aluminium (Al)) sind für viele Pflanzenarten giftig.
Die Bedeutung der Nährstoffe für die Pflanzen ist recht unterschiedlich. Stickstoff ist, neben der Temperatur und der Wasserversorgung, einer der drei wesentlichen limitierenden Faktoren für das Pflanzenwachstum (KOZLOWSKI ET AL. 1991). Er ist von besonderer Bedeutung, da der N-Bedarf der Pflanzen im Vergleich zu anderen Nährstoffen am höchsten ist und N somit den Ertrag am stärksten bestimmt. Die N-Quelle für die meisten Pflanzen ist die tote organische Substanz, deren mikrobieller Abbau Mineralstickstoff freisetzt. Eine hohe Mineralisierungsleistung führt zu einer raschen Mineralstofffreisetzung und einer erhöhten Zufuhr an Nährionen für die Pflanzen, was diese befähigt mehr Masse aufzubauen.
Die N-Verfügbarkeit wird im C/N-Wert (Kohlenstoff/Stickstoff-Wert) angegeben, da der C-Kreislauf an den N-Kreislauf gekoppelt ist. Für leicht zersetzbare organische Stoffe (z.B. Pflanzenrückstände, Laubstreu, Stroh) gilt, dass die Mineralisierung um so schneller erfolgt, je enger (niedriger) der C/N-Wert ist. Für die im Boden angereicherte Substanz kann hingegen kein wirklicher Einfluss des C/N-Wertes auf die Mineralisierung festgestellt werden. Der günstigste C/N-Wert für den mikrobiellen Abbau liegt bei ca. 10 – 30, jedoch ist bei Werten von > 20 der N-Gehalt der toten Substanz so klein, dass die Mineralisierung schon sehr gering wird. Den niedersten C/N-Wert (ca. 10) haben Böden mit hoher biologischer Aktivität. Der C/N-Wert ist auch für andere Hauptnährstoffe von Bedeutung, da deren Gehalt meist parallel zum

N-Gehalt läuft. Der C/N-Wert nimmt mit abnehmendem pH-Wert und zunehmender Staunässe zu. Für das Baumwachstum ist v.a. der C/N-Wert der obersten Bodenschicht (ca. die obersten 30 cm) von Bedeutung (FBVA 1992, LARCHER 1994, LEXER ET AL. 2001, LYR 1992, PFADENHAUER 1997, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Phosphor ist als Phosphat-Ion, welches an Hydroxide, Oxide, Tonmineralien und organische Substanzen absorbiert ist, pflanzenverfügbar. Die Phosphatkonzentration in der Bodenlösung ist sehr gering, die beste P-Aufnahme für Pflanzen bieten schwachsaure Böden. Kalium weist oft unter allen Nährstoffen den höchsten Gehalt in der Pflanze auf und ist auch in Gesteinen stark vertreten. K wird in pflanzenverfügbarer Form (K+) aus Silikaten freigesetzt, wobei in Silikatböden meist hohe K-Gehalte, aber mitunter auch hohe K-Auswaschungen auftreten. K-arm sind rein organische Böden, wie Nieder- und Hochmoor. Die K-Aufnahme wird bei kalkmeidenden Pflanzen, im Gegensatz zu den Kalkpflanzen, durch Ca gebremst.
Calcium wird zumindest in Spuren von allen höheren Pflanzen benötigt, liegt meist in austauschbarer Form vor und ist im Kalkboden im Überschuss vorhanden (siehe Kapitel 4.3). Daher müssen Kalkpflanzen (z.B. die meisten Grasartigen) die Ca-Aufnahme minimieren, um noch genügend andere lebenswichtige Kationen aufnehmen zu können. Dies geschieht durch eine selektive, von der Umgebung unabhängige Aufnahme von Ca, wodurch sich für Grasartige ein Konkurrenzvorsprung auf Böden mit einseitiger Zusammensetzung (Kalk-, Salz-, Sodaböden) ergibt. Der Ca-Gehalt der Waldböden ist auf silikatischen Gesteinen eine entscheidende Variable für die Steuerung verschiedener Bodeneigenschaften, weshalb der Ca-Gehalt für die Trophiebewertung von Standorten verwendet werden kann (HOFMANN und NEBE 1982).
Aluminium ist im Kristallgitter von Silikaten und Tonmineralien vorhanden und ab pH-Werten von < 5 als „freies“ Al++-Ion toxisch für basiphytische Pflanzen, während azidophische Arten gegen Al resistent sind (siehe Kapitel 4.5.2). Die Schwermetalle Eisen und Mangan stellen unentbehrliche Nährstoffe dar und sind unter eher sauren Bedingungen am besten verfügbar. Azidophyten brauchen, im Gegensatz zu Basiphyten, größere Mengen von Fe und Mn, um ein optimales Wachstum zu erzielen und sind auch gegen hohe Mn-Konzentrationen resistent (PFADENHAUER 1997, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

4.5.2 Der pH-Wert

Definition: *„Der pH-Wert ist der negative Logarithmus der H-Ionen-Konzentration [H+], exakter ausgedrückt der Ionenaktivität (H+). Als Intensitätsmaß der Bodenacidität dient der pH-Wert einer wässrigen (pH(H_2O)) oder salzhaltigen (pH(Salz)) Bodensuspension im Gleichgewicht mit dem CO_2-Gehalt der Luft“* (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Das Säure-Basen-Verhältnis (pH-Wert) stellt eine wichtige ökologische Größe dar, da es einen starken Einfluss auf die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der Böden

und auf das Pflanzenwachstum ausübt, wobei er v.a. in der obersten Bodenschicht (ca. die obersten 30 cm) von Bedeutung ist. Der pH-Wert wirkt sich direkt auf die Ionenaufnahme aus, so wird im alkalischen Milieu die Anionen-, im sauren Milieu die Kationen-Aufnahme stark eingeschränkt. Der pH-Bereich zwischen 5 und 7 gilt als nährstoffreich und sehr fruchtbar. So kommt es bei basischen Böden (pH-Wert ≥ 7) z.B. zu einer geringen Verfügbarkeit von Phosphor und Schwermetallen, in stark sauren Böden (pH-Wert ≤ 5) ist die Verfügbarkeit von Schwermetallen und Aluminium hoch, jene von Stickstoff jedoch nieder. Der „optimale" pH-Wert hängt vom Gehalt an Ton und organischen Substanzen sowie von der Nährstoffverfügbarkeit ab (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, LEXER ET AL. 2001, FREY, LÖSCH 1998, PFADENHAUER 1997).
Der pH-Wert beeinflusst in sauren Waldböden das Auftreten und die Bindungsform chemischer Elemente, je nach Pufferbereich, unterschiedlich (ULRICH 1984). So können bestimmten Pufferbereichen bestimmte pH-Werte und Waldgesellschaften zugeordnet werden: Carbonatpuffer (pH: 6,2 – 8,6): Kalkbuchenwälder; Silikatpuffer (5,0 – 6,2): artenreiche Buchenwälder; Austauschpuffer (4,2 – 5,0): bessere Hainsimsen-Traubeneichen-Buchenwälder; Al-Puffer (3,8 – 4,2) und Fe-Puffer (<3,8): ärmere Hainsimsen-Traubeneichen-Buchenwälder bis Kiefernwälder (RASTIN und ULRICH 1985).

Böden mit pH-Werten ≥ 6 besitzen eine hohe $Ca(HCO_3)_2$-Konzentration in der Bodenlösung und im Sickerwasser (entspricht hoher Wasserhärte). Solche Böden sind von einer hohen biologischen Aktivität und einem stabilen Gefüge gekennzeichnet und besitzen meist Mull als Humusform. Im pH-Bereich 5 – 6 ist auf unkultivierten Böden die Salzkonzentration in der Bodenlösung und somit auch die Nährstoffauswaschung niedrig. Ein typischer Bodentyp für diesen durch hohe Wuchsleistung geprägten pH-Bereich stellt die Braunerde dar. Dieser günstige pH-Bereich bleibt erhalten, solange die Silikatverwitterung die Auswaschverluste ausgleicht. Auf vielen Silikatgesteinen ist dies jedoch nicht mehr möglich, weil hier in humiden Gebieten die H-Ionen-Einträge nicht mehr vollständig abgepuffert werden können.
Es kommt zur weiteren Versauerung, wobei ab pH-Werte < 5 die verstärkt auftretenden Al-Ionen das Pflanzenwachstum beeinträchtigen können, da hohe Al-Konzentrationen toxische auf Pflanzen wirken. Durch eine zunehmende Al-Sättigung kommt es zum Sinken der biologischen Aktivität im Boden. Dies führt zu einer verstärkten Anfälligkeit der Bäume gegenüber pathogenen Mikroorganismen, zu einer flacheren und weniger intensiveren Durchwurzelung, zu einem Nachlassen der Leistungs- und Konkurrenzfähigkeit der Edellaubhölzer zugunsten von weniger anspruchsvollen Bodenpflanzen. Es bilden sich Moder und Rohhumus als Humusformen und podsolierte Böden und Podsole als Bodentypen aus. In diesem pH-Bereich kann es auch zu einer C-Anreicherung aufgrund der geringen biologischen Tätigkeit kommen, wie es z.B. in Auflagehorizonten von Podsolen oder bei Moorböden vorkommt.
Bei einem weiteren Absinken des pH-Wertes < 4,2 vermutet ULRICH (1984), dass Böden mit fehlender Schutzwirkung von organischen Stoffen für Al-Ionen nicht mehr imstande sind, stabile Wälder zu tragen. Bei pH-Werten < 3 kommt es unter Einwirkung starker Säuren zur

Überführung von Schwermetallen in die Bodenlösung, wodurch die toxische Wirkung der Al-Ionen noch verstärkt wird. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

4.5.3 Das Bodenwasser

Die Pflanze muss ihren Wasserbedarf fast ausschließlich aus der Bodenfeuchte (=Haftwasser) stillen, weshalb die Bodenfeuchte, welche das im Boden haftende Wasser in Gewichts- oder Volumsprozent darstellt (LESER ET AL. 1984), eine ökologisch sehr wichtige Größe ist. Sie stellt jenen Teil des Bodenwassers dar, welcher in der ungesättigten Bodenzone verbleibt, der andere Teil dringt als *Sickerwasser* (=Porenwasser) durch Perkolation bis in die gesättigte Zone des Grundwassers vor. Die Bodenfeuchte kann gegen die Schwerkraft als *Adsorptionswasser* an der Oberfläche der Bodenpartikel oder als *kapillares Wasser* in den Kapillaren und Poren des Bodens festgehalten werden. Der Kapillarsaum wird vom Grund- und Sickerwasser aufgefüllt und ist aufgrund seines Luftanteils die bevorzugte Zone der Wurzelentwicklung, während die Pflanzen nur sehr selten bis ins sauerstoffarme Grundwasser wurzeln.
Die Bodenfeuchte wird v.a. von Niederschlägen (siehe Kapitel 4.4.4) aufgefüllt, wobei sie aber noch im stärkeren Ausmaß von der AET abhängt. Darüber hinaus reichern auch die Schneeschmelze, Überschwemmungen (in Augebieten), der Überstau des Grund- bzw. Stauwassers, laterales Zuschusswasser (Oberflächen- und Hangsickerwasser) und der kapillare Aufstieg die Bodenfeuchte an. Letzterer ist v.a. in Trockenzeiten von Bedeutung, kann aber nur bei hochliegendem Grundwasserspiegel und genügend Feinsedimenten auftreten. Die O_2-Versorgung des Bodens ist bei zügigem Hangwasser weit besser als bei stagnierendem Grund- bzw. Stauwasser. Der höchste Wassergehalt im Boden (siehe Kapitel 4.4.4) tritt im Frühjahr nach der Schneeschmelze auf, der niedrigste im Spätsommer. Die Bodenfeuchte hängt, ebenso wie die Feldkapazität (s.u.), von bodenphysikalischen Eigenschaften ab (ENGLISCH und KILIAN 1998, NAGL 1995, PFADENHAUER 1997, MITSCHERLICH 1981, FLEMMING 1994, ENDLICHER 1991).

Definition: Das Wasserpotential (Wasserspannung, Saugspannung) eines Körpers gibt das Saugvermögen an, durch welches Wasser aus der Umgebung bis zur Sättigung aufgenommen werden kann. Es wird in Lohgarhitmischen pF-Werten angegeben, wobei 1 bar einen pF-Wert von 3 bzw. 10^3 cm Wassersäule entspricht (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, ENDLICHER 1991, PFADENHAUER 1997).
Jener Wassergehalt, der sich 2 - 3 Tage nach dem Ende eines länger andauernden Niederschlags im Boden einstellt, wird als Feldkapazität (FK) bezeichnet. Sie wird in Gewichts- oder Volumsprozent angegeben und liegt zwischen 2,5 und 1,8 pF-Wert bzw. zwischen ca. 10% bei Sand und ca. 45% bei Ton (siehe Abb. 4.9). Die Feldkapazität ist abhängig vom Gleichgewichtszustand des Bodenwassers, dem Gehalt an organischer Substanz, dem Gefüge, von Körnung und Porenraum, der Gründigkeit sowie der Horizontabfolge. Feinkörnige Böden und Bö-

den mit hohem Gehalt an Kolloiden sowie organischen Substanzen speichern mehr Wasser als grobkörnige, so dass die Feldkapazität in der Reihenfolge Sand, Lehm, Ton und Moor zunimmt (siehe Kapitel 4.5.5). Daher beeinflusst auch der Humuskomplex (siehe Kapitel 4.5.7) die Speicherfähigkeit direkt durch seine hygrophilen Eigenschaften und indirekt durch seine strukturellen Merkmale, welche der Ausbildung von dichtem Bodengefüge entgegenwirken.

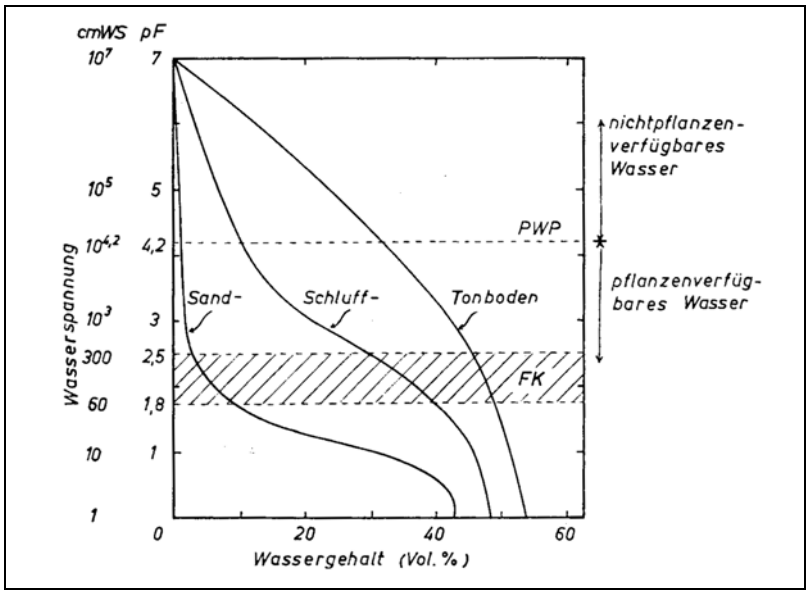


Abb. 4.9: Saugspannungskurve nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1982)

Der permanente Welkepunkt (PWP) ist jener Wert, bei dem die Boden- und Wurzelsaugkräfte im Gleichgewicht stehen, so dass die Wurzeln das Bodenwasser nicht mehr aufnehmen können und die Pflanze permanent welkt. Der PWP liegt bei einem pF-Wert von ca. 4,2. Der Wassergehalt reicht hier von ca. 1 % im Sand bis ca. 30 % im Ton und ist eng mit dem Tongehalt des Bodens verknüpft, wobei das Gefüge hier weniger Bedeutung hat. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) (pflanzenverfügbares Wasser) liegt im Bereich zwischen FK und PWP bzw. im Mittelporenbereich (0,2 – 10 µm) und ist der pflanzenverfügbare Teil des Haftwassers. Wird auch noch das sich langsam bewegende, verwertbare Sickerwasser dazugerechnet, so erweitert sich die nFK bis auf 1,8 pF. Gute Werte für die Speicherfähigkeit sind eine nFK im Wurzelraum von >200 mm (=1,3 pF-Wert) und ein Luftgehalt bei der FK von > 10 Vol.%, da es hier zu einem hohen Nährstofftransport kommt (siehe Kapitel 4.5.1). Die nicht nutzbare Feldkapazität (Totwasser) ist der nicht pflanzenverfügbare Teil des Haftwassers und liegt von der Wasserspannung her über dem PWP (ENDLICHER 1991, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, LESER ET AL. 1984, RICHTER 1997, PFADENHAUER 1997, LARCHER 1994).

4.5.4 Die Gründigkeit

Definition: *„Die Gründigkeit ist die Gesamtmächtigkeit der lockeren und deshalb durchwurzelbaren Bodenhorizonte und –schichten über dem festen Gestein. Von der Gründigkeit werden wichtige ökologische Eigenschaften, wie Nährstoffreserven und Bodenwasserspeicherfähigkeit mitbestimmt“* (LESER ET AL. 1984) (siehe Kapitel 4.5.1, 4.5.3).
Geringe Gründigkeit bewirkt oft einen hohen Grobskelettanteil (z.B. Kalk-Braunerde) und es kommt häufig zu Wassermangel und demzufolge zu Trocknisschäden, welche sich u.a. durch eine geringe Wüchsigkeit manifestieren. Da die Gründigkeit den möglichen Wurzelraum angibt, hängt von ihr auch ab, inwieweit hochwüchsigen Pflanzen eine ausreichende Verankerung im Boden gewährleistet wird (SCHLICHTING 1993, ENGLISCH und KILIAN 1998).

4.5.5 Die Bodenart

Def.: *“Das Gemisch der Korngrößenfraktionen wird in Kurzbezeichnungen zusammengefasst, die, mit Ausnahme der Lehmböden, meist durch die vorherrschende Korngrößenfraktion charakterisiert sind”*. Die Durchmesser der einzelnen Fraktionen sind: Ton < 2 μm, Schluff 2 – 20 μm, Feinsand 20 – 200 μm, Grobsand 200 – 2000 μm. Fraktionen < 2 mm werden als Feinboden, jene > 2 mm als Bodenskelett bezeichnet (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Die Körnungsverhältnisse werden durch den Verwitterungsgrad und die Herkunft des Ablagerungsmaterials bestimmt, wobei für die Ausbildung einer Pflanzendecke ausreichend Wurzelraum, und somit genügend Lockermaterial, vorhanden sein muss. Dieses Lockermaterial baut zusammen mit dem Humus ein Bodengefüge auf, dessen Hohlräume mit Wasser, Luft, Bodenorganismen und Wurzeln gefüllt sind. Daher sind Substanz- und Porenvolumen, welche nach Größe der Körner bzw. Poren gegliedert werden können, wichtige ökologische Größen. Humuseinlagerungen bewirken sowohl in sandigen-grobporigen Böden durch eine erhöhte Feuchtespeicherung, als auch in tonig-feinporigen Böden durch eine stärkere Auflockerung und Durchlüftung durchwegs positive Effekte. Grob gesprochen können leichte Böden bodenstrukturell günstiger beurteilt werden als schwere Böden, wobei aus bodenchemischer Sicht eher Gegenteiliges gilt (RICHTER 1997, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Schwere Böden (z.B. Mullrendzina über Kalkstein) bilden mit einem hohem Anteil kleiner Kornfraktionen einen feinporigen Boden mit guter Wasserhaltekapazität. Durch die erhöhte Adhäsionskraft wird das Bodenwasser gehalten (und so einer austrocknenden Versickerung entgegengewirkt) sowie der kapillare Aufstieg gefördert. Es kann aber durch die starke Saugspannung und eher geringen nFK (50 – 150 mm) in Trockenzeiten selbst bei vergleichsmäßig höheren Feuchtewerten zu einer physiologischen Austrocknung kommen. Auch treten

Schrumpfungs- und Quellprozesse auf, welche die Wurzeln stark mechanisch in Anspruch nehmen können. Bodencharakteristische Merkmale sind daher schlechte Wasserführung, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit, welche zu einer geringen Ertragsfähigkeit führen. Aufgrund der geringen Wasserleitfähigkeit sind sie auch oft nasse Standorte. Vorherrschend entwickeln sich auf schweren Böden Laubmischwälder mit feuchtezeigenden Pflanzen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, PFADENHAUER 1997).

Leichte Böden (z.B. Podsol über Gneis) mit einem hohen Anteil an grobkörnigen Sand können hingegen aufgrund der guten Wasserdurchlässigkeit leichter austrocknen, allerdings kann die schnelle Versickerung von Niederschlagswasser mittels hygrophil wirksamen Humusbestandteilen im Oberboden aufgefangen werden. Wegen der groben Struktur und schwacher Adhäsionskräfte weisen sie weniger Totwasseranteile und eine bessere Durchlüftung auf, es kommt aber bei ergiebigen Niederschlägen auch leichter zu einer Nährstoffverlagerung von K und NH4, was zu Auswaschungs- und Anreicherungshorizonten führt. Diese Böden haben daher einen geringeren nativen Nährstoffgehalt, ein geringeres Wasserspeicherungsvermögen (nFK nur 50 – 120 mm) und eine eher geringe Ertragsfähigkeit. Sie tendieren zur Ausbildung von Laubmisch- oder Föhrenwäldern mit trockenheitszeigenden Arten (PFADENHAUER 1997, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, RICHTER 1997).

Schluffböden und Lehmböden mittleren Tongehalts besitzen bei gutem Gefüge die günstigsten chemischen und physikalischen Eigenschaften, weshalb sie (z.B. Lößboden) auch meist ackerbaulich genutzt werden. Die nFK ist mit 150 – 220 mm, ebenso wie der native Nährstoffgehalt hoch, sie weisen einen guten Luft- und Wasserhaushalt auf. Schluffböden mit geringem Tongehalt (< 15 %) besitzen jedoch eine schlechte Gefügestabilität und können daher leicht verschlämmen oder erodieren (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

4.5.6 Das Bodengefüge (Bodenstruktur)

Definition: Unter Bodengefüge versteht man die Art der räumlichen Anordnung der festen Bodenbestandteile (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Bodengefüge bilden ein heterogenes, vielgestaltiges Porensystem und unterliegen mit jahreszeitlich verschiedenen Humiditäts- und Zersetzungseinflüssen zeitlichen Variationen. Das Bodengefüge hat Einfluss auf den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt und in weiterer Folge auch auf die biologische Aktivität, die Bodenentwicklung die Ertragsfähigkeit und die Erodierbarkeit. Im Einzelkorngefüge, welches in ton- und eisenoxidarmen Sanden und Kiesen sowie in schluffreichen Sedimenten vorkommt, sind die Primärteilchen (Minerale, organische Teilchen) nicht untereinander verklebt, so dass es bei Trockenheit oder Überschwemmung an Böschungen zerrieselt. Beim Kohärentgefüge, welches auf Schluff-, Lehm- und Tonböden auftritt, werden die Primärteilchen durch Kohäsionskräfte zusammengehalten und zerrieseln daher nicht. Eine Sonderform ist hier das Hüllengefüge, bei dem die Körner durch Humus verkittet sind. Beim Aggregatgefüge bilden Bodenteile separate, abgegrenzte Körper. Das Krümelgefüge ist

ein Aggregatgefüge, welches unter der Einwirkung hoher biologischer Aktivität entsteht und positive Eigenschaften, wie gute Wasserspeicherfähigkeit, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit sowie eine erhöhte Kationenbindung aufweist. Weitere Aggregatgefüge sind das Schwammgefüge mit verklebten Krümel, Koagulat-, Polyeder-, Prismen-, Säulen-, Platten- und Fragmentgefüge (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, BÖHLMANN 1982, RICHTER 1997).

4.5.7 Die Humusform

Def.: Unter Humus versteht man *„die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz, welche aus mehr oder weniger zersetzten, umgewandelten und neugebildeten Stoffen pflanzlicher und tierischer Herkunft besteht“* (LESER ET AL. 1984).

Die Vermischung der organischen Substanz sowie die Humifizierung werden von der Zusammensetzung der beteiligten Bodenorganismen und von der Streuqualität beeinflusst. Auf ungünstigen Standorten (schlechte Luftversorgung, saures Ausgangsgestein, Kälte oder Trockenheit) kommt es daher zu einer Verzögerung der Mineralisierung durch die Mikroorganismen. So spiegelt sich der Humifizierungsgrad in der Humusform (s.u.) wider, welche die Gesamtheit der Humushorizonte darstellt. Ökologisch günstigere Humusformen treten v.a. in den tiefer gelegen klimatischen Höhenstufen auf. Von ökologischer Bedeutung ist der Humus aufgrund seines Wasserhaltevermögens, seiner gefügestabilisierenden Wirkung und seiner Funktion als Nährstofflieferant, wobei N und P größtenteils aus dem Humus stammen. Dadurch kann selbst auf nährstoffarmen Böden eine ausreichende Versorgung der Pflanzen möglich sein (FBVA 1992, RICHTER 1997, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, LESER ET AL. 1984).
Auf kühl-feuchten Standorten mit saurem Substrat kommt es zur Ausbildung von Rohhumus mit schwach zersetztem Laub und mächtigem F-Horizont, wobei H- und Ah-Horizont (Horizontbezeichnungen: siehe 11 Anhang) kaum vorhanden sind. Huminstoffe werden eingewaschen, wobei es durch die Fulvosäuren zu einer intensiven Versauerung des Mineralbodens kommt (pH-Wert nur 3 - 4). Die Nähstoffverfügbarkeit ist unausgewogen und es tritt eine geringe Bodenfruchtbarkeit auf, welche sich durch ein hohes C/N-Verhältnis (siehe Kapitel 4.5.1) von 30 – 40 äußert. Aufgrund des N-Mangels wachsen auf diesen Standorten v.a. Heiden (z.B. Erica, Rhododendron) oder Koniferen (Pinus, Picea), die schwer abbaubare, nährstoffarme Streu produzieren, welche wiederum zur Rohhumusbildung beiträgt. Dichte, lichtarme Rotbuchen- oder Fichtenbestände ohne krautigen Unterwuchs tragen ebenso zur verstärkten Rohhumusbildung bei. An trockenen Standorten kann der F-Horizont dem Mineralboden wie ein dichter Filz aufliegen, auf feuchten Standorten bilden sich verstärkt mächtige H-Horizonte aus.
Die Mineralisierung beim Mull ist dagegen für den Mineralboden günstiger, da hierbei fein zersetzte Humusbestandteile eine leichte, gleichmäßige Verlagerung im Mineralboden ermöglichen. Streu sammelt sich nur selten an und wird schnell zersetzt, so dass nur die F-Lage stark

ausgeprägt ist. Der Feinhumus ist durch die intensive Aktivität der Mikroorganismen mit dem meist mächtigen Ah-Horizont gut vermengt. Es kommt hier zu einer ausgewogenen und günstige Nährstoffversorgung, was auch das niedrige C/N-Verhältnis (10 –15) ausdrückt. Zur Mullbildung kommt es auf schwach sauren bis basischen Böden mit günstigem Wasserhaushalt und Luftverhältnissen, sowie hohem Nährstoffgehalt. Mullbildung verlangt nach Vegetation, welche nährstoffreiche, leicht mineralisierbare Streu liefert, so dass Mull v.a. bei Steppenvegetation, krautreichen Laubwäldern sowie Wiesen- und Ackerstandorten auftritt.
Moder stellt eine Art Übergangsform dar, da der F-Horizont ungünstige Eigenschaften wie die Zersetzung durch Pilzhyphen, als auch günstigere Eigenschaften wie die Bioturbation durch Mikroorganismen besitzt. Unter den verfilzten Horizonten liegt beim Moder ein ausgeprägter Mineralboden, die C/N-Werte (ca. 20) sind im Mittelbereich, die pH-Werte liegen bei 3 - 4 (Silikatgestein) bzw. 7 (Cabonatgestein). Zur Moderbildung kommt es v.a. im Zusammenhang mit krautarmen Laub- und Nadelwäldern auf eher nährstoffarmen Gesteinen oder unter kühlfeuchten Klimaverhältnissen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, RICHTER 1997).

Bei hydromorphen Humusformen bewirkt der Sauerstoffmangel in nassen Böden eine verlangsamte Zersetzung und begünstigt so die Anreicherung organischer Substanz. Auf winterfeuchten Böden kommt es zur Bildung von Feuchtmull, Feuchtmoder und Feuchtrohhumus mit höheren Humusgehalten. Auf nährstoffreichen Böden mit ganzjährig hohem Grundwasserstand bildet sich aufgrund der Tätigkeit der Wassertiere neutral bis schwach saurer Anmoorhumus ohne Humusauflage mit einem Humusgehalt von 15 – 30 %. In nährstoffärmeren oder ganzjährig überfluteten nährstoffreichen Böden ist die Tiertätigkeit geringer und es entsteht Torf, der einen Anteil an organischen Substanzen von über 30 % aufweist (siehe Kapitel 4.5.8: Moore) (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

4.5.8 Der Bodentyp

Definition: *„Böden, die den gleichen Entwicklungszustand, der durch eine bestimmte Horizontkombination ausgedrückt wird, aufweisen, bilden einen Bodentyp“* (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).
Böden sind durch die bodenbildenden Prozesse Gestein, Klima, Lebensgemeinschaften, Relief, Mensch und Zeit geprägt. Aus diesen ergeben sich die verschiedenen Bodentypen, welche eine sehr wichtige Standortcharakterisierung darstellen, da sie viele ökologisch relevanten Parameter des Bodens zusammenfassen. So kommt ihnen einerseits ein hoher Zeigerwert zu, andererseits haben die Bodeneigenschaften nachhaltigen Einfluss auf die Vegetationszusammensetzung und Wuchseignung (ENGLISCH und KILIAN 1998, REHFUESS 1990, NAGL und MRAS 1992).

Die Klassifikation von Bodentypen sowie ihren Untergliederungen in Subtypen, Varietäten und Subvarietäten erfolgt v.a. aufgrund von pedogenetisch erworbenen Eigenschaften bzw. mitunter nach lithogenen Merkmalen. Logische Gesichtspunkte, Zweckmäßigkeit und Übereinkünfte spielten hier eine große Rolle. Die Begriffsgrenzen sind dennoch unscharf und mitunter willkürlich, da sich die Pedosphäre als ein stark variierendes Kontinuum mit äußerst mannigfachen Merkmalskombinationen darstellt (REHFUESS 1990).
Diese Tatsache ist bei der Modellierung der Ökoregionen stets im Hinterkopf zu behalten. Da der Bodentyp also keineswegs eine ökologisch eindeutige Größe ist und der Wechsel von Hauptbodentypen manchmal gar keinen ökologischen Effekt erkennen lässt, können mitunter Bodentypen für Standortseinheiten auch zusammengefasst werden (z.B. podsolige Braunerde bis Podsol). Andererseits sind öfters ökologisch bedeutsame Abgrenzungen auf Varietätsebene oder darunter zu ziehen (ENGLISCH und KILIAN 1998). Diesem Umstand wird in der Bodensystematik der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) (siehe Kapitel 5.1.1.1) durch die Angabe von Bodenformen bzw. Bodengruppen Rechnung getragen. Bodenformen sind Einheiten aus dem Bodentyp und dem dazugehörigen geologischen Substrat und weisen als solche einen weitgehend gleichen Standortscharakter auf (NEBE 1992, NAGL 1995).

Als Syrosem wird ein Rohboden aus Festgestein bezeichnet, dessen sehr dünner A-Horizont (bis 2 cm Mächtigkeit) direkt dem Festgestein aufliegt. Syroseme findet man meist in Bergregionen mit starker Erosionsbildung (v.a. in Hochgebirgslagen). Die Eigenschaften des sehr wechseltrockenen, steinigen A-Horizonts sind stark von jenen des Festgesteins abhängig, so dass er auf Kalk als Vorstufe zum Rendsina meist neutral, auf Silikatgestein als Vorstufe zum Ranker meist schon sauer reagiert. Als Vegetationsgesellschaften kommen hier fast nur Pioniervegetationen vor. Liegt ein Rohboden über einem Lockergestein, so wird er als Lockersyrosem bezeichnet. Auch hier hängen die Eigenschaften sehr stark vom Ausgangsgestein ab, Lockersyroseme weisen aber einen tiefgründigen, potentiellen Wurzelraum auf, der schon eine intensivere Besiedelung als beim Syrosem erlaubt (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

Auf nicht zu nassen oder zu trockenen Standorten kommt es zur Ausbildung von basenreichen bzw. basenarmen Braunerden (Ah/Bv/C) (Horizontbezeichnungen: siehe 11 Anhang) und meist basenreichen Parabraunerden (s.u.) als zonale Bodentypen. Bei Braunerdeböden kommt es durch die Silikatverwitterung zur Verlehmung im tonreichen Bv, wobei die Eigenschaften Körnung, Gefüge, Gehalte an Nährstoffen und organischen Substanzen und C/N-Wert je nach Ausgangsgestein, Vegetation und Versauerungsgrad stark variieren.
Die eutrophen (basenreiche) Braunerden treten v.a. auf dunklen, basischen Ca-Mg-haltigen Silikatgesteine (Basalten, Gabbros, Diabasen, Amphiboliten u.a.) in fast allen Höhenlagen bis ungefähr zur Waldgrenze auf. Sie sind meist mäßig sauer, basenreich, oft reich an austauschbaren Ca- und Mg-Ionen (Basensättigung (BS) von Bv > 50%) und der pH-Wert liegt mit 5-6 im Oberboden in einem für die Wuchsleistung sehr günstigen Bereich. Sie sind geprägt von hoher

biologischer Aktivität, ihre Humusform ist meist Mull, wobei der C/N-Wert auch in einem günstigen Bereich (10 - 15) liegt. Sie sind tiefgründig mit tonigem Lehm als Bodenart und sie weisen ein krümeliges Gefüge im Ah, ein polyedrisches Gefüge im Bv auf.

Sauerbraunerden (BS von Bv < 20%, pH-Wert 4-5 im Ah-Horizont) treten primär auf silikatreicheren, Ca- und Mg-armen Gesteinen auf (Ca-arme Schiefer, Grauwacken, tonreiche Sande und Sandstein, Granit, Phyllit u.a.), wobei sie in Österreich in wärmeren Stufen des Kristallins vorkommen. So gehen sie im Osten ab ca. 1100 m, im Westen ab Talnähe in Semipodsol über, die Höhengrenze steigt jedoch bei landwirtschaftlicher Nutzung an. Sauerbraunerden besitzen ein stabiles Gefüge, die Humusform ist Mull bis Moder mit C/N-Verhältnis im Ah zwischen 15 – 22 und sie weisen nur eine geringe biologische Aktivität auf.

Podsolige Braunerden treten meist auf quarzreichen, sandigen Sedimenten, auf sauren Graniten, Orthogneisen, Tonschiefern, Phylliten und Grauwacken auf. Sie besitzen flache, stark saure Aeh- und Ahe-Horizonte, der N-Gehalt ist ebenso wie die BS (niedriger Ca-, Mg-Anteil) gering. So tragen sie moderartigen Rohhumus mit hohen C/N-Werten (22-27), ihre Bodenart ist meist sandig bis sandig-lehmig (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, PFADENHAUER 1997, FBVA 1995, ENGLISCH und KILIAN 1998, REHFUESS 1990).

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften (s.o.) besteht die natürliche Pflanzendecke auf Braunerden aus verschiedensten Waldgesellschaften, wobei auf eutrophen Braunerden meist wüchsige Laubwälder, auf basenarmen Braunerden im montanen Bereich Bergmischwälder dominieren. In beiden Fällen bilden Ahorn, Eschen, Ulmen, Linden und Buchen die höchsten Anteile, von den Nadelbäumen gedeihen hier v.a. Fichten und Tannen. Podsolige Braunerden sind meist Standorte für artenärmere Nadel- und Laubwälder (REHFUESS 1990).

Zur Bildung von Parabraunerden (Ah/Al/Bt/C) kommt es v.a. auf eiszeitlichen, mäßig kalkhaltigen Lockersedimenten (Löß, Geschiebemergel, Schotter). Der Ah ist aufgrund der Carbonatauswaschung durch Tonverlagerung (Lessivierung) tonverarmt, schluffreich oder sandig und krümelig. Der dichtere schluffig-tonige Bt hingegen weist eine hohe Speicherfähigkeit und geringe Wasserleitfähigkeit auf, so dass im Wurzelraum mehr Wasser zurückgehalten wird, was sich positiv auf die Vegetation auswirkt (nFK oft sehr hoch (150 -200 mm)). Parabraunerden sind im A- und B-Horizont meist carbonatfrei und schwach bis stark sauer (BS 5 - 50 %, pH-Wert 4 - 6). Im Cv treten hingegen pH-Werte von 7 - 8,5 auf, wobei der carbonatführende C-Horizont durchaus noch von den Wurzeln erreicht werden kann. Bei starker Versauerung kann auch eine *Podsol-Parabraunerde* entstehen, in niederschlagsreichen Gebieten kommt es auch zur Ausbildung von *Pseudogley-Parabraunerde*. Parabraunerden besitzen Mull oder Moder als Humuskörper (C/N-Verhältnis 10 – 15) und je nach Gestein und Verwitterungsgrad hohe bis mäßige Nährstoffreserven. Der Unterboden ist meist, trotz des geringeren Grobporenanteils, gut durchwurzelbar und durchlüftbar, bei Pseudogley-Parabraunerden kann es auch zu Luftmangel kommen. Aufgrund der günstigen Verhältnisse gedeiht auf Parabraunerden, je nach Lokalklima und Textur eine Vielzahl von Laub- und Nadelhölzern (BÖHLMANN 1982,

SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, ENGLISCH und KILIAN 1998, REHFUESS 1990).

Lithomorphe Böden (Ah/C) werden wegen ihrer Flachgründigkeit stark vom Ausgangsgestein bestimmt. Lithomorph ist der aus kalkarmen Silikatgestein hervorgegangene Ranker, welcher v.a. auf erosionsanfälligen Hängen, Rücken und im Gebirge auf festem Gestein in Hochlagen anzutreffen ist. Der Ranker ist feinerdearm, seichtgründig und steinig, weshalb er eine geringe Speicherkapazität aufweist, die jedoch häufig durch die hohen Gebirgsniederschläge ausgeglichen werden kann. Man unterscheidet *nährstoffarme Sauerranker* auf quarzreichem Gestein (z.B. Sandstein) mit sehr geringer BS (<20 %) und in kühlfeuchten Gebirgslagen Moder- oder Rohhumusauflagen und *nährstoffreiche Ranker* auf quarzfreiem Gestein (z.B. Basalt, Glimmerschiefer) mit BS > 20 % und Mull. Bäume können sich im Ranker oft nur in Schichtfugen halten. Die natürliche Vegetation auf basenarmen Rankern außerhalb der Hochgebirgsregion sind zwergstrauchreiche Traubeneichen-Kiefern-Birkenwälder, auf basischen Rankern Eschen-Linden-Eichen-Wälder und auf ultrabasischen Rankern Flaumeichenbusch. (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, FBVA 1995, REHFUESS 1990, PFADENHAUER 1997).

Lithomorph ist auch der an Kalk- oder Dolomitgestein gebundene Rendsina (Humusform meist Mull), welcher v.a. an Ober- und Mittelhängen mit starkem Flächenabtrag oder sehr hartem Gestein auftritt. Der Mull- und Lehmrendsina besitzt einen Ah-Horizont, der meist carbonathaltig, schwach bis mäßig alkalisch (pH-Wert 7 – 8,5) und mit Ca- und Mg-Ionen im Übermaß gesättigt ist. Dafür tritt jedoch eine Unterversorgung von P, K, Fe und Mn auf, wobei der Mineralbestand stark vom Ausgangsgestein abhängt. Rendsinen sind trotz des hohen Tongehalts aufgrund der starken Durchwühlung von Bodenorganismen, gut durchlüftet. Im Dolomit weisen Rendsinen auch sandigen Oberboden auf.
Mullrendsinen auf festen Carbonatgestein sind meist flachgründig, skelettreich, krümelig, besitzen nur eine geringe Speicherkapazität und können auf Südhängen sehr trocken werden. Tiefwurzelnde Bäume können ihren Wasserbedarf aber z.T. aus dem Feinboden in Gesteinsklüften decken. Mullrendsinen auf Kalkmergel sind meist tiefgründiger, feinerde- und stickstoffreich, weisen eine höhere nutzbare Wasserkapazität und einen sehr günstigen C/N-Wert (9 – 15) auf. Als natürliche Vegetation sind im Hügelland und Mittelgebirge die Buche, Esche, Berg- und Spitzahorn, Winterlinde, Traubeneiche und Bergulme vorherrschend, welche gut an den besonderen Nährstoffhaushalt angepasst sind. In niederschlagsreichen Gebirgen tritt auch die Weißtanne auf. Fichte und Kiefer findet man auf Rendsinen in der montanen und subalpinen Stufe der Kalkalpen, wobei die Kiefer auf trockenen oder flachgründigen Standorten vorkommt. Seichtgründige *Moderrendsinen* besitzen über dem carbonatischen Ah eine dünne, schwach saure organische Auflage (Oh, Of) und darüber L. *Blockschutt-Moderrendsinen* tragen z.B. Berg- und Schluchtwälder aus Sommer- und Winterlinde, Esche, Bergahorn und

Bergulme (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990, SCHLICHTING 1993).

Der Pararendsina (Ah/C) geht aus grobklastischen Kalk mit silikatischen Beimengungen oder Mergeln hervor. Er ist dem Rendsina im Hinblick auf pH-Wert (ca. 7), hohe Ca-Sättigung, Humusform (meist Mull) und Gefüge (Krümelgefüge) sehr ähnlich, unterscheidet sich aber meist durch einen höheren Schluff- und Sandanteil. Pararendsinen aus Löß oder Geschiebemergel sind meist tiefgründig, gut durchlüftet, nährstoffreich und besitzen einen leicht durchwurzelbaren C-Horizont sowie eine hohe Speicherfähigkeit, sie können aber auch sehr trockene Standorte bilden. Sie tragen wüchsige Laubwälder aus Buche, Esche, Bergahorn, Linde und Ulme, wobei auch Fichte und Tanne hier gut gedeihen. Pararendsinen aus Kalksandstein, Terrassenschottern oder kiesigen Endmoränen sind hingegen flachgründiger und besitzen aufgrund ihres hohen Schotteranteils nur eine geringe Wasserkapazität. Sie haben nur eine geringe Wuchsleistung für Laubwälder, wobei bei geringem Niederschlag nur noch Kiefern und Schwarzkiefern gedeihen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990).

Terra fusca (= Kalksteinbraunlehm; Ah/Bav/kR) tritt ebenso wie Rendsina über Carbonatgestein sowie über Gips auf und kommt auf Hochflächen, Kuppen und Hangmulde vor. Trotzdem ist sie im Ah meist sauer (pH-Wert 5 - 6, BS 60 – 90 %), darunter jedoch basisch. Sie ist tonreich, stark verlehmt und weist ein dichtes, günstiges Krümel- bis Polyedergefüge auf. Ihre Ausstattung mit verfügbaren Nährstoffen ist recht gut (N, P, K, Ca, Mg), so dass die Vegetationseignung stark von der nutzbaren Feldkapazität (50 – 150 mm) und somit von der Gründigkeit abhängt. In Hügelländern und im Mittelgebirge findet man auf Terra fusca buchenreiche Laubmischwälder, welche mit Esche, Traubeneiche, Berg- und Spitzahorn sowie Winterlinde durchsetzt sind. In den Kalkalpen treten Bergmischwälder mit Tanne, Fichte, Buche und weiteren Laubbäumen auf (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS).
Mischböden aus Rendsina und Terra fusca entwickeln sich v.a. in den Kalkalpen auf einem Schutt-Terra-fusca-Gemisch. Sie besitzen einen rendsinaartigen Humushorizont, und weisen mit ihrem hohem Tongehalt und hoher Wasserkapazität etwas günstigere Eigenschaften als der Rendsina auf (FBVA 1995) .

Die lithomorphe Schwarzerde (Tschernosem) über Löß oder ähnlichem kalkig-silikatischen Lockermaterial weist ebenfalls ein Ah/C-Profil auf und zeigt ausgeprägte Bioturbationen. Sie tritt v.a. in kontinentaler, semiarider bis semihumider Klimalage auf, in Österreich findet man sie in den Trockengebieten des Ostens. Der Ah ist basenreich (BS >50%), locker, krümelig, tiefgründig und weist einen hohen Anteil an Mittel- und Grobporen auf. Dadurch ist der Boden gut durchwurzelbar, ausreichend durchlüftet und weist eine hohe Wasserspeicherfähigkeit auf, so dass die Vegetation auch längere Trockenperioden überstehen kann. Die Humusform ist basenreicher, dunkler, humusreicher, meist mächtiger Mull mit ausgeprägtem Schwammgefüge, welcher eine hohe Austauschkapazität und ein enges C/N-Verhältnis (ca. 10) aufweist. Der

pH-Wert ist schwach sauer (5 – 7) und liegt damit in einem fruchtbaren Bereich (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990, FBVA 1995).

Hydromorphe Böden sind durch Grund- und Stauwasser beeinflusst. Ein solcher ist der stauwassergeprägte, wechselfeuchte Pseudogley (Ah/Sw/Sd/Cv), welcher durch den wasserstauenden Horizont (Sd) geprägt wird und ab ca. 550 mm Jahresniederschlag auftritt. Nährstoffreiche *primäre Pseudogleye* bilden sich auf tonreichen Gesteinen (also Pelosole oder Rohböden) mit geringer Wasserleitfähigkeit, oder sind zweischichtige Böden aus Sand bzw. Lehm über Ton. Sie weisen auch höhere pH-Werte und BS auf als sekundäre und führen oft im Unterboden Carbonate, der C/N-Wert liegt im Oberboden bei ca. 10 –15. Nährstoffarme *sekundäre Pseudogleye* sind häufig aus Parabraunerde hervorgegangen, weisen eine stärkere Differenzierung in Hinblick auf Stauzone und Staukörper auf als primäre, sind meist entbast (BS ca. 20%) und haben ein Polyeder- bis Prismengefüge. Pseudogleye haben als Humusform Mull bis rohumusartigen Moder. Der Sw-Horizont ist meist sandig bis lehmig, grobporenreich und humusarm, der Sd-Horizont ist tonreich, grobporenarm und dicht, so dass seine gesättigte Wasserleitfähigkeit äußerst gering ist.
Je nach Niederschlagsmenge, Leitfähigkeit des Staukörpers, Mächtigkeit der Stauzone, Relief und nachgelieferten Wasser (bei Hang-Pseudogleye) überwiegt die Nass-, Feucht- bzw. Trockenphase. Während der Vernässungsperiode herrschen im Boden meist Sauerstoffmangel und kühlen Temperaturen, wodurch die Wurzelaktivität beeinträchtigt wird. Tief wurzeln können im Pseudogley daher nur wenige Baumarten (z.B. Weißtanne, Stieleiche, Schwarzerle), Bäume mit einem größeren Sauerstoffbedarf (z.B. Fichte) wurzeln daher nur flach im grobporenreichen Oberboden. Dies wirkt sich jedoch im Hinblick auf Trocken- und Sturmschäden sowie tiefergelegene Nährstoffe negativ aus, so dass ein tiefliegender Staukörper folglich günstiger die Vegetation ist.
Die natürliche Vegetation auf Pseudogleyen in tieferen Lagen besteht aus Stiel- und Traubeneiche, Hainbuche, Linde, Birke und Zitterpappel (Aspe), in Mittelgebirgen ist die Tanne stark vertreten, wobei hingegen die Buche aufgrund der zögernden Erwärmung im Frühjahr seltener wird. Bei den sekundären Pseudogleyen reicht der geringe Ca- und Mg-Vorrat für die Buche und anspruchsvolle Edelbaumarten meist nicht gar mehr aus. Hangpseudogleye können oft wüchsigere und artenreichere Bestände tragen als Plateau-Pseudogleye, weil im langsam ziehenden Hang-Stauwasser auch viele gelöste Nährstoffe und mehr Sauerstoff zugeführt wird (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990).

Hydromorph ist auch der durch stagnierendes oder ziehendes Grundwasser geprägte Gley (Ah/Go/Gr), welcher meist kleinflächig auf den unterschiedlichsten Gesteinen auftritt. Gleye weisen je nach Gestein, Körnung, Rhythmus und Ausmaß der Grundwasserschwankungen, Fließgeschwindigkeit des Wassers und Gehalt an Sauerstoff, organischen Verbindungen und

Salzen, sehr unterschiedliche Ausprägungen auf. Gleye sind meist sauer, die zahlreichen ständig zugeführten gelösten Nährstoffe sind jedoch kaum pflanzenverfügbar, da diese stark durch die Eisenoxide gebunden sind. Der Go hat meist ein krümeliges, polyedrisches bis prismatisches Gefüge, ist meist porenreich und gut durchlüftet. Der Gr besitzt meist ein Kohärentgefüge und ist sauerstoffarm. Sauerstoffreiche Gleye mit großem Go bilden sich z.B. in grobporigen, kiesigen Sanden in Flussnähe aus, zur Sauerstoffarmut kommt es dagegen v.a. in tonigem Substrat in Flussferne mit träge ziehendem oder stagnierendem Grundwasser. Die Humusform ist bei starker Vernässung des Oberbodens Moder, Anmoorhumus oder Torfauflage, zur Mullbildung kommt es hingegen bei tiefem Grundwasserspiegel und Ca- bzw. sauerstoffreichem Grundwasser. Gleye sind natürliche Standorte für nässeverträgliche Pflanzen.
Auf silikat- und basenarmen, kiesig-sandigen Sedimenten bilden sich saure *Podsol-Gleye* aus, die Stieleichen-Birken-(Schwarzerlen) oder Fichten-Kiefern-Birken-Bestände tragen. Auf lehmigen und tonigen Talfüllungen mit hohem Silikat- und Basengehalt und gelegentlicher Karbonatführung bilden sich hingegen nährstoffreiche *karbonathaltige Gleye* mit Stieleiche, Esche, Bergahorn, Bergulme, Linde und Hainbuche aus. Die nährstoffreichen *Hanggleye* sind Mullgleye auf Geschiebemergel und Löß und v.a. treten in Hangmulden auf. Reicht der Kapillarsaum fast ganzjährig in den Ah hinein bildet sich *Nassgley*, steht das Grundwasser ganzjährig im humosen Oberboden entstehen carbonatfreie *Anmoorgleye*. Nass- und Anmoorgleye tragen auf basenreichem Substrat Schwarzerlen-Eschen-Bruchwälder, wobei v.a. die Schwarzerle tief in die schweren tonigen Nass- und Anmoorgleye wurzeln kann. Auf basenarmen Nassgleyen und auf sauren Anmoorgleyen kommt es zur Ausbildung von Moorbirken-Fichten-Kiefern-Bruchwäldern (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990).

Ein in größerer Tiefe hydromorpher Boden ist der durch Grundwasser, Überschwemmungen und Sedimentation geprägte Auenboden. Körnung, Mineralbestand und Farbe der Auensedimente hängen stark von der Gesteins- und Bodeneigenschaft im Einzugsgebiet des Flusses ab. Die Korngrößenverteilung wird i.A.. von unten nach oben feiner, wobei diese meist vom Schotter, über kiesig-sandigen Unterboden bis Lehm im Oberboden reicht. Die Mächtigkeit dieses Hochflutlehms kann sehr variieren und ist für die Standortseignung von großer Bedeutung. Die Bodenart ist in Flussnähe eher sandiger, in Flussferne und in Mündungsgebieten schuffig bis tonig. Die meisten Auenböden sind nährstoffreich, haben eine hohe Ca-Sättigung und eine intensive biologische Aktivität. Auenböden sind durch die hohe Wasserleitfähigkeit im grobkörnigen Unterboden meist sauerstoffreich. Die natürliche Vegetation auf Auenböden sind Auenwälder, die bei mittlerem Tongehalt und sauer- bzw. nährstoffreichem Grundwasser sehr artenreich sind. Sie weisen einen hohen Anteil an Ulmen, Stieleichen und Eschen auf.
Die grobkörnigen, leichten *Ramblen* (Auenrohböden mit Ai/C/CGo) sind äußerst wechseltrocken, so dass es bei Niedrigwasser zu Wasserknappheit kommt. Sie treten häufig auf Kiesbänken am Rande von in den Alpen entspringender Flüsse auf, wobei sich hier v.a. Weiden, Pappeln oder Kiefer-Zwergstrauch-Gesellschaften ansiedeln. Der carbonatarme graue *Paternia* (Ah/C/CGo) trägt schon sandig bis schluffigen Hochflutlehm mit großen Humusvorräten. Der

graue *Kalkpaternia* (Ah/C/CGo) ist längs der aus den Kalkalpen kommenden Flüsse verbreitet und hat große N-, Ca- und Mg-Vorräte. Seine Vegetationszusammensetzung hängt von den Grundwasserverhältnissen und der Mächtigkeit des wasserspeichernden Aulehms ab und ist sehr mosaikartig. *Allochtone Vegen* (braune Auenböden mit Ah/M/MGo/Go/Gr) finden sich an Flüssen, in deren Einzugsgebiet Braunerden, Terrae fusca oder Parabraunerden auftreten. Sie besitzen meist eine mächtige, schluffig bis tonige Lehmdecke. Sie weisen eine hohe biologische Aktivität, kräftige Humus- und N-Akkumulationen mit engem C/N-Verhältnis, meist ein günstiges Gefüge, leicht verfügbare P-Vorräte und eine hohe BS auf. Die natürliche Vegetation besteht hier vorwiegend aus Ulmen, Stieleichen, Bergahorn und Eschen. *Autochtone Vegen* (Ah/Bv/Go) verhalten sich ökologisch ähnlich wie allochtone. Vegen weisen im Gegensatz zum Rambla eine hohe nutzbare Wasserkapazität und ausgeglichene Wasserverhältnisse auf (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990).

Moore sind vollhydromorphe Böden, bei denen es durch Luftmangel zur Ausbildung eines mehrere Meter mächtigen Torf-Horizonts kommt. Bei oberflächennahem Grundwasserstand entwickeln sich v.a. in Flussniederungen Niedermoore (topogene Moore; nH-Folge: aus Seggen, Schilf, Laubmoosen aufgebaute Torfe). Aufgrund des Regenwassers entstandene Moore werden als Hochmoore (ombrogene Moore; hH-Folge: Torfe aus Torfmoosen) bezeichnet, welche sich v.a. in niederschlagsreichen Gebieten mit abflusshemmendem Relief bilden, dazwischen stehen Übergangsmoore (Waldmoore; uH-Folge). Niedermoore besitzen meist sehr stark, Hochmoore nur schwach humifizierte, saure Torfe. Die hohe Wassersättigung der Moore bewirkt einen starken Luftmangel und eine nur langsame Erwärmung bei steigenden Temperaturen. Hochmoore sind nährstoffarm und besitzen sehr niedrige pH-Werte (2,5 – 3,5), die pH-Werte bei Übergangsmooren sind nur geringfügig höher.
Niedermoore weisen eine große Spannweite von Nährstoffgehalt und pH-Wert auf, da diese Größen je nach Grundwasser- bzw. Gewässerwasserbeschaffenheit sehr variieren. So können Niedermoore über Löß oder jungem Geschiebemergel äußerst eutroph, über Sandstein hingegen oligotroph sein, meist sind Nieder- und Übergangsmoore N-reich und K- bzw. P-arm. Saure, nährstoffarme Niedermoore werden von anspruchslosen Baumarten (Moorbirke, Fichte, Kiefer) besiedelt, basenreiche Niedermoore tragen bei gut durchlüftetem Oberboden Schwarzerlen-Weiden-(Pappel-)Wälder, Übergangsmoore tragen Waldkiefern, Fichten und Moorbirken. Nährstoffarme Hochmoore sind meist nur schütter mit Krüppelgehölz bewachsen, geschlossene Kiefern-, Latschen-, Moorbirken oder Fichtenbestände treten nur am Rand auf (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REHFUESS 1990, PFADENHAUER 1997).
Anmoore (HA-Folge) sind feuchte, humus- und nährstoffreiche Mineralböden mit einem neutralen bis schwach saurem Anmoorhumus. Sie bilden sich an ganzjährig nassen Mulden oder Hangfüßen mit Stau-, Grund- oder Quellwasser, wie z.B. im Wald- und Mühlviertel aus, sind mittelschwere Böden und tragen als natürliche Vegetation z.B. Anmoor – Fichtenwälder (FBVA 1995, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, LESER ET AL. 1984).

Zur Bildung von Podsolen (Of/Ah/Ae/Bhs/C) kommt es in kühlen, ozeanischen Klimaten und auf basenarmen, quarzreichen oder grobkörnigen Gesteinen (Sandstein, Granit, Gneis, Quarzit). Meist begünstigen auch Pflanzen mit nährstoffarmen Vegetationsrückständen wie Koniferen die Podsolbildung. Es kommt zur Verlagerung von Al, Fe, Mn zusammen mit organischen Stoffen vom Eluvial- (Ae) in den Illuvialhorizont (Bhs). Da Podsole in unterschiedlichsten Ausprägungen auftreten, variieren ihre ökologischen Eigenschaften sehr stark.
Durch die starke Versauerung (pH-Wert: < 3 - 5; sehr geringe BS bis 5 %) und das geringe Nährstoffangebot von P, N, Mg, Ca werden die organischen Substanzen nur langsam abgebaut und es entsteht der oft mächtige Rohhumus (z.T. auch Moder), welcher oft einen sehr hohen C/N-Wert (25 – 40) aufweist. Die Bodenart ist vielfach quarzreicher Sand, das Porenvolumen ist im Ae meist geringer als im Bhs. Aufgrund ihrer Grobkörnigkeit sind Podsole gut durchlüftet, haben aber nur eine geringe nFK, welche, trotz des meist ergiebigen Niederschlags, immer wieder zu Wasserdefiziten führt. Der A-Horizont besitzt meist Einzelkorn-, der B-Horizont ein Hüllengefüge. Die Bildung von für die Wurzeln undurchdringbarem Ortstein schränkt die Gründigkeit ein, so dass oberflächennaher Ortstein für das Pflanzenwachstum sehr ungünstig ist.
Podsole tragen v.a. Pflanzenarten mit niedrigen Nährstoffansprüchen, wie Tanne, Fichte, Kiefer aber auch Buche oder Heidevegetation. In alpinen Gebieten sind häufig Zwergstrauchgesellschaften an *Humuspodsol* und Hochwald an *Eisenhumuspodsol* gebunden, Eisenpodsole treten unter Kiefern-Zwergstrauchwäldern auf (PFADENHAUER 1997, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982, REFUESS 1990, LESER ET AL. 1984).
Klimabedingter Podsol weist eine klassische Podsolierung (s.o.) auf, wobei sich in den Hochalpen auch anmooriger Feinmoder ausbildet. Dieser ist verbreitet in der alpinen Fichten- und Fichten–Zirben-Stufe, wobei die Grenze zum Semipodsol im Osten in Gipfelnähe, im Westen bei ca. 1400 m liegt. Substratbedingter Podsol liegt hingegen in tiefen warmen Gebieten und ist hier v.a. auf das Ca- und Mg-arme, quarzhaltige Ausgangsgestein zurückzuführen. Er ist ein steiniger, trockener Boden mit geringer Gründigkeit und sehr schlechter Bonität und tritt z.B. in Burgenland oder Kärnten außerhalb der Fichtengebiete auf. Beim Substratbedingten Podsol mit erhöhter Wasserzufuhr reichen die Wurzeln bis ins Grundwasser, so dass trotz geringem Nährstoffangebot gute Bonitäten entstehen können, sie treten z.B. in Muldenlagen auf. Bei der Übergangs-Bodenform des Semipodsols ist die Podsolierung noch nicht weit fortgeschritten, so dass sich das Podsol-Profil erst sehr ansatzweise entwickelt hat. Semipodsole treten v.a. in kühl-humiden, kristallinen Gebirgslagen auf, die Humusform ist meist Moder, mitunter auch saurer Mull (FBVA 1995).

Alte Verwitterungsdecken sind alte, silikatische Braun- und Rotlehme, welche unter anderen klimatischen Verhältnissen als den heutigen entstanden sind. Sie treten in eiszeitlich periglazialen Gebieten des Wald- und Mühlviertels sowie des Südostrandes der Alpen auf Hochplateaus, Hangverebnungen oder Fußflächen auf. Alte Verwitterungsdecken sind meist im hohen Maße

nährstoffarm, dicht, bindig, tonreich, anfällig für Dichteverlagerung sowie Vergleyung und neigen zur Lessivierung und Tagwasserstau (FBVA 1995).

Anthropogene Böden (Kultosole) sind Böden, bei denen das Bodenprofil durch unterschiedliche menschliche Eingriffe stark umgeformt oder überhaupt neu geschaffen wurde. Hortisole sind Gartenböden, welche aufgrund von starker Düngung und Bewässerung sowie hoher biologischer Aktivität einen mächtigen Ah-Horizont aufweisen. Rigosole (z.B. in Weinbaugebieten) haben einen durch tiefgründige Umschichtung entstandenen Rigol-Horizont, welcher viel Fremdmaterial wie Schutt, Löß oder Müll enthält (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982).

4.6 Die Verbreitung der Wälder aufgrund von klimatischen und edaphischen Faktoren

4.6.1 Standorte von Waldgesellschaften

Immergrüne Nadelwälder weisen i.A.. gegenüber Laubwäldern im Gebirgsklima mit kürzerer Vegetationsperiode bzw. eher kontinentalem Klima mit fehlenden Übergangsjahreszeiten einen Konkurrenzvorteil auf, da sie diesen Gegebenheiten mit der „Allzeit-Bereit-Strategie“ der Photosyntheseleistung begegnen. Einige Nadelwälder (v.a. Pinus-Arten) sind sehr gut gegen Wasserverluste geschützt und daher auf trockenen Böden konkurrenzstärker, weniger gegen Wasserverluste geschützt ist die Fichte, gar nicht die Tanne. Nadelhölzer (v.a. Fichte und Tanne) besiedeln oft mäßig bis stark saure, lehmig-tonige, tiefgründige Böden. Auf diesen „nadelholzfördernden Gesteinen“ sind sie den Laubhölzern überlegen. Da Nadelholzstreu meist N-ärmer als Laubholzstreu ist, tendieren Nadelbäume zur Moder- oder Rohhumusbildung. Laubwälder finden sich bevorzugt in eher ozeanischem Klima mit langen Übergangsjahreszeiten auf laubbaumfördernden, basenreichen Gesteinen.

Tannenwälder werden in Europa v.a. durch die Weißtanne gebildet, sind gegen Wasserverluste sehr empfindlich, weisen ein buchenähnliches Verhalten auf und sind daher die dominante Baumart in montanen ozeanischen Lagen des Alpenrandes und der Zwischenalpen, wobei sie v.a. tonig, kalkarme Böden besiedeln. Hier kann unterschieden werden zwischen *kontinentalen Fichten-Tannenwäldern* (als Kalk-Fichten-Tannenwald oder als bodensaurer Fichten-Tannenwald) in den Zwischenalpen, montanen, eher *ozeanischen Hang-Tannenwäldern* auf nadelholzförderndem Gestein in den Randalpen und bodensauren *Plateau-Tannenwäldern* auf staunassen Böden in den Voralpen.

Fichtenwälder mit subkontinental-alpidischem Verbreitungszentrum sind nicht so stark gegen Wasserverluste geschützt wie Föhren, weisen aber auch eine weite physiologische Valenz und hohe Frostresistenz auf. *Zonale Fichtenwälder* treten in hochmontaner bis subalpiner Stufe der Zentral-, Rand- und Zwischenalpen auf sauren, basenarmen Silikat- oder Tangelhumus-Böden auf. *Extrazonale Fichtenwälder* wachsen in Kaltluftmulden und Dolinen in montanen und hochmontanen Lagen, *azonale Fichtenwälder* findet man auf feinerdearmen, groben Blockhalden mit kaltluftzügigen Hohlräumen auf Silikat- und Kalkgestein.
Waldföhrenwälder (siehe Kapitel 4.1) haben eine planare bis subalpine Verbreitung mit ausgeprägt kontinentalem Charakter und kommen aufgrund ihrer weiten physiologischen Valenz auf unterschiedlichen Extremstandorten vor. *Steppen-Föhrenwälder* findet man in warmen, trockenen, eher kontinentalen inneralpinen Tälern, *Schneeheiden-Föhrenwälder* auf flachgründigen basenreichen Böden in den Zentral-, Randalpen und im Alpenvorland, *Moos-Föhrenwälder* auf subkontinentalen bis kontinentalen armen Sandböden und *Föhren-Birken-Moorwälder* auf Regenmooren. Die Bergföhrenwälder werden ähnlich aufgegliedert, wie die Waldföhrenwälder, nur ist ihr Vorkommen noch extremer.
Lärchen-Zirbenwälder sind extrem kontinental mit einer hoher Frostresistenz und besiedeln verschiedene Ausgangsgesteine in hochsubalpinen Lagen der Zentral-, Zwischen- und Randalpen, wobei die Lärche ein guter Rohbodenpionier ist (PFADENHAUER 1997).

Buchenwälder bilden die herrschende Baumart aufgrund ihrer hohen Konkurrenzfähigkeit auf mittleren Standorten ohne extremen Wasser- oder Nährstoffhaushalt. Die *Rotbuche* mit einer starken Empfindlichkeit gegen Früh- und Spätfröste hat ihre optimale Entfaltung im submontan-montanen ausreichend feuchten Klima (mindestens 600 mm Jahresniederschlag, Mindestvegetationszeit von 6 Monaten). Die *Hainbuche* mit optimaler Entfaltung im planaren bis kollinen Eichenklima meidet nährstoffarme, saure Böden. *Orchideen-Buchenwälder* sind typisch für Kalkgebirge auf flachgründigen trockenen Kalkverwitterungsböden an steileren, häufig südexponierten Hängen. *Waldmeister-Buchenwälder* sind typisch für mäßig saure Kalk- und Silikatsverwitterungsböden (Braunerden), die ein weites floristisches Spektrum aufweisen. *Hainsimsen-Buchenwälder* kommen auf sauren, basenarmen Silikatsverwitterungsböden (z.B. Gneis, Bundsandstein) vor.
Wärmeliebende Eichenmischwälder (z.B. Flaumeichenmischwald) kommen auf warmen und trockenen Hängen in klimatisch begünstigten Gebieten vor. *Trauben-* und *Stieleiche* mit einer geringeren Spätfrostempfindlichkeit sind anspruchsloser als die Buche und entfalten sich optimal im planar-kollinen sommerwarmen Tieflandklima mit subatlantischen bis subkontinentalen Charakter, wobei die Stieleiche gut arme bzw. nasse Böden verträgt. *Eichen-Hainbuchenwälder* treten in planaren bis submontanen buchenfeindlichen Standorten auf, welche durch subkontinentale Tiefenlage mit Spätsommertrockenheit, häufig Früh- und Spätfrösten bzw. fruchtbare, schwere und auch feuchte Böden charakterisiert sind. *Bodensaure Eichenmischwälder* finden sich bevorzugt auf armen Sand- oder Magmatitverwitterungsböden im atlantisch-subatlantischen Klimabereich.

Edelholzlaubwälder wie Bergahorn und Bergulme (beide eher sub- bis hochmontan), sowie Esche, Sommer- und Winterlinde (alle eher kollin bis submontan) treten v.a. auf Sonderstandorten in humiden Klima auf und besitzen hohe Ansprüche in bezug auf Wasser- und Nährstoffversorgung. So findet man einen *Bergahorn-Eschenwald* auf kolluvialen Böden am Hangfuß, in Bereich quelliger Stellen und auf Hängen sowie in den Tallagen der montanen Alpenrandlagen. Der *Linden-Ulmen-Ahorn-Wald* tritt auf schattigen Steilhängen mit bewegten Böden und auf skelettreichen Standorten auf. Der *Spitzahorn-Sommerlindenwald* ist selten und befindet sich an wärmebegünstigten Hängen auf basenreichen, frischen Böden. Der *Bach-Eschenwald* ist eine kleinflächig, heterogen ausgebildete Waldgesellschaft, die v.a. entlang von langsam fließenden Waldbächen vorkommt.
Moor- und *Hängebirke*, mit planarem bis montanem Verbreitungsgebiet, sind konkurrenzbedingt v.a. auf armen und sauren Böden zu finden. Die *Schwarzerle* tritt eher in tiefen Lagen auf, die *Grauerle* findet man als Pionierart meist auf basenreichen Sand- und Lehmböden (PFADENHAUER 1997).

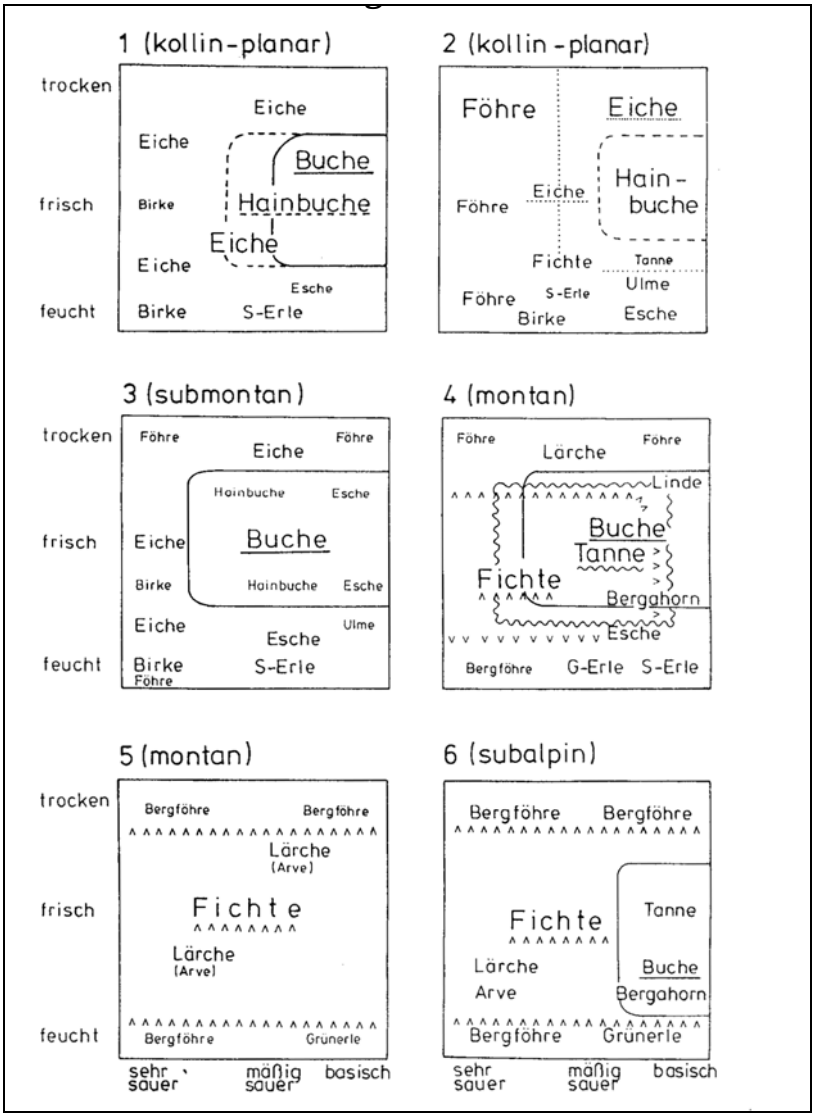


Abb. 4.10: Ökogramme nach PFADENHAUER (1997)

Die Baumartenkombinationen aufgrund von Boden und Feuchteverhältnisse (trocken bis frisch bzw. sauer bis basisch) können auch (in Anlehnung an ELLENBERG 1996) in sogenannten Ökogrammen dargestellt werden, wobei für jede Höhenstufe jeweils ein eigenes Ökogramm herangezogen wird (siehe Abb. 4.10). Da die hier dargestellten Ökogramme v.a. für Deutschland gelten, sind diese für Österreich nicht uneingeschränkt anwendbar (1 gilt für die westliche norddeutsche Tiefebene, 2 für die ostdeutsche Tiefebene), 3 bis 6 können aber für Österreich herangezogen werden. 3 gilt für submontanes, eher subatlantisches Klima, 4 für montanes, eher subatlantisches Klima (z.B. Alpenvorland), 5 gilt für montanes, kontinentales Klima (z.B. Zentralalpen) und 6 für subalpines, eher subatlantisches Klima (z.B. bayrische Randalpen) (PFADENHAUER 1997).

4.6.2 Verbreitung der Waldgesellschaften in Österreich aufgrund von klimatischen und edaphischen Faktoren

Im Gebirge folgt die Gliederung der Vegetation v.a. den Höhenstufen, weiters dem Klimagefälle vom subozeanischen Alpenrand gegen die kontinentalen Innenalpen bzw. gegen den Alpenostrand (siehe Abb. 2.3) (vergl. 2.2: WAGNER 1971, MAYER 1974, KILIAN 1994). Geologie und Boden spielen meist eine wechselnde, untergeordnete Rolle und dienen eher der Feindifferenzierung, in der subalpinen und alpinen Stufe tritt die Bedeutung des Grundgesteins (v.a. Kalk oder Silikat) stärker hervor. Diese vorwiegend großklimatisch bedingten Dauergesellschaften werden als „zonal“ bezeichnet, wohingegen die „azonalen“ Dauergesellschaften auf edaphisch oder lokalklimatisch bedingten Sonderstandorten auftreten (z.B. Sümpfe, Moore, Auen, Trockenstandorte) (WAGNER 1989). Besonders in den tiefmontanen Standorten (600 – 1000 m) der Ostalpen besteht eine sehr enge Beziehung zwischen Jahresniederschlagshöhe und Klimacharakter, so dass die tiefmontane Niederschlagskarte nach MAYER (1974) (siehe Kapitel 2.2.2) gute Hinweise für eine klimabedingte Differenzierung der Waldgebiete ermöglicht:
Der randalpine Fichten-Tannen-Buchenwald ist hygrisch stark differenziert: Er reicht vom östlichen Randgebiet der Nordalpen ohne Staueffekte (Wienerwald) und den niederschlagsarmen südöstliche Randalpen (Fischbacher Alpen) mit jeweils nur 800 – 1000 mm tiefmontanen Niederschlag, über den Westteil der Randalpen (Vorarlberg bis Salzkammergut) mit über 1750 mm bis zu den niederschlagsreichen südlichen Randalpen bis 2000 mm. In den östlichen Randalpen kommt es wegen des nur mäßig feucht-subkontinentalen Klimacharakters zur starken Ausbildung von Fichten-Tannenwald-(Abietetum)-Gesellschaften und zu edaphisch bedingten buchen- und tannenreichen Vegetationskomplexen.
Aufgrund des stärkeren subkontinentalen Klimacharakters und der überwiegend vorherrschenden Silikatgesteine (s.u.) treten nun auch im Zwischenalpenbereich buchenreiche Gesellschaften stark zurück. Die noch tannenreichen Zwischenalpen werden gut von der 1250 – 1000 mm Linie umgrenzt, wobei weiter im Osten die tiefmontanen Abietetum-Standorte bei gleichbleibendem Wärmeklima trockener und kontinentaler (700 – 1000 mm) werden. Die kontinentalen

Inneralpen verzeichnen tiefmontane Niederschläge von unter 800 mm und weisen Fichten-Tannenwälder und im inneren trockenen Bereich nur Fichtenwälder auf (siehe Kapitel 4.2.1). Unter optimalen Klimabedingungen treten Schlusswaldgesellschaften also weitgehend unabhängig von der Geologie auf. Sind die Klimabedingungen jedoch nur noch mäßig feucht subkontinental, so tritt die Buche im nördlichen Zwischenalpenbereich nur mehr gesteinsbedingt auf. Der Fichten-Tannen-Buchenwald entwickelt sich dann v.a. auf laubbaumfördernden, basenreichen Gesteinen (z.B. Dachsteinkalk), der Fichten-Tannenwald ist hingegen dann v.a. auf nadelbaumfördernden Gesteinen (z.B. Quarzphyllit) zu finden (siehe Kapitel 4.6.1).

Ein starkes Klimagefälle in Verbindung mit einem bedeutenden Wechsel der Gesteinsschichten (z.B. zwischen nördlichen Kalkalpen und Kitzbühler Tonschiefern) bewirkt einen schroffen Gesellschaftswechsel. Bei wenig ausgeprägten Klimaunterschieden über eine weitgehend einheitliche Unterlage (z.B. Paragneis-Serie der südöstlichen Rand- und Zwischenalpen) ergeben sich fließende Waldgesellschaftsübergänge. In einem klimatischen Übergangsgebiet mit einem kleinflächigen Wechsel von bodensauren und basischen Gesteinen (z.B. Zwischenalpen, Mürztal) entsteht ein sehr mosaikartiger Waldvegetationskomplex.
Außeralpin tritt Buchen bzw. Buchenmischwald in der bodensauren, eher feucht-kühlen Böhmischen Masse, voralpiner Buchenmischwald in den milden sommerfeuchten Molasse-Standorten und Eichenmischwald in östlichen tertiären und quartären Sedimenten im subkontinentalen, trocken-warmen Pannonischen Bereich auf (MAYER 1974, WAGNER 1989).

5 Material, Methoden und Werkzeuge

5.1 Datenmaterial

5.1.1 Bodendaten

5.1.1.1 Bodengruppen der Österreichischen Waldinventur (ÖWI)

Die Bodengruppen der ÖWI (siehe Tab. 5.1a-c) erwiesen sich als die einzig brauchbaren Bodendaten, da nur sie nach ökologischen, für das Waldwachstum relevanten Kriterien gruppiert und innerhalb der Waldgebiete direkt vor Ort erhoben wurden. Sämtliche anderen österreichweiten Bodenkarten (z.B. FINK ET AL. 1979) nehmen hingegen den Bodentyp innerhalb der Waldgebiete aufgrund der Geologie an.
In der ÖWI werden flächenmäßig bedeutsame, im Gelände einfach ansprechbare Gruppen von Bodenformen (=Bodengruppen) mit jeweils ähnlichem ökologischen Bedingungen (siehe Kapitel 4.5.8) unterschieden. Diese Einteilung erfolgt nach praktischen und ökologischen Gesichtspunkten, wobei die wissenschaftliche Bodensystematik dabei mitunter absichtlich ignoriert wird. Das Stichprobennetz der ÖWI umfasst rund 11.000 Gitterknotenpunkte im Basis-Raster von 3,9 x 3,9 km. An jedem Gitterknotenpunkt befindet sich eine Erhebungseinheit (=Trakt), welche aus einem 200 x 200 m Quadrat besteht, dessen 4 Eckpunkte die Zentren der Probeflächen bilden. Da die Bodengruppen jedoch nur in Waldgebieten erhoben wurden, sind nicht immer alle Trakte, bzw. alle 4 Punkte mit Bodendaten versehen (FBVA 1995, LEXER ET AL. 1999, GRABHERR 1998, NAGL 1995).

Tab. 5.1a: Bodengruppen der ÖWI Quelle: FBVA 1995, ENGLISCH und KILIAN 1998

(01) Rohböden und Ranker: In diese Gruppe fallen *silikatische Rohböden* (Syroseme) und *Ranker*, wobei Lockersyroseme in der ÖWI nicht gesondert ausgewiesen werden.
(02) Braunerde und Hangkolluvien auf ärmerem Kristallin: Hier werden *saure Braunerden auf silikatischem Festgestein* zusammen mit *sauren Kolluvien* als Bodengruppe ausgeschieden.
(03) Braunerde und Kolluvien auf basenreichem Kristallin und kalkbeeinflusster Braunerde: Hierzu zählen *basenreiche Braunerden auf Festgestein* und *leichtere Kalkbraunerden* sowie auch *nährstoffarme Braunerden*, die durch landwirtschaftliche Bearbeitung beeinflusst wurden.
(04) Semipodsol auf Kristallin
(05) Klimabedingte Podsole
(06) Substratbedingte Podsole

Tab. 5.1b: Bodengruppen der ÖWI Quelle: FBVA 1995, ENGLISCH und KILIAN 1998

(07) Substratbedingte Podsole mit erhöhter Wasserzufuhr: Podsole auf grundwassernahem Sand, Gleypodsol auf Lockersedimenten, sowie in tieferen Regionen Podsole mit Quarzitschutt im Hangwasserzug gehören zu diese Gruppe.
(08) Leichte Braunerde und podsolige Braunerde auf Lockersedimenten: S*chwach bindige Braunerden auf Lockersedimenten* (Schottern, Moränen, Schwemmfächern) und *podsolige Braunerden* werden hier ausgewiesen, wobei der Nährstoffgehalt der leicht bindigen Braunerde stark gesteinsabhängig ist. In diese Gruppe fallen auch *schwach entwickelte Parabraunerden, Semipodsole auf Lockersedimenten* und *silikatische Paratschernoseme* der Trockengebiete.
(09) Bindige Braunerde und Parabraunerde auf Moränen, Staublehm und tonigen Ausgangsmaterialien: Die *Parabraunerde* wird mit *mittelschwerer bis schwerer Braunerde* zusammengefasst, wobei das Ausgangsgestein auch Geschiebe oder Tonschiefer umfassen kann.
(10) Braunerde und Parabraunerde auf Löß: *Löß-Parabraunerde,* welche v.a. in den östlichen Trockengebieten Österreichs vorkommt, wird aufgrund ihres höheren Nährstoffgehalts bzw. höheren Schluffanteil zusammen mit *Löß-Braunerden* hier ausgewiesen.
(11) Pseudogley auf Flysch, Werfener Schichten, Fleckenmergel und anderem tonhaltigem, festem Grundgestein: Die Pseudogleye werden im Hinblick auf Fest- oder Lockergestein unterschieden: Diese Gruppe umfasst im Wesentlichen *primäre Pseudogleye* mit tiefliegendem Staukörper. Je nach Klima können diese Pseudogleye trocken, frisch oder feucht sein.
(12) Pseudogley auf Löß: Diese Gruppe umfasst v.a. *sekundäre Pseudogleye*, wobei diese im feuchten Westen des Alpenvorlandes anzutreffen ist.
(13) Pseudogley auf sonstigen Lockersedimenten: Diese Böden findet man z.B. im südlichen Alpenvorland und sie unterscheiden sich von (12) im Hinblick auf den Nährstoffgehalt, welcher je nach Ausgangsgestein unterschiedlich hoch sein kann.
(14) Hangpseudogleye und Hanggleye: Diese Böden sind meist sehr kleinflächig.
(15) Alte Verwitterungsdecken: Hierzu zählen silikatische Rot- und Braunlehme.
(16) Tschernosem: Hierzu zählt auch die *Feuchtschwarzerde,* welche Mull und darunterliegende anmoorigen Mull aufweist.

Tab. 5.1c: Bodengruppen der ÖWI Quelle: FBVA 1995, ENGLISCH und KILIAN 1998

(17 Rendsina und Rohböden auf Kalk: *Karbonatische Rohböden, Rendsinen* und *Pararendsinen* fallen in diese Gruppe.
(18) Mischboden aus Rendsina und Terra fusca
(19) Terra fusca und Kalksteinlehm allgemein: *Terra fusca* und andere *bindige, tiefgründige Lehmböden auf Karbonatgestein* (z.B. *Kalkbraunerden auf Mergel*) werden hier ausgewiesen.
(20) Grundwassergley
(21) Schwemmböden und Bachauböden: Dies sind kleinflächige, wenig entwickelte Böden.
(22) Fluss- und Stromauböden
(23) Anmoor
(24) Niedermoor
(25) Hochmoor
(26) Kunstboden: Dies sind z.B. Bodenaufschüttungen, Industrie- und Bergwerkshalden oder Dämme.

Diese als digitale Punktkarte vorliegenden Bodendaten beinhalten jedoch für die in dieser Arbeit durchzuführende Clusteranalyse (siehe Kapitel 5.2.3) 2 Probleme: Erstens sind die Bodendaten durch die hohe Anzahl der Bodengruppen für die gegebene Fragestellung zu komplex und zweitens ist die Anzahl der Inventurpunkte für das Statistikprogramm R bei der hier verwendeten Computerkapazität viel zu hoch. Daher wurden im Folgenden sowohl die Bodengruppen als auch die Anzahl der Inventurpunkte stark reduziert:

5.1.1.2 Zusammenfassung der Bodengruppen

Zur Aufbereitung für die Clusteranalyse wurden die oben genannten Bodengruppen, in Anlehnung an die Gruppierung der ÖWBZI, in folgende 8 Boden-Großgruppen (siehe Tab. 5.2) zusammengefasst, wobei diese Boden-Großgruppen von ihrer bodenkundlichen, chemischen und ökologischen Charakteristik als weitgehend homogen angenommen werden können. Dadurch wurde die Komplexität des Bodendatensatzes erheblich reduziert, so dass eine Clusteranalyse für die gegebene Fragestellung möglich wurde. Jede Boden-Großgruppe ging als eigene Variable in die Clusteranalyse ein (siehe Kapitel 5.2.3.3), wobei die Kotierung dieser Variablen Tab. 5.2 zu entnehmen ist. Die gesamten Boden-Großgruppenvariablen werden als BODENGR kotiert.

Tab. 5.2: Boden-Großgruppen Quelle: FBVA 1992 und eigene Zusammenfassung

Boden-Großgruppen		Kotierung	Bodengruppen
I.	Arme Braunerden, Ranker	ARME_BE	1, 2
II.	Reiche Braunerden, Tschernoseme	REICHE_BE	3, 16
III.	Podsole, Semipodsole	POD_SEMI	4, 5, 6, 7
IV.	Braunerden auf Lockersedimenten, Parabraunerden	BE_LOCK_PB	8, 9,10
V.	Pseudogley, Gley	GLEY_PGL	11 - 14, 20
VI.	Rendsinen, Mischböden	RENDSI_MB	17, 18
VII.	Terra fusca	TERRA_FU	19
VIII.	Sonstige	SONSTIGE	15, 21 - 26

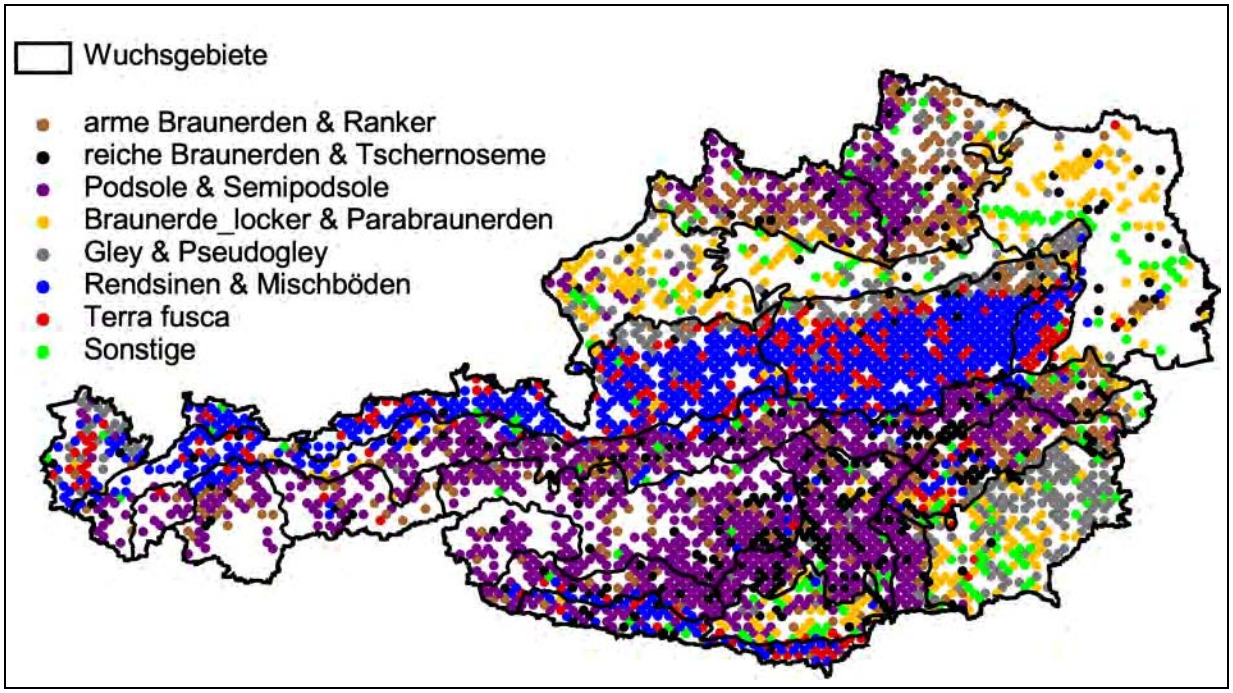


Abb. 5.1: Zusammengefasste Bodengruppen Quelle: FBVA 1992 und eigene Zusammenfassung

Hierbei wurden die Ranker mit ärmeren Braunerden in eine Gruppe gestellt, die verschiedenen Podsole wurden zusammengefasst, Parabraunerden, Lößbraunerden und Braunerden auf Lockersedimenten bilden eine Gruppe und die Übergangsformen der Rendsinen zur Terra fusca wurden zu den Rendsinen gestellt. Eine größere Heterogenität weist, aufgrund ihrer unterschiedlichen Substrate, die “Pseudogley- und Gley”-Gruppe auf, selten auftretende Bodengruppen wurden in der Gruppe “Sonstige” zusammengefasst (FBVA 1992). Gegenüber der ÖWBZI wurden hier lediglich Semipodsole und Podsole noch weiter zusammengefasst, Tschernoseme wurden zu den reichen Braunerden gestellt. Die z.T. unterschiedliche Ansprache der ÖWI und ÖWBZI stellt hier jedoch kein Problem dar, da sich durch die Zusammenfassung in den neu gebildeten Großgruppen keine Verschiebungen zwischen ÖWI und ÖWBZI ergeben. Die räumliche Verteilung dieser zusammengefassten Bodengruppen zeigt Abbildung 5.1.

5.1.1.3 Reduktion der Inventurpunkte

Um mit der gegebenen Computerkapazität (128 MB RAM) rechnen zu können, wurden die ursprünglich ca. 11.000 Inventurpunkte auf 3585 Punkte reduziert. Es wurde daher pro Trakt (maximal 4 Punkte) je 1 Punkt ausgewählt, und zwar jener Punkt, der die häufigste Bodengruppe des jeweiligen Traktes enthielt. Hierzu wurde mit der GIS-Funktion „generate net/fishnet“ ein Netz mit der Maschenweite 3.9 km erzeugt, welches über einen spatial join mit den Inventurpunkten verschnitten wurde. Dadurch erhielten alle 4 Punkte des Trakts jeweils die gleiche Netz-ID, so dass mit Hilfe der Bodengruppen-ID jeweils die häufigste Bodengruppe innerhalb eines Trakts ausgewählt werden konnte. Bei gleich großer Anzahl verschiedener Bodengruppen innerhalb eines Trakts, wurde eine rein visuelle Auswahl aufgrund der Bodengruppen der Umgebung getroffen, wobei versucht wurde, das Muster der Umgebung beizubehalten.

5.1.2 Klimadaten

Eine wesentliche Datengrundlage stellten die von der ZAMG (POTZMANN und SCHÖNER) für den ÖKLIM (Digitalen Klimaatlas Österreichisches) (AUER ET AL. 2001) errechneten Monatsmittelwerte der Temperatur dar. Diese wurden mit ca. 800 Messstationen (inclusive angrenzender ausländischer Stationen) in einer Auflösung von 250 m gerechnet, die Messperioden lagen meist zwischen 1961 –1990, wobei mitunter 20 jährige auf 30 jährige Perioden umgerechnet wurden. Hierfür wurde Österreich in 7 Regionen unterteilt, wobei für jede Region eine eigene höhenabhängige lineare Regression der Temperatur in 3 Höhenzonen (<750 m, 750 – 1500 m, > 1500 m) gerechnet wurde. Die Regression der Schicht > 1500 m wurde jedoch für ganz Österreich gerechnet. Über das Landnutzungsmodell konnten weiters höhere Temperaturen in Seenähe und in städtischen Wärmeinseln durch einen konstanten Faktor besser erfasst werden, wodurch z.B. im Raum Wien beachtliche kleinräumige Temperaturunterschiede erreicht werden. Kälteseen wurden über das Digitale Höhenmodell (DHM) ebenfalls über einen konstanten Faktor erfasst. Schließlich wurden die in den Messstationen ermittelten Residuen mittels Kriging über die Fläche interpoliert und zum Regressionsmodell dazu addiert (BÖHM und POTZMANN 1999, POTZMANN mündlich).
Aus diesen von der ZAMG zur Verfügung gestellten Grunddaten der Monatstemperaturen wurden nun, ebenfalls in der Auflösung von ca. 250 m, das Temperaturmittel des wärmsten Monats, das Temperaturmittel des kältesten Monats, die jährliche Temperaturamplitude, die Länge der Vegetationsperiode und die Growing Degree Days errechnet.
Sämtliche hier verwendeten Klimadaten lagen als Grids vor.

5.1.2.1 Temperaturmittel des wärmsten Monats (MAX_TEMP)

Dieses (siehe Abb. 5.2) wurde mit Hilfe der GIS-Funktion „MAX“ errechnet und tritt meist im Juli oder August auf. Der Minimumwert liegt hier bei –1,7°C (Wildspitze), der Maximumwert bei 21,3 °C (Westufer des Neusiedler Sees (Donnerskirchen)), der österreichweite Durchschnitt beträgt 14,9 °C. Die tiefsten Werte liegen generell in den höchsten Alpenbereichen (Ötztaler, Hohe Tauern), die höchsten Werte finden sich in Wien und im Gebiet des Seewinkels. Die Karte zeigt im Wesentlichen starke Analogien zum digitalen Höhenmodell.

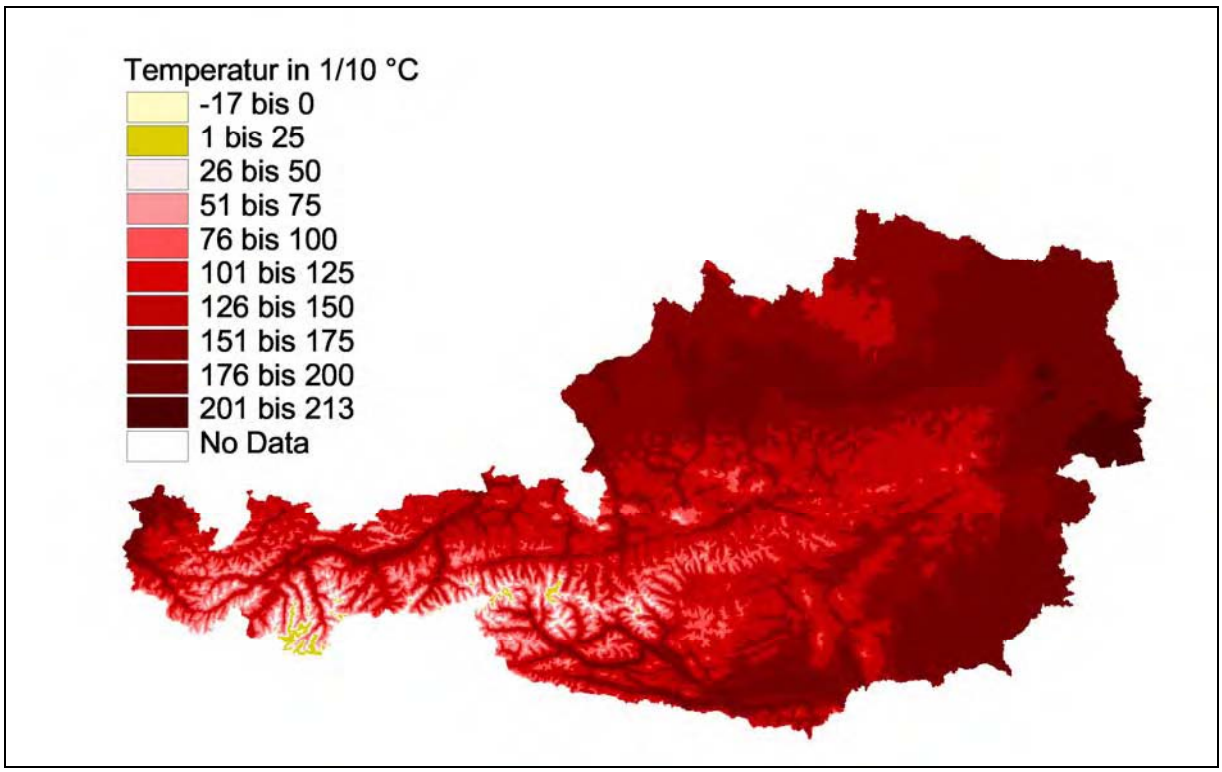


Abb. 5.2: Temperatur des wärmsten Monats (MAX_TEMP) Quelle: eigene Berechnungen

5.1.2.2 Temperaturmittel des kältesten Monats (MIN_TEMP)

Dieses (siehe Abb. 5.3) wurde mit Hilfe der GIS-Funktion „MIN“ errechnet und tritt überwiegend im Jänner und Februar auf. Der Minimumwert liegt hierbei bei –15,5°C (Wildspitze), der Maximumwert bei + 0,9 °C (Wien, Arsenalterrasse), der Durchschnitt beträgt –3,7 °C. Die höchsten Werte treten hier im Bereich des Neusiedler Sees, im Rheintal, in den größeren Ballungsräumen (Wien, Linz, Salzburg und Graz) sowie in manchen Salzkammergut Seen (Traunsee, Mattsee) auf, die geringsten Werte finden sich wiederum in den Ötztaler Alpen und Hohen Tauern. Es fällt auf, dass die Isolinien dieser Karte, v.a. bedingt durch die zahlreichen Kälteseen, stark von jenen des DMHs, aber auch von jenen aller übrigen verwendeten Karten abweichen. Dies gilt allerdings kaum für das Hochgebirge.

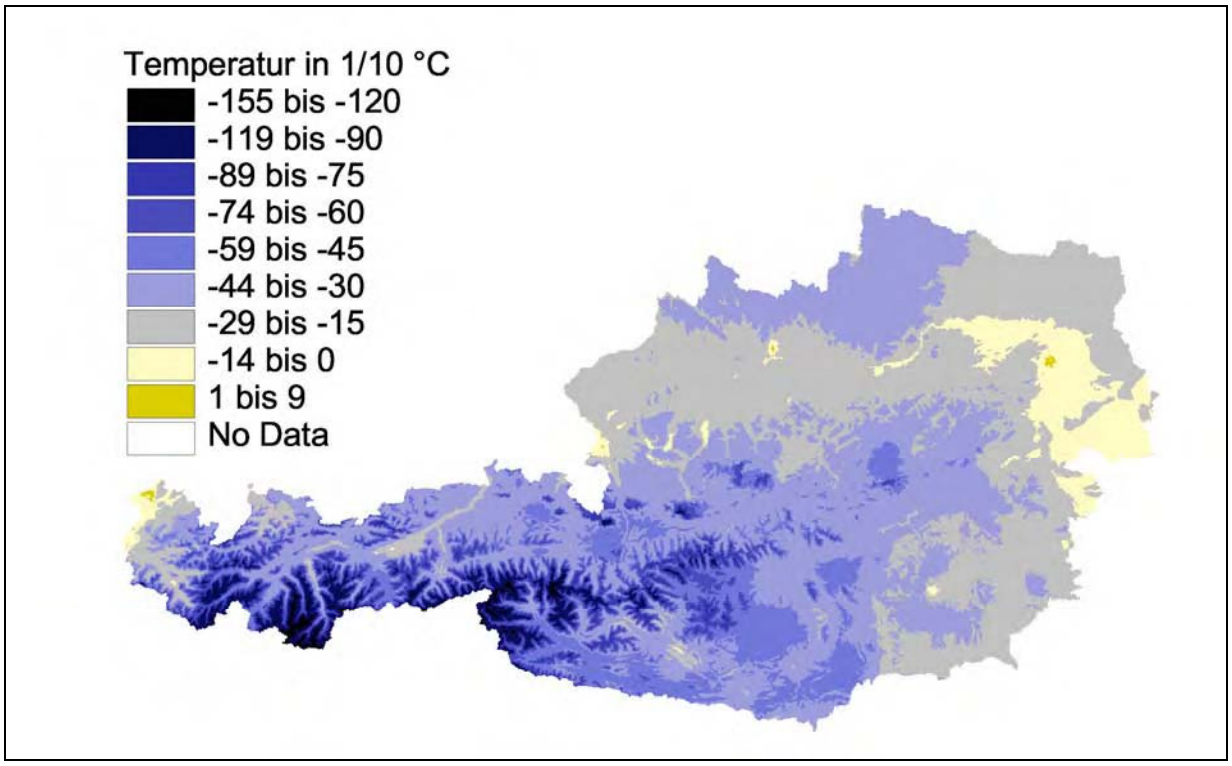


Abb. 5.3: Temperatur des kältesten Monats (MIN_TEMP) Quelle: eigene Berechnungen

5.1.2.3 Jährliche Temperaturamplitude (AMPLJA)

Diese (siehe Abb. 5.4) wurde als Differenz zwischen „MAX“ und „MIN“ der Monatswerte berechnet. Sie weist ihr Maximum mit 23,6 °C interessanterweise im oberen Drautal (bei Oberdrauburg), ihr Minimum mit 12,8 °C in den Hohen Tauern (Wiesbachhorn) auf, der Durchschnitt liegt bei 18,6 °C. Die Gebiete geringster thermischer Kontinentalität treten prinzipiell in den höchsten Regionen des Alpenhauptkammes auf (vom Rätikon bis zur Reißeckgruppe), die höchsten Temperaturamplituden finden sich im Klagenfurter Becken, dem Lavant-, Gail- und Drautal. Die Böhmische Masse ist im Vergleich zu den meisten alpinen Gebieten thermische etwas kontinentaler.

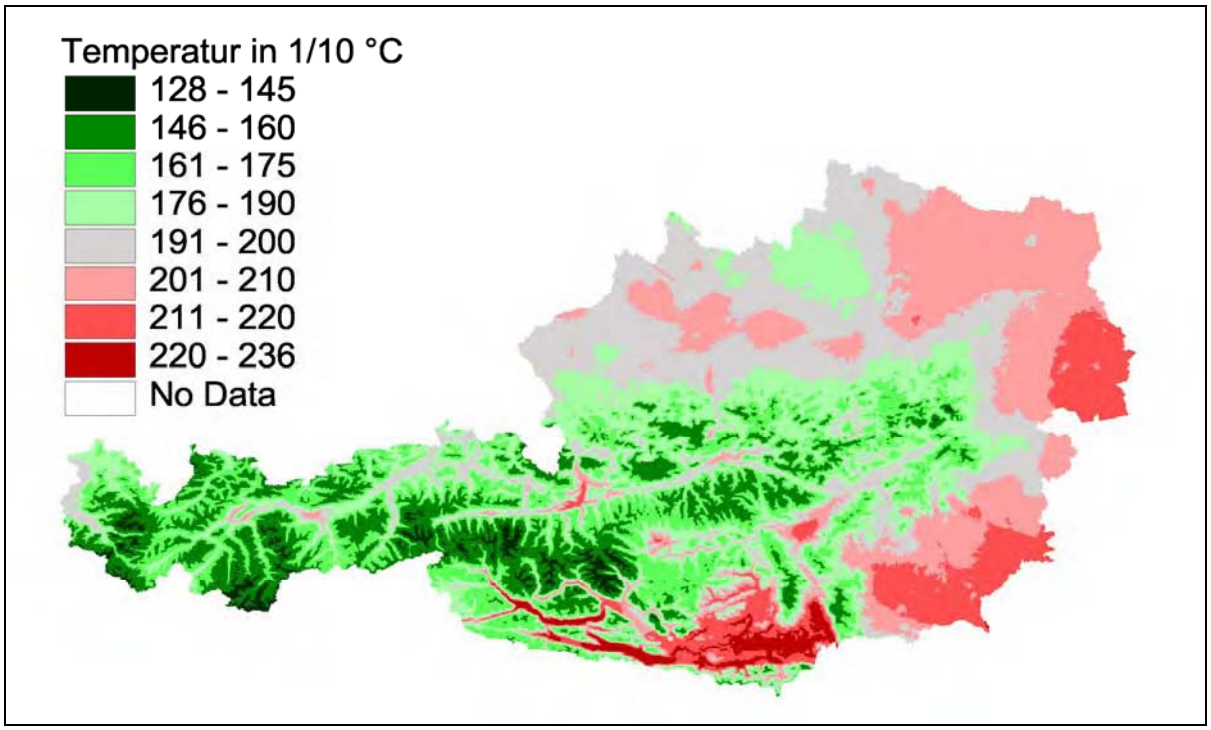


Abb. 5.4: Jährliche Temperaturamplitude (AMPLJA) Quelle: eigene Berechnungen

5.1.2.4 Länge der Vegetationsperiode (VEGPERI)

Hierzu wurde die Anzahl der Tage mit einer Durchschnittstemperatur über einem Schwellenwert von 5,5 C° (siehe Kapitel 4.4.3) berechnet. Die Tagesdurchschnittstemperaturen wurden hierbei aus den Monatsmittelwerten der ZAMG (s.o.) linear interpoliert.

Zur Berechnung der Länge der Vegetationsperiode (siehe Abb. 5.5), aber auch der Growing Degree Days (s.u.) wurde das AML-Script von LOIBL (2001) verwendet (siehe 11 Anhang (vegp_ws.aml)). AML (ARC MACRO LANGUAGE) ist eine höhere Programmiersprache, mit welcher Programme erzeugt werden können, die GIS-Funktionsbefehle ausführen und Parameter, Dateinamen etc. übergeben können. Das AML-Script setzt zu Beginn die Monatsvariable (m) auf 0 und läuft diese dann von 1 bis 12 durch, die Tagesvariable (d) wird von 1 bis 30 durchlaufen. Für jeden Monat werden das Grid des vorhergehenden (*grid 1*) und des nachfolgenden Monats (*grid 3*), sowie das Grid des Monats selbst (*grid 2*) zur Berechnung der Tagesdurchschnittstemperaturen herangezogen. Ist die d $\leq$ 15, so berechnen sich der obere Faktor (fct_o) bzw. der untere Faktor (fct_u) wie folgt: fct_o = 1,5 – ((30 – d)/30); fct_u = 1 – fct_o. Die Tagesdurchschnittstemperatur (*t_m_d*) wird dann als grid 1 * fct_u + grid2 * fct_o berechnet. Für d > 15 ist fct_u = 0,5 + ((30 – d)/30) und fct_o = 1 – fct_u, wobei hier gilt: *t_m_d* = grid2 * fct_u + grid 3 * fct_o. Liegt *t_m_d* über dem Schwellenwert 5,5 °C, wird der Tag gezählt (also 1 gesetzt), sonst nicht (also 0 gesetzt). Die so erhaltenen Grids mit Zellenwerten von 0 und 1 werden nun im Grid *t_day5_m* für jeden Monat kumuliert. Da in AMLs bestehende Gridnamen nicht kumuliert werden können, muss *t_day5_m* bei jeder Schleife in ein temporäres Grid (*yyy2*) umbenannt werden.

Diese 12 Monatsgrids wurden außerhalb des AMLs zusammen addiert. Schließlich wurden noch die jeweils 31sten der entsprechenden Monate nach dem gleichen Gewichtungsschema errechnet und dazu addiert, was die „Länge der Vegetationsperiode“ ergab. Auf die Subtraktion des 29. und 30. Februars konnte verzichtet werden, da hier nirgends der Schwellenwert 5,5 °C überschritten wurde.
Die niedrigsten Werte treten in den höchsten alpinen Regionen (v.a. Alpenhauptkamm, aber auch z.B. Dachstein, Hochkönig) auf, wobei hier überall der Wert 0 erreicht wird. Die höchsten Werte treten in Wien und im südlichen Neusiedler See auf, wobei das Maximum mit 253 Tagen im Bereich der Wiener Arsenalterrasse liegt, der österreichweite Durchschnitt beträgt 182 Tage. Diese Karte zeigt durchaus Analogien zum digitalen Höhenmodell.

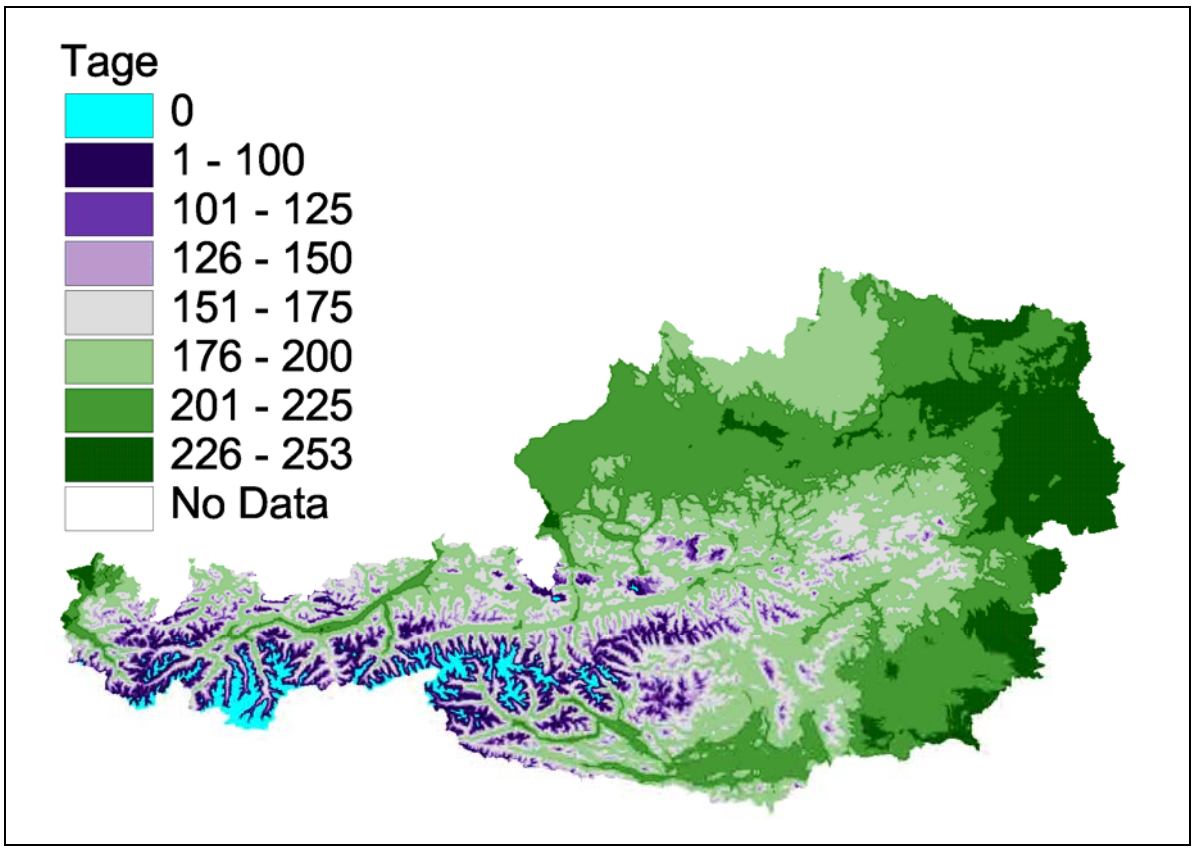


Abb. 5.5: Länge der Vegetationsperiode (VEGPERI)
Quelle: ARCS: LOIBL & eigene Berechnungen

5.1.2.5 Growing Degree Days (GDD)

Bei den Growing Degree Days (siehe Abb. 5.6) werden die Tagesdurchschnittstemperaturen über einem Schwellenwert von 5,5 °C aufsummiert. Die GDD wurden analog zur Länge der Vegetationsperiode mit dem gleichen AML (s.o.) berechnet. Der einzige Unterschied zur Berechnung der VEGPERI besteht im AML darin, dass nicht, wie im Grid *t_days5_m* (s.o.) die Anzahl der Tage, sondern die Tagesdurchschnittstemperatur selbst kumuliert wird, welches im Grid *t_kum5_m* geschieht. Nach Durchlaufen des AMLs wurden wieder die Monatsergebnisse

und die 31sten der entsprechenden Monate zusammen addiert. Da im Grid *t_kum5_m* die gesamte Tagesdurchschnittstemperatur von Tagen mit über 5,5 °C kumuliert wurde, musste noch die kumulierte Temperatur kleiner als 5,5 °C abgezogen werden, was einfach über die Länge der Vegetationsperiode mal 5,5 durchzuführen war.
Die niedrigsten Werte treten analog zu jenen der Vegetationsperiode in den höchsten alpinen Regionen (v.a. Alpenhauptkamm, aber auch z.B. Dachstein, Hochkönig) auf, wobei hier überall der Wert 0 erreicht wird. Die höchsten Werte liegen im Wiener Raum und um den Neusiedler See bzw. im Seewinkel, wobei das Maximum mit 2391,3 °C wieder auf der Wiener Arsenalterrasse erreicht wird. Der österreichweite Durchschnitt liegt bei 1188,9 °C. Auch diese Karte zeigt starke Analogien zum digitalen Höhenmodell.

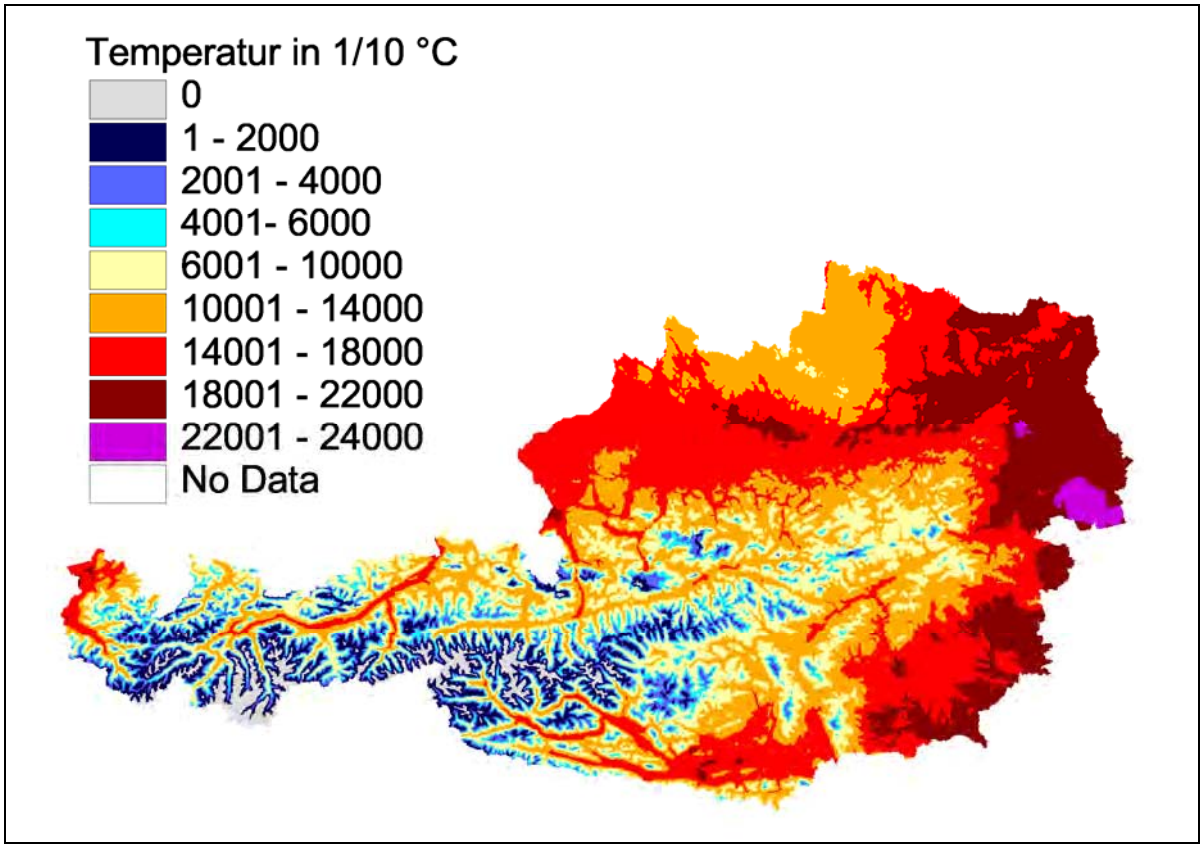


Abb. 5.6: Growing Degree Days (GDD) Quelle: ARCS: LOIBL & eigene Berechnungen

5.1.2.6 Absolute Sonnenscheindauer im Juli (SO_ABS_JUL)

Diese von der ZAMG zur Verfügung gestellte Datensatz (siehe Abb. 5.7) wurde mittels 105 Stationen (inclusive einiger grenznaher ausländischer Stationen) in einer Auflösung von 250 m errechnet. Da die angestrebte Messperiode (Zeitraum von 1961 – 1990) oft nicht erreicht werden konnte, mussten häufig fehlende Monatswerte mit Nachbarstationen ergänzt werden. Zunächst wurden die als absolute Sonnenscheindauer vorliegenden Stationswerte in relativen Sonnenscheindauerwerte (siehe Kapitel 4.4.1) umgerechnet. Danach wurde zur Berechnung der relativen Sonnenscheindauer im Juli ein 1-schichtiges multiples Regressionsmodell über die

Variablen Seehöhe und geographische Breite herangezogen, wobei die Residuen mittels Kriging über die Fläche interpoliert wurden. Dieses Grid wurde dann über ein Beleuchtungsmodell wieder zur absoluten Sonnenscheindauer im Juli umgerechnet (SCHÖNER 2000, SCHÖNER mündlich).
Die höchsten Werte werden hier in Ostösterreich zwischen Marchfeld und Neusiedler See bzw. Seewinkel, sowie in der Südsteiermark (Windische Bühel) erreicht, die niedrigsten Werte treten in engen Gebirgstälern v.a. am Nordhang in bzw. um die Hohen Tauern auf. So wird das Minimum von 101 h am Nordhang des Großvenedigers, das Maximum mit 285 h nordöstlich von Neusiedl am See erreicht, der österreichweite Durchschnitt beträgt 220 h. Das Grid ist räumlich sehr heterogen und weicht stark vom digitalen Höhenmodell ab.

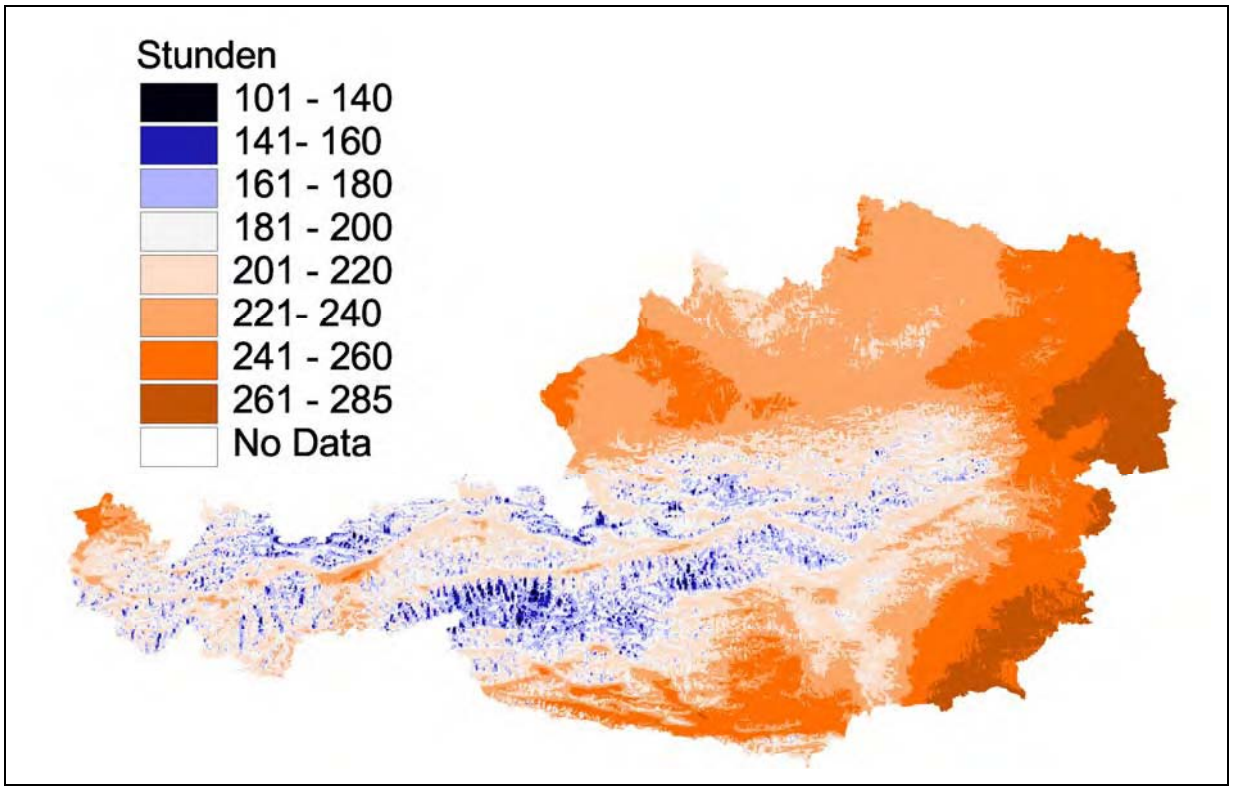


Abb. 5.7: Absolute Sonnescheindauer im Juli (SO_ABS_JUL) Quelle: ZAMG

5.1.2.7 Frosttage (FROSTT)

Dieses von der ZAMG zur Verfügung gestellte Grid (siehe Abb. 5.8) wurde mit 165 Stationen in einer Auflösung von 250 m über die Messperiode 1961 – 1990 gerechnet. Hierbei wurden die Monatswerte auf Tagesbasis interpoliert, wobei als Schwellenwert für einen Frosttag eine Minimumtemperatur < 0 C° galt. Die Berechnung erfolgte als Höhenregression in 7 Teilräumen und in 3 Schichten, wobei die Schichtgrenzen bei 800 bzw. 1500 m lagen (POTZMANN mündlich). Die niedrigsten Werte werden zwischen Marchfeld, Neusiedler See und Seewinkel, im Raum Wien und südliches Wiener Becken, in den städtischen Wärmeinseln von Linz, Steyr, Wels und Salzburg sowie im Rheintal erreicht, wobei das Minimum mit 64 Tagen im Zentrum

Wiens liegt. Die höchsten Werte treten in den Gipfelregionen der Ötztaler Alpen und der Hohen Tauern auf, wobei das Maximum bei 346 Tagen (Wildspitze) liegt. Der österreichweite Durchschnitt liegt bei 146 Tagen. Das Bild zeigt unterschiedlich starke Analogien zum DHM.

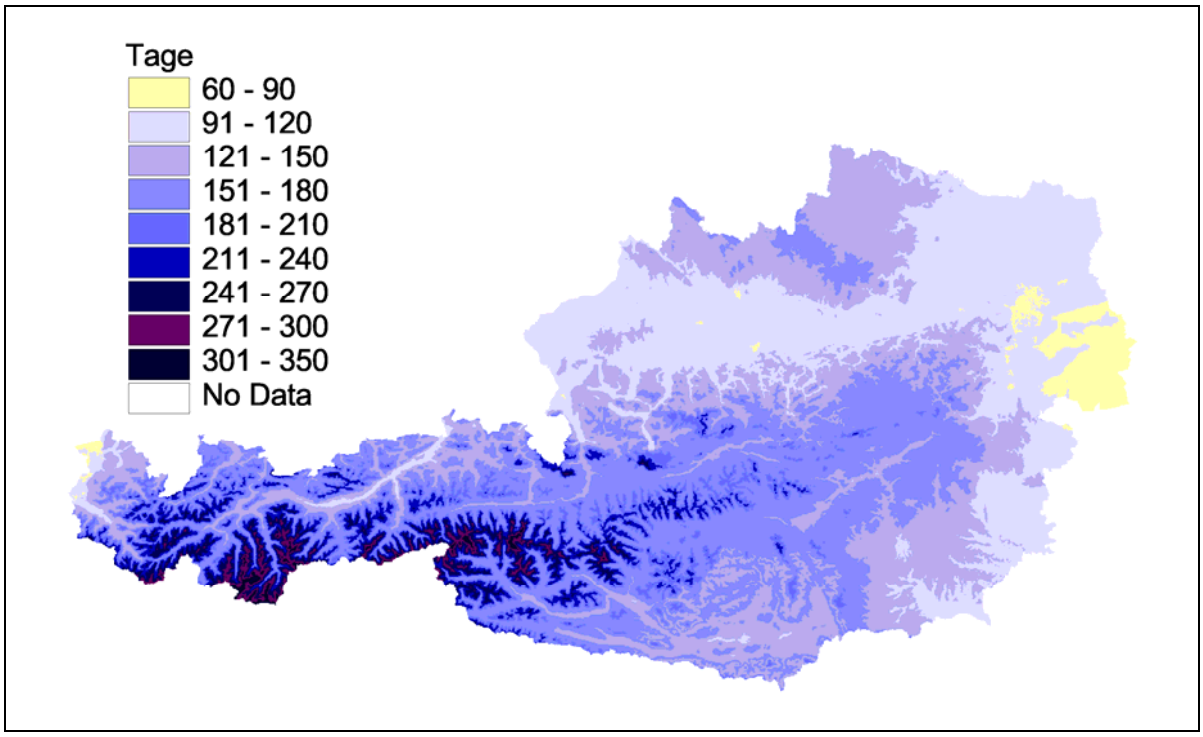


Abb. 5.8: Frosttage (FROSTT) Quelle: ZAMG

5.1.2.8 Hygrische Kontinentalität nach GAMS (GAMS)

Die hygrische Kontinentalität C nach GAMS (2) ergibt sich als Cotang C = Jahresniederschlag / Seehöhe (siehe Kapitel 4.2.1). Die vorliegende Karte (siehe Abb. 5.9) wurde nach dem Ansatz von KIENAST und ZIMMERMANN (1999) (3) errechnet (siehe Kapitel 4.2.1), bei dem die Seehöhe durch einen Temperaturterm substituiert wird.

$$SHSUB = 100*((T_o - T_a)/GT) \quad (3)$$

SHSUB = Substituierte Seehöhe
T_o = Jahresmitteltemperatur auf Meereshöhe
T_a = Jahresmitteltemperatur am Standort
GT = Höhengradient für Temperaturmittel

Als Jahresmitteltemperaturen (T_a) wurden wiederum die aufsummierten Monatsmittelwerte der Temperatur der ZAMG (s.o.) herangezogen, wobei zur Berechnung der T_o und des GT die Jahresmitteltemperatur auf die 760 Stationen der Niederschlagskarte (siehe Kapitel 5.1.3) extrahiert wurden, so dass mit diesen Punktdaten eine lineare Regression über die Höhe durchgeführt werde konnte. T_o ergab sich daraus mit 9,654 °C und GT lag bei 0,43 °C/100 m, wobei

negative Gridwerte dort auftraten, wo $T_O < T_a$ war. Als Jahresniederschlagssumme wurde die Jahresniederschlagssumme mittels Neuronaler Netze herangezogen (siehe Kapitel 5.1.3).

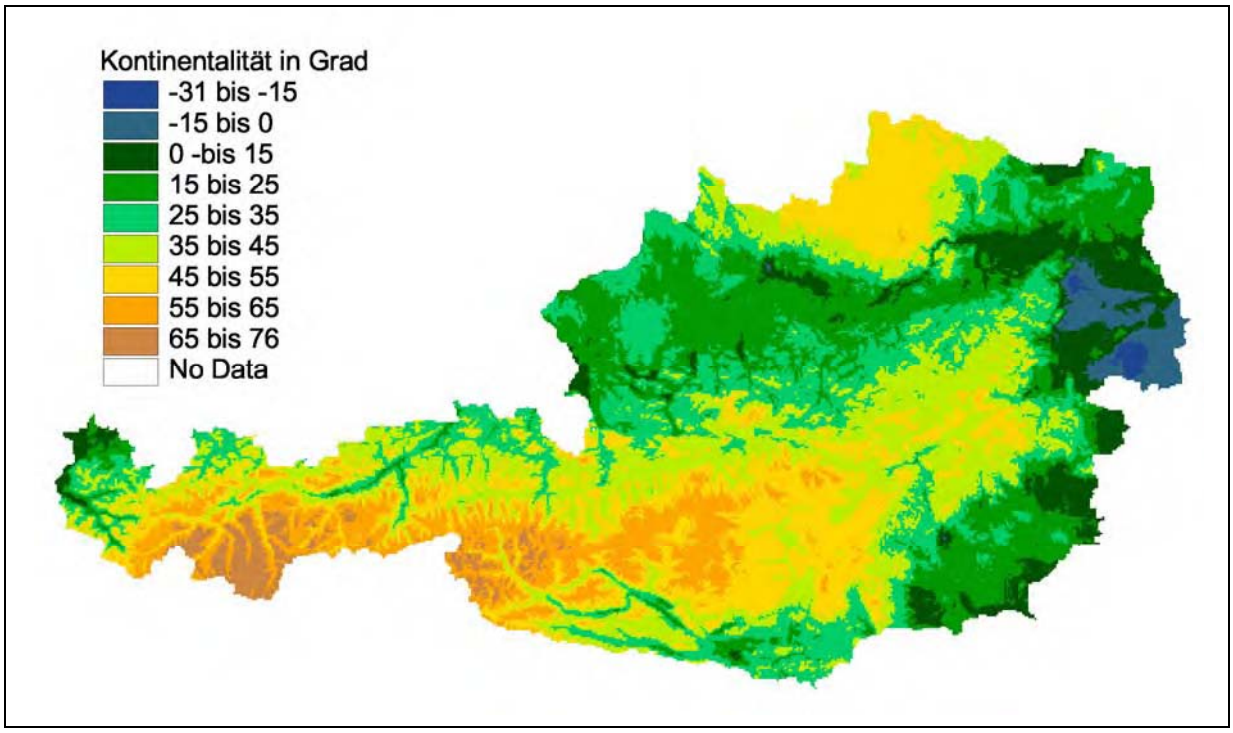


Abb. 5.9: Hygrische Kontinentalität nach Gams (GAMS) Quelle: eigene Berechnungen

Die höchsten Kontinentalitäten (i.e., die höchsten Werte) treten im Bereich der Ötztaler Alpen und südlich der Hohen Tauern auf, wobei generell der Alpenhauptkamm (von der Silvretta bis zu den Seckauer Alpen) und die höher gelegene Böhmische Masse eine hohe hygrische Kontinentalität aufweist. Das Maximum von 76° wird im Bereich des Peischlkopfs (nördliche Ötztaler Alpen) erreicht. Hohe hygrische Ozeanitäten (niedrige Werte) treten in Wien, Linz, im südöstlichen Wiener Becken, im Bereich des Seewinkels, der Parndorfer Platte und des Heidebodens auf, wobei das Minimum mit –31° im Zentrum Wiens liegt. Der österreichweite Durchschnitt beträgt 35°. Die Karte differenziert im alpinen und außeralpinen Raum ca. gleich stark und unterscheidet sich damit deutlich vom digitalen Höhenmodell. Der Einfluss der Jahrestemperatur auf das Ergebnis dürfte noch etwas stärker sein, als jener des Jahresniederschlags, was sich z.B. in der Ausbreitung der stark hygrisch ozeanischen Bereiche zeigt (siehe auch Kapitel 6.3.2). Hier führen die landnutzungsbedingten Temperaturunterschiede (s.o.) innerhalb Wiens und im Bereich des Neusiedler Sees auch zu beachtlichen Unterschieden in GAMS.

5.1.2.9 Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 40 mm PET (TROC_40)

Diese vom Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur (FORMAYER 2001) errechnete Karte (siehe Abb. 5.10) wurde mit 132 ausgewählten Stationen (alle im Österreichischen Bundesgebiet liegend) in einer Auflösung von 250 m erstellt. Die ausgewählten Messstationen, welche aus einer Datenreihe von 1950 – 1998 stammen, mussten Messreihen

von mindestens 30 Jahren auf Tagesbasis ohne Datenausfall aufweisen. Zunächst wurden mittels linearer Regression die auf Tagesbasis vorliegenden Wasserdampfdrucksättigungsdefizite der einzelnen Stationen in potentielle Evapotranspirationswerte (PET) umgerechnet. Danach wurde täglich PET minus Niederschlag (NS) gerechnet und dieser mm-Wert über die einzelnen Tage aufsummiert, wobei im Falle von PET < NS der mm-Wert wieder auf 0 gesetzt wurde und die Aufsummierung wieder neu begann. Schließlich wurde gezählt, wie oft im Jahr diese kontinuierlich akkumulierte PET-NS-Differenz einen Schwellenwert von 40 mm überschreitet. Diese nun an den Stationen vorliegenden Häufigkeitswerte wurden weiters über eine höhenabhängige lineare Regression in 2 Schichten auf die Fläche umgerechnet, wobei der Schichtwechsel in einer Höhe von 900 m erfolgte. Die Residuen wurden mittels Kriging über die Fläche gerechnet und zum Modellergebnis dazu addiert. Der Bereich des Außerferns dürfte hierbei aufgrund des Fehlens von Messstationen und folglich auch fehlender Residuen etwas zu trocken angenommen worden sein (FORMAYER mündlich).

Da es ab einer bestimmten Höhe zu keiner Überschreitung des Schwellenwertes von 40 mm mehr kam und so eine Häufigkeit von 0 mal pro Jahr erreicht wurde, kehrten sich durch die Regressionsgerade bei Raterzellen über dieser Höhe die Werte ins negative um (FORMAYER mündlich). Streng genommen müssten diese Negativwerte alle daher auf 0 gesetzt werden. Allerdings beinhalten diese negativen Werte ja auch noch eine differenzierende ökologische Aussage, nämlich wie weit weg dieser Punkt vom Erreichen des Schwellenwertes von 40 mm liegt, so dass diese Negativwerte beibehalten wurden. Ab einer Höhe von 2000 m wurden diese Negativwerte jedoch vom Verfasser dieser Karte (FORMAYER) generell auf –1 gesetzt, wobei über dieser Marke so gut wie keine Waldinventurpunkte (auf welchen die Clusteranalyse ja durchgeführt wurde (siehe Kapitel 5.1.1.1)) zu liegen kommen. In Teilen des Bregenzer Waldes, des Rätikons, Karwendels, des Pongaus, der Nördlichen Kalkalpen (vom Tennengebirge bis in die Eisenwurzen), sowie im Bereich der Koralpe liegt diese Höhengrenze jedoch unter 2000 m, so dass hier mitunter schon einige Waldinventurpunkte im leicht negativen PET-NS-Differenzbereich zu liegen kommen.

Die hier verwendete Vegetationsperiode (Mai – Oktober) liegt zwar in einem anderen Zeitraum, als jene der klimatischen Wasserbilanz (März - August; s.u.). Das hier vorliegende Ergebnis wird sich jedoch kaum von einem Ergebnis über den Zeitraum März - August unterscheiden, da angenommen werden kann, dass in den Monaten März, April und Oktober der Grenzwert von 40 mm praktisch nicht erreicht wird, da z.B. für Groß Enzersdorf die durchschnittliche PET im Oktober 40 mm bzw. im April 50 mm nach THORNTHWAITE (1948) (5) beträgt. Das bedeutet, dass unter der Annahme, dass es in diesem Monat gar nicht regnet, in einem der heißesten und trockensten Orte Österreichs dieser Werte gerade noch erreicht werden kann. Einzig im September (75 mm PET in Groß Enzersdorf) könnte mitunter eine Trockenperiode > 40 PET auftreten.

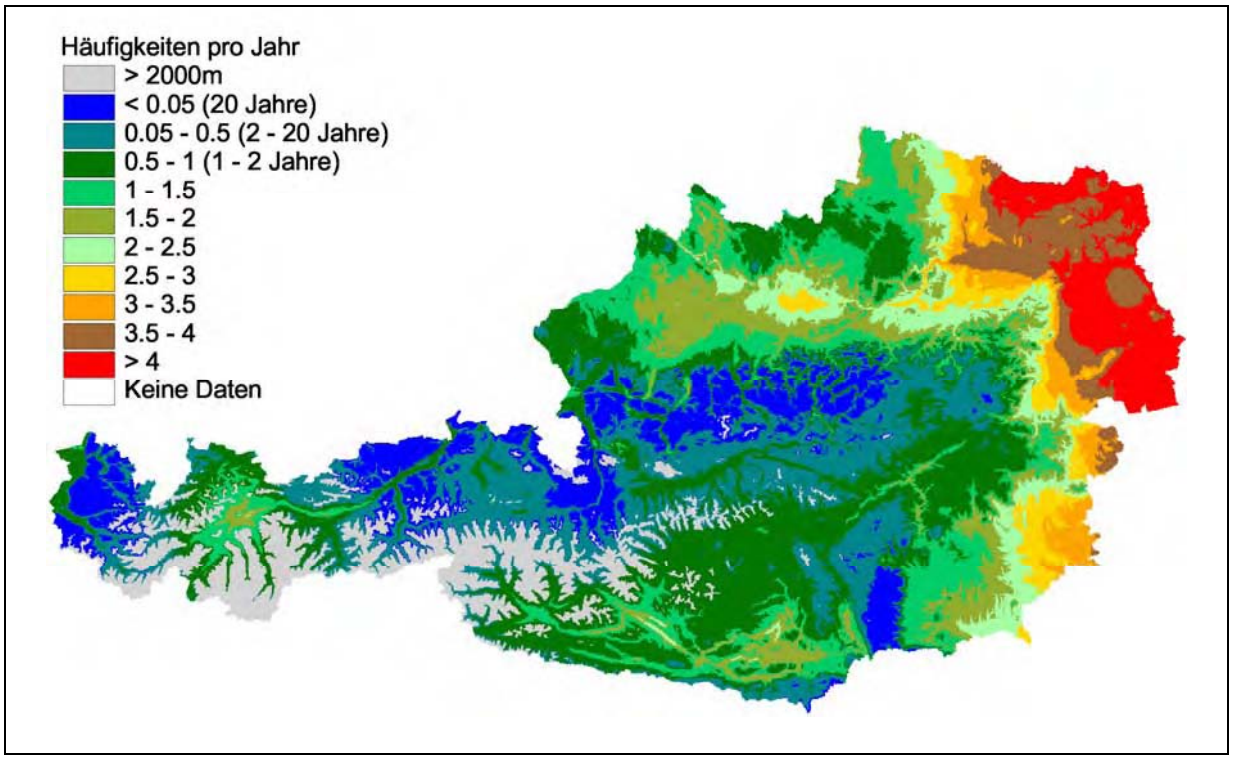


Abb. 5.10: Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 40 mm PET (TROC_40) Quelle: Institut für Meteorologie und Physik / Universität für Bodenkultur

Die höchsten Werte treten hier im Gebiet des Seewinkels, des nördlichen Weinviertels sowie südöstlich von Wien auf, wobei das Maximum bei 5,06 mal / Jahr (Fischamend) liegt. Minimumwert und Durchschnitt machen nach dem oben Gesagten wenig Sinn. Das Kartenbild zeigt im Gegensatz zu den anderen verwendeten Karten (und auch zum digitalen Höhenmodell) eine sehr hohe räumliche Differenzierung im Bereich des Flach- und Hügellandes und eine eher geringere Differenzierung innerhalb der Alpen. Dies ist dadurch begründet, dass fast der gesamte Alpenraum unter dem Schwellenwert von 40 mm PET, welcher von HAVLIK (1991) (siehe Kapitel 4.4.4) als ein ökologisch sehr aussagekräftiger Schwellenwert angesehen wird, liegt. Bei einem niedrigeren Schwellenwert (z.B. 20 mm) ist das Gebirge und das Flachland zwar ca. gleich differenziert, dieser ist ökologisch aber kaum relevant.

5.1.2.10 Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 60 mm PET (TROC_60)

Diese Karte (siehe Abb. 5.11) wurde analog zu TROC_40 erstellt, nur dass der Schwellenwert der akkumulierten PET minus NS bei 60 mm angenommen wurde. Dadurch ergibt sich eine noch viel schwächere Differenzierung der Alpen, wobei die höchsten Werte wieder südöstlich von Wien (Maximalwert mit 2,28 mal / Jahr bei Fischamend) liegen.

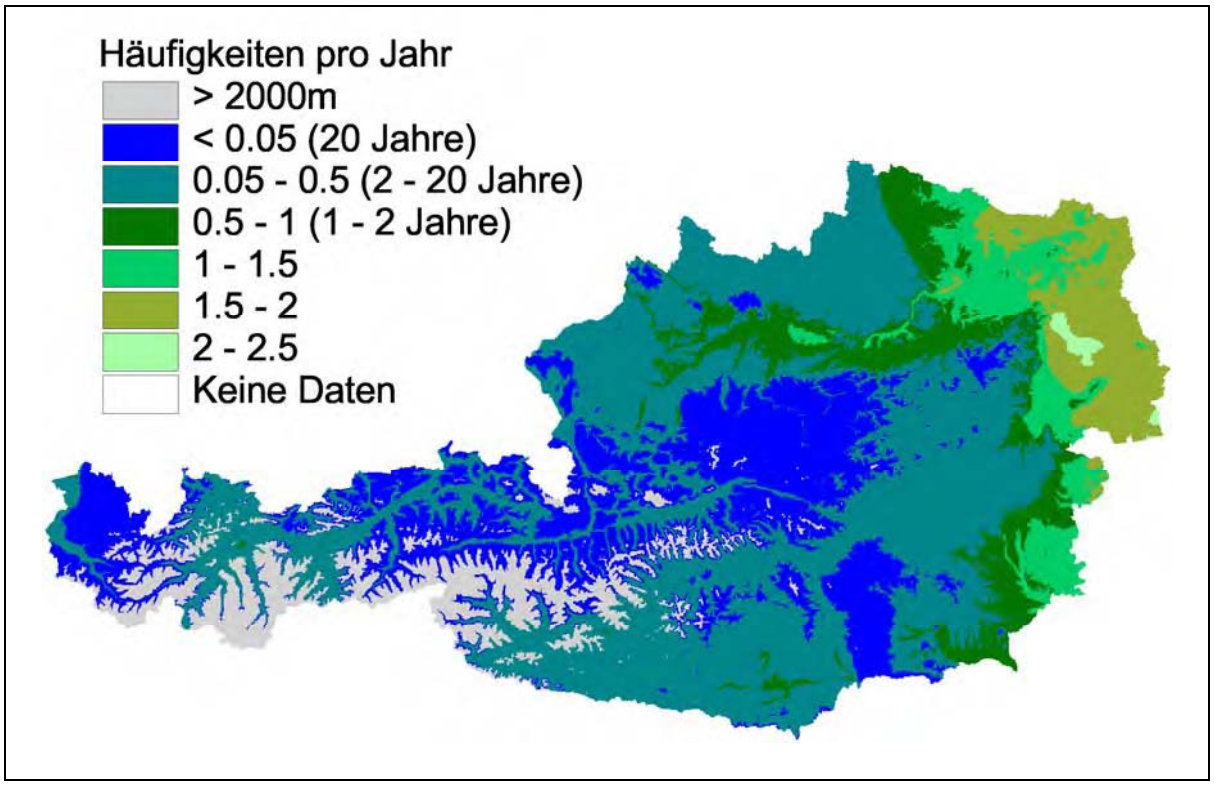


Abb. 5.11: Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 60 mm PET (TROC_60)
Quelle: Institut für Meteorologie und Physik / Universität für Bodenkultur

5.1.2.11 Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (H_BIL_VEGP)

Die klimatische Wasserbilanz ergibt sich aus NS minus PET (siehe Kapitel 4.4.4). Die Karte der klimatischen Wasserbilanz (siehe Abb. 5.12) wurde berechnet aus der Karte der Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode (NS_VEG_PER) mittels neuronaler Netze (siehe Kapitel 5.1.3) und aus der Karte der potentiellen Evapotranspiration in der Vegetationsperiode (PET_VEG). Die PET_VEG wurde hierbei nach der Formel von THORNTHWAITE (1948) (5) (siehe Kapitel 4.4.4) aus den Monatsmittelwerten der Temperatur der ZAMG (s.o.) und einem Korrekturfaktor für Breitengrad und Monat ermittelt. Als Vegetationsperiode wurde für PET_VEG und NS_VEG_PER der Zeitraum März bis August angesehen (Begründung: siehe Kapitel 5.1.3).
Die höchsten Werte treten in den Gipfelregionen des Bregenzer Waldes, des Arlbergs, der Silvretta, der Hohen Tauern und des Dachsteins auf, wobei das Maximum bei 1116 mm (Großvenediger) liegt. Die niedrigsten Werte werden südöstlich von Wien, im Seewinkel, der Parndorfer Platte und dem Heideboden erreicht, wobei weite Teile Ostösterreichs, sowie einige inneralpine Täler negative Wasserbilanzen aufweisen. Das Maximum liegt bei -261 mm (Kittsee), der österreichweite Durchschnitt beträgt 200 mm. Die Karte weicht deutlich vom DHM ab.

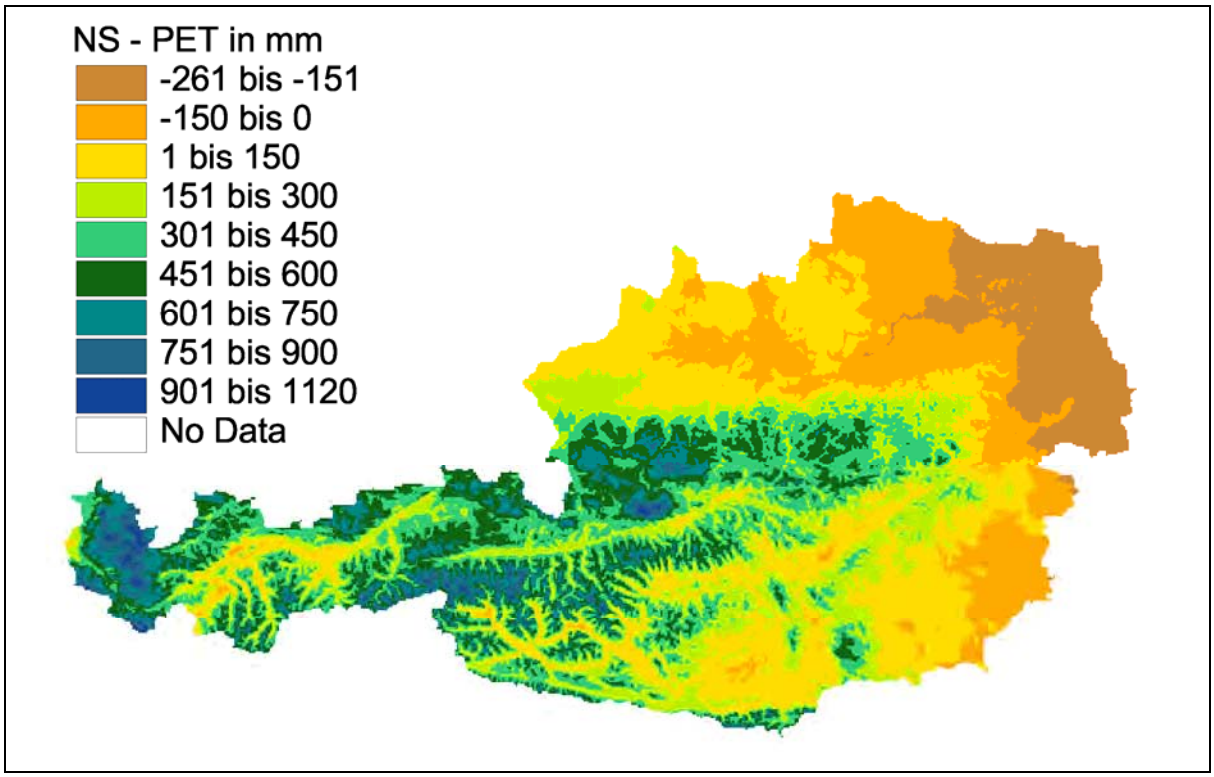


Abb. 5.12: Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (H_BIL_VEGP)
Quelle: eigene Berechnungen

5.1.2.12 Sonstige, nicht in die Clusteranalyse eingegangene Datensätze

Darüber hinaus gingen noch folgende, als Grid vorliegende Datensätze in die Korrelationsmatrix (s.u.) ein, wobei diese Datensätze jedoch aufgrund der starken Korrelationen mit anderen Variablen nicht mehr für die Clusteranalyse verwendet wurden: Die *mittlere Jahrestemperatur* (JAHR_TEMP) wurde durch Addition der Monatsmittelwerte der Temperatur der ZAMG (s.o.) erzeugt. Die *klimatischen Wasserbilanzen übers Jahr* (H_BIL_JA), *übers Frühjahr* (H_BIL_FRUE) und *über den Sommer* (H_BIL_SO), das *Verhältnis PET/Niederschlag in der Vegetationsperiode* (PET_NS_VEG), der *Jahresniederschlag* (NS_JA), sowie die *Niederschlagssummen im Sommer* (NS_SOM) und *im Frühling* (NS_FRUE) wurden alle aufgrund der Niederschlagskarten mittels neuronaler Netze (s.u.) und/oder der PET nach THORNTHWAITE (1948) (5) mittels Temperaturmonatsmittelwerte der ZAMG (s.o.) errechnet. Die Berechnung der *relative Sonnenscheindauer im Juli* (SO_REL_JUL) ist unter 5.1.2.6 beschrieben und die *Trockenperioden während der Vegetationsperiode mit > 80 Wasserdefizit* (TROC_80) wurden analog zu TROC_40 erzeugt. Die *Schneedeckendauer* (SCHNEEDECK) wurde von der ZAMG (SCHÖNER in AUER ET AL. 2001) mittels 480 HZB-Stationen und über eine Messperiode von 1961-90 errechnet, wobei in den Grenzregionen grenzüberschreitende "Übergangsregressionen" gebildet wurden. Interpoliert wurde mittels linearer Regressionen über die Seehöhe für 9 Teilregionen, wobei zusätzlich eine Korrektur für verschiedene Hangneigungen und Expositionen berücksichtigt wurde (SCHÖNER schriftlich). Die *Indizes*

von De Marton (7) und der *Hygrothermische Quotient* (HQ) nach SELJANINOW (1937) (8) (beide: siehe Kapitel 4.4.4) wurden ebenfalls als Grid errechnet, sie wurden jedoch aufgrund ihrer extremen räumlichen Verteilung (nur im Hochgebirge differenzierend) als für die Clusteranalyse nicht brauchbar erkannt.

5.1.3 Die Niederschlagskarte mittels Neuronaler Netze

5.1.3.1 Neuronale Netze

Die folgenden Ausführungen dienen als grobe, zusammenfassende Einführung, ein detaillierter Überblick zur Theorie und Methode der neuronalen Netzte ist in der Literatur (z.B. BRAUN ET AL. 1997) zu finden. Künstliche Neuronale Netze (ANNs – artificial neural networks) ahmen biologische neuronale Netze als informationsverarbeitende Systeme nach. Sie werden v.a. für Modellierungen verwendet, bei denen der funktionale Zusammenhang zwischen den Variablen nicht explizit bekannt ist bzw. dieser aufgrund seiner Komplexität nicht ausreichend genau formuliert werden kann. ANNs stellen bis zu einem gewissen Grad eine *black box* dar, die für eine bestimmte Eingabe (Inputlayer) eine entsprechende Ausgabe (Outputlayer) erzeugen soll. Die Vorgänge innerhalb des neuronalen Netzes (zwischen Input- und Outputlayer) sind bei den meisten ANN-Programmen sehr komplex und für den Anwender nicht leicht durchschaubar. Ein neuronales Netz besteht aus Synapsen (Kanten), welche gerichtete Informationskanäle darstellen und Neuronen (Knoten), in welchen die eigentlichen Rechenschritte stattfinden.

Bei einer vorwärtsgerichteten Vernetzungsstruktur lassen sich die Neuronen so in Schichten (Layer) einteilen, dass die Neuronen einer Schicht nur mit den Neuronen der nächsten Schicht verbunden sind, wobei die Berechnung schrittweise erfolgt. Neben dem Input- und Output-Layer stehen hierbei noch dazwischenliegende, verborgene Schichten (Hidden Layer) zur Verfügung. Die Variablenwerte werden in den Synapsen unterschiedlich gewichtet, danach aufsummiert und schließlich als Netto-Input (*net*) jedem einzelnen Neuron zugeführt. Auf diesen *net* wird nun im Neuron eine meist nicht-lineare Aktivierungsfunktion (z.B. Tangens Hyperbolikus) angewandt, welche zum Output (*o*) des Neurons führt. Der Output *o* kann dann über weitere Synapsen an alle Neuronen der nächsten Schicht weitergeleitet werden, oder schon den Output des gesamten Netzes darstellen. Ein Neuron mit Input *net* und Output *o* nennt man Perzeptron, ein Netz aus mehreren Schichten ist ein „Multi-Layer-Perzeptron“.

Beim überwachten Lernen enthält in der Lernphase (Trainingsphase) der Inputlayer die erklärenden Variablen, der Outputlayer beinhaltet vorgegebene, beobachtete Werte der zu erklärenden Variablen. Das Netz trainiert nun anhand von Trainings- und Validierungsdaten selbständig, wobei aufgrund der Ausprägungen und Beziehungen zwischen den Variablen komplexe Funktionen approximiert werden. Die freien Parameter (Gewichte) dieser Funktionen werden anfangs zufällig initialisiert und im Laufe des Lernprozesses iterativ optimiert, so dass mit wachsender Iterationszahl (Epochen) die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen

Modellergebnissen und beobachteten Zielwerten sukzessive verringert wird, bis sie ein Minimum erreicht. Die Trainingsdaten dienen zum Lernen des Netzes, die Validierungsdaten zur laufenden Überprüfung der Rechenergebnisse.

Die Optimierung der Fehlerfunktionen ($\sum(kk - ok)^2$; ok = tatsächlicher Output des Neurons k; kk = gewünschter Output des Neurons k) wird als Lernalgorithmus bezeichnet und erfolgt meist deterministisch mittels sogenannter Gradientenabstiegsverfahren (Gradient Descent Techniques), wobei als effizientes Instrument Error-Backpropagation-Netze eingesetzt werden. Dabei erhält das Netz ein Feedback über die Abweichung der tatsächlicher Outputdaten von den gewünschten Outputdaten, aufgrund dessen jedes Gewicht der Funktionen eigenständig modifiziert wird, so dass der Fehler minimiert wird (s.o.). Beim Gradientenabstiegsverfahren wird nun das globale Minimum der Fehlerfunktion entlang der steilsten Gradientenrichtung dieser Fehlerfunktion gesucht, d.h. dass die Gewichte, die den stärksten Einfluss auf den Ausgabefehler haben, am meisten verändert werden.

Vom Anwender können bei der Konzeption des Netzes die Zahl der Hidden Layer (sowie deren Anzahl an Neuronen), der Lernalgorithmus, die Schrittweite (Größe der Gewichtsänderung), das Momentum (s.u.), die Aktivierungsfunktion und die Zahl der Epochen variiert werden. Die Anzahl der Knoten im Input-Layer ist dabei durch die Zahl der Inputvariablen, jene des Output-Layers durch die Zahl der Outputvariablen vorgegeben. Generell gilt, je größer die Schrittweite, desto schneller wird das Minimum der Fehlerfunktion gefunden. Ist die Schrittweite jedoch zu groß, so kann der Lernalgorithmus um das Minimum oszillieren und der Fehler kann immer größer werden. Ist sie hingegen zu klein, so wird das Minimum lange nicht erreicht, bzw. es kann sogar nur ein lokales Minimum gefunden werden. Das Momentum versucht nun dieses Oszillationsproblem zu bereinigen, in dem es als eine Art „Trägheits-Faktor, die Schrittweite abhängig von der „Schwankungsbreite“ der letzten Veränderungen variabel anpasst und so die Schrittweite in die Richtung des Minimums führt.

Auch die Anzahl der freien Parameter (welche sich aus der Zahl der Neuronen ergibt) im Verhältnis zur Größe des Test-Datensatzes ist bedeutend. Zu wenig Gewichte bedingen eine ungenügende Lernfähigkeit des Netzes, zu viele adaptive Parameter bewirken ein Übertrainieren des Netzes, was zu einer beschränkten allgemeinen Gültigkeit des Modells führen könnte. Als Faustregel gilt hier, dass die Anzahl der Trainigsbeispiele ca. um den Faktor 10 größer sein sollte, als die Anzahl der Gewichte des gesamten Netzwerks bzw., dass das Verhältnis der Neuronenzahl zwischen Inputlayer und Hidden-Layer 1 : 1,5 betragen sollte.

Nach Abschluss der Trainingsphase werden die so erhaltenen optimierten Gewichte abgespeichert und es erfolgt die Testphase, in welcher dem Netz neue Testdaten ohne einem vorgegebenen Outputlayer zugeführt werden, so dass das Netz nun selbständig die zu erklärenden Variablen errechnet (ROCHAS 1996, ROSENBLATT 1958, NEURO DIMENSIONS INC. 2000, SPSS INC. 2001, BRAUN ET AL. 1997).

5.1.3.2 Berechnung der Niederschlagskarte mittels Neuronaler Netze

Es gibt im Wesentlichen 3 Ansätze zur statistischen, flächenhaften Modellierung von Niederschlagssummen.

- Der 1. Ansatz betrifft Interpolationsverfahren (z.B. Inverse Distance Weighting oder Kriging). Im Fall der Anwendung dieser Verfahren für Regendaten sind die Ergebnisse für Regionen mit komplexer Orographie meist falsch. Die Verteilung der Messstationen ist gewöhnlich nicht ausreichend dicht, um die kleinräumigen Variation der Niederschlagsmenge durch den Höheneinfluss zur berücksichtigen.
- Der 2. oft verwendete Ansatz erfolgt mittels empirischer Responsemodelle mit der Seehöhe als erklärender Variablen, die anhand von Regressionsanalysen parametrisiert werden (in Österreich: HARLFINGER und KNEES 1999, SCHÖNER 2001). Die Abweichungen der Modellergebnisse von den Daten an den Messstationen werden meist durch Interpolation dieser Residuen in die flächenhaften Niederschlagsmodelle integriert.
- Der 3. Ansatz hat zum Ziel, Niederschlagsmittelwerte für Regionen, die von Messstationen abgedeckt sind, auszuweisen. Dieser Ansatz befriedigt vor allem hydrologische Fragestellungen und nimmt ein breites Angebot von teils trivialen Methoden (z.B. Thiessenpolygone), teils komplexen, klimatologisch geleiteten Verfahren – etwa die Trennung in konvektive und advektive Niederschlagsanteile oder empirisch abgeleitete Niederschlagstypregionen (in Österreich: WAKONIGG 1991, LORENZ und SKODA 1997) - in Anspruch. Diese Methoden liefern jedoch nicht die kleinräumigen Niederschlagsvariationen mit lokalen Maxima und Minima, die für ökologische Fragestellungen unerlässlich sind.

Um mit beschränkten Datensätzen wie mittleren monatlichen oder gar jährlichen Niederschlagssummen auszukommen und die regionale Variation der Niederschlagssummen zu modellieren, wurden meist regressionsanalytische Ansätze gewählt, die jedoch aufgrund der Beschränkung auf nur einen Einflussfaktor – eben die Seehöhe - keine ausreichend befriedigende Ergebnisse lieferten. Vor allem der Staulageneffekt in mittleren Höhen – etwa die Aufgleit-Niederschläge an den Hängen der Voralpen - wird dabei nicht berücksichtigt.

Daher wurde von LOIBL (1998) ein anderer Weg eingeschlagen, bei dem mithilfe von neuronalen Netzen eine große Zahl von Einflussfaktoren zur Berechnung der Niederschlagssummen herangezogen werden konnte. Ausgehend von empirischen Analysen wurden dazu Annahmen getroffen, welche Kriterien den Niederschlag beeinflussen, wobei lokale singuläre Ereignisse (Gewitter, Starkregen etc.) nur in Summe in den Datensatz eingehen. Folgende Einfluss-Gruppen wurden räumlich modelliert und im Hinblick auf ihren Einfluss auf die Niederschlagssummen analysiert:

- Seehöhe
- Staulagen
- Prallhänge und Regenschatten
- Nähe zum Alpenhauptkamm
- Kontinentalität
- Maritimität

Bei der hier vorliegenden Niederschlagskarte wurde diese mit Neuronalen Netzen erzeugte Niederschlagskarte von LOIBL (1998) von 3 km auf 1 km Auflösung verfeinert, so dass (im Gegensatz zu LOIBL (1998)) auch die Niederschlagsverhältnisse der Talbereiche modelliert werden konnten. Dies war möglich, da hierzu mit Neuro Solutions 3.022 ein leistungsfähigeres Programm als bei LOIBL (1998) verwendet wurde. Konnten bei LOIBL (1998) nur 32.000 Fälle verarbeitet und somit nur eine 3 x 3 km Auflösung erzeugt werden, so konnten hier 64.000 Fälle zur Berechnung von Karten in 1 x 1 km Auflösung herangezogen werden, was jedoch pro Karte (und für die unzähligen Testläufe) jeweils zwei Rechengänge erforderte. Die Methodik von LOIBL (1998) wurde hierfür weitgehend übernommen, so dass im Wesentlichen mit den gleichen Inputvariablen (= Einflussfaktorenmodellen, s.u.) gearbeitet wurde. Zur Berechnung wurde ein vorwärtsgerichtetes Backpropagation Multilayer-Perzeptron mit einem Hidden Layer herangezogen, wobei ein überwachtes Lernen stattfand (siehe Kapitel 5.1.3.1). Als Lernalgorithmus wurde das Gradientenabstiegsverfahren mit Momentum gewählt, als Aktivierungsfunktion (Transferfunktion) wurden Tangens hyperbolicus Funktionen herangezogen. Es wurde mit Hilfe eines Datensatzes von 764 Messstationen über die Periode 1981 – 1990 gerechnet, wobei unplausible Stationen entfernt wurden.
Die von LOIBL (1998) weitgehend übernommenen Inputvariablen (=Einflussfaktoren; entsprechen den erklärenden Variablen), welche allesamt als Rasterdaten für ganz Österreich vorlagen, waren: *NW-Staulagen, SW-Staulagen, Seehöhe, NE-Distanz, NW-Distanz, Distanz zum Alpenhauptkamm,* sowie *X- und Y-Koordinate*. Zusätzlich wurde noch vom Verfasser dieser Arbeit versucht, eine *NW-Luv-Lee*- und eine *SW-Luv-Lee*-Variable zu erzeugen und einzubauen. Diese Variablen, welche meist untereinander in einem gewissen Zusammenhang stehen, wurden aufgrund folgender Überlegungen in das Modell einbezogen:
Die Variable *NW-Distanz* stellte einen Nordwest-Südost-Gradient dar und repräsentierte den großräumigen maritimen Einfluss im Westen und Nordwesten Österreichs, welcher durch die niederschlagsreichen atlantischen Tiefdruckwirbel verursacht wird. Die Variable *NE-Distanz* stellte einen Nordostost-Südwestwest-Gradienten dar und repräsentierte den großräumigen kontinentalen Einfluss im Osten Österreichs, welcher aufgrund der Abschirmung der Alpen ostwärts zu immer geringeren Niederschlagssummen führt. Die *Seehöhe,* in Form des DHMs (Digitalen Höhenmodells 1 x 1 km) stellte hierbei eine sehr wichtige Variable dar, wobei die Intensität der Zunahme des Niederschlags mit der Seehöhe im gesamten Bundesgebiet regional

sehr verschieden ist. Die *NW-* und *SW-Staulagen* erfassten jene niederschlagsreichen Staugebiete, welche durch Aufstauung der advektiven Niederschläge an zu den Hauptwetterlagen gerichteten Hängen am Rand der Alpen bzw. an über die niedrigen Gebirgskämme hinausragenden Gipfelbereichen gebildet werden. Hierzu wurde ein großräumiges Gebirgskammmodell, welches die Barrierenwirkung der Berggipfel simulierte, errechnet, wobei kleine, quer zur Alpenhauptkammrichtung verlaufende Täler weitgehend abgeschwächt wurden. Das Staumodell selbst wurde schließlich als Höhendifferenz zwischen aktueller Rasterzelle und einer ca. 25 km in Richtung der Hauptwetterlage (NW- bzw. SW) entfernten Rasterzelle, generiert. Es wurde davon ausgegangen, dass eine erhöhte Höhendifferenz auch einen erhöhten Niederschlag mit sich bringt. Die NW-Staulagen repräsentierten die Westwetterlagen, die SW-Staulagen die Vb-Wetterlagen. Die Variable *Distanz zum Alpenhauptkamm* stellte einen Gradienten zum Alpenhauptkamm dar, um inneralpine Trockentäler auszuweisen (Details: in LOIBL 1998).

Die Variablen *X-* und *Y-Koordinate*, welche kein klimatisches Phänomen beschreiben, wurden ganz allgemein zur räumlichen Differenzierung eingebaut und wurden beibehalten, da mit ihrer Hilfe bessere Ergebnisse erzielt werden konnten. Mithilfe der *NW-Luv-Lee-* und *SW-Luv-Lee-*Variable wurde versucht, den kleinräumigen, reliefbedingten Steigungsregen bzw. Regenschatten an den den Hauptwetterlagen zu- bzw. abgewandten Hängen Rechnung zu tragen. Diese wurden durch ein Beleuchtungsmodell mit einer fiktiven Sonneneinstrahlung aus Richtung der Hauptwetterlagen erzeugt. Die Berechnung erfolgte unter Verwendung des DHMs (250 x 250 m) mittels der Funktion „hillshade“ (altitude 45°, azimut 225° bzw. 315°). In weiterer Folge wurden all diese Variablen mit Ausnahme der Koordinaten logarithmiert.

In der Modellrechnung zeigte sich schließlich, dass v.a. die *Seehöhe*, die *NW-Staulagen* und die *NE-Distanz* jene Variablen sind, welche den größten Einfluss auf die Berechnung der Niederschlagssummen ausübten.

Für den Lerndurchgang, welcher auf den Punkten der Messstationen erfolgte, wurden die als Rasterdaten vorliegenden erklärenden Variablen (Einflussfaktorenmodelle, s.u.) im Geographischen Informationssystem auf die Messstationen extrahiert (Funktion: „latticespot“ (siehe Kapitel 5.2.3.3)) und gemeinsam mit den gemessenen Niederschlagssummen der Messstationen in einer Excel-Datei abgespeichert, welche dann ins Neuronale Netz einging. Die erklärenden Variablen waren hierbei die Inputvariablen, die Niederschlagssummen stellten die vorgegebenen Outputvariable dar. Im Testlauf wurde der Datensatz zur Berechnung der Niederschlagssummen für die Rasterfelder ohne gegebene Niederschlagsdaten derart erzeugt, dass für jedes 1 x 1 km Rasterfeld ein Mittelpunkt generiert und die Variablen-Ausprägungen aller erklärenden Variablen auf diesen Mittelpunkt extrahiert wurden. Diese Variablenwerte der Rastermittelpunkte wurden in die Gesamt-Datenbasis (Excel-Datei) kopiert und als Inputvariablen für das Neuronale Netz verwendet, die Outputvariable waren demnach die neu berechneten Niederschlagssummen.

Diese errechneten Niederschlagssummen (Outputvariablen) wurden schließlich wieder als dbf-Tabelle ins Geographische Informationssystem exportiert und konnten erst dort räumlich visua-

lisiert und auf Plausibilität überprüft werden. Jene Ergebnisse, welche von den zahlreichen Testläufen als die räumlich plausibelsten ausgewählt wurden, konnten zur Berechnung der Residuen herangezogen werden. Die Residuen wurden schließlich mittels IDW über die Fläche interpoliert und zu den Modellwerten dazu addiert.

Zunächst wurden Versuchsdurchläufe für einen Monat (November) mit einem Datensatz von 500 Trainingsdaten (TRD), 100 Validierungsdaten (VD) und 170 Testdaten (TED) durchgeführt. Bei diesen Testläufen wurden, wie auch generell, die Parameter „Knoten im Hidden Layer", „Schrittweite", „Momentumrate", „Epochen" sowie die Anzahl der Variablen variiert. Hierbei galt fast immer, dass mit einer Zunahme der Input-Variablenzahl, die Werte „MSE der TRD", „MSE der VD" sowie „Korrelation der Test-Outputdaten mit den Messwerten (R)" verbessert wurden, wobei die MSE-Werte als für die Güte des Ergebnisses aussagekräftiger erkannt wurden. (Unter MSE (Mean Square Error) ist in Neuro Solutions 3.022 nicht der übliche RMS-Error zu verstehen, sondern der Fehlerquotient $\varepsilon = \delta J/\delta p$, wobei J der globalen Errorfunktion der Form: $0.5 * \sum_i (o_i - p_i)^2$ entspricht (o = „Observations", p = „Predictions"). Der MSE ist damit ein standardisierter Errorquotient, der die quadratische Abweichung als Anteil am Gesamtergebnis ausweist und nicht als Differenz zwischen predictions und observations). Abb. 5.13 zeigt die Abnahme des MSE der Trainings und Validierungsdaten bei einer zunehmenden Zahl von Lern-Epochen.

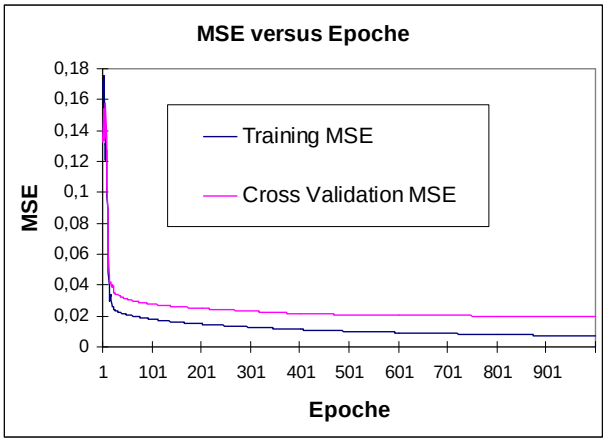


Abb. 5.13: MSE versus Epochen Quelle: eigene Berechnungen

Diese Verbesserung des Ergebnisses durch eine höhere Input-Variablenzahl galt sowohl für stark, als auch für nur schwach mit dem Niederschlag korrelierende Input-Variablen (siehe Tab. 5.4). Nach einer Vielzahl von Variablenkombinationen (z.B. nur stark korrelierende; nur logarithmierte Variablen; von jedem Variablenpaar die stärker korrelierende; alle Variablen; Kombinationen mit bzw. ohne Luv-Lee-Variablen usw.) kristallisierte sich nun heraus, dass die besten MSE-Werte mit dem gesamten Input-Datensatz (also allen Variablen) erzielt wurden. Diese MSE-Werte konnten dann zum Teil noch durch Variation der Parameter (s.o. und Tab. 5.3) verbessert werden.

Nach Visualisierung der Testergebnisse in ARC-VIEW wurde jedoch klar, dass eine Verringerung des MSEs nicht unbedingt auch eine räumliche Verbesserung des Ergebnisses bringt. Es zeigte sich, dass Variablen mit geringer linearer Korrelation (v.a. die Luv-Lee-Variablen) einen sehr starken Einfluss, bzw. Variablen mit hoher linearer Korrelation (v.a. die Höhe) einen zu schwachen Einfluss auf die räumliche Verteilung des Ergebnisses ausüben können (siehe Tab. 5.4). Dieses Phänomen kann bei nichtlinearen Systemen wie neuronalen Netzen zwar auftreten, es führte jedoch dazu, dass bei Nichtverwendung der Luv-Lee-Variablen das Relief nur ungenügend bzw. falsch dargestellt werden konnte. So kam es u.a. immer wieder zu einer regionalen „Reliefumkehr des Niederschlags“, bei der im Tal das lokale Niederschlagsmaximum und am Berg das lokale –minimum auftrat. Bei Verwendung der Luv-Lee-Variablen wurde zwar das Relief besser wiedergegeben, dafür konnten jedoch nicht die gewünschten Effekte dieser Variablen erzielt werden (erhöhter Niederschlag an den Hauptwetterlagen zugewandten Hängen, deutlicher Regenschatten auf den Lee-seitigen Hängen). Vielmehr kam es an vielen Stellen (z.B. Ötztal) zu einer Verschiebung des Reliefs ((Detailkarte: siehe Abb. 5.14), die schwarzen Linien sind hier die Kammlinien, strichlierte Linien Tallinien), so dass das lokale Niederschlagsmaximum vielfach am Südosthang auftrat.
Es wurde nun auf unterschiedliche Weise versucht dieses Problem zu lösen: Eine anfangs vermutete falsche Skalierung der Input-Variablen konnte ausgeschlossen werden. Verschiedenste Variationen der Parameter (s.o.) brachten ebenso wenig Verbesserungen, wie Variablenkombinationen aus Höhe, logarithmierter Höhe und zwei anderen Variablen, womit die Höhe stärker betont werden sollte. Auch die bewusste, verstärkte Hereinnahme von hochgelegenen Stationen in den TRD bzw. VD führte nicht zur erhofften Verbesserung.

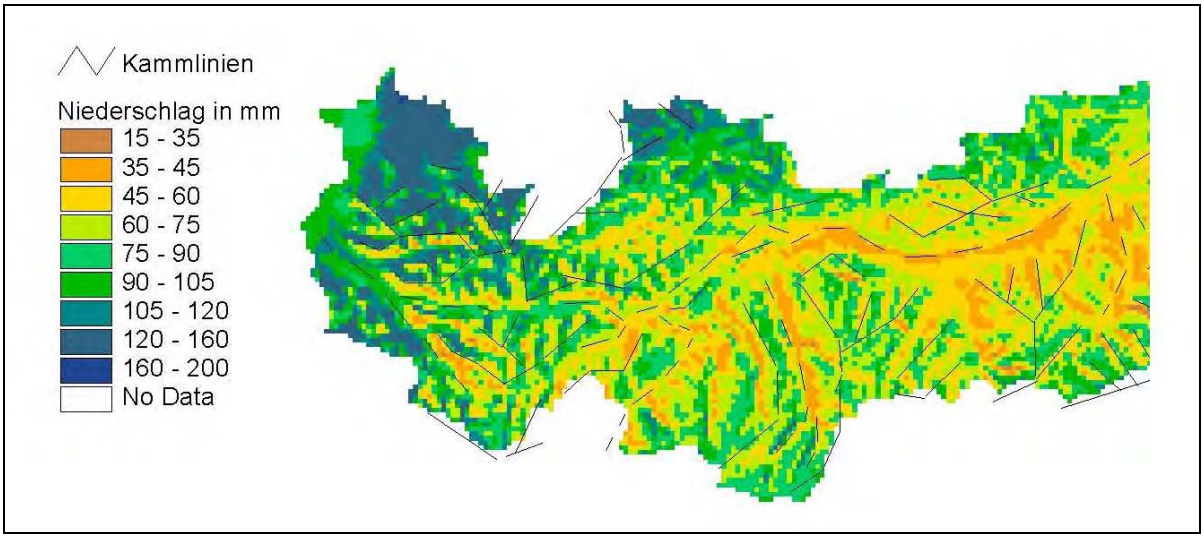


Abb. 5.14: Niederschlagssummen im November (alle Variablen incl. Luv/Lee), Detail
Quelle: eigene Berechnungen

Eine Verbesserung der räumlichen Verteilung brachte dann schließlich doch eine Änderung des Eingangsdatensatzes in 300 TRD, 300 VD und 170 TED. Hierbei konnte bei Nichtverwendung der Luv-Lee-Variablen (siehe Abb. 5.15) die erwähnte „Reliefumkehr“ weitgehend eliminiert werden und v.a. in Westösterreich kamen die Alpen gut heraus. Dafür bildete sich jedoch vielfach in Ostösterreich ein sehr gering differenziertes Relief heraus, und es zeigten sich auch unrealistische „Blasen“ (z.B. Schneeberggebiet), welche auf die übermäßig eingehende logarithmierte NW-Stau-Variable zurückgeführt wurden. Eine Herausnahme dieser Variable brachte jedoch keine Verbesserung. Nach zahlreichen Variablen- und Parametervariationen mit dem neuen Datensatz zeigte sich, dass die Aussagen über den alten Datensatz im Hinblick auf räumliche Aussagekraft des MSEs, Verbesserung des MSEs durch erhöhte Zahl von Input-Variablen bzw. über- und untergewichtiger Einfluss von Inputvariablen auch hier meist zutrafen, die Seehöhe jedoch, wie oben erwähnt, besser einging.

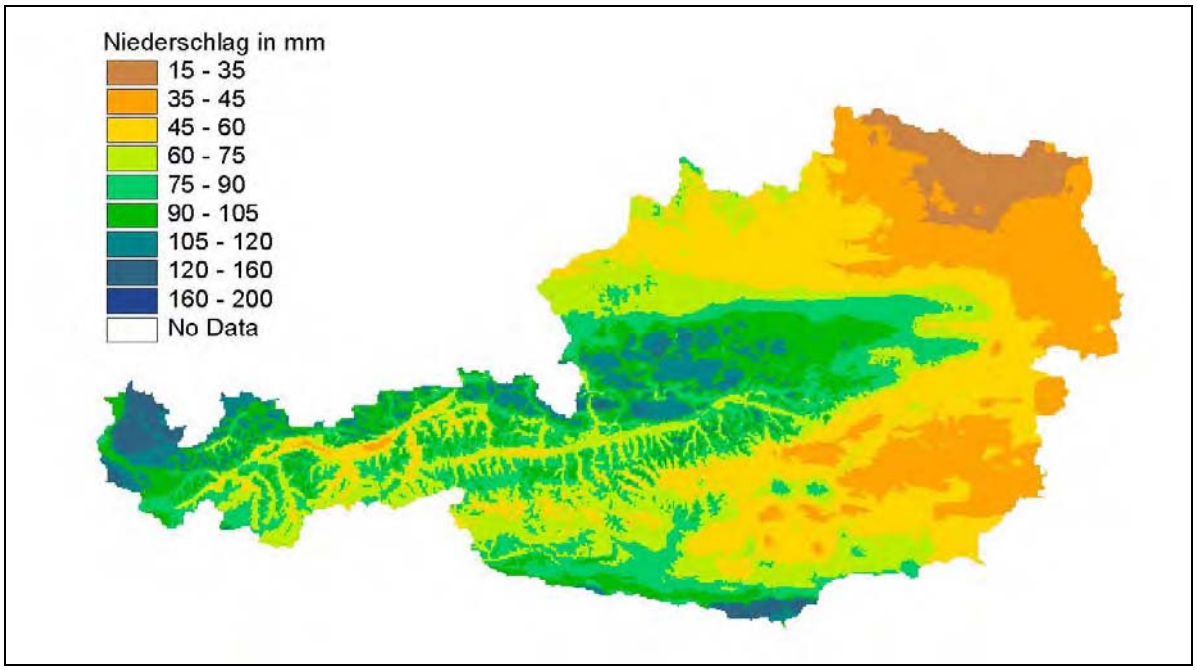


Abb. 5.15: Niederschlagssumme im November ohne Luv/Lee Einfluss
Quelle: eigene Berechnungen

So wurde schließlich das beste Ergebnis (siehe Abb. 5.16) auch hier mit einem Datensatz von allen Variablen, mit Ausnahme der logarithmierten Kammdistanz (Begründung s.u.), erzielt. Es trat ein MSE von 0,0099 und eine Korrelation zwischen Stationswerten und Modellwerten (R) von 0,822 (R^2 = 0,68) auf (MSE und Korrelation beziehen sich auf das Ergebnis ohne Residuen). Jedoch wies auch dieses Ergebnis teilweise eine geringe Verschiebung des Reliefs (z.B. Ötztal) auf, und es zeigte auch sonst teilweise Mängel (z.B. keine Niederschlagsveränderung im Wechselgebiet, lokale Reliefumkehr im Gailtal), welche auch durch die Überlagerung der Residuenoberfläche nicht eliminiert werden konnten.

Zusätzlich wurde noch die Variable „Distanz zum Alpenhauptkamm“ variiert. Diese wurde ursprünglich eingeführt, um alpine Trockentäler auszuweisen, tatsächlich korrelierte sie jedoch im umgekehrten Sinn, d.h. es zeigte sich großräumig gesehen eine Zunahme des Niederschlags in Richtung Alpenhauptkamm. Bei Herausnahme dieser Variable, aber auch bei der Verwendung dieser Variable zusammen mit der logarithmierten Kammdistanz, zeigte sich jedoch eine zu starke bzw. zu schwache Betonung des Alpenhauptkamms. Das beste Ergebnis lieferte demnach die Hereinnahme der Kammdistanz, ohne der logarithmierten Variablen.

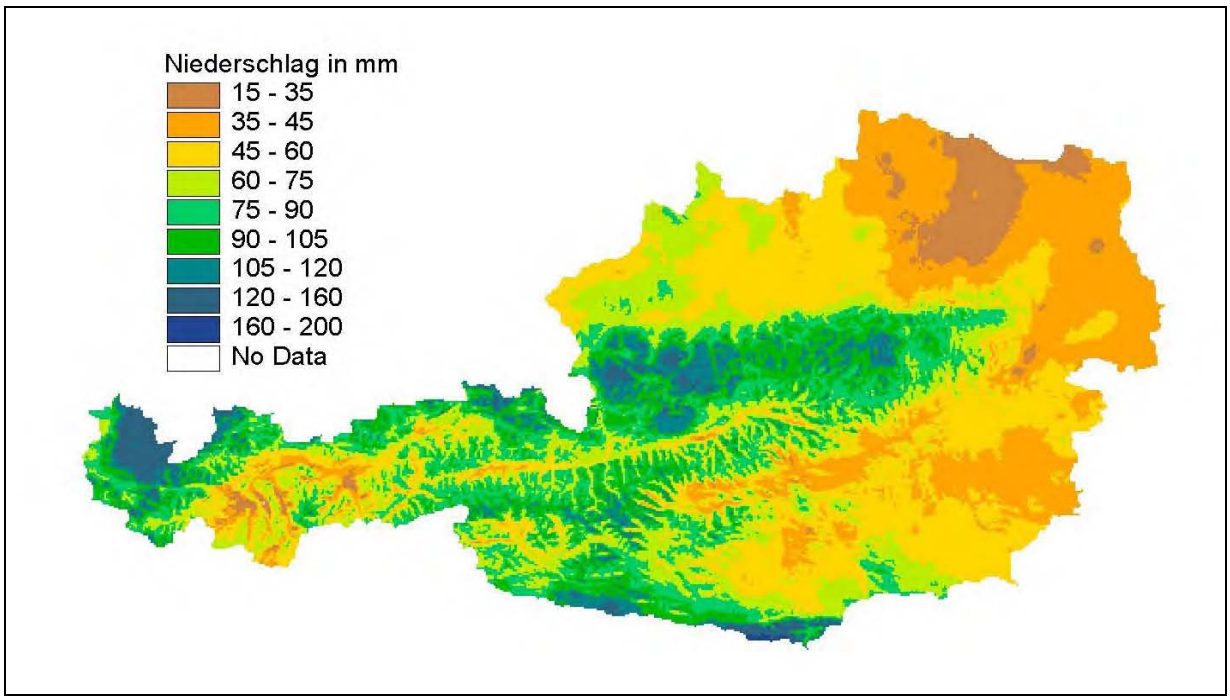


Abb. 5.16: Niederschlagssummen im November mit Luv/Lee Einfluss
Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt wurde deutlich, dass die Erstellung monatlicher Niederschlagskarten mit einer Auflösung von 1x1 km einen erheblichen Zeitaufwand erfordert und von gewissen Unsicherheiten begleitet war. Um die Niederschläge während der Vegetationszeit zu modellieren, wie es für den künftigen Einsatz in der Clusteranalyse geplant war, reichte jedoch die Befassung mit halbjährlichen oder saisonalen Niederschlagssummen, auf welche sich die nun folgende Modellierung beschränkt. So wurden in weiterer Folge mehrere Monate jeweils zu einer Jahreszeit zusammengefasst (Frühling: März – Mai; Sommer: Juni – August; Herbst: September – November; Winter: Dezember – Februar).
In Tab. 5.3 sind die verwendeten Netzparameter für den Versuchsmonat November und alle 4 Jahreszeitenkarten zusammengefasst. Tab. 5.4 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen saisonalen Niederschlagssummen und Niederschlagseinflussfaktoren (absolut und logarithmiert). Durch die Logarithmierung der Variablen kommt es zu einer geringeren Einfluss-Schwankung bei sehr hohen oder sehr tiefen Werten, was oftmals zu einer Verbesserung des Ergebnisses führte.

Tab. 5.3: Verwendeten Netzparameter für November und alle 4 Jahreszeiten

	Knoten im Hidden Layer	Schrittweite	Momentums-Rate	Epochen	Transfer-Funktion
November	23	1	0,7	1000	Tanh
Frühling	23	0,9	0,8	1000	Tanh
Sommer	15	0,9	0,7	1000	Tanh
Herbst	18	1,1	0,8	1000	Tanh
Winter	23	1,1	0,6	1000	Tanh

Tab. 5.4: Pearsonkorrelation der Niederschlagssummen: Jahreszeiten - Einflussvariablen

	FRUEHLING	SOMMER	HERBST	WINTER	JAHR
HOEHE	0.386	0.524	0.370	0.302	0.430
HOEHELG	0.462	0.618	0.465	0.372	0.520
STAU_NW	0.561	0.601	0.597	0.500	0.600
STAU_NWLG	0.509	0.582	0.534	0.440	0.552
STAU_SW	0.081	0.090	0.121	-0.060	0.057
STAU_SWLG	0.462	0.618	0.465	0.372	0.520
LUV_NW	0.088	0.031	0.081	0.090	0.073
LUV_NWLG	0.069	0.002	0.064	0.072	0.050
LUV_SW	-0.107	-0.096	-0.074	-0.086	-0.097
LUV_SWLG	-0.124	-0.124	-0.095	-0.098	-0.118
DIST_KAMM	-0.184	-0.324	-0.184	-0.134	-0.230
NE_DISTANZ	0.511	0.686	0.525	0.485	0.599
NE_DISTLG	0.536	0.710	0.560	0.491	0.622
NW_DISTANZ	0.020	-0.010	-0.118	0.337	0.072
NW_DISTLG	-0.002	0.021	-0.151	0.327	0.069
X_COORD	-0.503	-0.672	-0.501	-0.513	-0.596
Y_COORD	-0.266	-0.391	-0.397	0.033	-0.268

HOEHE, HOEHELG =	Höhe, ln (Höhe)
STAU_NW, STAU_NWLG =	Nordwest-Staulage , ln (NW_Staulage)
STAU_SW, STAU_SWLG =	Südwest-Staulage , ln (SW_Staulage)
DIST_KAMM =	Distanz Alpenhauptkamm
NW_DISTANZ, NW_DISTLG =	Distanz Nordwesten, ln (NW_DISTANZ)
NE_DISTANZ, NE_DISTLG =	Distanz Nordosten, ln (NE_DISTANZ)
LUV_NW, LUV_NWLG =	Nordwest-Prallhänge, ln (LUV_NW)
LUV_SW, LUV_SWLG =	Südwest-Prallhänge, ln (LUV_SW)
X_COORD, Y_COORD =	X- und Y-Koordinate der Lambertprojektion
FRUEHLING =	mittlere Niederschlagssumme (1981-90) März – Mai
SOMMER =	mittlere Niederschlagssumme (1981-90) Juni – August
HERBST =	mittlere Niederschlagssumme (1981-90) September – November
WINTER =	mittlere Niederschlagssumme (1981-90) Dezember – Februar
JAHR =	jährliche mittlere Niederschlagssumme (1981-90)

Zwischen den folgenden Karten sind die Modellergebnisse (ohne Residuen) den Messwerten für die 170 Testdaten gegenüber gestellt und das R^2 ausgewiesen. Die Angaben über die Fehlerquotienten (MSE) spiegeln die reinen Modellergebnisse ohne Residuen wieder.

Die Zusammenfassung der monatlichen Niederschlagssummen zu saisonalen Summen führte zu erheblichen Verbesserungen bei den Ergebnissen gegenüber dem Einzelmonat. So konnten die offensichtlichen Fehler des Versuchsmonats November (s.o.) in der Frühlingskarte (MSE der TRD bzw. VD: 0,0095 bzw. 0,0207; TED: $R^2 = 0{,}626$) (siehe Abb. 5.17 und 5.19) weitgehend eliminiert werden. Auch hier konnte eine bessere räumliche Differenzierung unter Hereinnahme der Luv-Lee-Variablen erreicht werden, dadurch kam es jedoch z.T. wieder zu geringen Verschiebungen des Reliefs, kleine Fehler (z.B. Leithagebirge, südliches Totes Gebirge) blieben auch hier erhalten. Die sonstigen Aussagen über MSE usw. (s.o.) galten auch hier.

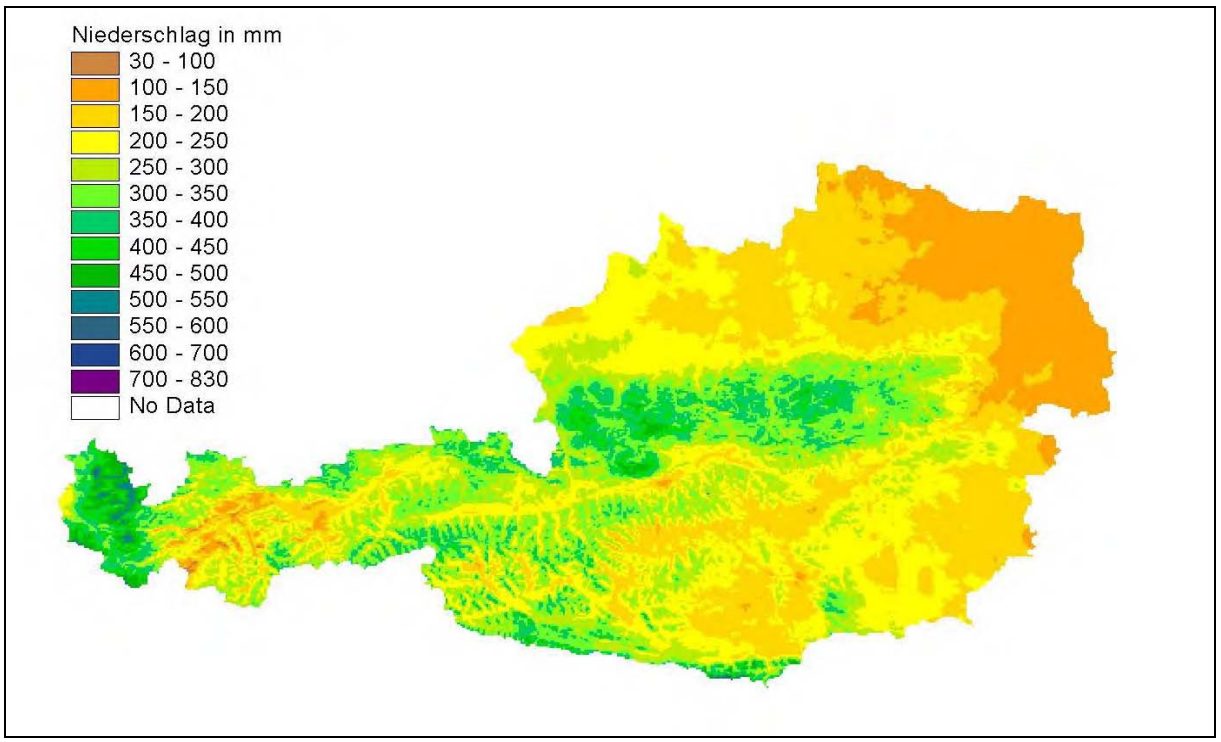


Abb. 5.17: Niederschlagssummen im Frühling Quelle: eigene Berechnungen

Durch Addition der Frühlingskarte mit der Sommerkarte (siehe Abb. 5.18 und 5.20; MSE der TRD bzw. VD: 0,0083 bzw. 0,018; TED: $R^2 = 0{,}820$), welche bei Schladming eine kleine „Blase“ enthält, wurde die Karte der Vegetationsperiode (siehe Abb. 5.21) erzeugt. Durch diese Addition entspricht der Zeitraum der Vegetationsperiode dieser Karte (März - August) daher nicht genau dem gängigen Zeitraum der Vegetationsperiode (siehe Kapitel 4.4.3). In der Karte der Vegetationsperiode wurden die geringfügigen Fehler aus der Frühlings- und der Sommerkarte durch die Überlagerung dieser beiden Karten schon sehr minimiert, so dass diese Karte durchaus als brauchbar angesehen werden kann.

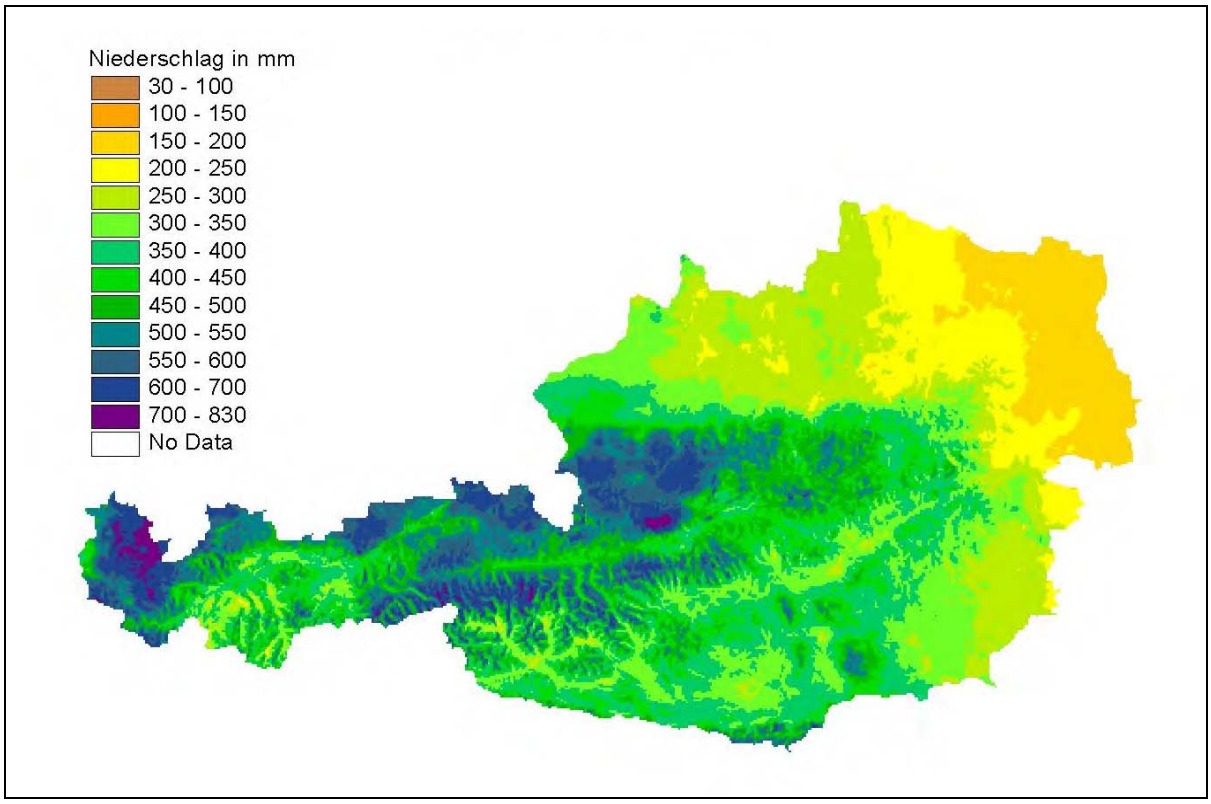


Abb. 5.18: Niederschlagssummen im Sommer Quelle: eigene Berechnungen

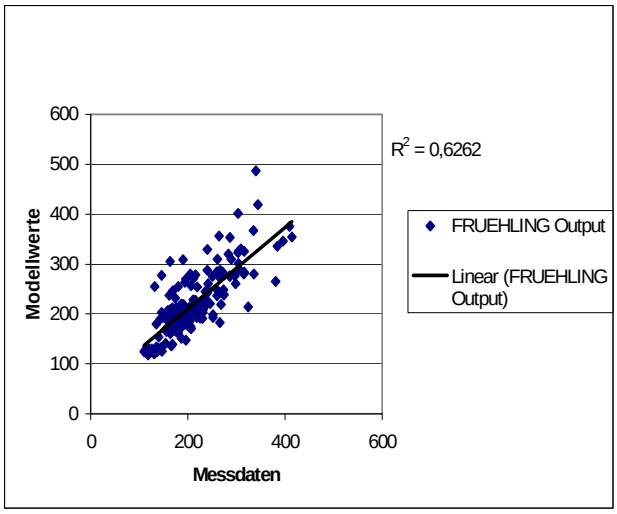


Abb. 5.19: Frühling: Korrelation: Messdaten - Modellwerte Quelle: eigene Berechnungen

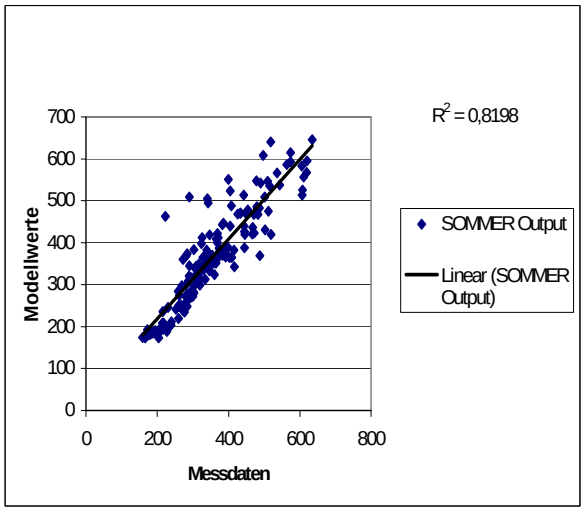


Abb. 5.20: Sommer: Korrelation: Messdaten – Modellwerte Quelle: eigene Berechnungen

Die Herbstkarte (siehe Abb. 5.22 und 5.24; MSE der TRD bzw. VD: 0,0080 bzw. 0,020; TED: $R^2 = 0,710$) zeigte als einzige Karte praktisch keine Verschiebung, möglicherweise ist aber der große Unterschied zwischen den Berg- und Tallagen der Schladminger- und Hohen Tauern zu stark. Die Winterkarte (siehe Abb. 5.23 und 5.25; MSE der TRD bzw. VD: 0,0094 bzw. 0,019; TED: $R^2 = 0,749$) verursachte die größten Probleme und ist auch die einzige Jahreszeitenkarte, in der vereinzelt lokale Höhengradienten fehlen (z.B. Saualpe).

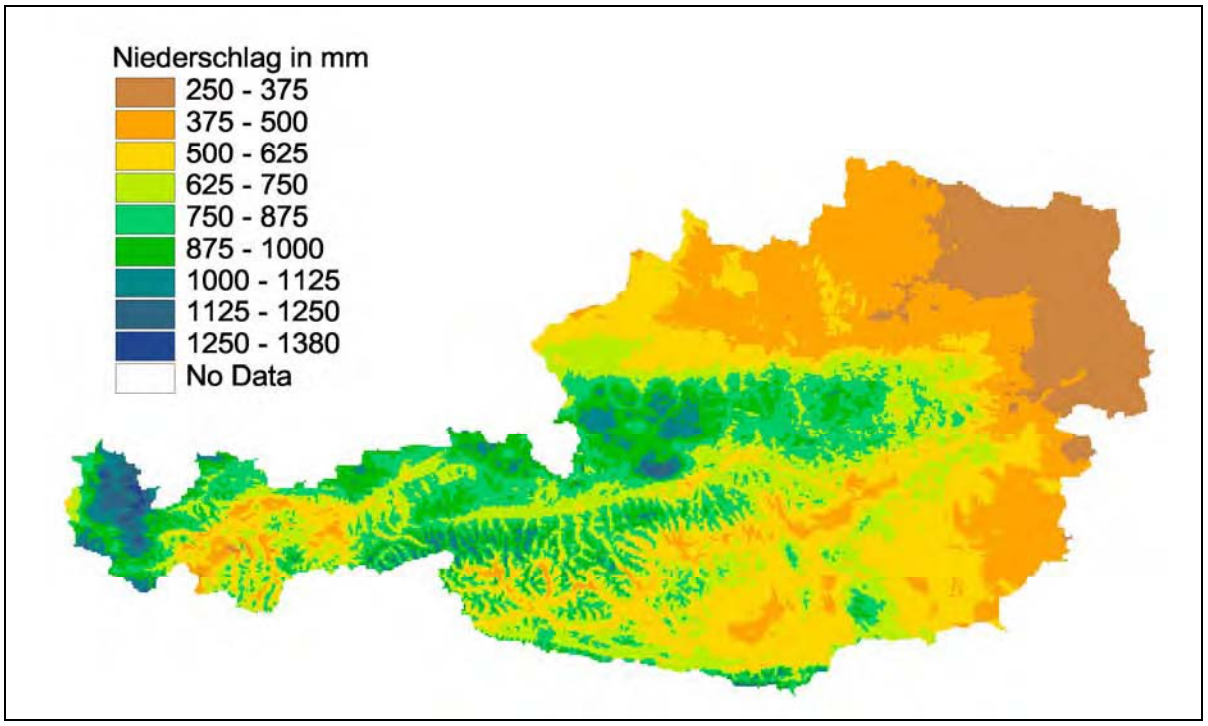


Abb. 5.21: Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode Quelle: eigene Berechnungen

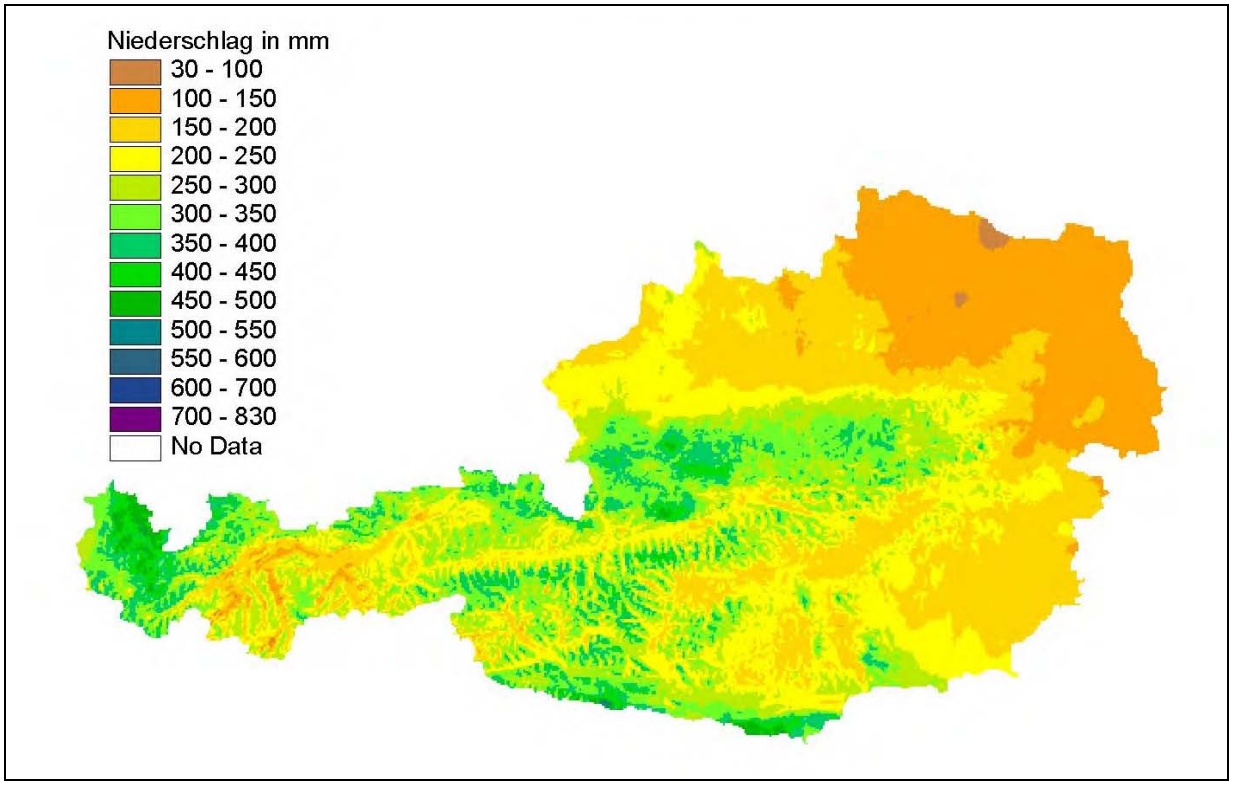


Abb. 5.22: Niederschlagssummen im Herbst Quelle: eigene Berechnungen

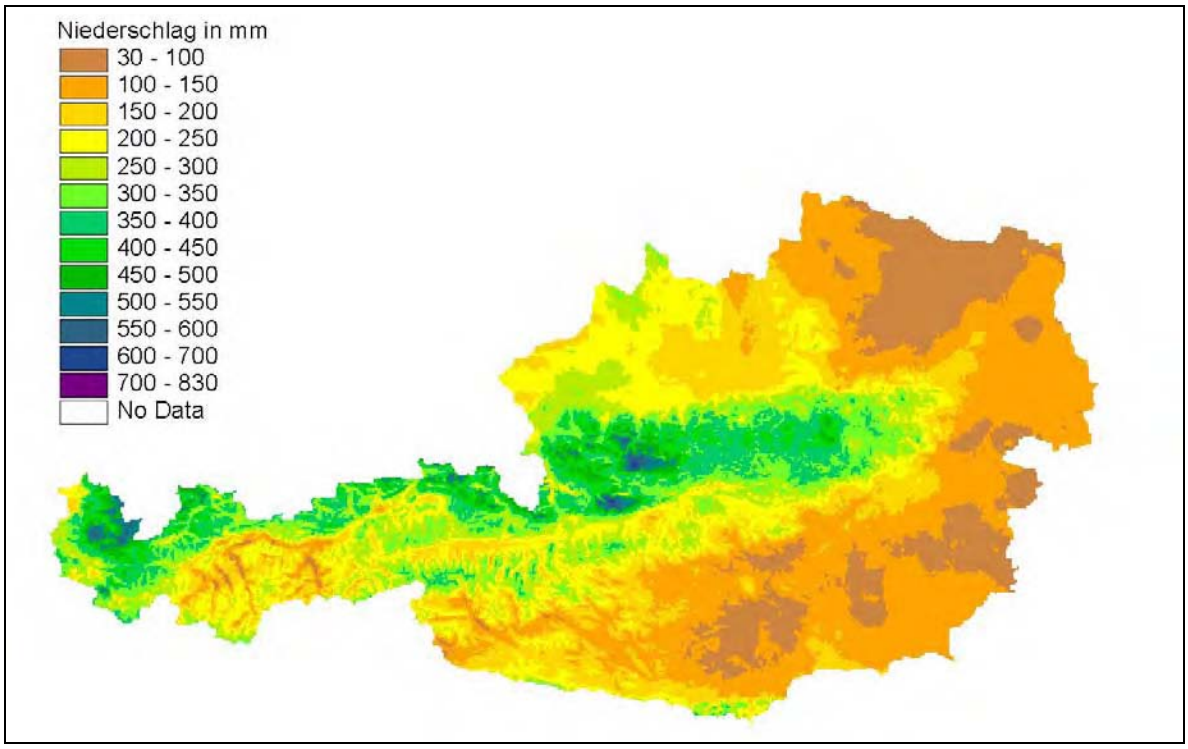


Abb. 5.23: Niederschlagssummen im Winter Quelle: eigene Berechnungen

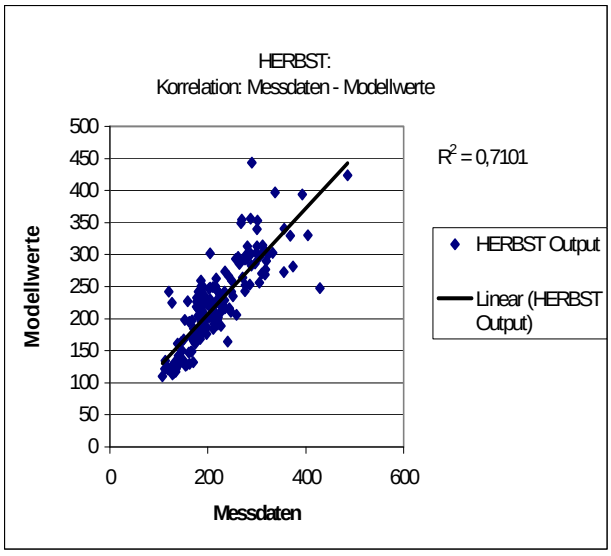


Abb. 5.24: Herbst: Korrelation: Messdaten Modellwerte Quelle: eigene Berechnungen

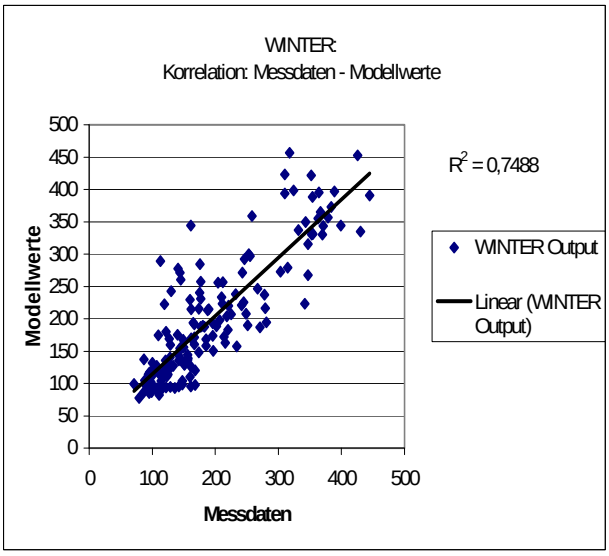


Abb. 5.25: Winter: Korrelation: Messdaten - Modellwerte Quelle: eigene Berechnungen

Wie aus den obigen Diagrammen hervorgeht, halten sich die Abweichungen der Modellergebnisse von den Messdaten insgesamt in Grenzen, die Zahl der Ausreißer ist relativ gering. Einzig die Winterergebnisse zeigen signifikant höhere Abweichungen.

In der Jahreskarte (siehe Abb. 5.26) dürften sich die Fehler der Jahreszeitenkarten nach Summierung ziemlich ausgeglichen haben, so dass das Ergebnis insgesamt zufriedenstellend erscheint. Die Jahreskarte zeigt im Vergleich zur aktuellen digitalen Niederschlagskarte von

KNEES und HARLFINGER (1999) ähnlich hohe Werte, im Vergleich zur digitalen höhenkorrigierten Niederschlagskarte der ZAMG (SCHÖNER in AUER ET AL. 2001) liegen die Werte v.a. in der Höhe deutlich niedriger, was v.a. auf die unterschiedlichen Datensätze zurückzuführen ist.

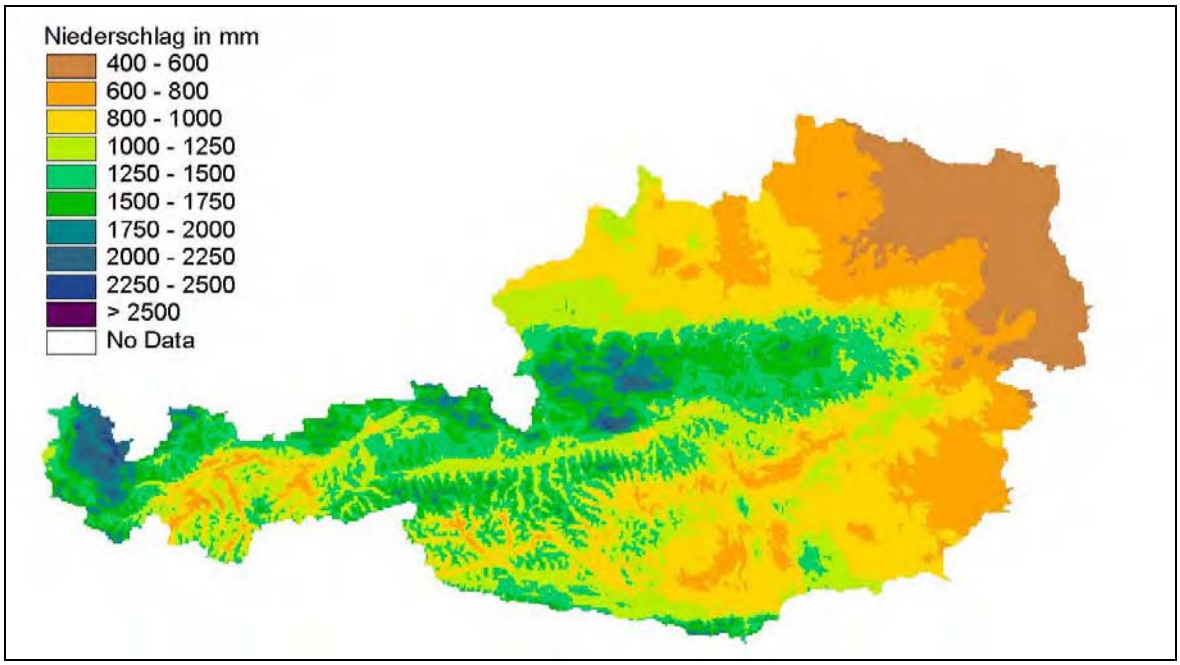


Abb. 5.26: Jahresniederschlag Quelle: eigene Berechnungen

Resümee

Generell hat sich gezeigt, dass die Annahmen bezüglich der Einflussfaktoren auf die Niederschlagsverteilung Großteils richtig und zielführend waren.

Neuronale Netze, bzw. das hier verwendete Neuronale Netz (Mulitilayer Perzeptron), eignen sich weitgehend für die Erstellung von Niederschlagskarten, wobei bei der Generierung von Monatskarten Einschränkungen gelten. Diese treten v.a. bei einer höheren Auflösung wie der hier gewählten (1 x 1 km) auf, da hier das Relief schon stark in die Modellierung eingeht. Einerseits können mit Hilfe Neuronaler Netze nichtlineare, komplexe Strukturen, wie sie ja der realen Niederschlagsverteilung entsprechen, besser als bei univariaten Regressionsmodellen erfasst werden. Andererseits ist aber die Optimierung der Ergebnisse sehr zeitaufwendig, da die Funktionsweise des Netzes ja eine blackbox darstellt. Daher, und weil der MSE nicht als ausschließliches Maß für die räumliche Güte der Karte verwendet werden kann (s.o.), können Mängel nur mittels ständiger Überprüfung der Ergebnisse in Kartenform analysiert werden und durch trial and error behoben werden. Gelingt es so einen Fehler zu korrigieren, so tritt vielfach woanders ein neuer Fehler auf. So war es trotz zahlreicher Variationen nicht möglich eine Monatskarte ohne sichtbare Fehler zu erzeugen. Durch die Zusammenfassung mehrerer Monate zu Jahreszeiten konnte das Ergebnis jedoch um Vieles verbessert werden, kleine Restfehler traten jedoch noch immer auf.

Der wesentliche Vorteil der Neuronalen Netzte gegenüber Regressionsmodellen liegt aber sicherlich darin, dass man hier mit *einem* Netz für ganz Österreich rechnen kann, welches kontinuierliche Übergänge zwischen den verschiedensten Niederschlagsregionen erzeugen kann und sich auch viel besser der durch die komplexe Orographie hervorgerufenen regionalen Variabilitäten anpasst. Daher müssen im Gegensatz zu Regressionsmodellen nicht erst langwierig Teilräume erzeugt werden, wobei ja für jeden Teilraum nur *ein* Niederschlagsgradient gerechnet werden kann. Dies führt bei der Regressionsmethode entweder zu starken Sprünge der Niederschlagsverteilung an den Teilraumgrenzen, oder es macht eine Unterteilung in unzählige kleine Teilräume notwendig, welche wiederum eine hohe Stationsdichte voraussetzen.
Verbesserungsvorschläge für diese Karte wären folgende: Eine lokale Modifikation der Einflussfaktoren könnte zu besseren Ergebnissen führen: So wäre eine Abschwächung der NW-Stau-Variablen in Richtung SO sicherlich sinnvoll, da dies mehr der Realität entspräche und sich so vielleicht manche „Blasenbildung“ vermeiden ließe (auch das Maximum dieser Variablen in den Karawanken ist eher unrealistisch), wobei Analoges für die SW-Stau-Variable gilt. Auch könnte die Kamm-Distanz so abgeändert werden, dass sie sich nur auf das westliche Hochgebirge bezieht. Zur Verbesserung des Ergebnisses wäre sicher eine vermehrte Anzahl von Stationen in Höhenlagen (Totalisatoren) zielführend, da so entweder eine bessere Wiedergabe des Reliefs auch ohne Luv-Lee-Variable erreicht werden könnte. Es könnte dadurch aber auch eine bessere Differenzierung von Luv-Lee-Hängen unter Hereinnahme der Luv-Lee-Variablen erreicht werden. Darüber hinaus würde vermutlich auch hier eine Aufteilung in allerdings nur wenige Teilräume (z.B. inneralpin und außeralpin) Verbesserungen bringen (LOIBL und SCHWARZ 2001).

5.1.4 Digitales Höhenmodell (DHM)

Es wurden zwei digitale Höhenmodelle verwendet (1 x 1 km und 250 x 250 m Auflösung), welche vom Institut für Fotogrammetrie und Fernerkundung der TU-Wien erstellt wurden. Diese wurden im Rahmen des ARCS-Stipendiums für die Durchführung der Arbeit zur Verfügung gestellt.

5.2 Methodik und Werkzeuge

5.2.1 Geographische Informationssysteme

Gemäß verschiedener Definitionen, versteht man unter einem Geographischen Informationssystemen ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Es dient der Bereitstellung von Fachinformationen unter Berücksichtigung ihres Raumbezuges. Ein Geographisches Informationssystem umfasst daher Funktionen zur Erfassung, Speicherung, Prüfung, Manipulation, Integration, Analyse und zur alphanumerischen und graphischen Darstellung von raumbezogenen Daten. Die Verknüpfung von thematischen Daten mit lagebezogenen Informationen, welche meist kartographisch dargestellt werden, unterscheidet Geographische Informationssysteme von reinen CAD-Systemen (BILL und FRITSCH 1994, GÖPFERT 1991, STROBL 1988, BURROUGH 1986).

5.2.2 Hard- und Software-Ausstattung

Die vorliegende Arbeit wurde in der Abteilung für Umweltplanung der ARCS (Austrian Research Centers Seibersdorf) durchgeführt. Für die raumbezogene Geodatenanalyse und die Modellierung wurden die geographischen Informationssysteme ARC/VIEW 3.1 und ARC/INFO 8.0.2 der Firma ESRI verwendet, wobei hier im wesentlichen die rasterbasierten GIS-Funktionen zum Einsatz kamen. Die im folgenden angeführten GIS-Funktionen beziehen sich v.a. auf die Ausführung innerhalb von ARC/INFO. Die Datenlayer liegen, wenn es sich um Vektordaten (Punkt-, Linien oder Polygondaten) handelt, als ARC/INFO-coverages oder als ARCVIEW-shape-Dateien vor, Rasterdaten liegen im ARC/INFO-Grid-Format vor und werden kurz als GRIDs bezeichnet.
Für die Statistische Auswertung wurde das Programm R 1.3.0 – ein public domain Statistikpaket, für Berechnung der Neuronalen Netze das Programm Neuro Solution 3.022 herangezogen. Weiters wurde die Standardsoftware von MS-OFFICE verwendet. Gearbeitet wurde auf einer UNIX-Workstation und einem Pentium II Rechner mit 128 MB RAM.

5.2.3 Clusteranalyse

5.2.3.1 Theorie der Clusteranalyse

Die Clusteranalyse stellt ein Verfahren zur Gruppenbildung dar, wobei die Gruppierung unter Heranziehung aller Eigenschaften der zu clusternden Objekte erfolgt. Hierbei soll innerhalb der Gruppen eine weitgehende Homogenität, zwischen den Gruppen hingegen eine möglichst große Heterogenität auftreten. Der 1. Schritt der Clusteranalyse ist die Wahl des Proximitätsmas-

ses, welches die Ähnlichkeit zwischen jeweils zwei Objekten misst und zur Ähnlichkeitsmatrix führt. Der 2. Schritt ist die Festlegung des Fusionsalgorithmusses, welcher die Objekte aufgrund ihrer Ähnlichkeiten zusammenfasst. Vor Beginn der Clusteranalyse müssen hochkorrelierende Merkmale ausgeschlossen werden, wobei als Richtwert eine Korrelation von >0,9 gilt. Je nach Zahlenniveau wird ein unterschiedliches Proximitätsmass verwendet, wobei man i.A.. Ähnlichkeitsmaße und Distanzmaße (Unähnlichkeitsmaße) unterscheiden kann. Distanzmaße werden eingesetzt, wenn der absolute Abstand zwischen den Objekten von Interesse ist, Ähnlichkeitsmaße zieht man heran, wenn die Ähnlichkeit im Profil der Merkmalsausprägungen von Bedeutung ist, was einer Korrelation entspricht. Nominalskalierte Daten mit mehr als zwei Merkmalsausprägungen werden in binäre Hilfsvariablen zerlegt, wobei dies bei einer großen Anzahl von Kategorien zu größeren Verzerrungen führen kann. Ein Proximitätsmass für diese Daten wäre z.B. der *Tanimoto-(Jaccard)-Koeffizient*, bei welchem das Nichtvorhandensein eines Merkmals in beiden Objekten keine Bedeutung für die Ähnlichkeit hat. Beim metrischen Skalenniveau wird mit Hilfe des Proximitätsmasses die Distanz zweier Objekte ermittelt, wobei eine geringe Distanz eine hohe Ähnlichkeit bedeutet. Häufige Verwendung finden hier die *Minkowski-Metriken*, welche die *„City-Block"-Distanz* und die *euklidische Distanz* beinhalten, wobei die *quadrierte euklidische Distanz* größere Differenzen noch stärker berücksichtigt. Für die Minkowski-Metrik müssen die Merkmalsausprägungen zuvor standardisiert werden, so dass diese den Mittelwert Null und die Varianz Eins besitzen.

Die Fusionsalgorithmen können im Wesentlichen in partionierende- und hierarchische Verfahren unterteilt werden. *Partionierende Verfahren* ordnen ausgehend von einer vorgegebenen Anzahl von Gruppierungen die Objekte so lange um, bis ein Optimum erreicht wird, wobei während des Fusionsprozesses die Gruppenzuteilung wieder geändert werden kann. Beim *hierarchischen Verfahren* gibt es den agglomerativen Algorithmus, welcher von kleinsten Partitionen (dem einzelnen Objekt) ausgehend zusammenfasst, sowie den divisiven Ansatz, welcher mit der gröbsten Partition (nur *einer* Gruppe), beginnt und diese immer weiter unterteilt. Die agglomerative hierarchische Methode errechnet für alle Objekte die Distanzmatrix, fasst jene Objekte mit der geringsten Distanz zu einer Gruppe zusammen, und berechnet eine neue, reduzierte Distanzmatrix usw. Die Gruppenzuteilung ist hier fix und kann nicht mehr geändert werden, es kann jedoch die Clusterzahl (im Gegensatz zum partionierenden Verfahren) frei gewählt werden. Die zahlreichen Verfahren können alle mit jedem Skalenniveau durchgeführt werden, wobei nur *Centroid, Median* und *Ward* ein Distanzmaß benötigen. Nach BARENBERG (1992) nehmen die Unterschiede der Clustergrößen in folgender Reihenfolge zu: *Ward-, Complete-Linkage-, Average-Linkage-, Zentroid-* und *Single-Linkage-Verfahren*.

Beim Single-Linkage-Verfahren (= Nearest Neighbour) wird die Distanz der gesamten neu gebildeten Gruppe zu einem anderen Objekt mit jenem Gruppenelement gebildet, das den geringsten Abstand zum anderen Objekt außerhalb der Gruppe aufweist. Dadurch ist dieses Verfahren gut zum Auffinden von „Ausreißern" geeignet, welche sich in kleinen Gruppen befin-

den. Schlecht getrennte Gruppen zeigt es hingegen nicht auf, da es zur Kettenbildung neigt. Beim Complete-Linkage-Verfahren werden hingegen die größten Abstände für die Berechnung der neuen Distanz verwendet. Es kommt hier zur Bildung von kleinen Gruppen, Ausreißer werden jedoch nicht erkannt, so dass diese (wie auch beim Ward-Verfahren) vorher beseitigt werden sollten, um Verzerrungen zu vermeiden. Beim Average Linkage-Verfahren bzw. Zentroid-Verfahren wird die Distanz durch die durchschnittliche Entfernung bzw. das arithmetische Mittelzentrum der beiden Cluster festgelegt, so dass alle Objekte zur Bestimmung der Distanz beitragen. Neben dieser „zwischen den Gruppen" (=Baverage) Variante gibt es beim Average Linkage auch die „innerhalb der Gruppe"-Variante (=Waverage), bei welcher die Mittelung über sämtliche Distanzen des neu entstandenen Clusters erfolgt.
Beim Ward-Verfahren werden diejenigen Gruppen zusammengefasst, durch deren Zusammenschluss die Streuung (Varianz) in der Gruppe am wenigsten erhöht wird. Als Varianz- bzw. Heterogenitätskriterium wird hierbei die Fehlerquadratsumme $\sum(X - 8)^2$ zwischen dem Wert des Objekts und dem Mittelwert der Gruppe verwendet. Dadurch kommt es zur Bildung sehr homogener und gleich großer Cluster, wobei Gruppen mit kleiner Objektzahl meist nicht erkannt werden. Das Ward-Verfahren setzt eine quadrierte euklidische Distanz voraus. Ein Kriterium für die optimale Clusteranzahl bildet bei Ward das „Elbow-Kriterium", welches die Clusterzahl der Fehlerquadratsumme gegenüberstellt. Der „Ellbogen"-Knick bildet sich dort, wo die Fehlerquadratsumme sprunghaft ansteigt, was jedoch stets bei der letzten Fusion auftritt.
Das Ergebnis einer Clusteranalyse kann weiters durch ein Dendrogramm dargestellt werden (siehe Abb. 5.27), in welchem die einzelnen Fusionsschritte dargestellt werden. Auch dieses gibt Aufschluss über die Entwicklung des Varianzkriteriums, da hier als Höhenkoordinate die Fehlerquadratsumme aufgetragen wird. Daher kann es auch als Kriterium für die optimale Clusterzahl herangezogen werden.

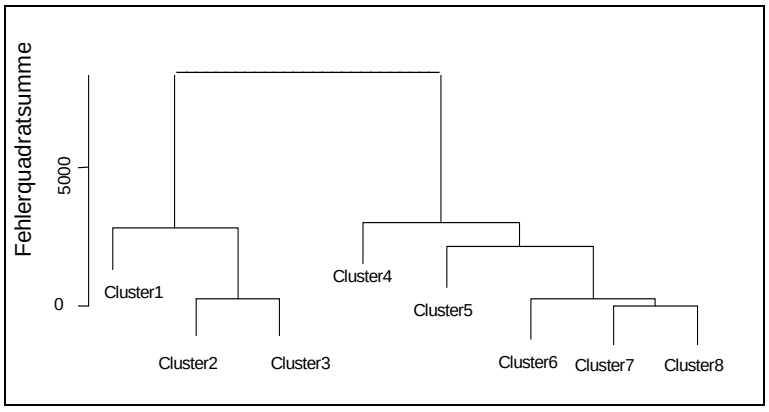


Abb. 5.27: Schematische Abbildung eines Dendrogramms

Ein Maß für die Homogenität der gebildeten Gruppen ist der F-Wert (11). Liegt der F-Wert für alle Variablen < 1, so kann die Gruppe als vollkommend homogen bezeichnet werden.

$$F = V(J,G)/V(J) \qquad (11)$$

V(J,G) = Varianz einer Variablen J innerhalb einer Gruppe G
V(J) = Varianz der Variablen J in der gesamten Erhebungseinheit

Zur Charakterisierung der Cluster dient der über die Standardabweichung normierte t-Wert (12). Ein t-Wert > 0 bedeutet, dass eine Variable in der Gruppe überrepräsentiert ist und umgekehrt (BACKHAUS ET AL. 1996, HUDEC 1997, BARENBERG 1992).

$$t = (8(J,G)-8(J))/S(J) \qquad (12)$$

S(J) = Standardabweichung der Variable J in der Erhebungseinheit
8(J,G) = Mittelwert der Variablen J über die Objekte in der Gruppe G
8(J) = Gesamtmittelwert der Variablen J in der Erhebungseinheit

5.2.3.2 Auswahl der verwendeten Variablen

Bei der Auswahl der für die Clusteranalyse verwendeten Variablen (abiotischen Faktoren) wurde schrittweise vorgegangen, wobei die Faktoren *Sauerstoff* und *Kohlendioxid* aufgrund ihrer geringen Bedeutung für eine räumliche Differenzierung von Beginn an ausgeschlossen wurden (siehe Kapitel 4.1). Im ersten Schritt wurden aufgrund der Literaturrecherche Standortfaktoren auf ihre ökologische Relevanz v.a. im Hinblick auf das Waldwachstum untersucht und beschrieben (siehe Kapitel 4). Generell stellen die Wasserversorgung, die Temperatur und das N-angebot nach KOZLOWSKI ET AL. (1991), bzw. der Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt nach NAGL und MRAS (1992) die wichtigsten ökologische Faktoren für das Pflanzenwachstum dar. V.a. aufgrund der recherchierten Naturraumgliederungen ergab sich schon eine gewisse Bedeutungshierarchie der Variablen: So zeigte sich, dass allgemein die klimatischen Faktoren, eine stärkere Bedeutung für eine großräumige Gliederung haben, und edaphische bzw. geologische Faktoren eher eine untergeordnete, kleinräumig relevante Bedeutung zeigen.
Innerhalb der klimatischen Parameter war es etwas schwierig nach deren Bedeutung zu gewichten, da verschiedene Autoren meist die von ihnen verwendeten Faktoren besonders hervorheben. Es zeigte sich aber doch, dass v.a. die *absoluten Minimumtemperaturen* bzw. *Frosttage* aufgrund ihrer Bedeutung für die Frosthärte, Frosttrocknis und Samenproduktion, weiters die *Länge der Vegetationsperiode* hinsichtlich der positiven Nettoprimärproduktion, die *Growing Degree Days* als Angabe der thermischen Bedingungen in bezug auf die Photosynthese (siehe Kapitel 4.4.3), die *Trockenperioden in der Vegetationsperiode* (hierbei gilt nach HAVLIK (1991) (siehe Kapitel 4.4.4) ein Grenzwert von 40 mm PET als ökologisch sehr aussagekräftig) und die *Wasserbilanz in der Vegetationsperiode* als Maß für den Trockenstress, das Wasserangebot bzw. die Nährstoffaufnahme (siehe Kapitel 4.4.4) sowie die *Globalstrahlung in der Vegetationsperiode* (siehe Kapitel 4.4.1) mit ihrer Bedeutung für die Photosynthesetätigkeit jene klimatischen Parameter mit dem größten Einfluss auf die Pflanzenverbreitung sind. Darüber hinaus gibt auch die schwer zu erfassende Größe der *Kontinentalität* (hygrisch und thermisch), welche auch in der Wuchsgebietsgliederung von KILIAN ET AL. (1994) eine

wichtige Rolle spielt, einen recht guten Hinweis über die natürliche Verbreitung von Waldgesellschaften (siehe Kapitel 4.2.1, 2.2.5).
Von den Bodenparametern sind es der *pH-Wert* und das *C/N-Verhältnis* (siehe Kapitel 4.5.1), als Maß für die Nährstoffverfügbarkeit, letzterer auch für die besonders wichtige N-Verfügbarkeit, der *Soil-Moisture-Index* (10) bzw. die *nutzbare Feldkapazität* (siehe Kapitel 4.5.3) als Maß für das Wasserangebot und v.a. letztere auch für die Nährstoffversorgung, sowie natürlich der *Bodentyp* als Kombination verschiedenster Bodenmerkmale, welche eine besondere Bedeutung für die Pflanzenverbreitung haben. Diese Werte sollten v.a. auf den Mineralboden bis in 30 cm Tiefe bezogen werden. Auch die *Geologie* ist im Hinblick auf Trophie, den pH-Wert, z.T. die Wasserhaushaltstufen und als Ausgangsmaterial der Bodenbildung von Bedeutung.

Im nächsten Schritt, welcher in Verbindung mit dem ersten Schritt geschah, wurde recherchiert, welche dieser Daten in befriedigender Qualität und Auflösung (maximal 1x1 km) digital vorlagen. Als Qualitätsmerkmale wurden bei klimatischen Karten die Aktualität des Datensatzes, die Anzahl der verwendeten Stationen, die Plausibilität der Ausgangsdaten sowie die Plausibilität des Kartenbildes herangezogen. Hierbei zeigte sich, dass nur die Variablen *Frosttage, Vegetationsperiode, Growing Degree Days, Trockenperioden in der Vegetationsperiode, Wasserbilanz in der Vegetationsperiode, thermische* und *hygrische Kontinentalität* und *Bodentypen* als digitale Karte zur Verfügung standen bzw. aus anderen digitalen Karten generiert werden konnten. Anstelle der absoluten Minimumtemperaturen konnte in Anlehnung an BUGMANN (1994) das *Temperaturmittel des kältesten Monats* (Dezember bis Februar) herangezogen werden, da diese beiden Größen eine gute Korrelation aufweisen (siehe Kapitel 4.4.3). Gleiches gilt für die (ökologisch allerdings nicht so bedeutenden) absoluten Maximumtemperaturen und das *Temperaturmittel des wärmsten Monats*. Da die Globalstrahlung einen starken Zusammenhang zur absoluten Sonnenscheindauer zeigt (BRORS 1986, HARTMANN und SCHNELLE 1970) (siehe Kapitel 4.4.1), wurde diese durch die leider nur für *Juli* vorliegende *absolute Sonnenscheindauer* ersetzt, wobei der Juli als stellvertretend für die Vegetationsperiode aufgefasst wurde.
Für die Bodendaten gilt, dass für die heutigen Waldgebiete einzig die punktförmig im 3,9 x 3,9 km Raster vorliegenden *Bodengruppen* der ÖWI als zuverlässig und geeignet angesehen werden können, da diese einerseits nach ökologischen, für das Waldwachstum relevanten Kriterien gruppiert sind und andererseits direkt vor Ort erhoben wurden und nicht nur aufgrund der Geologie angenähert wurden (siehe Kapitel 5.1.1.1). Zu den sonstigen relevanten Bodenparametern pH-Wert, C/N-Verhältnis und nutzbare Feldkapazität liegen jedoch nur Schätzungen aufgrund von Parametern wie Exposition, Neigung, Seehöhe, Relief, Geologie, Bodengruppe, Gründigkeit, Bodenart u.a. für die Waldinventurpunkte vor, bei denen die Übereinstimmung mit den gemessenen Werten zwischen 72,8 %, und 88,8% liegt (LEXER ET AL. 1999, LEXER und HÖNNINGER 1998).

Außerdem sind diese Parameter z.T. kleinräumig so differenziert, dass sie für eine Naturraumgliederung aufgrund eines 3,9 x 3,9 km Rasters nur mehr bedingt zu gebrauchen sind. Für die *Geologie* lag digital nur die "metallogenetische Karte" der Geologischen Bundesanstalt vor, bei welcher der angegebene Chemismus nicht ausreichend war, um eine waldökologische Klassifikation (z. B. nach HEILIG und KOCH 1997 (in ENGLISCH und KILIAN 1998)) vorzunehmen. Es zeigte sich also, dass aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit von digitalen, qualitativ zufriedenstellenden Karten bereits starke Einschränkungen, v.a. im Bereich der Bodendaten gemacht werden mussten.

Im nächsten Schritt wurde nun eine **Korrelationsmatrix** (siehe Tab. 5.5a, b, c) sämtlicher als Grid vorliegender Karten erzeugt, und versucht, eine möglichst gering korrelierende Eingangsvariablenkombination für die Clusteranalyse anzuwählen. In Anlehnung an BACKHAUS ET AL. (1996) wurden Variablenkombinationen mit Korrelationen, die höher als der Grenzwert 0,9 (bzw. niedriger als – 0,9) lagen, ausgeschlossen, wobei dieser Grenzwert nicht als starrer Wert verstanden werden durfte. Korrelationen > 0,9 bzw. < –0,9 wurden in der Tabelle violett eingefärbt, die Werte wurden auf 2 Dezimalstellen gerundet (Kotierung: siehe Kapitel 5.1.2).

Innerhalb der thermischen Variablen (rot eingefärbt) galt, dass es nur wenige Korrelationen < 0,9 gab. So lag die Korrelation der JAHR_TEMP zu allen übrigen thermischen Variablen (außer AMPLJA) meist viel zu hoch (4 mal >= 0,98), so dass die ökologisch ohnehin nicht so aussagekräftige JAHR_TEMP von vornherein ausgeschlossen wurde. Der MIN_TEMP wurde gegenüber den ökologisch ähnlichen FROSTT der Vorrang gegeben (Korrelation zwischen diesen 0,93), da sich die FROSTT im Gegensatz zur MIN_TEMP (s.u.) nicht mit den GDD kombinieren ließen (Korrelation 0,95), so dass nur eine Kombination der FROSTT mit der AMPLJA (0,80) möglich war. Die Korrelation zwischen den ökologisch ähnlichen Variablen GDD und VEGPERI lag bei 0,93, so dass die ökologisch doch etwas aussagekräftigeren GDD, welche sich jedoch auch nur mit der MIN_TEMP (Korrelation 0,86) kombinieren ließen, beibehalten wurden. Die VEGPERI konnte hingegen nur zusammen mit der AMPLJA (0,81) verwendet werden. Außer mit den GDD konnten die MIN_TEMP auch nur in Kombination mit der MAX_TEMP (Grenzfall 0,90) und/oder der AMPLJA (sehr niedrige Korrelation mit 0,61) gerechnet werden, wobei eine Kombination aller 3 Variablen ökologisch nicht besonders sinnvoll erschien. Die MAX_TEMP wies jedoch eine sehr hohe Korrelation (0,98) zu den ökologisch wichtigen GDD auf, weshalb die ökologisch auch nicht so aussagekräftige MAX_TEMP sonst nicht weiter verwendet wurde. Die AMPLJA wies, neben der niedrigen Korrelation zur MIN_TEMP (s.o.), auch zur VEGPERI eine niedrigere Korrelation (0,81) als zu den GDD auf, und wurde daher mit der VEGPERI und nicht mit den GDD gerechnet.
Zu den übrigen Variablen wiesen diese thermischen Variablen durchwegs niedrigere Korrelationen auf, einzig zur PET_VEG und zur SCHNEEDECK lagen sie meist zu hoch. Die in weiterer Folge (zwecks Vereinfachung) auch zu den thermischen Variablen gezählte SO_ABS_JUL wies durchgehend niedrige Korrelationen auf, und stellte daher aus Sicht der

Korrelationsmatrix eine wertvolle Variable dar. Interessanterweise korrelierte sie nur mit 0,83 zu der SO_REL_JUL.

Von den hygrischen Variablen (blau eingefärbt) wurde die PET_VEG aufgrund ihrer sehr hohen Korrelationen zu den thermischen Variablen, v.a. aber zu den ökologisch wichtigen GDD (0,99) von vornherein ausgeschlossen. Die übrigen hygrischen Variablen zeigen untereinander meist recht hohe Korrelationen, zu den nicht hygrischen Variablen korrelieren sie jedoch alle eher gering. Auch die 4 Niederschlagsvariablen korrelierten alle untereinander sehr hoch (einzig die Korrelation zwischen NS_FRUE und NS_SOM lag mit 0,87 noch im vertretbaren Bereich), weshalb nur maximal eine Niederschlagsvariable verwendet werden sollte.

Allerdings bestanden auch zu starke Korrelationen zwischen Niederschlagsvariablen und Wasserbilanzen (nahezu alle > 0,9), so dass den Wasserbilanzen aufgrund der doch etwas größeren ökologischen Bedeutung der Vorzug gegeben wurde, die Niederschlagsvariablen wurden daher verworfen. Einzig die Korrelation zwischen H_BIL_SO und NS_FRUE lag mit 0,86 unter dem Grenzwert, jedoch wurde angestrebt die ökologisch wichtige H_BIL_VEGP auf jedenfall einzubauen, wobei sich diese jedoch mit keiner der beiden Variablen kombinieren ließ. Da die Wasserbilanzen generell alle untereinander sehr stark korrelierten (alle >0,92), wurde schließlich nur die H_BIL_VEGP zur Berechnung herangezogen. Die Korrelation zwischen PET_NS_VEG und H_BIL_VEGP lag mit 0,93 auch zu hoch, so dass die PET_NS_VEG (welche etwas niedriger zu den Niederschlagsvariablen, dafür aber zu hoch (0,92) mit den TROC_40 (s.u.) korrelierte) verworfen wurden. Nur zur bereits ausgeschlossenen PET_VEG (s.o.) zeigten alle Wasserbilanzen niedrige Korrelationen. Als wertvolle, weil innerhalb des hygrischen Bereichs niedrig korrelierende Variable wurde GAMS erkannt. So korreliert sie zu den hygrischen Variablen nur zur PET_VEG einigermaßen hoch (0,82), die sonstigen hygrischen Korrelationen bewegen sich jedoch nur im Bereich zwischen 0,29 und 0,66. Interessanterweise liegen die Korrelationen von GAMS zu den thermischen Variablen höher als zu den hygrischen (höchste zu GDD mit 0,86), womit deutlich auf eine starke thermische Komponente innerhalb von GAMS hingewiesen wird (siehe auch Kapitel 5.1.2.8).

Die Trockenperioden (grün eingefärbt), welche auch noch als hygrische Variablen angesehen werden können, zeigten schließlich zu den Niederschlagsvariablen etwas niedrigere Korrelationen, als zu den Wasserbilanzen, zu welchen die Trockenperioden interessanterweise ähnlich hohe Korrelationen haben, wie zu den thermischen Variablen. Für Beide (Niederschlagsvariablen und Wasserbilanzen) galt, dass die Korrelationen der Trockenperioden mit zunehmendem PET-Schwellenwert abnahmen und dass nirgends (wie auch bei den nicht-hygrischen Variablen) der Grenzwert von 0,9 erreicht wurde. Nur bei der Korrelation zu PET_NS_VEG (0,92) und bei den Korrelationen der Trockenperioden untereinander wurde dieser überschritten. Die SCHNEEDECK wurde aufgrund der hohen Korrelation zu den thermischen Variablen (v.a. zu den GDD (0,96)) von vornherein ausgeschlossen.

Zusammenfassend musste man feststellen, dass es durch die Korrelationsmatrix zu starken Einschränkungen in der Variablenzahl kam, da sehr hohe Korrelationen v.a. der thermischen bzw. hygrischen Variablen untereinander auftraten. Auch waren mit den verbleibenden Variablen

nur bestimmte Kombinationen möglich. Schließlich wurden natürlich nicht alle aufgrund der Korrelationsmatrix möglichen Variablenkombinationen gerechnet, sondern nur jene, die wiederum als ökologisch sinnvoll bzw. aussagekräftig erschienen. Alle gerechneten Variablenkombinationen sind in Tab. 5.6 dargestellt.

Tab. 5.5a: Korrelationsmatrix der Grids (Teil 1) Quelle: eigene Berechnungen

	AMPLJA	JAHR_TEMP	MAX_TEMP	MIN_TEMP	FROSTT	GDD	VEGPERI	H_BIL_JA
JAHR_TEMP	0,85							
MAX_TEMP	0,90	0,99						
MIN_TEMP	0,61	0,94	0,90					
FROSTT	-0,80	-0,98	-0,97	-0,93				
GDD	0,90	0,98	0,98	0,86	-0,95			
VEGPERI	0,81	0,98	0,98	0,94	-0,96	0,93		
H_BIL_JA	-0,73	-0,68	-0,71	-0,54	0,65	-0,73	-0,64	
H_BIL_FRUE	-0,77	-0,73	-0,76	-0,59	0,70	-0,78	-0,69	0,97
H_BIL_SO	-0,75	-0,72	-0,74	-0,59	0,70	-0,77	-0,67	0,96
H_BIL_VEGP	-0,77	-0,74	-0,76	-0,60	0,72	-0,79	-0,69	0,98
PET_NS_VEG	0,74	0,74	0,76	0,62	-0,73	0,80	0,67	-0,90
PET_VEG	0,90	0,99	1,00	0,89	-0,96	0,99	0,97	-0,72
GAMS	-0,69	-0,82	-0,81	-0,77	0,82	-0,86	-0,77	0,45
NS_FRUE	-0,60	-0,52	-0,54	-0,38	0,50	-0,57	-0,47	0,94
NS_SOM	-0,66	-0,61	-0,63	-0,48	0,59	-0,67	-0,55	0,95
NS_VEG_PER	-0,66	-0,59	-0,62	-0,45	0,58	-0,65	-0,54	0,98
NS_JA	-0,64	-0,56	-0,59	-0,42	0,53	-0,62	-0,51	0,99
SCHNEEDECK	-0,89	-0,95	-0,96	-0,83	0,93	-0,96	-0,91	0,79
SO_ABS_JUL	0,76	0,71	0,74	0,56	-0,69	0,78	0,65	-0,69
SO_REL_JUL	0,80	0,72	0,75	0,55	-0,68	0,77	0,68	-0,68
TROC_40	0,74	0,79	0,80	0,70	-0,79	0,84	0,74	-0,80
TROC_60	0,72	0,82	0,83	0,76	-0,83	0,84	0,79	-0,74
TROC_80	0,68	0,84	0,83	0,82	-0,84	0,81	0,84	-0,63

Tab. 5.5b: Korrelationsmatrix der Grids (Teil 2) Quelle: eigene Berechnungen

	H_BIL_FRUE	H_BIL_SO	H_BIL_VEGP	PET_NS_VEG	PET_VEG	GAMS	NS_FRUE	NS_SOM
H_BIL_SO	0,92							
H_BIL_VEGP	0,97	0,99						
PET_NS_VEG	-0,89	-0,93	-0,93					
PET_VEG	-0,77	-0,76	-0,78	0,77				
GAMS	0,52	0,54	0,54	-0,66	-0,82			
NS_FRUE	0,95	0,86	0,92	-0,82	-0,56	0,29		
NS_SOM	0,90	0,99	0,97	-0,89	-0,65	0,41	0,87	
NS_VEG_PER	0,94	0,97	0,98	-0,89	-0,63	0,38	0,95	0,98
NS_JA	0,93	0,93	0,95	-0,86	-0,61	0,32	0,95	0,95
SCHNEEDECK	0,82	0,82	0,84	-0,80	-0,97	0,75	0,65	0,73
SO_ABS_JUL	-0,66	-0,74	-0,72	0,74	0,75	-0,65	-0,54	-0,69
SO_REL_JUL	-0,66	-0,70	-0,69	0,68	0,75	-0,62	-0,54	-0,64
TROC_40	-0,79	-0,83	-0,83	0,92	0,80	-0,71	-0,70	-0,78
TROC_60	-0,75	-0,77	-0,78	0,87	0,82	-0,72	-0,63	-0,71
TROC_80	-0,66	-0,66	-0,67	0,72	0,81	-0,67	-0,52	-0,58

Tab. 5.5c: Korrelationsmatrix der Grids (Teil 3) Quelle: eigene Berechnungen

	NS_VEG_PER	NS_JA	SCHNEEDECK	SO_ABS_JUL	SO_REL_JUL	TROC_40	TROC_60
NS_JA	0,98						
SCHNEEDECK	0,72	0,70					
SO_ABS_JUL	-0,65	-0,63	-0,76				
SO_REL_JUL	-0,62	-0,62	-0,76	0,83			
TROC_40	-0,77	-0,74	-0,81	0,72	0,72		
TROC_60	-0,70	-0,66	-0,80	0,69	0,69	0,96	
TROC_80	-0,57	-0,54	-0,78	0,62	0,62	0,85	0,94

Schließlich wurde als Überprüfung noch eine Korrelationsmatrix der Punktcoverages (siehe Tab. A9a-d im Anhang) dieser Variablen gerechnet, da ja auf diesen Punkten der ÖWI die tatsächliche Clusteranalyse gerechnet wurde (siehe Kapitel 5.2.3.3). Hierbei zeigte sich i.A.. ein ähnliches Bild, wie bei den Grid-Korrelationen. Die Punkt-Korrelationen waren jedoch meist um einiges niedriger, als die entsprechenden Grid-Korrelationen, weshalb in Tabelle A9 alle Korrelationen > 0,8 bzw. < -0,8 violett eingefärbt wurden. Knapp höhere Werte als in der Grid-Korrelation wurden nur bei folgenden Variablenkombinationen erreicht: JAHR_TEMP – GDD (0,99), GDD – MAX_TEMP (1,00), JAHR_TEMP – VEGPERI (1,00), VEGPERI – MAX_TEMP (0,99), GDD – VEGPERI (0,99), GAMS – VEGPERI (0,82), PET_VEG – GDD (1,00), PET_VEG - VEGPERI (0,98). Die Punkt-Korrelationen zwischen den in der Clusteranalyse verwendeten Variablenkombinationen (siehe Tab. 5.6) waren jedoch überall niedriger als die entsprechenden Grid-Korrelationen, wobei v.a. die MIN_TEMP viel geringere Werte aufwies (z.B. MIN_TEMP und AMPLJA nur 0,31). Von den verwendeten Variablenkombinationen lagen nur die Punktkorrelationen GAMS – GDD (0,82) und H_BIL_VEGP – TROC_40 (0,81) über 0,8. Schließlich wurden hier auch noch die Korrelationen der Bodengruppen untersucht, welche jedoch alle sehr niedrig lagen (höchster Wert: GAMS – POD-SEMI: 0,49).

5.2.3.3 Durchführung der Clusteranalyse

Die Clusteranalyse wurde auf den 3585 Punkten der ÖWI (siehe Kapitel 5.1.1.1) durchgeführt. Daher mussten sämtliche als Grid vorliegenden klimatischen Variablen auf diese Punkte extrahiert werden, was mit Hilfe der GIS-Funktion „latticespot“ geschah. „Latticespot“ interpoliert die Werte der 4 darunterliegenden Zellen des Grids auf den darüberliegenden Coverage-Punkt. Auf diese Weise wurde ein Punktcoverage erzeugt, welches sämtliche klimatischen und edaphischen Variablenwerte in Punktform beinhaltete. Dieses Coverage wurde als dbf-Tabelle exportiert und in weiterer Folge als csv-File in das Statistikprogramm R eingelesen, in welchem dann die Skalierung und die Clusteranalyse durchgeführt wurden.
Vor Beginn der Clusteranalyse wurden die einzelnen klimatischen Variablen mittels Korrelationsmatrix (siehe Kapitel 5.2.3.2) ausgewählt. Von einer vorgeschalteten Faktorenanalyse wurde abgesehen, da in diese die Bodentypenvariablen aufgrund ihrer 0/1-Struktur nicht einfließen konnten. Als Fusionsalgorithmus für die Clusteranalyse wurde das Ward-Verfahren (welches

zu sehr homogenen und gleich große Gruppen neigt) und als Distanzmaß die quadrierte euklidische Distanz gewählt. Ein gewisses Problem stellte das unterschiedliche Skalenniveau von nominalskalierten Bodendaten und metrischen Klimadaten dar. Daher ging bei den Bodendaten jede der 8 Bodengruppen (siehe Kapitel 5.1.1.2) als eigene Variable in die Clusteranalyse ein, wobei jede Bodengruppe mit 0/1 (nein/ja) kotiert wurde. Nun wurde aus klimatischen und edaphische Variablen eine gemeinsame Distanzmatrix erzeugt, wobei nur die klimatischen Variablen, jedoch (aufgrund ihrer 0/1-Struktur) nicht die Bodengruppen skaliert werden konnten.
Die Ergebnisse der Clusteranalyse wurden dann wieder als dbf-Tabelle ins Programm ARC/VIEW exportiert und konnten erst dort visualisiert und räumlich analysiert werden. Die Anzahl der Cluster wurde dann aufgrund dieser Visualisierung bzw. teilweise unter Zuhilfenahme des Dendrogramms festgelegt (siehe Kapitel 6.1).

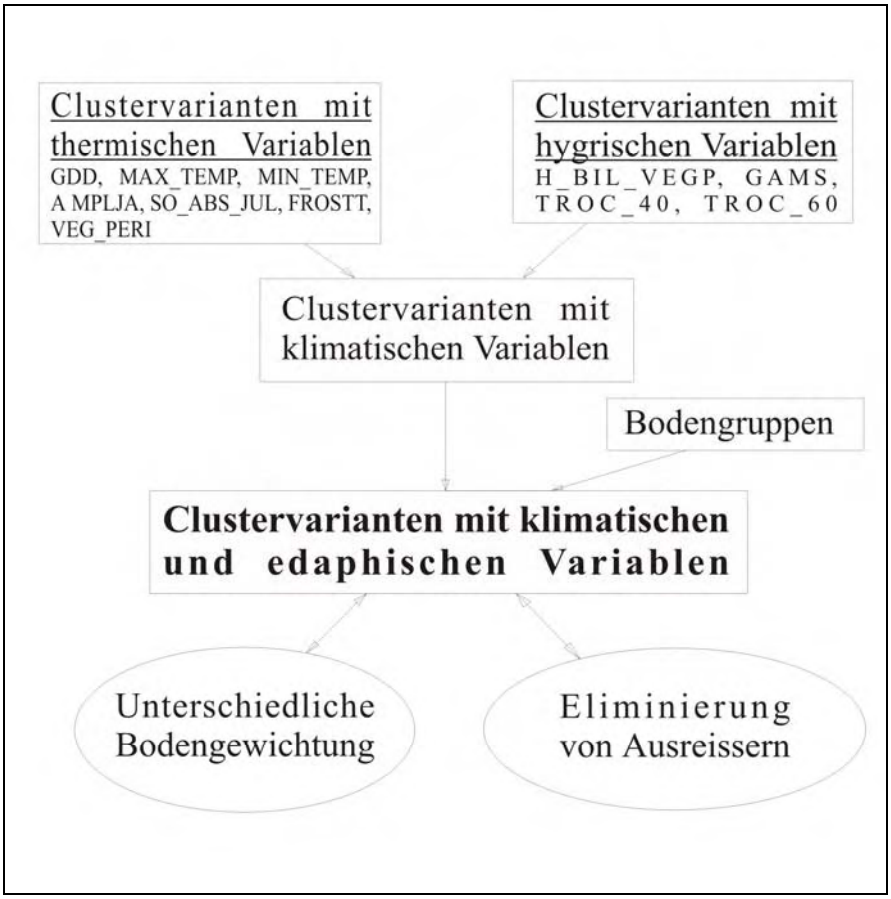


Abb. 5.28: Durchführung der Clusteranalyse (auf 3585 Punkten der Waldinventur)

Das Ablaufschema der Clusteranalyse (siehe Abb. 5.28) war ein stufenförmiges, in dem sukzessive Varianten mit einer immer größeren Variablenzahl errechnet wurden. So wurde vielfach versucht, jeweils nur *eine* neue Variable in die Clusteranalyse aufzunehmen, um so die Veränderungen, die diese Variable bewirkt, besser studieren zu können (Tab. 5.6 zeigt eine Übersicht von allen gerechneten und diskutierten Varianten sowie deren Variablen). Zunächst wurden *Clustervarianten mit thermischen Variablen* aus verschiedenen Kombinationen der thermischen Variablen (GDD, MAX_TEMP, MIN_TEMP, AMPLJA, SO_ABS_JUL,

FROSTT, VEGPERI) erzeugt, analysiert und auf ihre Verwertbarkeit hin untersucht. Daraufhin wurden *Clustervarianten mit hygrischen Variablen* aus verschiedenen Kombinationen der hygrischen Variablen (H_BIL_VEGP, GAMS, TROC_40, TROC_60) erzeugt und analysiert. In einem nächsten Schritt wurde mit Variablenkombinationen der als brauchbar erkannten thermischen und hygrischen Varianten gerechnet, welche als *Clustervarianten mit klimatischen Variablen* bezeichnet wurden. So konnte der hygrische bzw. thermische Einfluss auf die jeweiligen Cluster recht gut studiert werden. Schließlich wurden die Variablen der klimatischen Varianten mit den Variablen der Bodengruppen vereinigt, wobei diese dann als *Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen* bezeichnet wurden. Durch den Vergleich der Clustervarianten mit klimatischen Variablen zu den Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen konnte so der unterschiedlich starke Einfluss der Bodengruppen auf Letztere erkannt werden.

Darüber hinaus wurden die Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen noch in 2 Richtungen variiert: Einerseits wurden die Bodenvariablen unterschiedlich stark gewichtet, was zu einer Unter- bzw. Überbetonung des Bodens führte (diese Clustervarianten sind mit einem „b“ gekennzeichnet). Andererseits wurde dem Ward-Verfahren noch ein Single-Linkage-Verfahren (s.o.) vorgeschaltet, mit dessen Hilfe Ausreißer erkannt werden können. Diese Ausreißer wurden eliminiert, und mit dem nunmehr reduzierten Datensatz wurde anschließend das Ward-Verfahren gerechnet, wobei als Distanzmaß in beiden Fällen die quadrierte euklidische Distanz verwendet wurde (diese Clustervarianten wurden mit „re“ gekennzeichnet).

Auf eine Gewichtung der Variablen innerhalb der Clusteranalyse wurde weitgehend verzichtet, da, wie schon Eingangs erwähnt, die Variablen je nach Situation eine unterschiedlich große Bedeutung haben können. So sind es beispielsweise v.a. die Wasserversorgung im trockenen Osten Österreichs, v.a. die Minimumtemperatur im Hochgebirge, oder v.a. der Bodentyp in einer Aulandschaft, welche letztlich auf die Vegetationszusammensetzung den stärksten Einfluss ausüben. Es wurden lediglich ganz allgemein die klimatischen Faktoren aufgrund ihrer höheren großräumigen Bedeutung (siehe Kapitel 5.2.3.2) stärker gewichtet, indem sie standardisiert wurden (Mittelwert 0, Standardabweichung 1), sodass sie vielfach Werte größer bzw. kleiner +1 bzw. –1 annahmen. Die Bodentypen wurden nicht standardisiert und blieben weiterhin mit 0/1 versehen, wobei auch durch das häufige Auftreten von Null in jedem Bodentyp eine Abschwächung der Bedeutung dieser Variable erfolgte. Andererseits wurde durch die höhere Anzahl der Boden- gegenüber den klimatischen Variablen deren Bedeutung wieder etwas erhöht. Vereinzelt (in den Varianten mit „b“) wurden jedoch die Bodenvariablen stärker bzw. schwächer gewichtet als die klimatischen Variablen (s.o.).

Tab. 5.6: Verwendete Variablen aller gerechneten und diskutierten Varianten der Clusteranalyse

Variante T1: MIN_TEMP, GDD **Variante T2:** MIN_TEMP, GDD, SO_ABS_JUL **Variante T3:** AMPLJA, FROSTT **Variante T4**: MIN_TEMP, AMPLJA **Variante T5:** MIN_TEMP, MAX_TEMP **Variante T6:** VEGPERI, AMPLJA
Variante H1: H_BIL_VEGP, TROC_40 **Variante H2:** H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS **Variante H3**: H_BIL_VEGP, TROC_60 **Variante H4** : H_BIL_VEGP, GAMS
Variante K 1: GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40 **Variante K 2:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS **Variante K 3:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, SO_ABS_JUL **Variante K 4:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS, SO_ABS_JUL **Variante K 5:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, GAMS
Variante KE1: GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, BODENGR **Variante KE2:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS, BODENGR **Variante KE2b:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS, BODENGR (Faktor 1,2) **Variante KE2b-re:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS, BODENGR (Faktor 1,2) **Variante KE3:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, SO_ABS_JUL, BODENGR **Variante KE4:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, SO_ABS_JUL, GAMS, BODENGR **Variante KE4b:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40, SO_ABS_JUL, GAMS, BODENGR (Faktor 1,2) **Variante KE5:** GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, GAMS, BODENGR **Variante KE6:** VEGPERI, AMPLJA, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS, BODENGR

6 Ergebnisse

6.1 Clustervarianten allgemein

Im Folgenden werden die einzelnen Cluster-Fusionen zur besseren Übersichtlichkeit in umgekehrter Reihenfolge, sozusagen von hinten beginnend, beschrieben. Dies erweckt den Anschein einer immer weiteren Aufteilung der Cluster, welche dem realen Prozess der hierarchischen Clusteranalyse aber nicht entspricht, vielmehr kommt es hier zu einer immer weiteren Fusionierung (siehe Kapitel 5.2.3.1). Die als erstes beschriebenen Cluster sind in der tatsächlichen Clusteranalyse folglich die zuletzt fusionierten, wobei die „ersten 3 Cluster“ gleichzeitig, und daher unabhängig von der Fusionsabfolge beschrieben werden. Wenn beschrieben wird, dass “ein Cluster aus einem anderen hervorgeht”, sind diese beiden Cluster daher in der realen Clusteranalyse fusioniert worden. Der im Folgenden beschriebene *Einfluss einer Variablen auf das Clusterergebnis* ergibt sich aus der visuellen Interpretation, wobei der Einfluss um so stärker ist, je ähnlicher die Clustergrenzen zu den Isolinien der Variablen verlaufen.
Bei der Farbgebung wurde zwecks Übersichtlichkeit versucht, ähnliche Cluster der verschiedenen Varianten in der gleichen Farbe darzustellen, wobei dies nicht immer objektiv möglich war. Gleichfärbige Cluster sind jedoch in Wirklichkeit nicht idente Cluster, da sie ja verschiedene (wenn auch ähnliche) Mittel-, t- und F-Werte der Variablen aufweisen. Bei den Clustervarianten mit thermischen Variablen wurde versucht im Groben eine Farbabstufung von schwarz bzw. braun (heiß) zu blau bzw. hellblau (kalt) zu erzeugen, bei den Clustervarianten mit hygrischen Variablen reichte die Farbabstufung von braun bzw. orange (trocken) bis dunkelblau bzw. violett (feucht). Diese Farbgebung wurde nun auch weitgehend für die Clustervarianten mit klimatischen bzw. klimatischen und edaphischen Variablen übernommen, um den jeweiligen thermischen oder hygrischen Einfluss erkennen zu lassen, weshalb es teilweise zu einer Überschneidung der Farbbereiche kam. Deshalb, und aufgrund der Vielzahl der Cluster, musste das oben erwähnte Farbschema mitunter leicht abgeändert werden, so dass z.B. der thermische Hochgebirgscluster von vornherein rot gekennzeichnet wurde (blau war demnach nicht sinnvoll, da blau in den klimatischen Clustervarianten und in den Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen schon für den stark humiden Cluster besetzt war).
Die „optimale“ Clusteranzahl wurde rein visuell ausgewählt, mit dem Leitgedanken, eine möglichst noch überschaubare, einigermaßen räumlich homogene Naturraumgliederung (siehe Kapitel 6.6.1) zu erzeugen. Dies ist dadurch begründet, dass alle bestehenden Naturraumgliederungen (siehe Kapitel 2.2) bis auf BOBEK und MRAS (1979) durchwegs räumlich homogene Gebiete ausweisen. Darüber hinaus macht eine räumlich sehr heterogene Raumgliederung auf einem 3,9 x 3,9 km Punktraster nur beschränkt Sinn. Es sollten also primär durchaus Ähnlichkeiten zu bestehenden Naturraumgliederungen, aber sekundär auch zur räumlich eher heterogenen PNV-Karte nach MAYER (1977) erzielt werden, was allerdings vom visuellen Stand-

punkt her schon ein gewisser Widerspruch ist. Analysen der Fehlerquadratsumme waren mit dem hier verwendeten Statistikprogramm R nicht möglich, Dendrogramme wurden teilweise als Vergleich herangezogen (z.B. Variante KE2). Die Kotierung der klimatischen Variablen ist Abschnitt 5.1.2 zu entnehmen. Über die Clustervarianten werden vergleichend jeweils die Wuchsgebiete von KILIAN ET AL. (1994) gelegt, wobei deren Benennung und Nummerierung Abschnitt 2.2.5 zu entnehmen ist.

6.2 Clustervarianten mit thermischen Variablen (Varianten T)

6.2.1 Variante T1

Verwendete Variablen: MIN_TEMP und GDD

Die ersten 3 Cluster (siehe Abb. 6.1a) zeigen grob gesprochen eine Einteilung in einen braunen "Flach- und Hügellandscluster", einen blauen "Gebirgscluster" und einen roten "Hochgebirgscluster". Aus dem blauen Cluster geht zunächst der thermisch kontinentale violette Cluster hervor, danach bildet sich aus dem braunen der etwas kühlere orange Cluster, weiters trennen sich blau (kühler) und gelb (wärmer) sowie hellblau (kühler) und rot (wärmer). Bis hier, beim Stand von 7 (siehe Abb. 6.1e) Clustern liegt eine einigermaßen räumlich homogene Naturraumgliederung vor, welche nun besprochen werden soll:

Der braune "Flach- und Hügellandcluster" ist gekennzeichnet durch die höchsten GDD und MIN_TEMP und nimmt im Wesentlichen das nördliche Alpenvorland (exklusive der Hausruckregion), das Weinviertel, die Wachau und das Wiener Becken, die niedrigen Regionen des Burgenlands und des Oststeirischen Hügellandes, Teile des Rheintals sowie die Windischen Bühel in der Südsteiermark ein.

Der rote "Hochgebirgscluster" wird v.a. durch sehr niedrige MIN_TEMP bestimmt, welche jedoch noch über jenen des hellblauen Clusters liegen. Die GDD sind auch meist niedrig, sie erreichen aber vielfach noch höhere Werte als im hellblauen Cluster, und können auch gleich hoch wie im blauen Cluster liegen. Dieser Cluster erstreckt sich im Wesentlichen über die Zentralalpen und die höheren Gebirgsregionen und ist daher räumlich recht heterogen, so dass es zur „Inselbildung" im blauen Cluster (z.B. Warscheneck, Dachstein, Hochkönig) kommt. In niedrigeren Lagen fallen v.a. das große flächige Gebiet über dem Lungau und den Nockbergen, sowie der Bereich des Brenners und nördlich des Hochschwabs auf, welche allesamt auf die geringe MIN_TEMP zurückzuführen sind.

Der blaue „kältere Gebirgscluster" stellt einen Übergangscluster zwischen dem gelben Cluster einerseits und dem roten bzw. violetten Cluster (welche er meist räumlich umschließt) andererseits dar. Er wird stark durch die MIN_TEMP bestimmt und grenzt sich vom gelben Cluster durch geringere MIN_TEMP bzw. GDD ab, hinsichtlich des roten Clusters liegen MIN_TEMP

und GDD darüber, hinsichtlich des violetten Clusters liegen die MIN_TEMP darüber, die GDD darunter.

Der violette Cluster kann als Cluster „hoher thermischer Kontinentalität“ angesehen werden, da er niedrige MIN_TEMP und hohe GDD (entsprechen ca. den GDD des orangen Clusters) aufweist, wobei die GDD sehr stark mit der MAX_TEMP korreliert (0.98) (siehe Kapitel 5.2.3.2). Dieser „Kontinentalitätscluster“ erstreckt sich v.a. auf das Klagenfurter Becken und angrenzende Gebiete, wie das Krappfeld bis zum Neumarkter Sattel, das Lavanttal bis zum Aichfeld, sowie das Gailtal und obere Drautal bis zum Iseltal. Weiters tritt dieser Cluster im Salzachtal (bei St. Johann), westlich der Leoganger Steinberge, am Walchsee bei Kufstein, im Oberinntal und Stubaital, im Ennstal bei Liezen und wieder nördlich des Hochschwabs auf.

Der orange Cluster stellt einen Übergang von „Flachland“ zum „wärmeren Gebirgscluster“ dar und könnte als „Hügellandcluster“ bezeichnet werden. Er weist noch hohe GDD (gleich hoch wie violett, gleich bis etwas geringer als braun und höher als gelb), und recht hohe MIN_TEMP (etwas geringer als braun und höher als gelb bzw. violett) auf. Er erstreckt sich entlang des nördliche bzw. östlichen Alpenrands, sowie am Rand der Böhmischen Masse, und umfasst auch das Ost- bzw. Weststeirische Hügelland, den Hausruck, Teile des Innviertels, die wärmeren Gebiete des Klagenfurter Beckens bzw. Drautals und reicht im Bereich der Eisenwurzen, des Salzkammerguts (bei Bad Ischl), des Grazer Berglandes, des Lechtals, des Montafons und bei Litschau in den “wärmeren Gebirgscluster” hinein. Das Inntal kommt nur dort zur Geltung, wo die WI-Punkte am Talboden liegen. Interessant ist, dass vom Klagenfurter Becken und Drautal aufgrund der geringen MIN_TEMP nur kleine Gebiete (Millstättersee, bei Villach, Zollfeld) diesem Cluster angehören. Die Grenze zum braunen Cluster stimmt hier tw. recht gut mit den Wuchsgebietsgrenze von 7.1, 7.2.& 8.1 nach KILIAN ET AL. 1994 überein.

Der gelbe „wärmere Gebirgscluster“ ist charakterisiert durch mittlere, für den alpinen Bereich aber recht hohe GDD und MIN_TEMP und erstreckt sich über jene Teile der Alpen und der Böhmische Masse, die nicht von den anderen alpinen Clustern eingenommen werden.

Der hellblaue „Kältecluster“ mit den geringsten GDD und MIN_TEMP tritt v.a. dort auf, wo die WI-Punkte bis in hohe Gebirgslage hinaufreichen, was im Wesentlichen im Samnaun, in den Ötztaler, Stubaier und Zillertaler Alpen, im westlichen Osttirol sowie in den Schladminger Tauern und Nockbergen der Fall ist. Im Lungau reicht er auch ins Tal hinunter.

Bis hierher könnte man sagen, dass eine recht übersichtliche und räumlich relativ homogene Naturraumgliederung vorliegt. Die weitere Clusterbildung wird hingegen räumlich schon recht heterogen, sie liefert aber dennoch interessante Erkenntnisse (siehe Abb. 6.1i: 11 Cluster):

Der hellgrüne Cluster geht aus dem gelben Cluster hervor und unterscheidet sich von dem verbleibenden gelben Cluster durch etwas kältere MIN_TEMP und etwas höhere GDD, so dass er thermisch kontinentaler ist. Interessanterweise verdrängt dieser Cluster den gelben Cluster aus der Böhmischen Masse nahezu vollkommend, was zeigt, dass die Böhmische Masse sich von

vergleichbaren Gebieten der Alpen durch eine höhere thermische Kontinentalität unterscheidet (siehe auch Kapitel 5.1.2.3).

Der beige Cluster ist jener Teil des orangen Cluster, der durch höhere GDD gekennzeichnet ist, die MIN_TEMP bleiben ca. gleich. Er stellt ein räumlich recht homogenes Gebiet im illyrischen Raum dar (sonst bildet er noch 2 Wärmeinseln im Klagenfurter Becken) und deckt sich einigermaßen mit dem Wuchsgebiet 8.2.

Der rosa Cluster geht aus dem violetten Cluster hervor und stellt die Gebiete höchster thermischer Kontinentalität dar. Er unterscheidet sich vom verbleibenden violetten Cluster durch höhere GDD, die MIN_TEMP bleibt hingegen gleich, wobei sich dieser Cluster auf das Klagenfurter Becken sowie das Gailtal und Iseltal beschränkt. Er deckt sich teilweise recht gut mit dem Wuchsgebiet 6.2.

Der schwarze Cluster geht aus dem braunen Cluster hervor und kann als „Hitzecluster“ bezeichnet werden, denn sowohl GDD als auch MIN_TEMP sind hier am höchsten. Er erstreckt sich über das Tullner Feld, das südliche Wiener Becken, das Gebiet des Neusiedler Sees und Mittelburgenland, wobei das Leithagebirge schön ausgespart bleibt. Die Grenzen stimmen teilweise recht gut mit den Wuchsgebietsgrenzen von 8.1 überein.

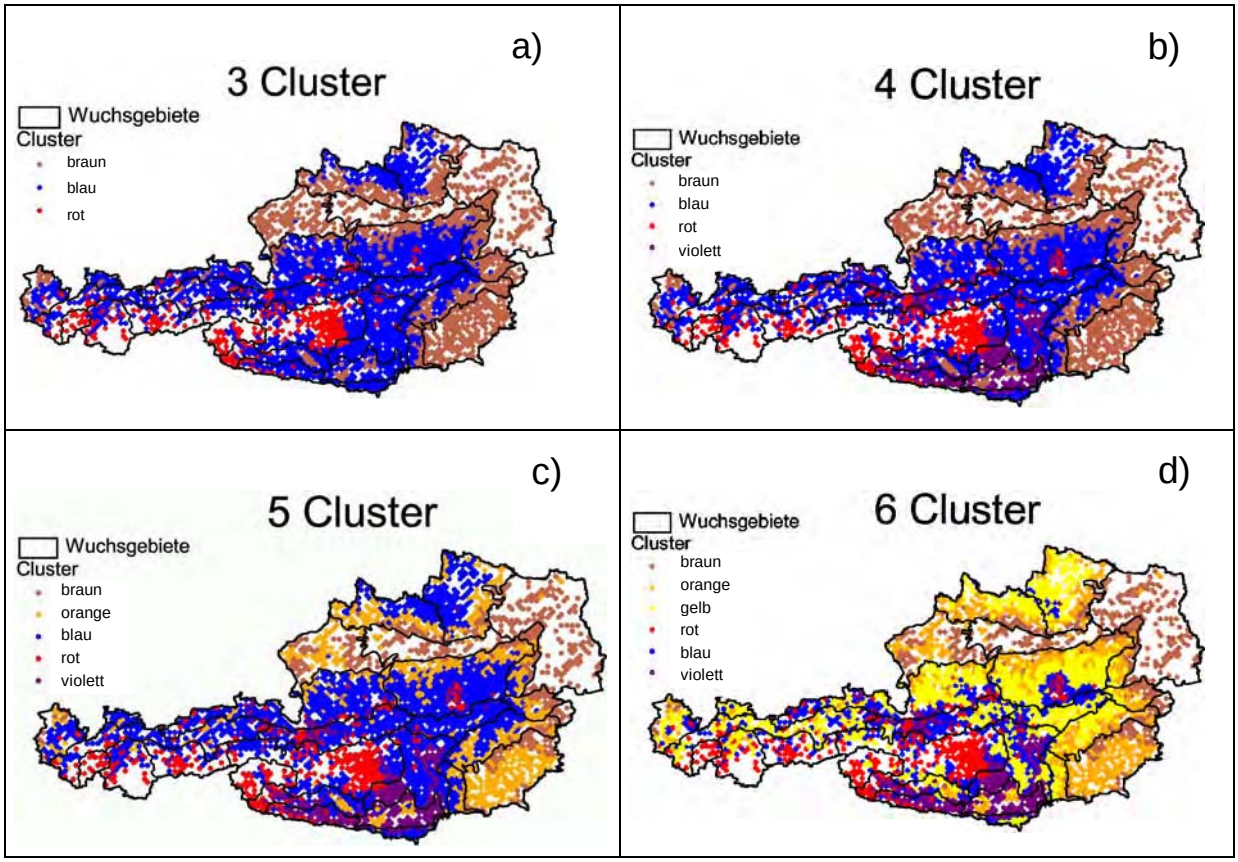


Abb. 6.1a-d: Variante T1 Quelle: eigene Berechnungen

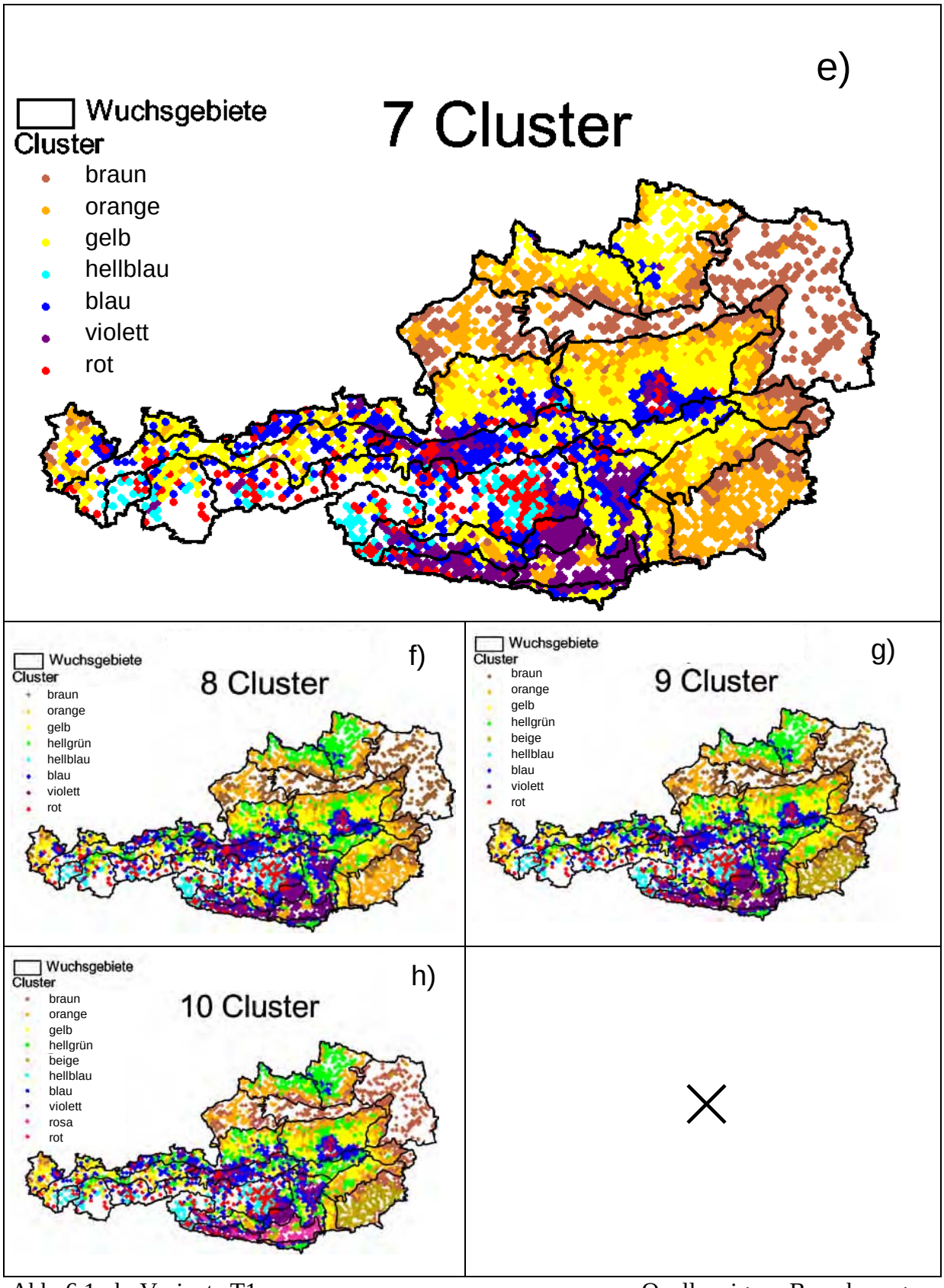


Abb. 6.1e-h: Variante T1 Quelle: eigene Berechnungen

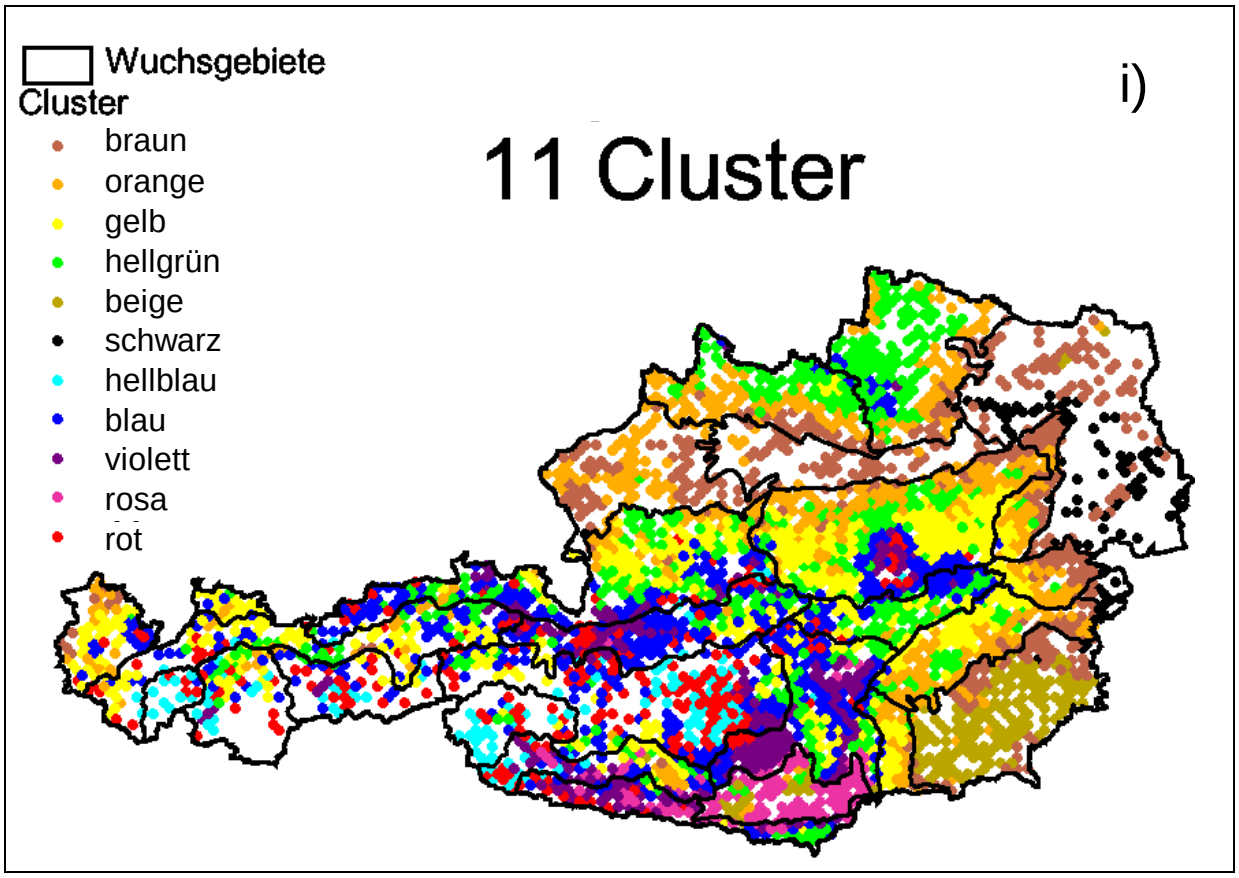


Abb. 6.1i: Variante T1 Quelle: eigene Berechnungen

6.2.1.1 Kurzresümee der Variante T1

I.A. sieht man, dass das Flach- und Hügelland (illyrische Raum, Alpenvorland, Wiener Becken, Neusiedler See, aber z.T. auch Böhmische Masse und Klagenfurter Becken) bis zum 11. Cluster noch sehr einheitlich bleiben, während sich im alpinen Bereich ein räumlich stark heterogenes Muster ausbildet. Die GDD tragen hierbei stärker zur räumlichen Heterogenität bei, als die MIN_TEMP, welche etwas flächigere Muster verursacht.

6.2.2 Variante T2

Verwendete Variablen: MIN_TEMP, GDD und SO_ABS_JUL

Variante T2 unterscheidet sich von Variante T1 durch die zusätzliche Aufnahme der Variablen SO_ABS_JUL. Die 1. Karte (siehe Abb. 6.2) zeigt die Variante mit 6 Clustern, welche in der Folge mit den 6 Clustern aus Variante T1 (siehe Abb. 6.1d) verglichen werden soll:

Die ersten 3 Cluster werden hier, im Gegensatz zu Variante T1, vom braunen „Flach- und Hügellandcluster“, vom „Randalpencluster“ (orange und violett) und vom „Gebirgscluster“ (gelb, rot und blau) gebildet. Aus dem Gebirgscluster löst sich nun der rote Cluster, danach teilt sich

der „Randalpencluster“ in orange und violett und schließlich geht aus dem gelben Gebirgscluster noch der blaue Cluster hervor.

Der braune “Flach- und Hügellandcluster“ entspricht im Wesentlichen dem braunen Cluster aus der Variante T1 mit hohen GDD und MIN_TEMP, wobei hier noch durch die hohe SO_ABS_JUL der illyrische Raum, Teile des Klagenfurter Beckens sowie das Innviertel beim braunen Cluster verbleiben.

Der orange „Randalpencluster“ weist ein ähnliches Bild wie in Variante T1 auf, mit hohen GDD, MIN_TEMP und SO_ABS_JUL, wobei diese 3 Variablen schon etwas niedriger als im braunen Cluster, jedoch höher als im gelben Cluster liegen. Gegenüber dem violetten Cluster liegen die GDD gleich, die MIN_TEMP darüber und die SO_ABS_JUL eher darunter. Generell fällt ein durch die SO_ABS_JUL bedingtes Hineinschieben des orangen Clusters in die Alpen gegenüber Variante T1 zugunsten des braunen Clusters auf.

Der gelbe Cluster unterscheidet sich vom gelben Cluster aus der Variante T1 in zweierlei Hinsicht: Einerseits kann er als „warmer Gebirgscluster mit mehr Sonnenschein“ beschrieben werden, so dass dieser v.a. in den großen inneralpinen Tälern (z.B. Salzachtal, Ennstal) sowie in den Rand- und Zwischenalpen auftritt. Die Zwischenalpen werden so in einen sonnenreichen Südostteil und einen bewölkungsstärkeren Nordwestteil (häufig blauer Cluster) differenziert, wobei diese Abgrenzung gut der Trennlinie zwischen Zentralalpen südöstlicher Teil und zentraler Teil in der Raumgliederung von SAUBERER ET AL. (1995) (siehe Kapitel 2.2.6) entspricht. Andererseits wird er in der Böhmischen Masse fast vollständig vom violetten Cluster verdrängt (s.u.). Interessanterweise wird die mittlere Steiermark im gelben Cluster räumlich wesentlich homogener. Dieser Cluster weist schon geringere GDD, MIN_TEMP und SO_ABS_JUL auf, vom blauen Cluster unterscheidet ihn jedoch v.a. die höhere SO_ABS_JUL und GDD, während die MIN_TEMP gleich bis etwas höher liegt.

Der rote „Hochgebirgscluster“ mit niedrigen GDD, MIN_TEMP und SO_ABS_JUL entspricht grob gesagt jenem aus der Variante T1, jedoch wird dieser Cluster durch die Hereinnahme der SO_ABS_JUL in den Nordalpen räumlich heterogener und er verkleinert sich (v.a. die „Inseln“ in den Nordalpen). Dies ist in erster Linie auf den sinkenden Einfluss der niedrigen MIN_TEMP zurückzuführen, wohingegen jetzt v.a. die niedrigeren GDD den roten Cluster gegen den blauen Cluster abgrenzen, die niedrige SO_ABS_JUL spielt bei der Abgrenzung hingegen nicht so große eine Rolle.

Der violette Cluster ändert sich gegenüber Variante T1 durch die Hereinnahme der SO_ABS_JUL beträchtlich, denn hier geht die Bedeutung der thermischen Kontinentalität etwas zurück. Dieser Cluster kann eher als „winterkalter Cluster mit viel Sonnenschein“ bezeichnet werden, denn die MIN_TEMP sind hier niedrig (ähnlich wie im gelben Cluster) und die SO_ABS_JUL sehr hoch (ähnlich wie im braunen Cluster), während die GDD größere Schwankungen aufweisen. So wird durch die hohe SO_ABS_JUL die recht sonnenreiche Böhmische Masse dem violetten Cluster einverleibt, die inneralpinen thermisch kontinentalen

Gebiete verschwinden, dafür kommen einige punktförmige Gebiete mit viel Sonnenschein am Alpenrand hinzu.

Der blaue Cluster kann als „kalter Gebirgscluster mit wenig Sonne“ bezeichnet werden, denn er wird zum gelben Cluster hin v.a. durch die geringe SO_ABS_JUL abgegrenzt. Mit seinen niedrigen MIN_TEMP und GDD erstreckt er sich v.a. auf die höheren Gebirgsregionen, was zu einem räumlich heterogenen Erscheinungsbild führt. Die MIN_TEMP geht jedoch in ihrer Bedeutung als Abgrenzungskriterium gegenüber blau in Variante T1 stark zurück.

Bis hier kann die Variante noch als räumlich homogen und übersichtlich angesehen werden.

Abb. 6.3 zeigt die Variante mit 11 Clustern und wird in der Folge mit der Karte der 11 Cluster aus Variante T1 verglichen (siehe Abb. 6.1i):
Der dunkelgrüne Cluster geht aus blau hervor, danach lösen sich schwarz und beige als ein Cluster aus braun. Aus violett geht rosa hervor, aus welchem sich hellgrün löst, und schließlich trennen sich beige und schwarz.

Der dunkelgrüne Cluster kann als “Bewölkungscluster” angesehen werden und liegt zwischen rotem und blauen Cluster. Hinsichtlich des blauen Clusters weist dieser eine noch geringere SO_ABS_JUL auf, bezüglich niedriger MIN_TEMP und GDD ist er dem blauen Cluster recht ähnlich. Zum roten Cluster hin unterscheidet er sich durch etwas höhere GDD und MIN_TEMP, wobei die SO_ABS_JUL noch etwas drunter liegt.

Der schwarze Cluster ist im Wesentlichen der “Wärmecluster” aus der Variante T1 mit höchsten MIN_TEMP und GDD, nur reicht er hier zunächst noch bis weit nach Süden in den illyrische Raum und teilweise ins Klagenfurter Becken, wobei sich dann erst später der beige Cluster von diesem abtrennt. Dies ist dadurch zu erklären, dass der “Wärmecluster” hier auch durch eine sehr hohe SO_ABS_JUL charakterisiert wird, welche in Ostösterreich weit nach Süden reicht.

Der rosa Cluster ist jener Teil des ursprünglich violetten Clusters, welcher die höchsten GDD, eine gleich niedrigere MIN_TEMP und gleich hohen SO_ABS_JUL wie violett aufweist und nimmt somit das Gebiet der höchsten thermischen Kontinentalität ein. Er ist dem rosa Cluster aus Variante T1 ähnlich.

Der hellgrüne Cluster unterscheidet sich zum rosa Cluster v.a. durch niedrigere GDD, aber auch niedrigere SO_ABS_JUL und etwas höhere MIN_TEMP, wobei hier die Trennung zwischen Böhmischer Masse und Klagenfurter Becken erst recht spät vollzogen wird. Vom verbleibenden violetten Cluster unterscheidet ihn die etwas höhere MIN_TEMP, sowie die etwas niedrigere SO_ABS_JUL. Der hellgrüne Cluster zeigt gewisse Parallelen zum hellgrünen Cluster aus Variante T1.

Der beige Cluster nimmt den illyrische Raum ein und unterscheidet sich vom schwarzen Cluster v.a. durch niedrigere MIN_TEMP, aber auch durch etwas niedrigere GDD, wobei dieser Cluster ziemlich genau dem beigen Cluster aus Variante T1 entspricht.

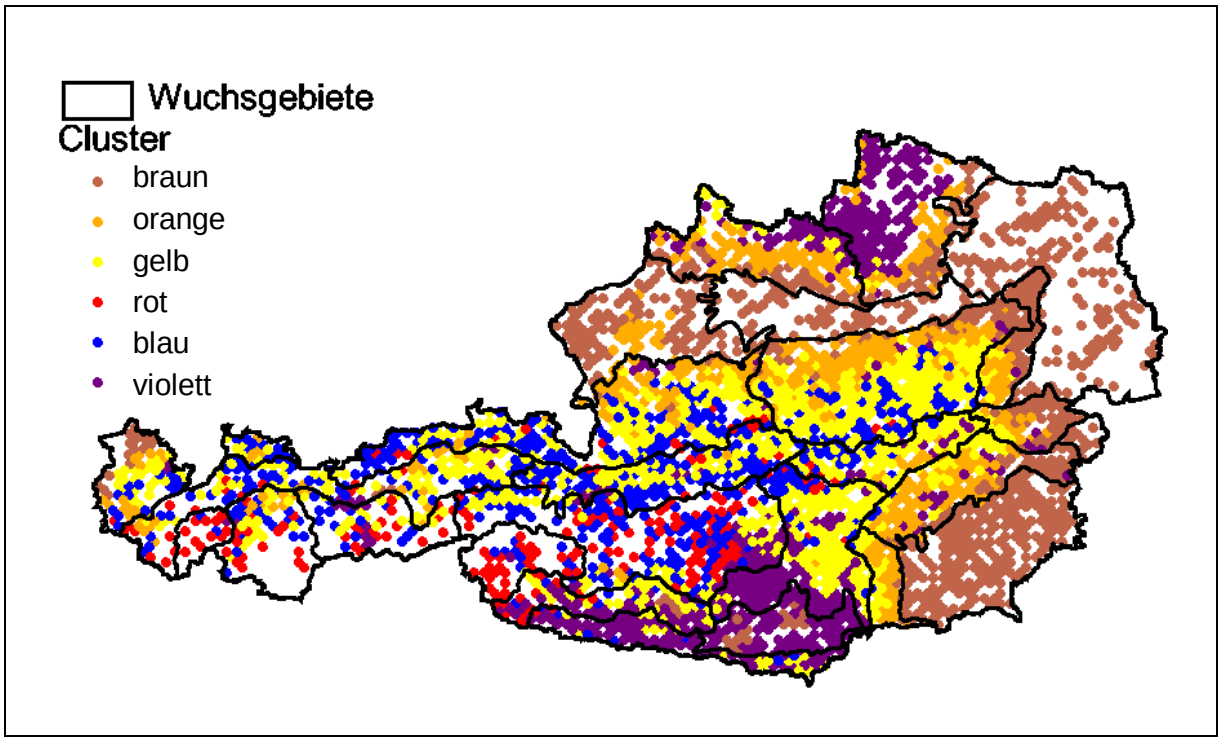


Abb. 6.2: Variante T2, 6 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

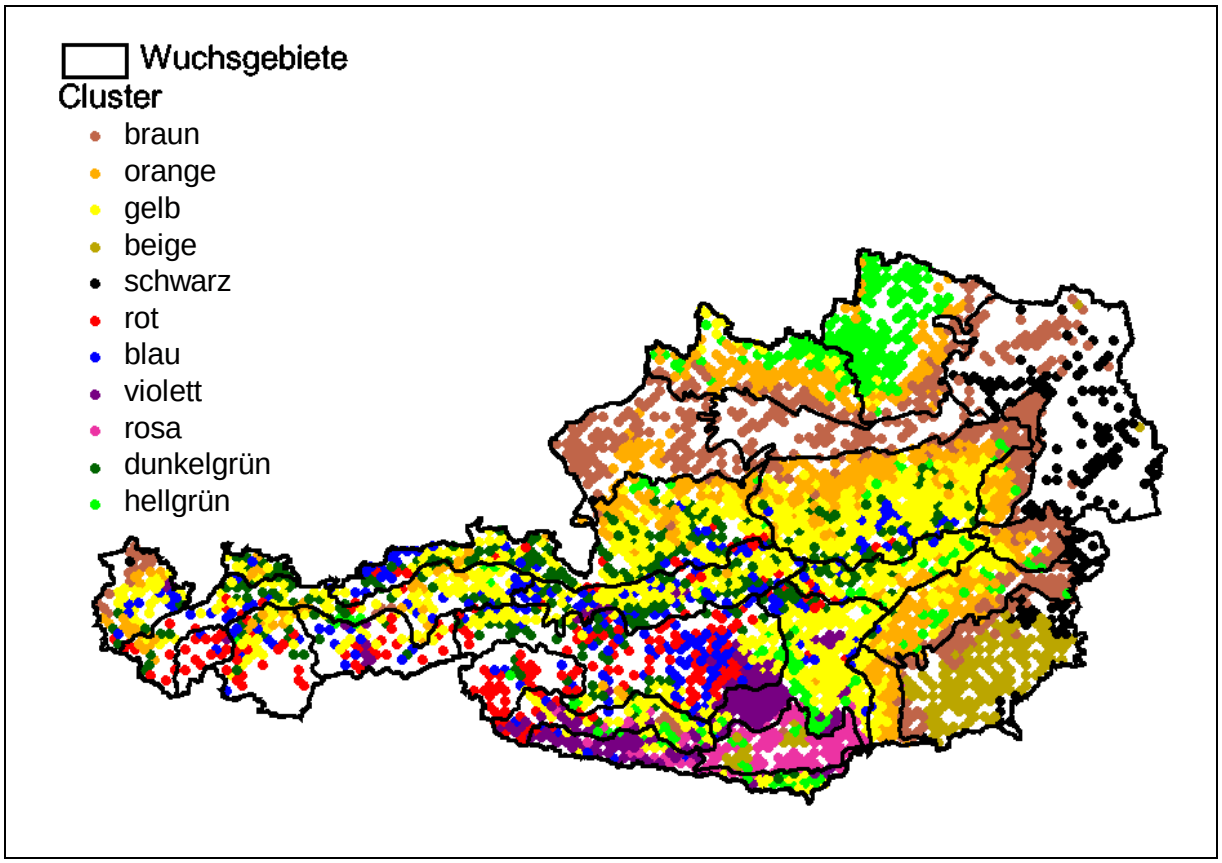


Abb. 6.3: Variante T2, 11 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.2.2.1 Kurzresümee der Variante T2

I.A. lässt sich sagen, dass durch die Zugabe des Parameters SO_ABS_JUL das Bild gegenüber der Variante T1 v.a. in den Alpen räumlich etwas heterogener wird, sich praktisch alle Cluster mehr oder weniger ändern und die Fusionsabfolge vergleichbarer Cluster teilweise geändert wird, wobei die Clustervarianten mit 11 Clustern wiederum viele Parallelen zeigen. Der dunkelgrüne Cluster ist praktisch der einzige Cluster, welcher neu entsteht, der hellblaue „Kältecluster" verschwindet hingegen. Parallelen zu den Wuchsgebieten ergeben sich zwischen braun und den Wuchsgebieten 7.1 und 7.2, zwischen schwarz und Wuchsgebiet 8.1, zwischen beige und Wuchsgebiet 8.2 sowie zwischen rosa und Wuchsgebiet 6.2.

6.2.3 Variante T3

Verwendete Variablen: AMPLJA, FROSTT

Die Karte (siehe Abb. 6.4) zeigt ein räumlich sehr heterogenes Bild, weshalb sie nicht näher behandelt wird. Interessant ist hier, dass das Klagenfurter Becken und der illyrische Raum zusammen einen Cluster bilden.

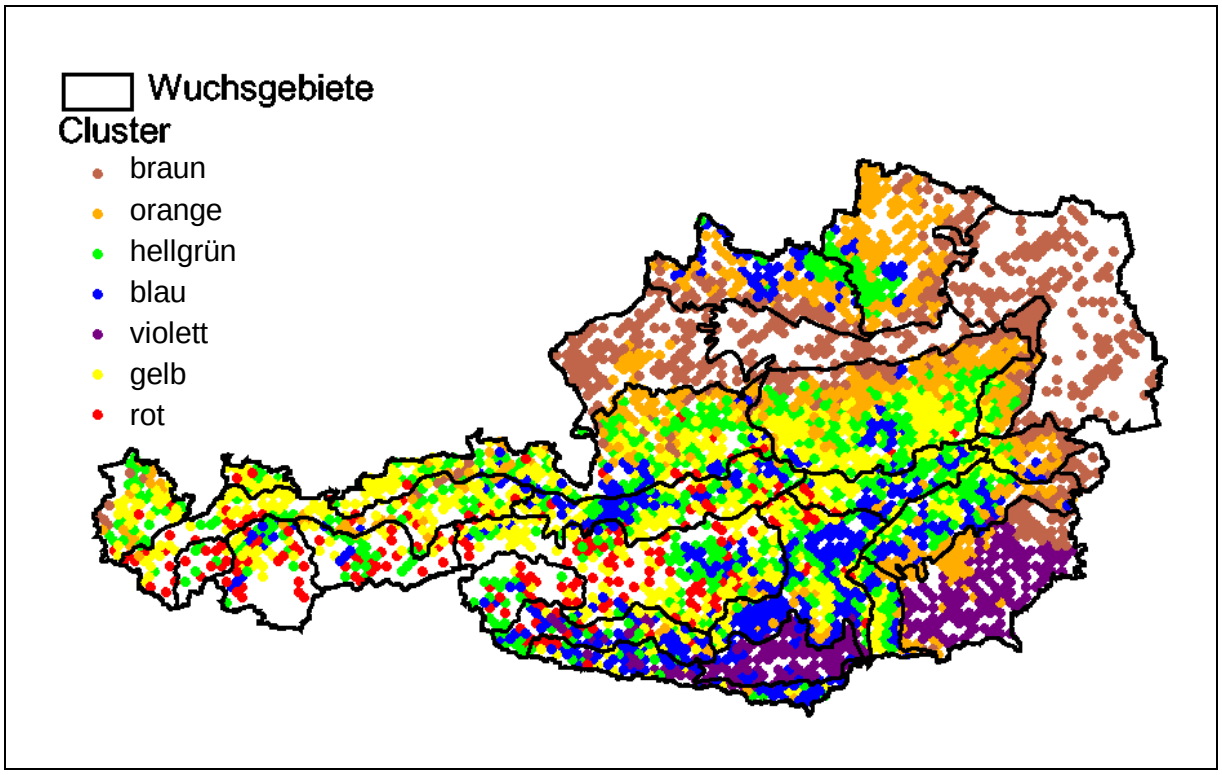


Abb. 6.4: Variante T3, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.2.4 Variante T4

Verwendete Variablen: MIN_TEMP und AMPLJA

Die Karte (siehe Abb. 6.5) zeigt die Variante für 7 Cluster, wobei das Bild eine große Ähnlichkeit zur Variante T1 und Variante T2 aufweist. Die ersten 3 Cluster sind der „Flach- und Hügellandcluster“ (braun und violett), der „Gebirgscluster“ (orange, gelb, blau) und der „Hochgebirgscluster“ (rot und hellblau). Nun spaltet sich gelb ab und es teilt sich violett und braun, danach trennt sich blau und schließlich hellblau ab.

Der braune „Flach- und Hügellandcluster“ (hohe AMPLJA und MIN_TEMP) reicht auch hier, wie in Variante T2, bis in den illyrischen Raum hinunter, der rote „Hochgebirgscluster“ (geringe AMPLJA und MIN_TEMP) ist ähnlich wie in Variante T1, da er wieder stark durch die MIN_TEMP geprägt ist und die „Inseln“ im gelben Cluster stärker ausgeprägt sind. Der orange „Randalpencluster“ (höhere MIN_TEMP und AMPLJA) liegt wieder zwischen braunem und gelben Cluster, jedoch rückt er hier noch weiter in den gelben Cluster vor, als in Variante T2. Er wird dadurch breiter, nimmt auch im Inntal und Rheintal größere Teile ein und deckt sich recht gut mit den Wuchsgebieten 5.3 und 5.4. Der gelbe „wärmere Gebirgscluster“ (mittlere MIN_TEMP und geringere AMPLJA) wird vom orangen, blauen und roten Cluster hier stark eingeengt und durchsetzt. Der violette „Kontinentalitätscluster“ wird durch hohe AMPLJA und niedrige MIN_TEMP charakterisiert, ist dem violetten Cluster aus Variante T1 recht ähnlich und weist durchaus Parallelen zum Wuchsgebiet 6.2 auf. Der blaue „kältere Gebirgscluster“ (geringere MIN_TEMP und mittlere AMPLJA) weist wieder Ähnlichkeiten zu jenem in Variante T1 auf, denn er wird stark durch die MIN_TEMP bestimmt. Er ist hier im alpinen Bereich aber räumlich etwas heterogener, in der höhergelegenen Böhmischen Masse nimmt er hingegen einen größeren, flächigen Teil ein. Zum gelben Cluster grenzt er sich durch höhere AMPLJA und niedrigere MIN_TEMP ab, vom violetten Cluster unterscheidet er sich umgekehrt durch eine niedrigere AMPLJA und eine höhere MIN_TEMP. Der hellblaue „Kälteclusters“ weist niedrige MIN_TEMP und AMPLJA auf und ist dem hellblauen Cluster in Variante T1 ähnlich.

6.2.4.1 Kurzresümee der Variante T4

I.A. ist diese Variante räumlich relativ homogen, vielleicht etwas heterogener als Variante T1, sie ist jedoch von der Variablenkonstellation nicht ganz ideal, da die MIN_TEMP ja in AMPLJA schon enthalten ist. Diese Variablenkonstellation wurde dennoch gerechnet, da sie eine sehr niedrige Korrelation aufweist (siehe Kapitel 5.2.3.2) und auch bei LARCHER (1994) (siehe Abb. 4.4) herangezogen wird.

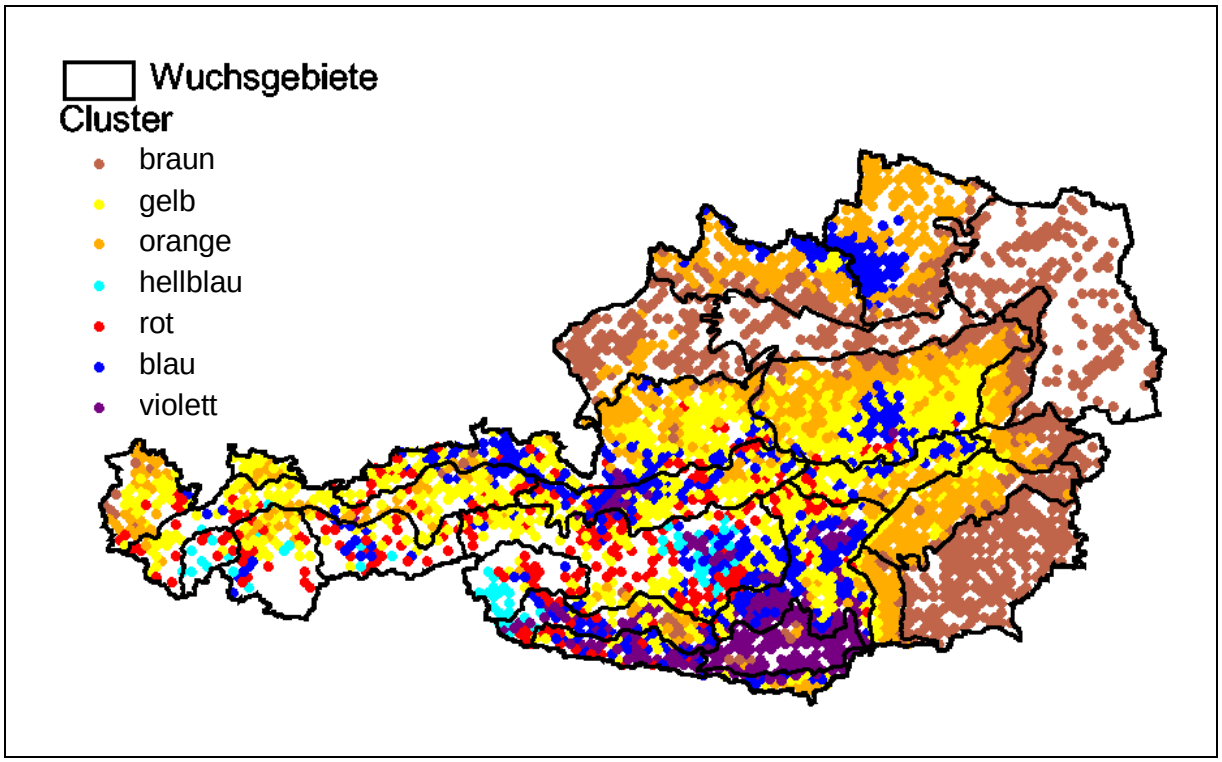


Abb. 6.5: Variante T4, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.2.5 Variante T5

Verwendete Variablen: MIN_TEMP, MAX_TEMP

Die ersten 3 Cluster (siehe Abb. 6.6) sind ein „Flach- und Hügellandcluster“ (braun und orange), ein „Gebirgscluster“ (violett, blau, gelb) und ein „Hochgebirgscluster“ (rot und hellblau). Aus dem „Gebirgscluster“ löst sich nun violett, danach teilt sich braun und orange, es folgt die Abspaltung von blau und schließlich jene von hellblau.

Der braune „Flach- und Hügellandcluster“ mit hoher MIN_TEMP und MAX_TEMP entspricht weitgehend jenem aus Variante T2, der rote „Hochgebirgscluster“ mit geringer MIN_TEMP und MAX_TEMP jenem aus Variante T1, wobei hier wieder der Einfluss von MIN_TEMP stärker sichtbar wird (z.B. Lungau). Der gelbe „wärmere Gebirgscluster“ (mittlere MIN_TEMP und MAX_TEMP) ist ebenso wie der blaue „kältere Gebirgscluster“ (niedrigere MIN_TEMP und MAX_TEMP) räumlich recht heterogen, mit Ausnahme der einheitlich vom gelben Cluster bedeckten Böhmischen Masse. Beide sind auch zu den jeweiligen Clustern aus Variante T1 ähnlich. Der orange „Randalpencluster“ (höhere MIN_TEMP und MAX_TEMP) entspricht ziemlich genau dem orangen Cluster aus Variante T2, der violette „Kontinentalitätscluster“ (höhere MAX_TEMP und niedrige MIN_TEMP) ist vergleichbar mit jenem aus Variante T1, hier nimmt er aber noch größere Gebiete ein und findet sich auch in der zentralen Böhmischen Masse. Der hellblaue „Kältecluster“ (sehr niedrige MIN_TEMP und MAX_TEMP) gleicht auch stark jenem aus Variante T1.

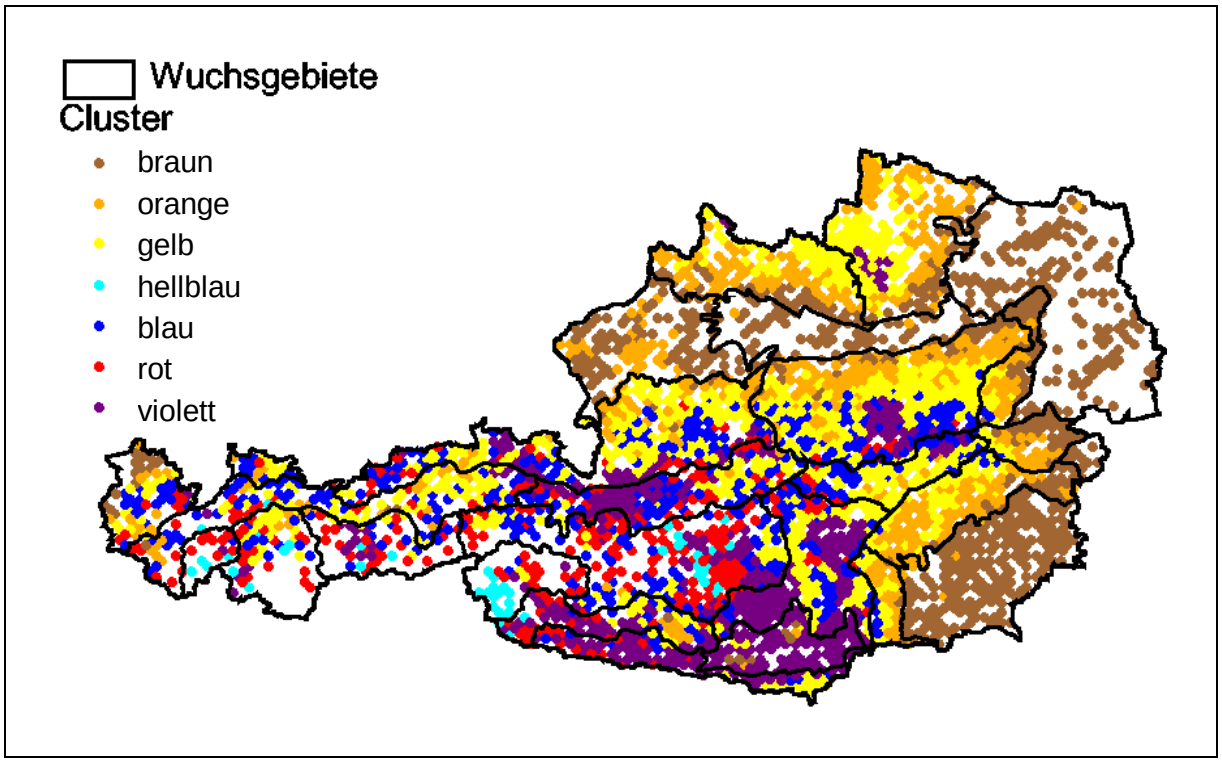


Abb. 6.6: Variante T5, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.2.5.1 Kurzresümee der Variante T5

I.A. sieht man große Ähnlichkeiten zu Variante T1, welche auf die starke Korrelation der Variablen GDD und MAX_TEMP (s.o. und 5.2.3.2) zurückzuführen sind, aber auch zur Variante T2 gibt es einige Parallelen. Interessant ist, dass diese Variante nicht ganz der Karte der thermischen Kontinentalität (siehe Kapitel 5.1.2.3) entspricht, v.a. wenn man die Gebiete mit hoher thermischer Kontinentalität untersucht. Diese Divergenz ist in der Methodik der Clusteranalyse begründet, denn hier geht ja, im Unterschied zur reinen Jahresamplitude, neben der thermischen Kontinentalität auch noch die Höhe der MIN_TEMP und MAX_TEMP ein. Auch diese Karte weist im Gebirge schon starke räumliche Heterogenitäten auf.

6.2.6 Variante T6

Verwendete Variablen: VEGPERI und AMPLJA

Die ersten 3 Cluster bilden ein „Flachland- und Randalpencluster“ (braun, orange und violett), der, ein „Gebirgscluster“ (gelb, blau) und der rote „Hochgebirgscluster“. Nun löst sich orange, danach blau und schließlich violett aus dem jeweiligen Clusterverbund.

Die Karte (siehe Abb. 6.7) zeigt die Variante für 6 Cluster, welche durchaus mit den jeweiligen Clustern der gleichen Farbe aus Variante T1 und T2 verglichen werden können. Jedoch tritt innerhalb der Alpen schon eine sehr hohe räumliche Heterogenität auf, während der braune

“Flach- und Hügellandcluster" mit sehr hoher AMPLJA und sehr langer VEGPERI noch gar nicht differenziert ist. Der gelbe “wärmere Gebirgscluster" weist eine mittlere AMPLJA und VEGPERI auf und tritt am stärksten in den Randalpen, aber auch in hochgelegenen Gebieten der Böhmischen Masse auf. Der rote “Hochgebirgscluster“ erstreckt sich wiederum über die Zentralalpen und die höhergelegenen Gebirgsregionen und ist durch eine sehr geringe AMPLJA und sehr kurze VEGPERI charakterisiert. Der orange “Randalpencluster“ liegt mit einer hohen AMPLJA und langen VEGPERI zwischen braunem und gelbem Cluster und erstreckt sich über weite Teile der Böhmischen Masse, den Alpenrand, den Hausruck sowie über zahlreiche alpine Täler und Becken.
Der blaue „kältere Gebirgs-„ Cluster weist geringe AMPLJA und eine kurze VEGPERI auf, und liegt damit zwischen rotem und gelben Cluster. Er erstreckt sich auf die höhergelegenen alpinen Gebiete, wobei interessant ist, dass dieser Cluster über den ganzen Alpenraum verteilt ist und bis an den Alpenostrand reicht. Der violette „thermische Kontinentalitätscluster“ ist geprägt von der höchsten AMPLJA und einer sehr langen VEGPERI und beschränkt sich auf das Klagenfurter Becken, sowie das Gailtal und das obere Drautal.

6.2.6.1 Kurzresümee der Variante T6

I.A. ist diese Variablenkombination aufgrund der starken räumlichen Heterogenität für eine Naturraumgliederung wenig brauchbar.

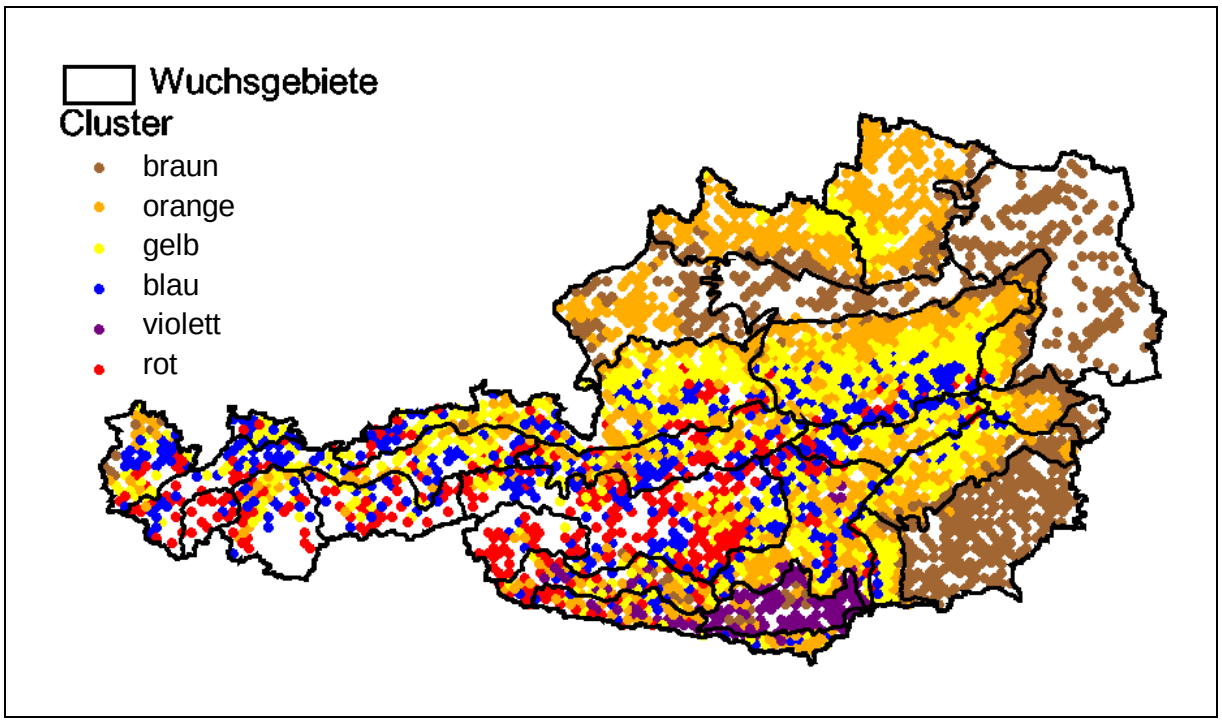


Abb. 6.7: Variante T6, 6 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.2.7 Zusammenfassung der Clustervarianten mit thermischen Variablen

Allgemein lässt sich zu den Clustervarianten mit thermischen Variablen sagen, dass diese im Gebirge durch die starke Höhenabhängigkeit der thermischen Variablen stets räumlich recht heterogen sind, im Flachland bilden sich meist räumlich homogene Cluster. Die Verwendung der Variablen MIN_TEMP führt am ehesten zur räumliche Homogenität, die Variablen SO_ABS_JUL und FROSTT tragen am stärksten zur räumlichen Heterogenität bei. Im Vergleich zu den Clustervarianten mit hygrischen Variablen (s.u.), bildet die Temperatur generell räumlich heterogenere Cluster. Ähnlich sind sich die einzelnen Varianten v.a. im Flach- und Hügelland, in den Voralpen, der Böhmischen Masse, dem Klagenfurter Becken und dem Lungau, während sie sich im Gebirge oft stark unterscheiden. Die Variante T1 und Variante T2 dürften sich hierbei für eine Naturraumgliederung am besten eignen, da sie räumlich am homogensten und inhaltlich am aussagekräftigsten sind. Variante T3 ist dafür aufgrund starken räumlichen Heterogenität durch die FROSTT am wenigsten geeignet, und auch Variante T6 ist räumlich zu heterogen.

6.3 Clustervarianten mit hygrischen Variablen (Varianten H)

6.3.1 Variante H1

Verwendete Variablen: H_BIL_VEGP, TROC_40
Abb. 6.8 zeigt die Variante mit 6 Clustern, wobei die ersten 3 Cluster vom orange „Trockencluster“, vom grünen (hell- und dunkelgrün) „mittelfeuchten Cluster“, sowie vom „humiden“ Cluster (blau, violett und schwarz) gebildet werden. Nun teilen sich die grünen Cluster, danach spaltet sich vom „humiden“ Cluster der violette Cluster, und von diesem schließlich der schwarze Cluster ab.

Der „orange Trockencluster“ mit niedriger H_BIL_VEGP und hoher TROC_40 erstreckt sich über das Wiener Becken, das Weinviertel, das Gebiet des Neusiedler Sees, Mittel- und Südburgenland, wird stärker von der TROC_40 als von der H_BIL_VEGP bestimmt und seine Grenzen stimmen meist recht schön mit jenen des Wuchsgebietes 8.1 nach KILIAN ET AL. (1994) überein.

Der hellgrüne „trockenere mittelfeuchte Cluster“ mit geringerer H_BIL_VEGP und höheren TROC_40 als dunkelgrün, aber höherer H_BIL_VEGP und niedrigeren TROC_40 als orange, liegt über dem nordöstlichen Alpenvorland, den tiefergelegenen Gebieten der Böhmischen Masse, dem Wienerwald, der Buckligen Welt, dem Oststeirischen Hügelland, dem Klagenfurter Becken und Drautal sowie über dem unteren Ötztal. Er wird v.a. durch die TROC_40 bestimmt und weist durchaus Parallelen zu den Grenzen der Wuchsgebiete 6.2 und 7.2 auf.

Der „humide“ blaue Cluster (H_BIL_VEGP hoch, TROC_40 niedrig) nimmt zusammen mit violett und schwarz das Gebiet der Nordalpen und westliche Zwischenalpen, die gesamten alpinen Gebiete Vorarlbergs, sowie die höhergelegenen Bereiche der Zentralalpen und der östlichen bzw. südlichen Rand- und Zwischenalpen ein, wobei sich blau auf die eher niedrigeren, weniger feuchten Gebiete beschränkt. Die H_BIL_VEGP ist hier höher und TROC_40 niedriger als in dunkelgrün, und der Cluster weist hierbei schöne Parallelen zu den Wuchsgebieten 5.4 und 6.1 auf.

Der dunkelgrüne „humidere mittelfeuchte Cluster“ erstreckt sich über das nordwestliche Alpenvorland (ab dem Hausruck) sowie den nördlichen Alpenrand, das Weststeirische Hügelland, die höhergelegene Böhmische Masse, das Gebiet des Ötz-, Inn- und Rheintals, die Ötztaler und Stubaier Alpen sowie die tiefergelegenen Teile der östlichen und südlichen Rand- und Zwischenalpen und wird auch stärker durch die TROC_40 bestimmt.

Der „sehr humide“ violette Cluster weist sehr hohe H_BIL_VEGP und sehr niedrige TROC_40 auf, wobei sich dieser vom blauen Cluster v.a. durch die höhere H_BIL_VEGP unterscheidet. Er erstreckt sich meist über die etwas höher gelegenen Gebiete der nördliche Kalkalpen vom Lunzer See im Osten bis in den Bregenzer Wald im Westen, wobei das Gebiet des südlichen Außerferns vermutlich fälschlicher Weise nicht dazugehört, was auf die hier etwas mangelhaften TROC_40 zurückzuführen ist (siehe Kapitel 5.1.2.9). Weiters gehören die Kitzbühler Alpen, Teile des Alpenhauptkammes von den Zillertaler Alpen bis zu den Nockbergen, der Alpenrand Vorarlbergs, die höchsten Erhebungen der Koralpe sowie Teile der Karawanken violett an.

Der „stark humide“ schwarze Cluster weist schließlich die höchste H_BIL_VEGP und die geringste TROC_40 auf, wobei dieser Cluster wiederum v.a. durch die H_BIL_VEGP festgelegt wird. Der Cluster erstreckt sich v.a. über die nördlichen Kalkalpen, und hier auf die Bereiche Gesäuse, Totes Gebirge, Höllengebirge, Dachstein bis Tennengebirge, Loferer Steinberge und Kitzbühler Alpen, nördliches Karwendel, nördlicher Außerfern und Bregenzer Wald. Auch die gesamten alpinen Regionen Vorarlbergs, Gebiete des Alpenhauptkamms (von den Zillertaler bis zu den Schladminger Alpen) und der Karawanken gehören diesem Cluster an.
Bis zu diesem Cluster kann man von einer räumlich einigermaßen homogenen, überschaubaren Naturraumgliederung sprechen.

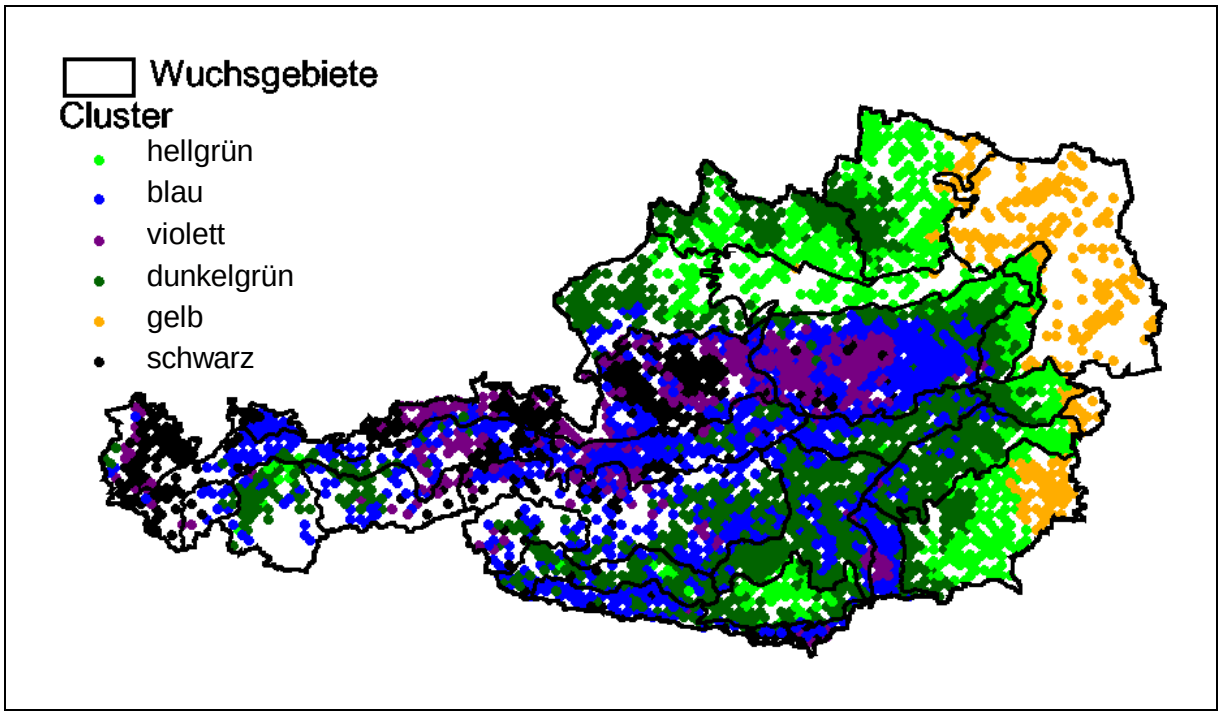


Abb. 6.8: Variante H1, 6 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Als 7. hellblauer Cluster (siehe Abb. 6.9), der aus dem dunkelgrünem Cluster hervorgeht, bildet sich ein schon räumlich recht heterogener Zwischencluster aus, welcher räumlich und von den Variablen her zwischen blauen und dunkelgrünem Cluster liegt und sich grob gesprochen über mittelhohe Bergregionen erstreckt.

Auch der 8. beige-grüne Cluster stellt einen Übergangscluster zwischen dunkel- und hellgrün (aus welchem er hervorgeht) dar und erstreckt sich über hügelige Gebiete.

Der 9. braune „sehr trockene“ Cluster ist schließlich wieder räumlich recht homogen, geht aus dem orangen Cluster hervor, zeichnet sich durch die geringste H_BIL_VEGP und höchsten TROC_40 aus und wird stärker durch die TROC_40 bestimmt. Er erstreckt sich über das Weinviertel, das Tullnerfeld, das Wiener Becken sowie das Gebiet des Neusiedler Sees, wobei das Leithagebirge wiederum ausgespart bleibt.

6.3.1.1 Kurzresümee der Variante H1

I.A. weisen die hier erzeugten Cluster eine einfache Abstufung von feucht bis trocken für beide Variablen auf, so dass die Kombination H_BIL_VEGP und TROC_40 beide niedrig bzw. beide hoch nicht vorkommt. Es fällt auf, dass die Cluster im Flachland bis ca. zum beige-grünen Cluster v.a. durch die TROC_40, im Gebirge v.a. durch die H_BIL_VEGP festgelegt werden, was darauf zurückzuführen ist, dass die TROC_40 im Flachland, die H_BIL_VEGP hingegen im Gebirge wesentlich stärker differenziert ist (siehe Kapitel 5.1.2.9, 5.1.2.11).

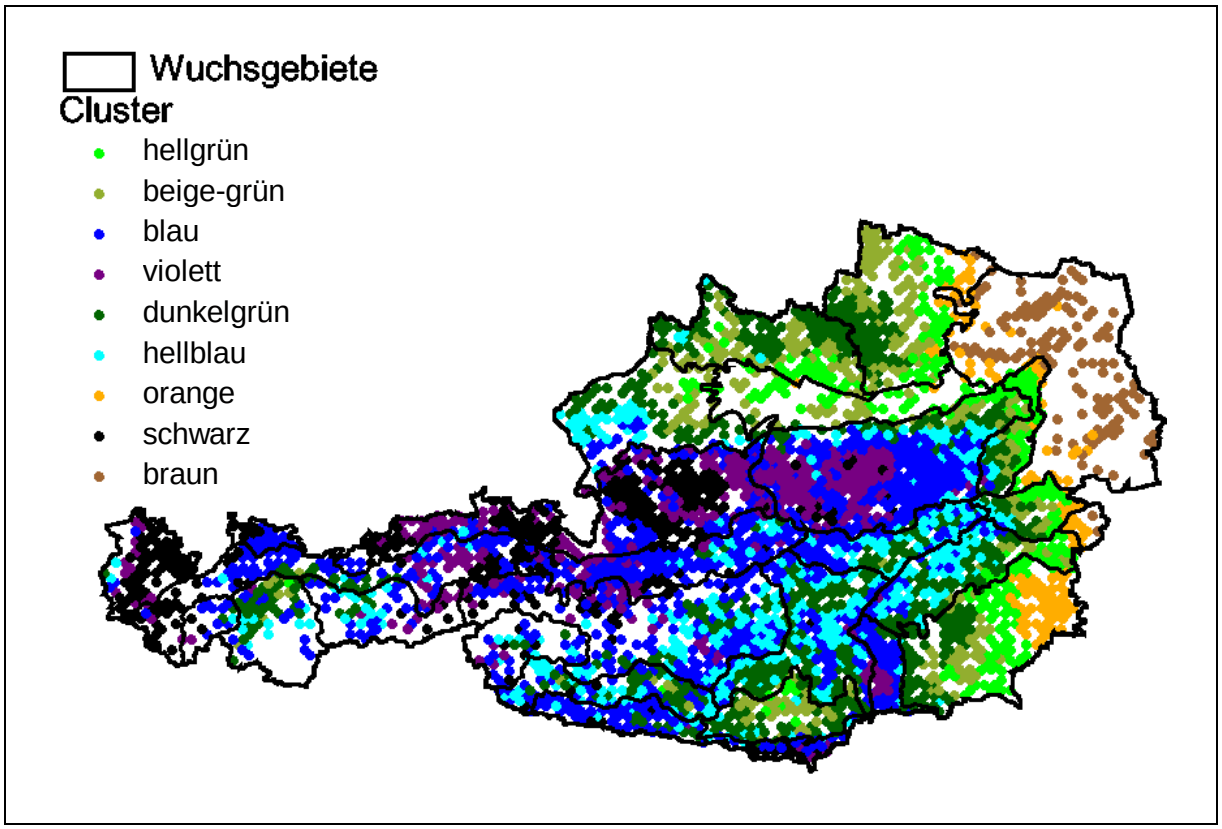


Abb. 6.9: Variante H1, 9 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.3.2 Variante H2

Verwendete Variablen: H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS

Variante H2 (siehe Abb. 6.10a-h) unterscheidet sich von Variante H1 durch die zusätzliche Aufnahme der Variablen GAMS. Die ersten 3 Cluster (siehe Abb. 6.10a) zeigen schon ein ziemlich anderes Bild als in Variante H1. Sie bestehen aus dem „hygrisch kontinentalen" dunkelgrünen Cluster, dem „humiden" blauen Cluster und dem orangen „Trockencluster". Nun löst sich vom „Trockencluster" der hellgrüne und von diesem wiederum der beige-grüne Cluster ab, zuletzt teilt sich der „humide" Cluster in blau und hellblau. Hier, beim Stand von 6 Clustern (siehe Abb. 6.10d) liegt eine räumlich recht homogene Naturraumgliederung vor, welche nun besprochen werden soll.

Im v.a. durch GAMS festgelegten „hygrisch kontinentalen" dunkelgrünen Cluster ist GAMS sehr hoch, d.h. kontinental, die TROC_40 sind recht gering, während die H_BIL_VEGP stark schwankt. Dieser Cluster schiebt sich im Vergleich zum dunkelgrünen Cluster aus Variante H1 durch die Herreinnahme von GAMS weiter in die Zentralalpen. Er erstreckt sich in den Zentralalpen vom Bereich südlich des Inntals, über den Lungau, Osttirol und Nordkärnten bis in die Niederen Tauern, und reicht in die Steirisch-Niederösterreichischen Kalkalpen bis zum Wechselgebiet. Außeralpin gehören die höheren Regionen der Böhmischen Masse (Weinsberger- und Freiwald) diesem Cluster an.

Der „feuchte“ blaue Cluster wird beeinflusst durch eine hohe H_BIL_VEGP und niedrige TROC_40, wobei GAMS (um den mittlerer Bereich schwankend) hier weniger Einfluss auf die Clusterbildung hat. Der Cluster ist ähnlich zum blauen Cluster (incl. violett und schwarz) aus Variante H1 (6 Cluster), jedoch wird hier durch die Herreinnahme von GAMS der Bereich der Zentralalpen durch den hellblauen Cluster abgeschnitten (siehe auch Kapitel 6.4.6). Er umfasst im Wesentlichen die nördlichen Kalkalpen (vom Rätikon bis ins Ötscherland), die Silvretta, die Karawanken und die Koralpe, nimmt aber auch Gebiete der Kitzbühler Alpen und der Hohen bzw. Schladminger Tauern ein. Recht gut korrespondiert hier wiederum die Grenze des Clusters mit der Nord- und Südgrenze des Wuchsgebiets 4.1 und der Ostgrenzen von 6.1.

Der „trockene“ orange Cluster ähnelt stark dem orangen Cluster aus Variante H1 (6 Cluster), jedoch bewirkt die Hereinnahme von GAMS, dass auch dieser etwas weiter nach Westen reicht, so dass auch das Ennsfeld und größere Teile des Oststeirischen Hügellandes dazugehören. Er wird v.a. durch sehr hohe TROC_40 und GAMS (stark ozeanisch) festgelegt, die niedrige H_BIL_VEGP hat zur Bildung des Clusters weniger Einfluss. Das Wuchsgebiet 8.1. korrespondiert wiederum recht gut mit diesem Cluster.

Der hellgrüne Cluster, welcher sich im Vergleich zu Variante H1 (6 Cluster) etwas weiter nach Westen bzw. ins feuchtere Gebiet schiebt, ist hygrisch noch ozeanisch, die H_BIL_VEGP ist eher gering, die TROC_40 liegen aber schon eher im Mittelfeld. Zum orangen Cluster unterscheidet er sich durch höhere H_BIL_VEGP, niedrigere TROC_40 und eine niedrigere hygrische Ozeanität. Er erstreckt sich über das Weststeirische Hügelland, den äußersten östlichen Alpenrand (vom Wienerwald bis ins Günser Gebirge), das nördliche Alpenvorland, das Rheintal sowie über die trockeneren, ozeanischeren Gebiete des Klagenfurter Beckens.

Der beige-grüne Cluster stellt einen Übergangscluster zwischen hell- und dunkelgrün dar. GAMS ist kontinentaler, TROC_40 ist meist niedriger, die H_BIL_VEGP ist aber nur teilweise feuchter als in hellgrün. Beige-grün wandert gegenüber dem beige-grünen Cluster in Variante H1 (6 Cluster) aus dem Flach- und Hügelland in Richtung höherer hygrischer Kontinentalität, d.h. in die Zentralalpen und die Böhmische Masse. Er wird nicht klar von einer bestimmten Variablen festgelegt, TROC_40 (mittlerer Bereich) und GAMS (mittlerer Bereich mit Schwankungen) haben aber einen etwas stärkeren Einfluss bei der Clusterbildung, als H_BIL_VEGP (mittel bis gering). Dieser Cluster tritt am Alpenostrand, im Wienerwald, am Rand des Klagenfurter Beckens, in den tiefergelegenen Gebieten der Böhmischen Masse sowie in Teilen des Inn- Enns-, Mur-, Mürz- und Drautales auf.

Der hellblaue „nördliche Zwischenalpen“ Cluster (siehe auch Kapitel 6.4.6) bildet einen Übergangscluster zwischen dem feuchten blauen und kontinentalen dunkelgrünen Cluster. Er unterscheidet sich vom blauen Cluster v.a. durch eine niedrigere H_BIL_VEGP aber auch durch eine höhere hygrische Kontinentalität und TROC_40, vom dunkelgrünem Cluster v.a. durch seine höhere hygrische Ozeanität in GAMS. Festgelegt wird dieser Cluster durch GAMS, H_BIL_VEGP und TROC_40. Der Cluster erstreckt sich über die nördlichen Zwischenalpen (zwischen Nördlichen Kalkalpen und Zentralalpen), das Mariazeller Land, die Steirisch-

Niederösterreichischen Kalkalpen, die Pack- und Kleinalpe, die weniger feuchten Gebiete der Südlichen Kalkalpen (v.a. Gailtaler Alpen) sowie das Drautal. Dieser Cluster korrespondiert recht schön mit dem Hauptwuchsgebiet der Nördlichen Zwischenalpen (2.1 und 2.2), schert jedoch dann interessanter Weise in Osten in die Nördlichen Kalkalpen aus. Auch die Wuchsgebiete 5.4 und 6.1, sowie die Südgrenze von 4.2 werden teilweise gut getroffen.

Bis hierher liegt eine räumlich recht homogene Naturraumgliederung vor.

Der 7. violette „sehr feuchte“ Cluster (siehe Abb. 6.10h) ist schon räumlich recht heterogen und wird v.a. durch eine hohe H_BIL_VEGP bestimmt, während GAMS (unterschiedlich hoch) und TROC_40 (niedrig) kaum Einfluss auf die Clusterbildung haben. Er erstreckt sich über die höhergelegenen feuchten Bereiche der Alpen des ursprünglich blauen Cluster und weicht schon sehr stark vom violetten Cluster in Variante H1 ab.

Der 8. rote „Kontinentalitätscluster“ geht aus dem dunkelgrünen Cluster hervor, ist der Bereich höchster hygrischer Kontinentalität (GAMS sehr hoch) und wird fast ausschließlich durch GAMS bestimmt, wobei die H_BIL_VEGP und die TROC_40 hier unterschiedlich hoch sind. Dieser Cluster weist aufgrund des großen Einflusses der Temperatur in der Variablen GAMS (siehe Kapitel 5.1.2.8) innerhalb der Zentralalpen eine recht ähnlicher räumliche Verteilung wie der roten Cluster in Variante T1 auf.

Der 9. graue Cluster ist der feuchtere Bereich des ursprünglich hellgrünen Clusters, und unterscheidet sich daher von diesem durch eine höhere H_BIL_VEGP bzw. niedrigere TROC_40.

Der 10. braune „sehr trockene“ Cluster geht aus dem orangen Cluster hervor und weist die geringste H_BIL_VEGP, höchsten TROC_40 aber auch die stärkste hygrische Ozeanität auf. Festgelegt wird dieser Cluster v.a. durch TROC_40 und GAMS, wobei bei letzterem wieder die Temperaturkomponente (s.o.) zu Tragen kommt, so dass dieser Cluster eher dem schwarzen „Hitzecluster“ aus Variante T1 entspricht, als dem braunen „sehr trockenen“ Cluster aus Variante H1. So umfasst der braune Cluster das Tullner Feld, das Wiener Becken, das Gebiet des Neusiedler Sees und das Mittelburgenland, jedoch gehört das Weinviertel zum überwiegenden Teil nicht diesem Cluster an.

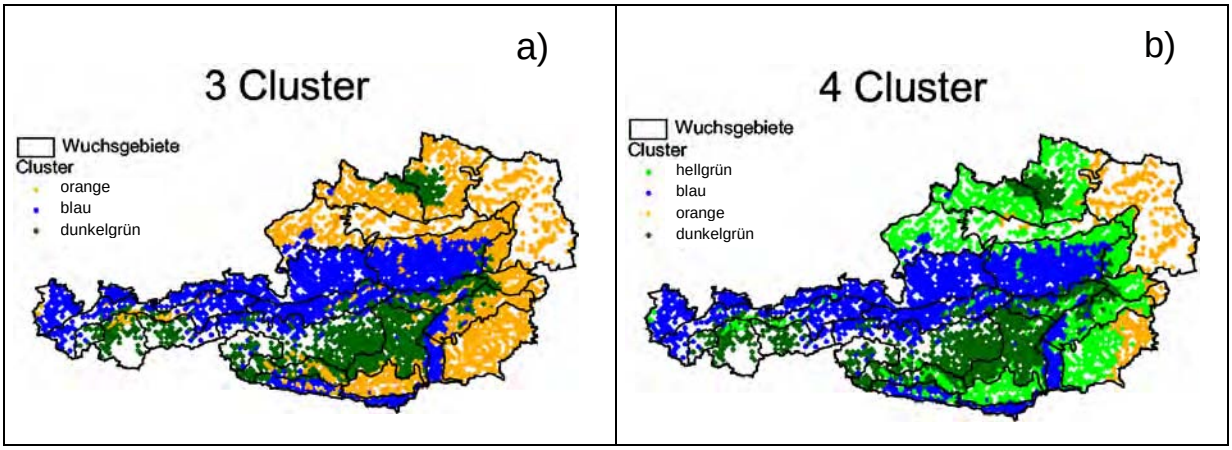


Abb. 6.10a-b: Variante H2 Quelle: eigene Berechnungen

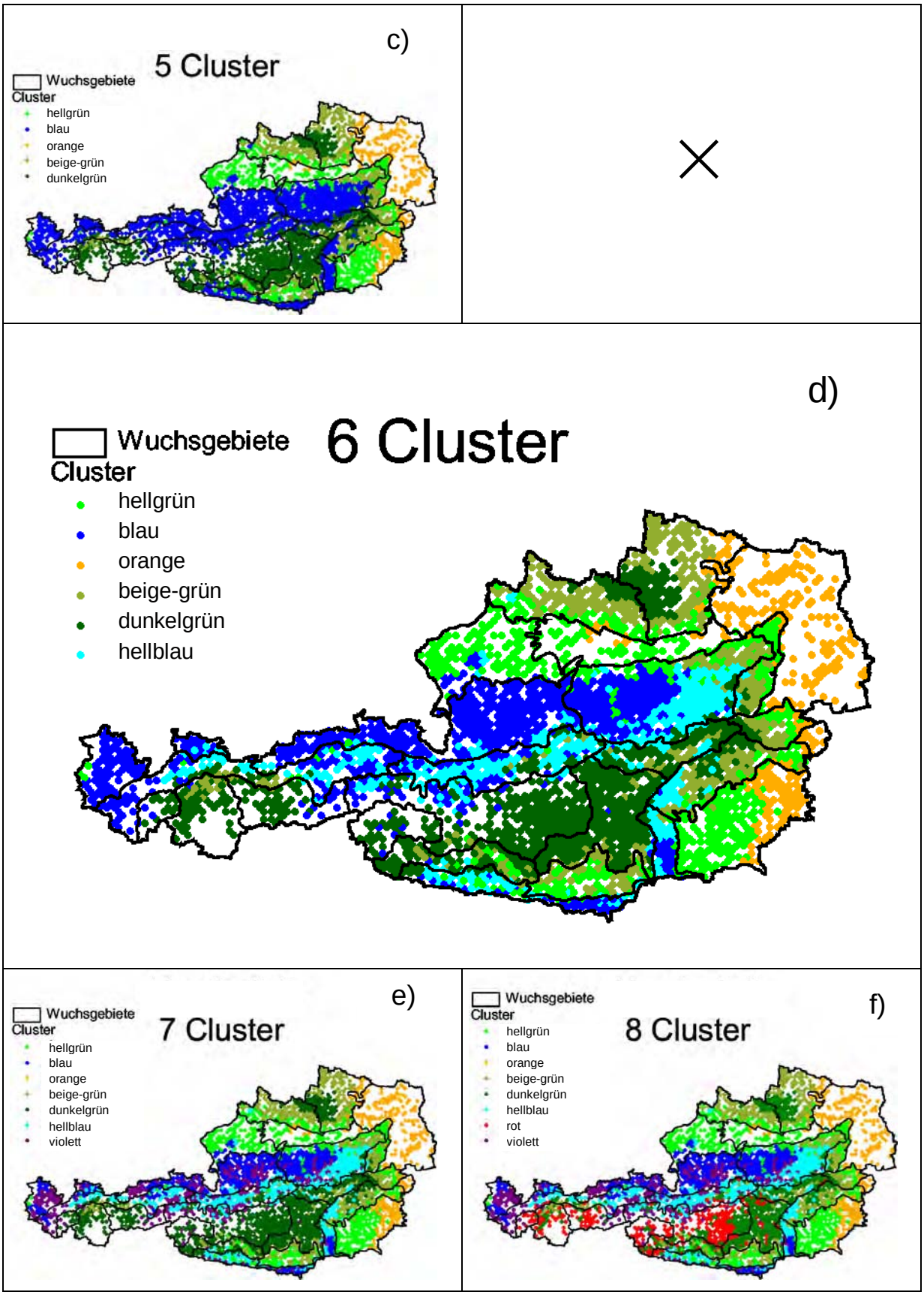


Abb. 6.10c-f: Variante H2 Quelle: eigene Berechnungen

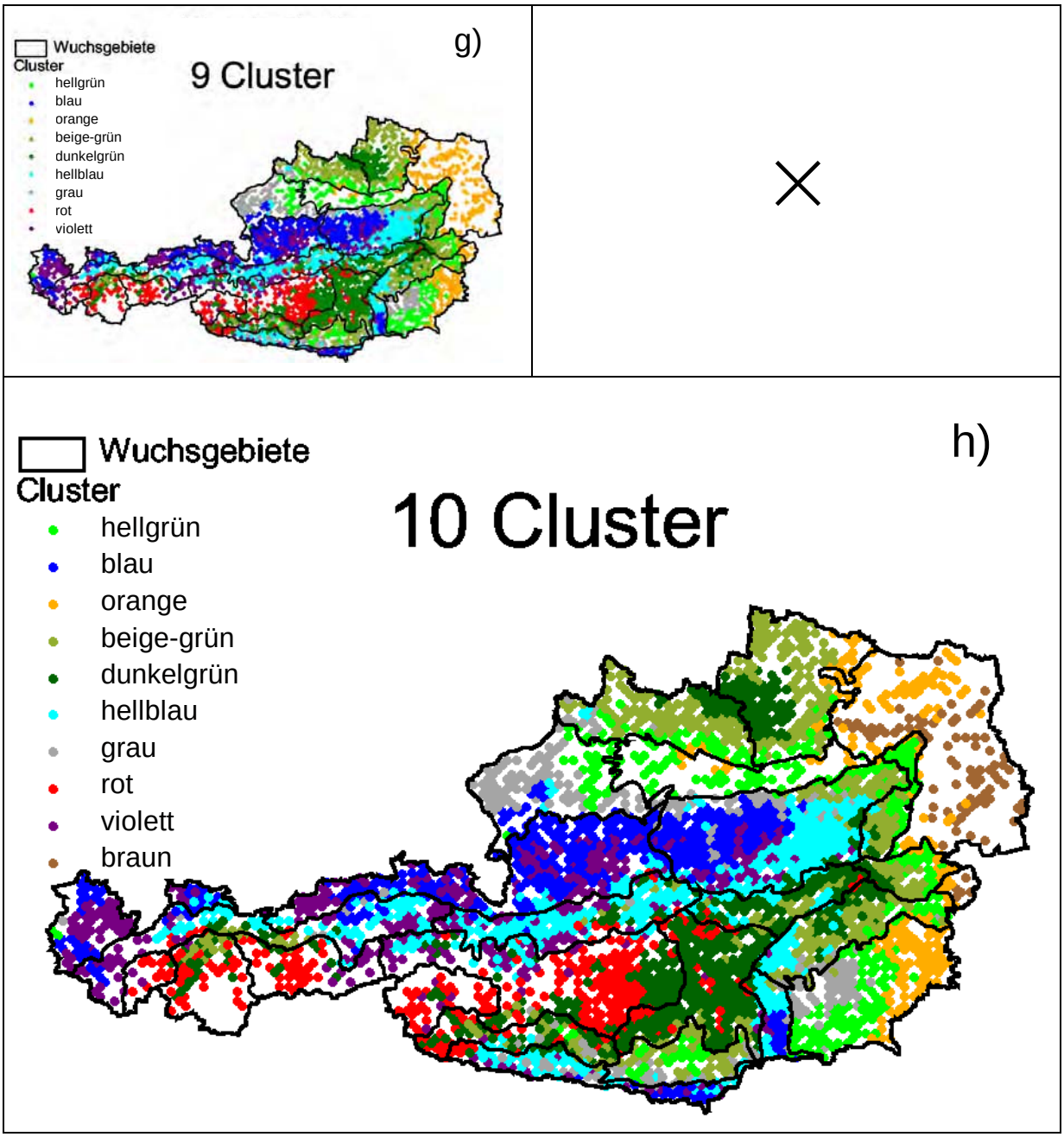


Abb. 6.10g-h: Variante H2 Quelle: eigene Berechnungen

6.3.2.1 Kurzresümee der Variante H2

I.A. zeigt sich auch hier, dass die H_BIL_VEGP im Gebirge, TROC_40 eher im Flachland mehr Einfluss auf die Clusterbildung hat, während GAMS im Flachland und im Gebirge ca. gleich stark differenziert ist und somit vielfach die Clusterbildung mitbestimmt. Die Herreinnahme der Variablen GAMS führt generell zu einer größeren räumlichen Homogenität, da sie selbst räumlich weniger differenziert ist. Sie lässt den roten Zentralalpen und den hellblauen nördlichen Zwischenalpen Cluster neu entstehen (siehe auch Kapitel 6.4.6). Darüber hinaus rücken die Cluster orange, hellgrün, beige-grün und dunkelgrün allesamt weiter nach Westen.

6.3.3 Variante H3

Verwendete Variablen: H_BIL_VEGP, TROC_60

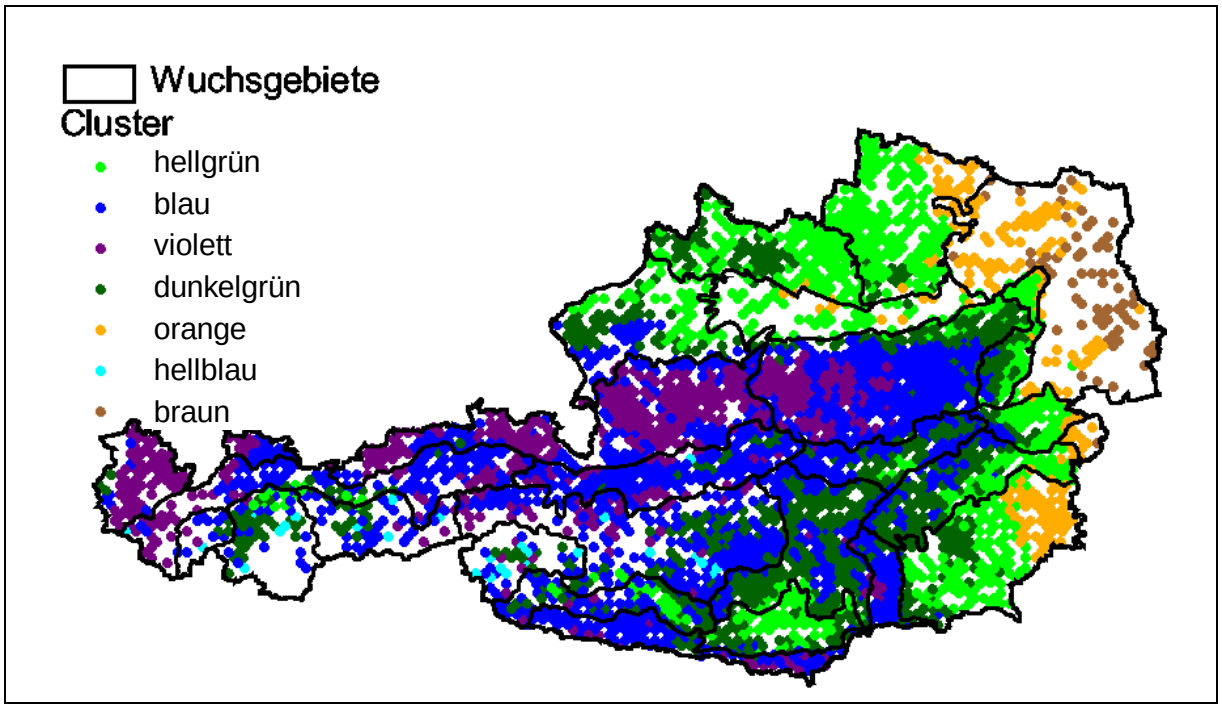


Abb. 6.11: Variante H3, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Die Karte (siehe Abb. 6.11) zeigt durchaus viele Ähnlichkeiten zu Variante H1 (6 Cluster), wobei der blaue Cluster hier etwas größer wird, der hellgrüne und gelbe Cluster etwas nach Westen wandern, der violette Cluster sich etwas verkleinert (gegenüber violett und schwarz in Variante H1) und sich der braune Cluster gegenüber dem braunen Cluster aus Variante H2 (10 Cluster) nach Norden verschiebt und das Tullner Feld nicht mehr mit einschließt. Es fällt jedoch auf, dass der dunkelgrüne Cluster aufgrund der dort relativ konstanten TROC_60 (siehe Kapitel 5.1.2.10) in den höheren Gebieten der Böhmischen Masse fehlt, was vermutlich nicht der Realität entspricht. Weiters tritt der hellblaue Cluster aufgrund TROC_60 nur punktförmig im Hochgebirge auf, was zu einer starken räumlichen Heterogenität führt. Aus diesen Gründen erscheint die Variable TROC_60 für eine Naturraumgliederung weniger geeignet.

6.3.4 Variante H4

Verwendete Variablen: H_BIL_VEGP und GAMS

Variante H4 unterscheidet sich von Variante H2 durch den Wegfall der Variablen TROC_40. Die Karte (siehe Abb. 6.12) zeigt das Bild mit 5 Clustern, welches zu Variante H2 (6 Cluster) recht ähnlich ist und nun mit diesem verglichen wird. Die ersten 3 Cluster bilden der „Flach- und Hügellandcluster“ (orange und hellgrün), der dunkelgrüne „kontinentale Gebirgscluster“

und der „feuchtere Gebirgscluster“ (blau und hellblau). Es löst sich nun hellgrün und danach hellblau aus dem Clusterverbund.

Der „kontinentale“ dunkelgrüne Cluster (GAMS sehr hoch, H_BIL_VEGP schwankt stark) ist im Norden (d.h. im Salzachtal) und v.a. in der höhergelegenen Böhmischen Masse gegenüber Variante H2 stärker ausgeprägt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass GAMS hier einen größeren Einfluss ausübt, da nur 2 Variablen vorhanden sind, und so die hygrische Kontinentalität der Böhmischen Masse stärker ins Ergebnis eingeht. Die Grenzen des Wuchsgebiets 3.2 korrespondieren teilweise sehr gut mit diesem Cluster.

Der blaue „feuchte“ Cluster (H_BIL_VEGP sehr hoch, GAMS zwischen Mittelbereich und ozeanisch schwankend) ist im Vergleich zur Variante H2 aufgrund der sehr starken Betonung von GAMS im Osten etwas früher begrenzt und am Alpenhauptkamm nicht mehr zu finden (siehe auch Kapitel 6.4.6), wobei letzteres zu einer noch größeren räumlichen Homogenität führt. So decken sich dessen Grenzen zum Teil recht gut mit jenen der Wuchsgebiete 4.1. und 6.1.

Der orange „trockene“ Cluster (H_BIL_VEGP niedrig, GAMS ozeanisch) ist hier viel größer als in Variante H2, da die das Flachland stark differenzierenden TROC_40 wegfallen. So schiebt sich dieser weit in den hellgrünen Cluster und umfasst nun darüber hinaus noch das gesamte Alpenvorland (mit Ausnahme des Hausrucks), den gesamten illyrischen Raum, Teile des Klagenfurter Beckens und des Wienerwaldes sowie das Rheintal. Als einzige Clustervariante mit hygrische Variablen korrespondiert hier der orange Cluster sehr schön mit den Grenzen vom Wuchsgebiet 8.2.

Der 4. hellgrüne Cluster (H_BIL_VEGP eher gering, GAMS mittel bis kontinental) verschiebt sich weit in Richtung höhere Kontinentalität nach Westen in die Randalpen und nach Norden in die Böhmischen Masse, aber auch ins nördliche Weinviertel (Leiser Berge).

Der 5. hellblaue „nördliche Zwischenalpencluster“ (H_BIL_VEGP geringer, GAMS kontinentaler als in blau) ist auch jenem von Variante H2 recht ähnlich, reicht auch in die nördlichen Kalkalpen hinein und breitet sich gegenüber Variante H2 durch die stärkere Betonung von GAMS nach Süden und im Osten auf Kosten von blau aus, im Bereich der Kleinalpe wird er hingegen verkleinert (siehe auch Kapitel 6.4.6). Er weist Parallelen zum Wuchsgebiet 2.2. und 6.1 auf.

Bis hierher liegt eine sehr schöne, räumlich homogene Gliederung vor.

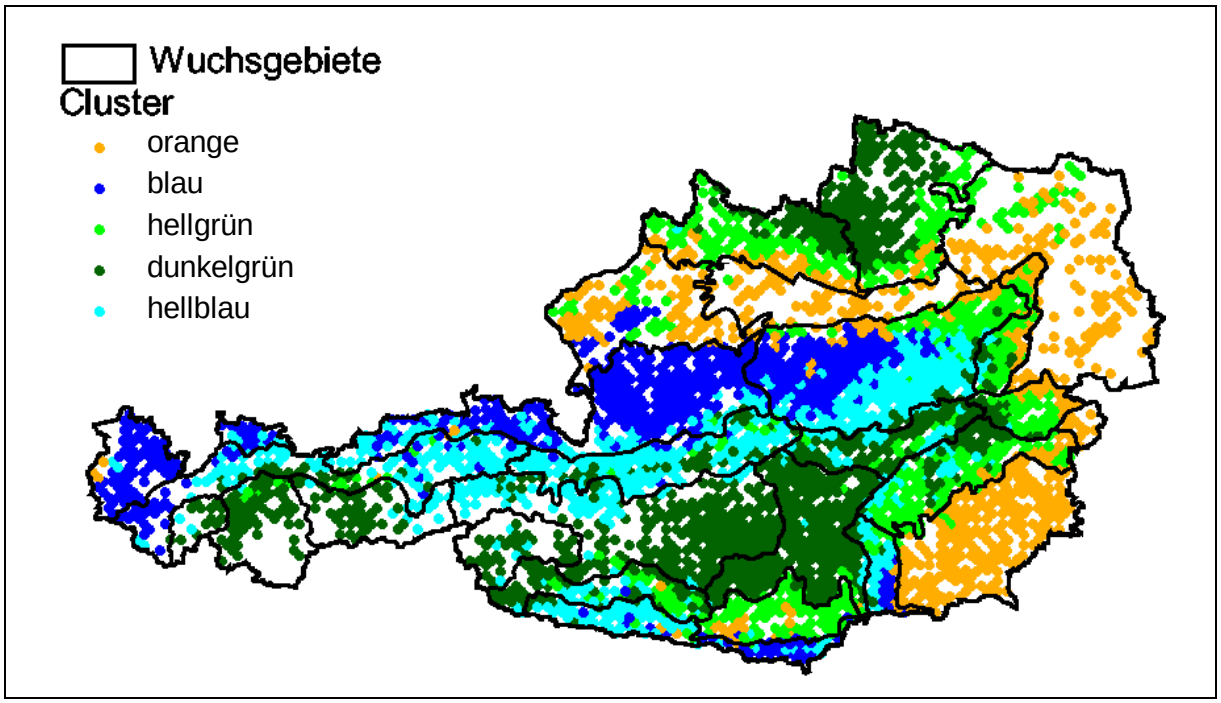


Abb. 6.12: Variante H4, 5 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Der 6. rote „feuchtere Kontinentalitätscluster“ (hohe hygrische Kontinentalität, H_BIL_VEGP eher hoch) (siehe Abb. 6.13) entsteht aus dem dunkelgrünen Cluster. Er lässt den starken Einfluss von GAMS, aber auch von H_BIL_VEGP hier erkennen, denn der Cluster zieht sich gegenüber rot in Variante H2 (10 Cluster) weit nach Osten bis ins Wechselgebiet, da hier noch immer höhere hygrische Kontinentalität herrscht. So wird der verbleibende dunkelgrüne Cluster nun zum „trockeneren Kontinentalitätscluster“ (GAMS hoch, H_BIL_VEGP niedrig), wobei GAMS und H_BIL_VEGP in diesem niedriger sind, als im roten Kontinentalitätscluster. Der dunkelgrüne Cluster wird stark eingeschränkt und beschränkt sich nun v.a. auf die Böhmische Masse und die trockenen Talbereiche des ursprünglichen dunkelgrünen Clusters.

Der 7. braune „stark trockene“ Cluster (H_BIL_VEGP sehr niedrig, GAMS stark ozeanisch) geht aus dem orangen Cluster hervor und zieht sich hier v.a. durch GAMS bedingt weit nach Süden bis ins südliche Burgenland.

Der 8. violette „stark humide“ Cluster geht aus dem blauen Cluster hervor und stellt wiederum die Gebiete mit höchster H_BIL_VEGP dar, wobei GAMS im Mittelbereich liegt. Auch hier sieht man den stärkeren Einfluss von der H_BIL_VEGP, welche den Cluster nahezu alleine festlegt. Dieser erstreckt sich über die alpinen Bereiche Vorarlbergs, den Dachstein, das Tennengebirge und das Tote Gebirge und gleicht etwas dem schwarzen Cluster aus Variante H1.

6.3.4.1 Kurzresümee der Variante H4

I.A. lässt sich sagen, dass hier durch die starke Betonung von GAMS schöne flächig homogene Räume erzeugt werden, wobei das Flachland durch die fehlenden TROC_40 erst sehr spät differenziert wird.

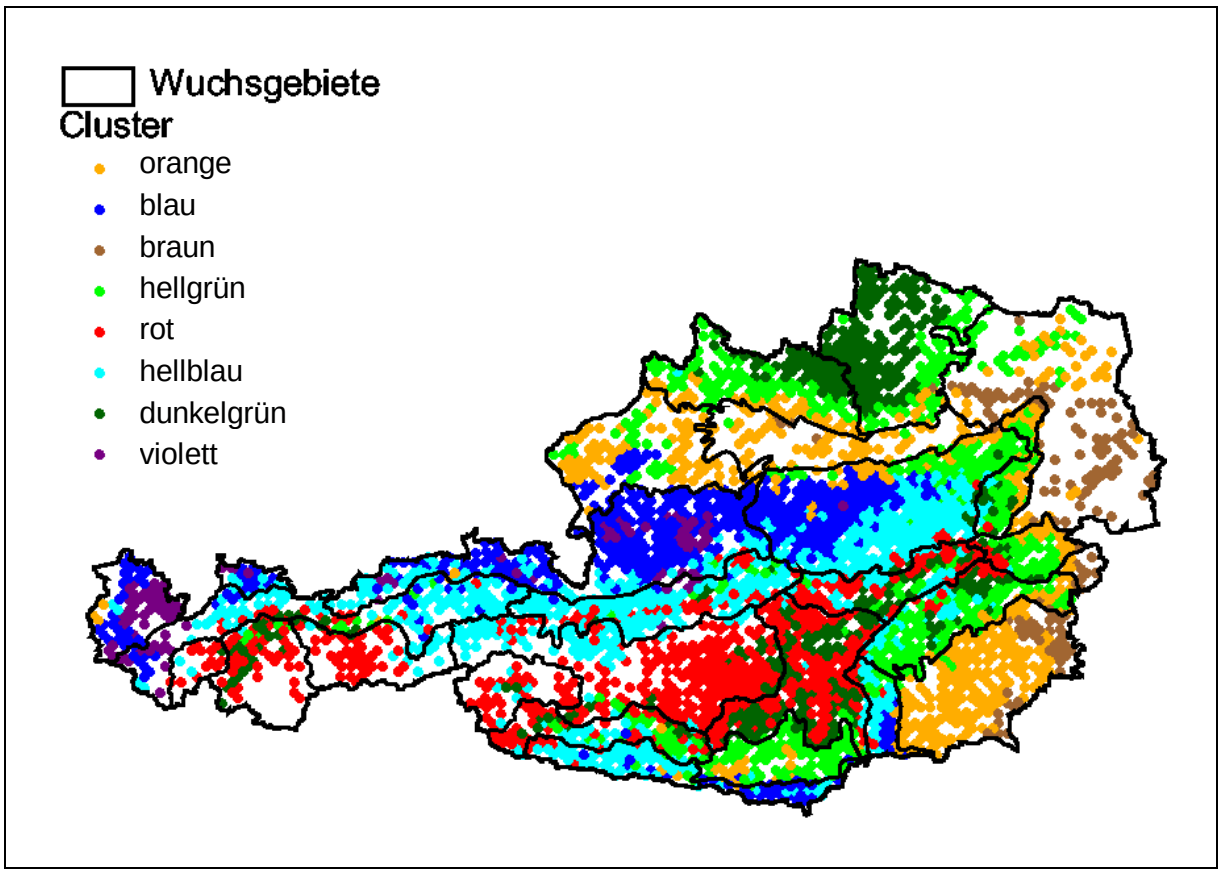


Abb. 6.13: Variante H4, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.3.5 Zusammenfassung der Clustervarianten mit hygrischen Variablen

Allgemein zeigen die Clustervarianten mit hygrischen Variablen in den Alpen ein flächigeres Bild, als die thermischen, da die hygrischen Variablen nicht so stark von der Höhe abhängen. Besonders die Variable GAMS ist sehr wertvoll für die Erstellung einer Naturraumgliederung, da sie besonders zur Bildung homogener Räume beiträgt, weil sie selbst nicht so stark räumlich differenziert ist, wie H_BIL_VEGP und TROC_40. Auch entstehen durch GAMS die „Kontinentalitätscluster“ (rot und dunkelgrün) und der hellblaue „nördliche Zwischenalpencluster“ (siehe auch Kapitel 6.4.6), und es treten die östlichen Randalpen hervor, welche nun gemeinsam mit dem unteren Rand der Böhmischen Masse einen Cluster bilden. Dadurch werden die Varianten mit GAMS v.a. zur Hauptwuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET AL. (1994), aber auch zu MAYER (1977) ähnlicher. H_BIL_VEGP trägt stärker im Gebirge, TROC_40 im Flachland (Begründung: siehe Kapitel 5.1.2.9) und GAMS überall gleichmäßig zur Clusterbil-

dung bei, da die Variablen in diesen Gebieten stärker differieren. Daher wird der Illyrische Raum (Wuchsgebiet 8.2) bei den Clustervarianten mit hygrischen Variablen stets (außer bei Variante H4) durch die Variable TROC_40 zerschnitten.
Variante H1 und Variante H2 sind sich im Flachland ähnlicher, Variante H2 und Variante H4 im Gebirge. Die Varianten H2 und H4 eignen sich aufgrund ihrer flächigen Verteilung, aber auch aufgrund ihrer größeren Ähnlichkeit mit bestehenden Naturraumgliederungen (siehe Kapitel 2.2) am besten für die Erstellung einer Naturraumgliederung, Variante H3 ist aufgrund der Variable TROC_60 dafür am wenigsten geeignet.

6.4 Clustervarianten mit klimatischen Variablen (Varianten K)

6.4.1 Variante K1

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40
Diese Variante (siehe Abb. 6.14a-g) vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T1 und H1, mit welchen sie nun auch verglichen werden soll: Die ersten 3 Cluster (siehe Abb. 6.14a), der orange „trocken-warme“ Cluster, hellgrüne „Randalpencluster“ und der dunkelgrüne „Gebirgscluster“ haben etwas größere Ähnlichkeiten zur Variante H1 als zur Variante T1. Nun löst sich aus dunkelgrün rot bzw. blau heraus, danach trennt sich hellblau von rot, violett von hellgrün und schließlich braun von orange ab. Hier, beim Stand von 8 Clustern (siehe Abb. 6.14f) liegt eine räumlich noch recht homogene Naturraumgliederung vor, welche nun besprochen wird:

Der orange „trocken-warme“ Cluster mit hohen GDD, MIN_TEMP und TROC_40 sowie niedriger H_BIL_VEGP weist starke Parallelen zum hellgrünen und orangen Cluster aus Variante H1 (9 Cluster) auf, was sich v.a. durch die Teilung des Alpenvorlandes in einen feuchteren Westen und einen trockeneren Osten, sowie durch die „Zerschneidung“ des Illyrischen Raumes zeigt, wobei beide Phänomene v.a. hygrisch bedingt sind. Den stärksten Einfluss auf die Clusterbildung hat die TROC_40, die anderen Variablen haben ca. einen gleich hohen Einfluss.

Der dunkelgrüne „trockenere Gebirgscluster“ mit einer mittleren (fürs Gebirge recht niedrigen) H_BIL_VEGP, mittleren GDD und MIN_TEMP bzw. niedrigen TROC_40, zeigt eher Parallelen zu den Clustern blau und hellblau aus Variante H1, als zu irgendeinem Cluster aus Variante T1. Der hygrische Einfluss überwiegt also, was sich auch dadurch zeigt, dass v.a. die TROC_40, aber auch die H_BIL_VEGP und GDD das Ergebnis beeinflussen, während MIN_TEMP praktisch keine Einfluss auf die Clusterbildung ausübt. Er erstreckt sich sehr grob auf die gesamten Zwischenalpen und könnte daher als „Zwischenalpencluster“ angesprochen werden.

Auch der hellgrüne Cluster, welcher hygrisch und thermisch zwischen orange und dunkelgrün liegt, ist eher hygrisch bestimmt, denn er zeigt Parallelen zu hellgrün aus Variante H1 (6 Cluster). So üben die TROC_40 (eher hohe Werte) wieder den stärksten, GDD (hohe Werte) und H_BIL_VEGP (eher geringe Werte) einen mittleren und MIN_TEMP (eher hohe Werte) den schwächsten Einfluss auf die Clusterausbildung aus. Das Klagenfurter Becken gehört, im Gegensatz zur Variante H1, aufgrund der hier viel niedrigeren MIN_TEMP zum Großteil nicht diesem Cluster an, obwohl die anderen Variablen ähnliche Werte wie in hellgrün aufweisen.

Der rote „Hochgebirgscluster" ist v.a. thermisch, aber auch hygrisch bestimmt und weist daher Parallelen zum roten Cluster in Variante T1 auf, jedoch kommen hier noch einige Gebiete (Bregenzer Wald, Achensee-Gebiet, Salzburger Kalkalpen, Niedere Tauern, Totes Gebirge) dazu, andere Gebiete in den Zentralalpen werden hingegen nun von dunkelgrün eingenommen. Dies ist dadurch begründet, dass hier gegenüber der Variante T 1 der Einfluss von MIN_TEMP (Werte im niedrigen Bereich) noch immer hoch ist, aber etwas zurücktritt, und dafür der Einfluss von GDD (Werte sehr nieder) und H_BIL_VEGP (Werte sehr hoch) zunimmt, TROC_40 (sehr niedrig) übt praktisch keinen Einfluss aus.

Der „humide" blaue Cluster ist klar hygrisch bestimmt und weist zum Teil Parallelen zum violetten und schwarzen Cluster aus der Variante H1 auf. Beeinflusst wird die Clusterbildung v.a. durch die sehr hohe H_BIL_VEGP und sehr niedrige TROC_40, GDD und MIN_TEMP haben hingegen überhaupt keinen Einfluss und schwanken daher stark. Der Unterschied zum violetten und schwarzen Cluster aus der Variante H1 besteht v.a. darin, dass der blaue Cluster hier durch den roten besonders südwärts stark eingeschränkt wird (siehe auch Kapitel 6.4.6), so dass sich blau hier mit Ausnahme der Kitzbühler Alpen, des südliche Vorarlbergs, den Karawanken und der Koralpe hauptsächlich auf die nördlichen Kalkalpen beschränkt. So sieht man teilweise schöne Parallelen in der Grenzziehung zu den Wuchsgebieten 5.4, 4.1 und 4.2, wobei interessanterweise 4.2 in der Hälfte durchschnitten wird.

Der hellblaue „Kältecluster" zeigt nahezu die gleiche Verbreitung wie hellblau in Variante T1. Er wird ausschließlich durch die niedrigsten MIN_TEMP und GDD bestimmt.

Der violette Cluster ist schwer zu deuten, denn alle Variablen schwanken in diesem Cluster recht stark. Am wenigsten schwankt die H_BIL_VEGP, durch welche er noch am ehesten festgelegt wird. Er unterscheidet sich vom hellgrünen Cluster durch etwas niedrigere MIN_TEMP, TROC_40 und GDD, die H_BIL_VEGP liegt ca. im gleichen Bereich. Im Klagenfurter Becken und Drautal liegen jedoch TROC_40 und GDD ca. gleich wie in hellgrün, die MIN_TEMP ist aber viel geringer. Als „thermischer Kontinentalitätscluster" kann dieser eigentlich nur im Klagenfurter Becken und im Drautal, und bedingt auch im Inntal angesehen werden, für die restlichen Gebiete gilt dies kaum (die Böhmische Masse ist zwar thermisch kontinentaler als die Alpen, österreichweit liegt sich aber im Mittelbereich (siehe Kapitel 5.1.2.3)). Violett stellt eher (aber auch nur bedingt) einen „hygrischen mittelfeuchten Cluster" dar, was auch dadurch untermauert wird, dass er noch am ehesten dem dunkelgrünen Cluster aus Variante H1 (9 Cluster) gleicht. Das Wuchsgebiet 6.2 deckt sich z.T. mit violett.

Der braune „heiße, sehr trockene Cluster“ weist die geringste H_BIL_VEGP sowie die höchsten MIN_TEMP, GDD und TROC_40 auf und gleicht im Wesentlichen dem braunen Cluster in Variante H1. Er wird v.a. von den TROC_40 festgelegt, die H_BIL_VEGP hat schon einen weniger starken Einfluss und GDD sowie MIN_TEMP haben einen geringen Einfluss auf das Ergebnis. Dieser Cluster weist sehr schöne Parallelen zum Wuchsgebiet 8.1 auf.

Bis hierher kann man die Variante noch als räumlich halbwegs homogen bezeichnen, wobei dies durch den roten Cluster schon stark relativiert wird.

Der graue „Zwischenalpencluster“ (siehe Abb. 6.14g) geht aus dem dunkelgrünen Cluster hervor, weist teilweise Ähnlichkeiten zu blau in Variante H1 (9 Cluster), aber auch zu gelb in Variante T1 (11 Cluster) auf und ist daher hygrisch und thermisch definiert. Er steht zwischen dunkelgrünem und blauem Cluster und unterscheidet sich vom dunkelgrünen Cluster durch höhere H_BIL_VEGP und MIN_TEMP sowie niedrigere GDD, vom blauen Cluster durch geringere H_BIL_VEGP und GDD sowie höhere TROC_40, wobei alle 4 Variablen Einfluss auf die Clusterbildung haben. Er erstreckt sich im Gegensatz zum verbleibenden dunkelgrünen Cluster, welcher v.a. in thermisch kontinentalen Talbereichen zu finden ist noch stärker zum Zwischenalpencluster wird, eher auf die thermisch ozeanischeren Bergbereiche. Interessant ist, dass grau erst zusammen mit blau das Wuchsgebiet 4.2 abdeckt.

6.4.1.1 Kurzresümee der Variante K1

I.A. zeigt sich, dass hier die hygrischen Variablen offenbar einen etwas stärkeren Einfluss auf die Clusterbildung ausüben als die thermischen. Weiters wird bei der gemeinsamen Verwendung von hygrischen und thermischen Variablen die Deutung der einzelnen Cluster aufgrund der hohen Komplexität schon erheblich erschwert (z.B. violetter Cluster). Die Variante mit 8 Clustern ist aufgrund des roten Clusters räumlich schon relativ heterogen.

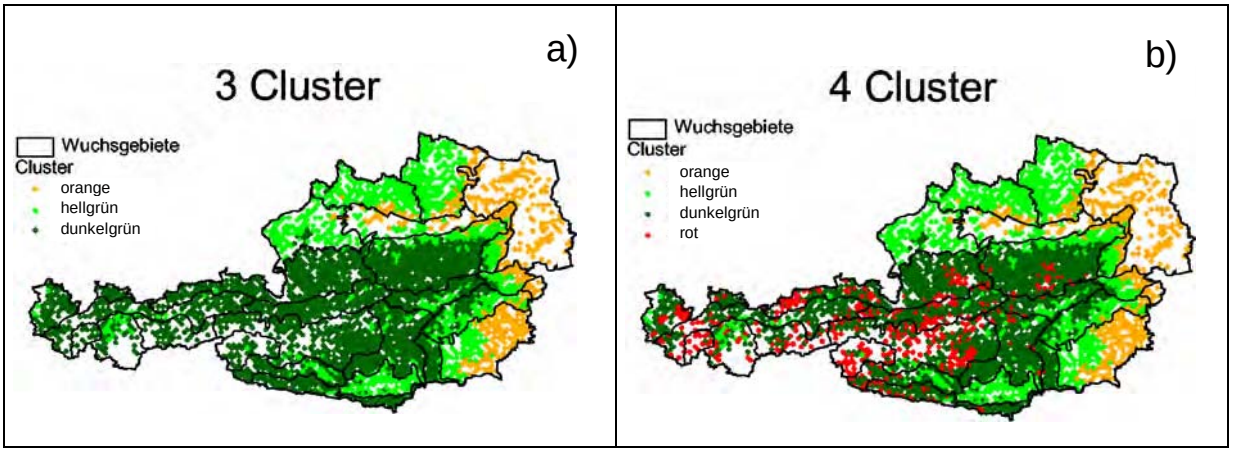


Abb. 6.14a-b: Variante K1 Quelle: eigene Berechnungen

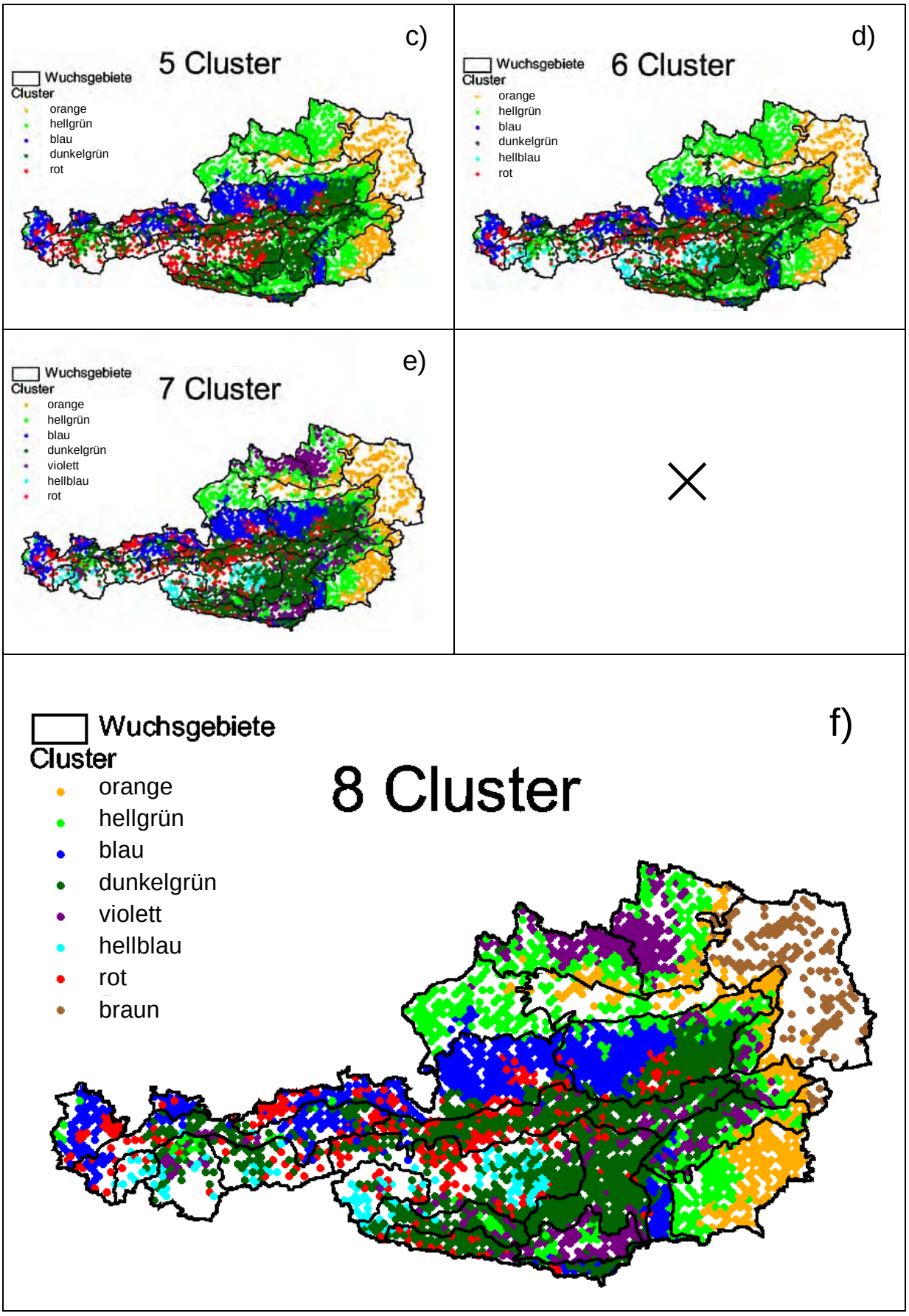


Abb. 6.14c-f: Variante K1 Quelle: eigene Berechnungen

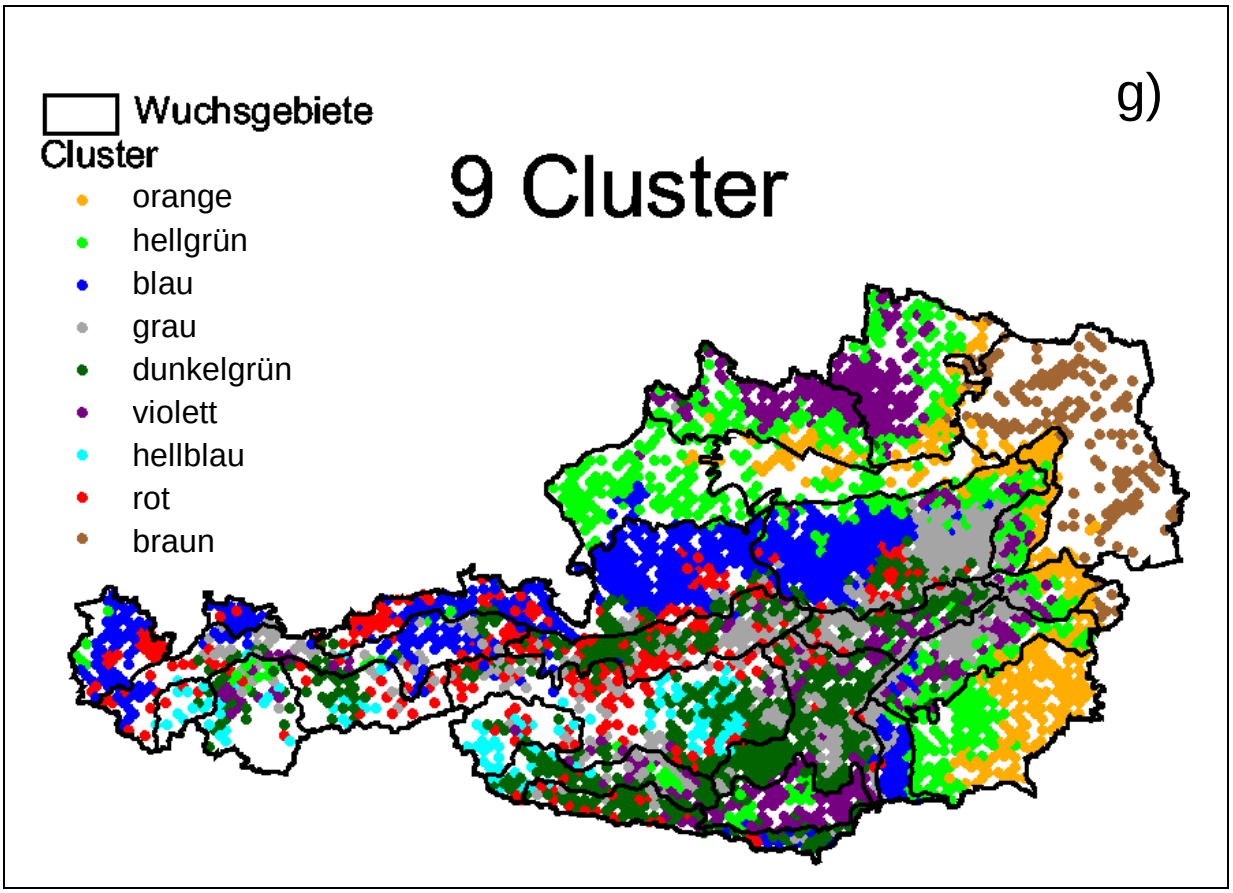


Abb. 6.14g: Variante K1 Quelle: eigene Berechnungen

6.4.2 Variante K2

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, GAMS, TROC_40

Diese Variante (siehe Abb. 6.15) unterscheidet sich von Variante K1 durch die Hereinnahme der Variable GAMS und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T1 und H2, mit welchen sie nun auch verglichen werden soll: Die ersten 3 Cluster sind der warm, trockene, hygrisch ozeanische „Flach- und Hügellandcluster“ (orange, hellgrün und violett), der kühlere, feuchtere „Gebirgscluster“ (blau und dunkelgrün) sowie der kalte, kontinentale rote „Hochgebirgscluster. Vom „Flach- und Hügellandcluster“ spaltet sich zunächst der hellgrüne Cluster (inclusive violett) ab, danach teilt sich der „Gebirgscluster“ in blau und dunkelgrün und schließlich spaltet sich vom hellgrünen Cluster der violette Cluster ab.

Der rote „Hochgebirgscluster“ weist in seiner Verbreitung starke Parallelen zum roten Hochgebirgscluster aus der Variante T1 auf, ist aber auch ähnlich zu roten Cluster in Variante H2 (10 Cluster). Er ist daher vorwiegend thermisch bestimmt und wird durch die Variablen GDD, MIN_TEMP und GAMS festgelegt, die anderen beiden Variablen haben praktisch keinen Einfluss auf die Clusterbildung und schwanken stark. Er ist geprägt von tiefen MIN_TEMP und GDD sowie starker hygrischer Kontinentalität.

Der orange „trocken-warme Flach- und Hügellandcluster“ weist, sehr ähnlich wie in Variante K1 (s.o.), starker Parallelen zum orangen Cluster in Variante H2 (6 Clustern) auf, was sich wiederum durch die Zerschneidung des Illyrischen Raumes sowie die Zugehörigkeit des Ennsfeldes zeigt. So übt wiederum TROC_40 den stärksten Einfluss auf die Clusterbildung aus, die anderen Variablen beeinflussen diesen Cluster auch, aber in geringerem Maß, den geringsten Einfluss hat GAMS. Der Cluster ist gekennzeichnet durch hohe GDD, MIN_TEMP, TROC_40, eine geringe H_BIL_VEGP und eine höhere bis sehr hohe hygrische Ozeanität.

Der blaue „humide“ Gebirgscluster ist wieder stark hygrisch geprägt, denn er weist schöne Parallelen zum blauen Cluster in Variante H2 (mit 6 Clustern) auf. Er reicht hier jedoch im Bereich der Kitzbühler Alpen und des oberen Ennstales weiter in den Süden, da sich der ihn beschneidende „nördliche Zwischenalpencluster“ aus Variante H2 hier nicht ausbildet (siehe auch Kapitel 6.4.6). TROC_40 ist hier sehr niedrig, H_BIL_VEGP sehr hoch, GAMS liegt im eher ozeanischen Bereich und GDD sowie MIN_TEMP schwanken stark. Festgelegt wird er v.a. durch H_BIL_VEGP, aber auch durch TROC_40 und bis zu einem gewissen Grad durch GAMS, die thermischen Variablen haben nur wenig Bedeutung für die Clusterbildung. Die Grenzen decken sich teilweise mit jenen der Wuchsgebiete 4.1, 4.2 und 6.1.

Der hellgrüne „feuchtere Flach- und Hügellandcluster“ weist wiederum starke Parallelen zum hellgrünen Cluster aus Variante H2 (6 Cluster) auf, wobei ebenso wie bei der Variante K1 das Klagenfurter Becken aufgrund der MIN_TEMP nicht mehr dazugehört. Die MIN_TEMP und GDD sind beide hoch, GDD hat ebenso wie GAMS (ozeanisch) einen geringen Einfluss auf die Clusterausbildung, die MIN_TEMP hat sonst keine Relevanz darauf. Höheren Einfluss haben die H_BIL_VEGP (eher geringe Werte, aber noch höher als im orangen Cluster) und die TROC_40 (mittlerer Bereich, aber geringer als im orangen Cluster).

Der dunkelgrüne „trockenere, hygrisch kontinentalere Gebirgscluster“ weist wiederum große Parallelen zum dunkelgrünen Cluster aus Variante H2 (10 Cluster) auf, so dass auch hier der hygrische Einfluss überwiegt. Der Cluster unterscheidet sich vom blauen Cluster v.a. durch eine höhere hygrische Kontinentalität (GAMS ist mittel bis hoch kontinental), geringere H_BIL_VEGP (Werte im mittleren Bereich) und höhere TROC_40 (Werte insgesamt aber im niedrigeren Bereich), thermisch ist praktisch kein Unterschied. Beeinflusst wird die Clusterbildung v.a. durch H_BIL_VEGP und TROC_40, aber auch durch GAMS und GDD.

Der violette Cluster ist hygrisch und thermisch beeinflusst, denn er zeigt Ähnlichkeiten zum beige-grünen Cluster aus Variante H2 (5 Cluster) und zum orangen Cluster aus Variante T1 (11 Cluster), die hygrische Affinität ist jedoch höher. Auch hier gilt, ähnlich wie bei Variante K1, dass dieser Cluster nicht klar von bestimmten Variablen festgelegt wird, TROC_40 (eher höherer Bereich), GAMS (mittlerer Bereich) und GDD (eher hoch) haben etwas mehr Einfluss als H_BIL_VEGP (gering) und MIN_TEMP (um den Mittelbereich schwankend). Hier wird gegenüber dem beige-grünen Cluster aus Variante H2 das Klagenfurter Becken und Drau- bzw. Gailtal noch stärker in den Cluster eingebunden. Zu hellgrün hin unterscheidet er sich durch etwas niedrigere MIN_TEMP (im Klagenfurter Becken viel niedriger) und GDD sowie eine

niedrigere bis gleich hohe H_BIL_VEGP. Im Klagenfurter Becken, wo er als thermisch kontinental bezeichnet werden kann, sind die GDD und H_BIL_VEGP jedoch wieder gleich hoch, wie in hellgrün. Das Wuchsgebiet 6.2 deckt sich zum Teil recht gut mit diesem Cluster.

Bis hierher ist die Gliederung räumlich recht homogen.

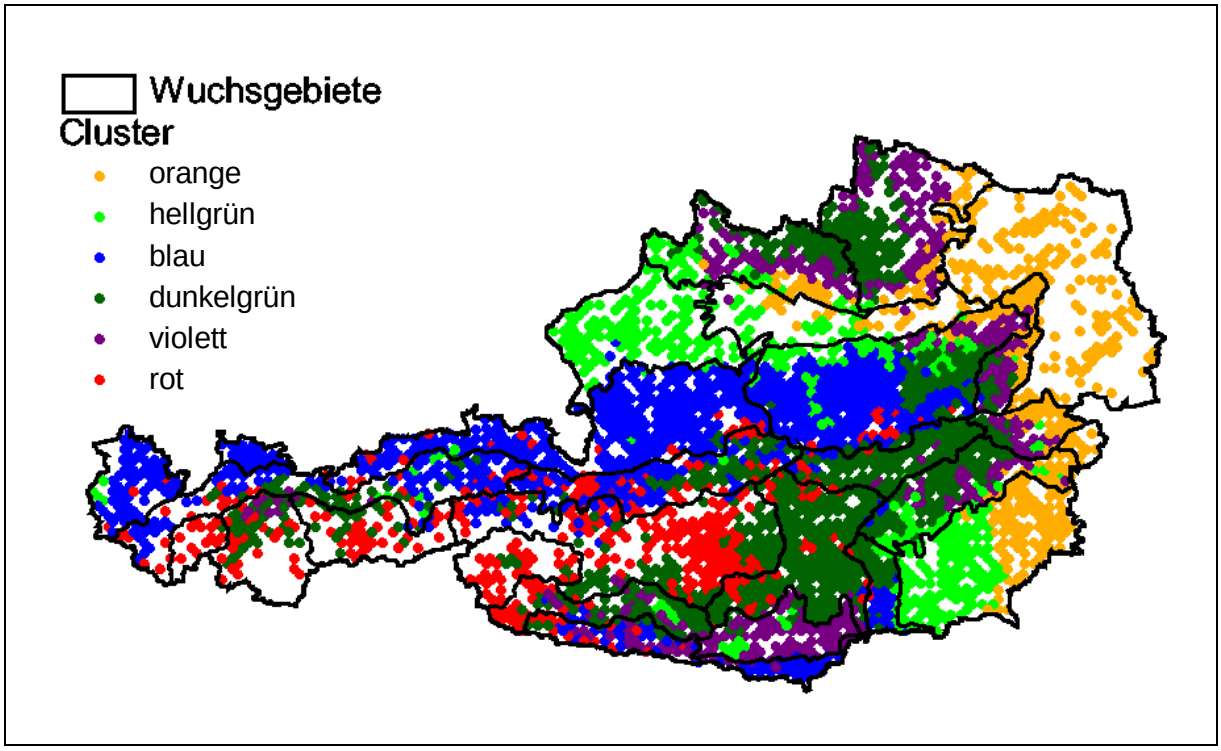


Abb. 6.15: Variante K2, 6 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Als 7. Cluster (siehe Abb. 6.16) geht der „wärmere ozeanischere, humide“ beige-blaue Cluster aus dem blauen Cluster hervor, wobei auch dieser Cluster nicht leicht zu deuten ist, denn er weist weder in Variante H2, noch in Variante T1 einen ähnlichen Cluster auf. Er scheint zwar dem blauen Cluster in Variante H2 (6 Cluster) zu ähneln, Letzterer ist jedoch ein stark humider Cluster, was für den beige-blauen Cluster hier nicht gilt. Am stärksten beeinflusst wird die Clusterbildung vom eher ozeanischen GAMS und der eher höheren MIN_TEMP, gefolgt von den mittel hohen GDD, die hohe H_BIL_VEGP und die eher niedrigen TROC_40 üben einen schwächeren Einfluss auf die Clusterbildung aus. Der Cluster kann als ozeanischerer, wärmerer (aufgrund der GDD und MIN_TEMP) und eventuell auch trockenerer (aufgrund der H_BIL_VEGP) Teil des ursprünglich blauen Clusters angesehen werden. Zusammen sind der blaue und der beige-blaue aber sehr wohl hygrisch als humide Cluster definiert.

Der 8. braune „stark trocken-warme“ Cluster geht aus orange hervor und weist sowohl zum braunen Cluster in Variante H2, als auch zum schwarzen Cluster in Variante T1 hohe Ähnlichkeiten auf. Es ist dies wiederum der Bereich der höchsten TROC_40, GDD, MIN_TEMP und hygrischen Ozeanität sowie der geringsten H_BIL_VEGP. Festgelegt wird er am stärksten von TROC_40 und GDD, die anderen Variablen spielen jedoch auch alle eine Rolle.

6.4.2.1 Vergleich zur Variante K1

Durch die Hereinnahme der Variable GAMS kommt es gegenüber Variante K1 zu einigen Veränderungen (vergl. Variante H2). Generell wird das Bild räumlich homogener, v.a. da der rote Cluster im Norden durch die höhere hygrische Ozeanität stark beschnitten wird (siehe Kapitel 6.4.6). Der rote Cluster wird generell in den Zentralalpen im Bereich hoher Kontinentalität noch dominanter und flächiger. Der dunkelgrüne hygrisch kontinentale Cluster wird durch die höhere Kontinentalität von GAMS in die höher gelegenen Teile der Böhmischen Masse gebracht und verdrängt so den violetten Cluster in die tiefer gelegenen Bereiche, wobei sich der violette Cluster nun am Alpenostrand viel stärker ausbildet. Der blaue Cluster reicht aufgrund des in den Alpen nicht so stark differenzierten GAMS weiter nach Süden (siehe auch Kapitel 6.4.6) und verdrängt dort den dunkelgrünen aus den Zwischenalpen. Es tritt als neuer Cluster der beige-blaue Cluster auf, welcher sich v.a. aufgrund der Kontinentalitätsabstufung innerhalb des blauen Clusters bildet. Der braune Cluster verkleinert sich hin in Richtung stärkster hygrischer Ozeanität. Auch im Bereich Südkärntens und der Koralpe kommt es zu Veränderungen. Der hellblaue Kältecluster bildet sich als 10. Cluster erst viel später aus (hier nicht mehr beschrieben).

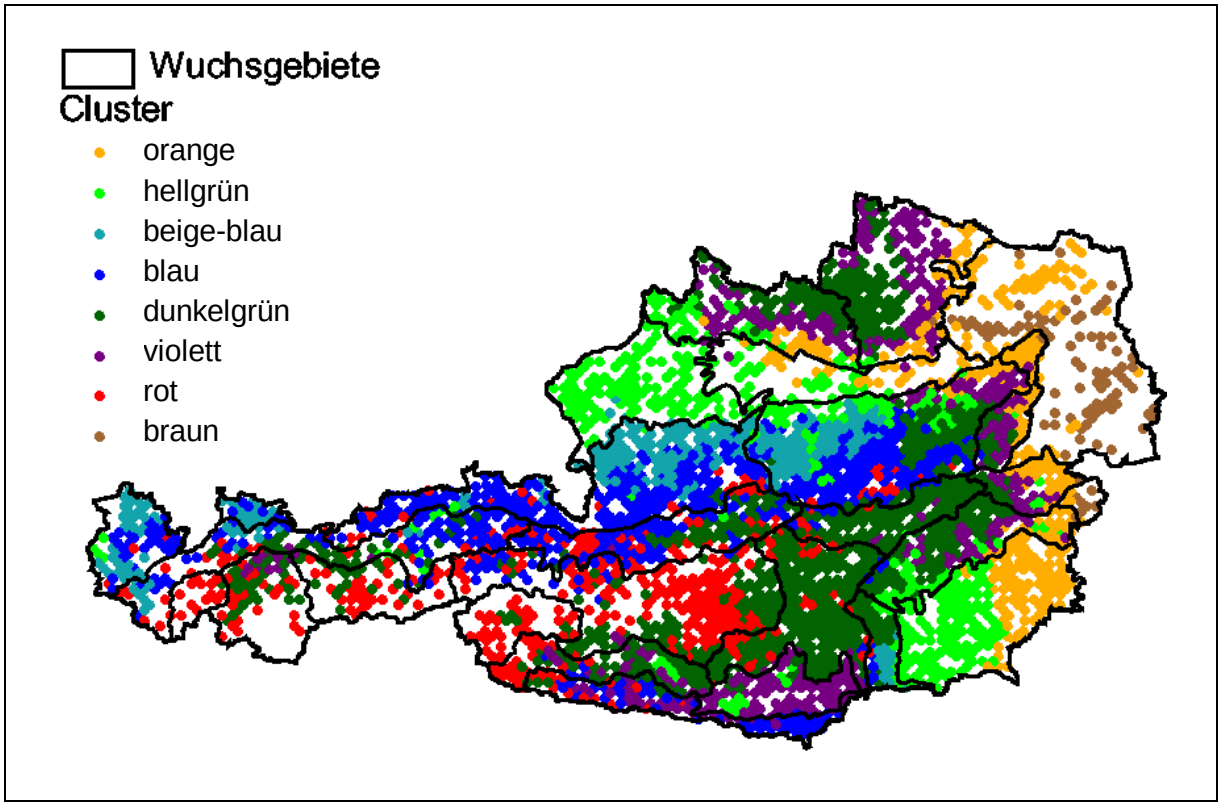


Abb. 6.16: Variante K2, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.4.2.2 Kurzresümee der Variante K2

I.A. zeigt diese Variablenkombination bei 6 Clustern ein recht schönes, räumlich homogenes Ergebnis, was v.a. wiederum auf die Verwendung der Variable GAMS zurückzuführen ist. Die Cluster werden jedoch noch stärker als in Variante K1 von den hygrischen Variablen bestimmt, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass mehr hygrische Variablen verwendet wurden. Gegenüber Variante H2 fällt v.a. auf, dass der blaue Cluster viel weiter nach Süden geht, da es hier im Gegensatz zur Variante H2 nicht zur Ausbildung des hellblauen „nördlichen Zwischenalpenclusters“ kommt (siehe auch Kapitel 6.4.6).

6.4.3 Variante K3

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL, H_BIL_VEGP, TROC_40
Diese Variante (siehe Abb. 6.17) unterscheidet sich von der Variante K1 durch die Hereinnahme der Variable SO_ABS_JUL und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T2 und H1, mit welchen sie nun verglichen wird:

Die ersten 3 Cluster sind der warm-trockene, sonnenreiche orange „Flach- und Hügellandcluster“, der etwas kühlere, humidere „Hügellandcluster“ (violett und hellgrün) sowie der kalte, feuchte und sonnenarme „Gebirgscluster“ (hellblau, blau, beige-blau, rot und dunkelgrün). Vom „Gebirgscluster“ spaltet sich zunächst der „Hochgebirgscluster“ (rot und hellblau) ab, danach teilt sich der „Hügellandcluster“ in hellgrün und violett, weiters spaltet sich vom verbliebenen Gebirgscluster beige-blau ab. Danach teilt sich der „Hochgebirgscluster“ in hellblau und rot, und schließlich der verbliebene Gebirgscluster in blau und dunkelgrün.

Der orange „warm-trockene, sonnenreiche Flach- und Hügellandcluster“ ist nahezu ident zu orange (inclusive braun) aus Variante K1 und wird daher nicht näher besprochen. Er rückt hier nur ein wenig weiter ins Flachland hinein und wird durch sehr hohe SO_ABS_JUL mitbestimmt.

Der hellgrüne „wärmere Hügellandcluster“ liegt hygrisch und thermisch zwischen orange und dunkelgrün und unterscheidet sich von violett v.a. durch etwas höhere GDD und TROC_40 (Ausnahme ist jeweils das Klagenfurter Becken (siehe violetter Cluster)) und höhere MIN_TEMP. Der Cluster ist eher hygrisch, aber auch thermisch bestimmt, denn er zeigt stärkere Parallelen zu hellgrün in Variante H1, ähnelt aber auch orangen in Variante T2. Der Einfluss der Variablen TROC_40 (eher hohe Werte), GDD (hohe Werte), SO_ABS_JUL (eher hohe Werte), H_BIL_VEGP (eher geringe Werte) und MIN_TEMP (eher hohe Werte) auf die Clusterausbildung ist in etwa gleich. Die Südgrenze dieses Clusters korrespondiert hierbei genau mit jener des Wuchsgebietes 7.1.

Der blaue „humide Gebirgscluster“ ist v.a. hygrisch bestimmt, denn er zeigt v.a. zusammen mit beige-blau Parallelen zu blau (inclusive violett und schwarz) in Variante H1. Er weist auch

eine thermische Komponente auf, denn er reicht auch aufgrund der niedrigen SO_ABS_JUL weit nach Süden über den Alpenhauptkamm, so dass gewisse Parallelen zu blau aus Variante T2 bestehen. So wird er großflächig durch die hohe H_BIL_VEGP und auch durch SO_ABS_JUL bestimmt, die niedrigen TROC_40, sowie die stark schwankenden MIN_TEMP und GDD spielen nur eine geringe, meist kleinräumige Rolle bei der Clusterausbildung.

Der rote „Hochgebirgscluster" ist räumlich sehr heterogen, reicht weit bis in den Norden und beschränkt sich hier nicht mehr nur auf das Hochgebirge. Er ist v.a. thermisch bedingt, denn er zeigt Parallelen zu rot und blau (interessanterweise) in Variante T1. Er weist demnach geringe SO_ABS_JUL und GDD auf, die MIN_TEMP schwanken ebenso wie die TROC_40 im eher unteren Bereich. Neben den SO_ABS_JUL und den GDD bestimmen auch bis zu einem gewissen Grad die hohe H_BIL_VEGP und die MIN_TEMP diese Clustervariante mit.

Der violetter „kühlere Hügellandcluster" nimmt hier aufgrund der hohen SO_ABS_JUL weite Teile Kärntens ein und zieht sich daher entlang der Mur-Mürzfurche weit nach NW hinauf. Er ist v.a. thermisch bestimmt, denn er zeigt schöne Parallelen zum violetten Cluster aus Variante T2 und kann daher ebenso als „winterkalter Cluster mit viel Sonnenschein" bezeichnet werden. Bestimmt wird dieser Cluster v.a. durch die hohe SO_ABS_JUL, die mittlere bis hohe GDD und eine meist niedrige MIN_TEMP (Ausnahme Inntal). Die im unteren Bereich schwankenden H_BIL_VEGP und im oberen Bereich schwankenden TROC_40 haben kaum Einfluss auf die Clusterbildung. Das Klagenfurter Becken nimmt eine Sonderstellung ein, denn es ähnelt stark dem Wertebereich von hellgrün, es gehört jedoch aufgrund der niedrigen MIN_TEMP zu violett. Auch hier ist, wie in Variante T2, die Bedeutung der thermischen Kontinentalität schon recht gering, die thermisch kontinentalen Bereiche außerhalb Kärntens aus Variante T1 sind aber, wie z.B. im Salzachtal, dennoch ansatzweise zu erkennen.

Der beige-blaue sonnenreichere-wärmere humide Cluster unterscheidet sich von blau durch höhere SO_ABS_JUL (insgesamt mittlerer Wertebereich), höhere MIN_TEMP (insgesamt mittlerer bis höherer Wertebereich) und höhere GDD (insgesamt mittlerer Wertebereich). Die H_BIL_VEGP liegt im oberen, die TROC_40 liegen im unteren Bereich. Zusammen mit blau bildet der beige-blaue Cluster einen humiden Bereich und ist daher hygrisch definiert. Da er sich aber von blau thermisch abgrenzt, ist er innerhalb dieses humiden Bereichs thermisch definiert (vergl. orange in Variante T2). So gesehen tragen alle Variablen zur Clusterausbildung bei. Das Wuchsgebiet 5.4 deckt sich schön mit diesem Cluster.

Der hellblaue „Kältecluster" ist klar thermisch definiert und kann mit rot aus Variante T2 verglichen werden. Er wird bestimmt durch sehr geringe MIN_TEMP und GDD, die restlichen Werte schwanken und haben kaum einen Einfluss auf diese Clustervariante.

Der dunkelgrüne Cluster liegt in ähnlichen Wertebereichen, wie der blaue Cluster, er unterscheidet sich von diesem jedoch v.a. durch eine niedrigere H_BIL_VEGP und eine höhere SO_ABS_JUL und die TROC_40 sind z.T. etwas niedriger.

6.4.3.1 Vergleich zur Variante K1

Durch die Herreinnahme der Variable SO_ABS_JUL (vergl. Variante T2) kommt es gegenüber Variante K1 zu zahlreichen Veränderungen. So ist die Fusionsabfolge eine andere, es tritt der beige-blaue Cluster hinzu, und der braune Trockencluster aus Variante K1 hat sich bei 8 Clustern in der Variante K3 noch nicht ausgebildet. Es vergrößert sich violett weit nach Nordosten und Süden, was auf die hohe SO_ABS_JUL in diesen Gebieten zurückzuführen ist. Rot schiebt sich vermutlich aufgrund der stärkeren Bewölkung weiter nach Norden und trägt so, v.a. neben violett, zur stärkeren räumlichen Heterogenität bei. Beige-blau bildet sich aufgrund der höheren SO_ABS_JUL aus und verdrängt dadurch blau nach Süden in Richtung sehr geringer SO_ABS_JUL, was wiederum dunkelgrün stark einschränkt.

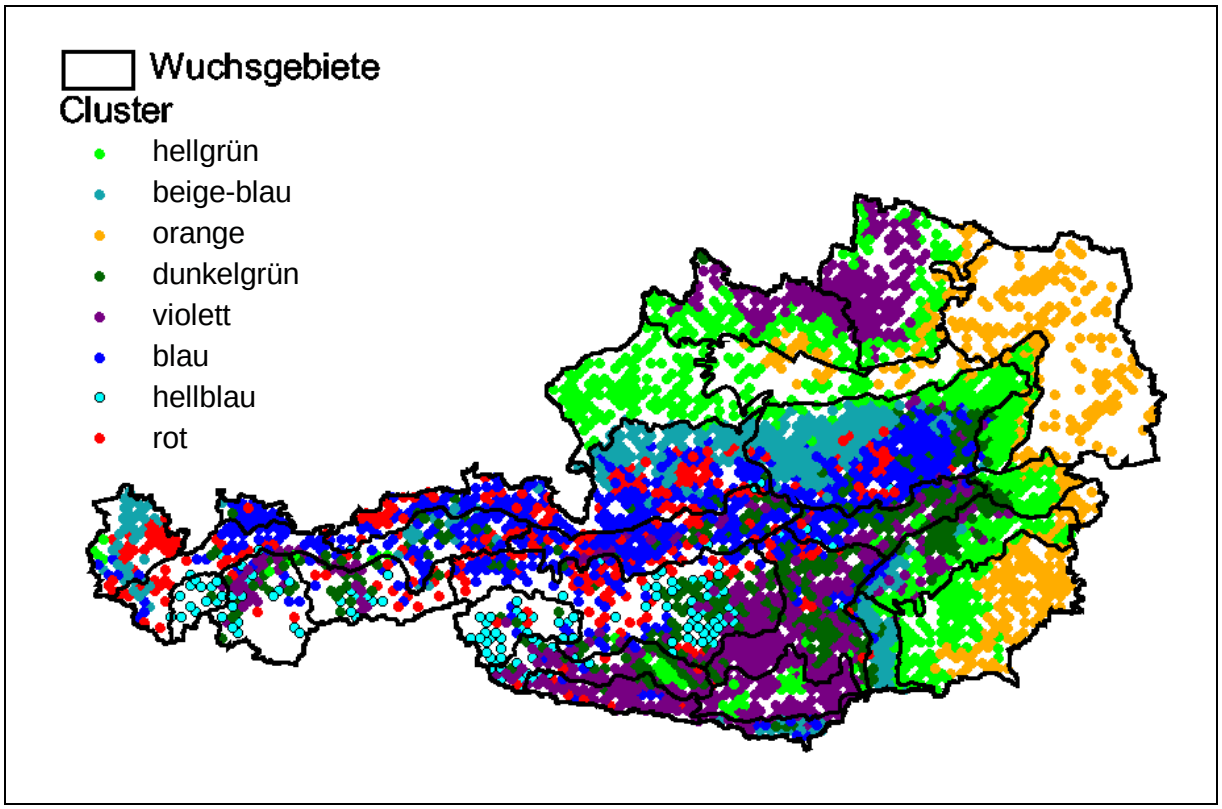


Abb. 6.17: Variante K3, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.4.3.2 Kurzresümee der Variante K3

I.A. erscheint diese Variante räumlich recht heterogen, was v.a. auf die SO_ABS_JUL, aber auch auf die fehlenden hygrische Kontinentalität (GAMS) zurückzuführen ist und ist daher weniger für eine Naturraumgliederung geeignet. Der Einfluss der thermischen Variablen ist hier aufgrund der stärkeren Vertretung dieser Variablen größer.

6.4.4 Variante K4

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL, H_BIL_VEGP, GAMS, TROC_40

Diese Variante (siehe Abb. 6.18) unterscheidet sich von der Variante K2 durch die Hereinnahme der Variable SO_ABS_JUL, bzw. von der Variante K3 durch die Hereinnahme der Variablen GAMS und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T2 und H2, mit welchen sie nun auch verglichen werden soll:

Die ersten 3 Cluster sind der warm, trockene, hygrisch ozeanische „Flach- und Hügellandcluster“ (orange und hellgrün), der kühlere, humide „Gebirgscluster“ (blau und dunkelgrün) sowie der kalte, kontinentale rote „Hochgebirgscluster. Vom blauen „Gebirgscluster“ spaltet sich zunächst der dunkelgrüne Cluster ab, danach teilt sich der „Flach- und Hügellandcluster“ in einen hellgrünen und einen orangen Teil.

Der rote „Hochgebirgscluster“ ist ähnlich zu den roten Clustern der Variante T2 bzw. H2 und ist daher thermisch und hygrisch (v.a. durch GAMS) bestimmt. Im Vergleich zum roten Cluster aus Variante T2 ist er in den Zentralalpen hygrisch bedingt flächiger (vermutlich auch durch das hier geringere Gewicht der SO_ABS_JUL), im Vergleich zu jenem aus Variante H2 bildet er hier im Norden größere, thermisch bedingte „Kälte-Inseln“ (vermutlich auch durch das hier geringere Gewicht von GAMS). Er wird v.a. durch die Variablen GDD, MIN_TEMP (beide niedrig) und GAMS (stark kontinental) festgelegt, die anderen Variablen haben praktisch keinen Einfluss auf die Clusterbildung und schwanken stark, wobei die SO_ABS_JUL eher gering ist.

Der orange „trocken-warme Flachlandcluster“ ist stärker hygrisch, aber auch thermisch bestimmt, denn er weist, sehr ähnlich wie in Variante K1 & K2, starke Parallelen zum orangen Cluster aus Variante H2 auf. TROC_40 übt wiederum den stärksten Einfluss auf die Clusterbildung aus, die anderen Variablen beeinflussen diesen Cluster in geringerem Maß, den geringsten Einfluss hat GAMS. Der Cluster ist gekennzeichnet durch hohe GDD, MIN_TEMP, TROC_40, SO_ABS_JUL eine geringe H_BIL_VEGP und eine mittlere bis hohe hygrische Ozeanität.

Der blaue „humide“ Gebirgscluster ist wieder stark hygrisch geprägt, denn er weist schöne Parallelen zum blauen Cluster in der Variante H2 (mit 5 Clustern) auf. Jedoch bewirken gegenüber Variante H2 hohe SO_ABS_JUL und GDD eine Durchsetzung dieses Clusters mit dunkelgrünen Clusterpunkten (s.u.), so wie eine Verringerung des Clusters im Süden und Osten. Auch werden rote „Kälteinseln“ (niedrige GDD) herausgeschnitten. Festgelegt wird der Cluster v.a. durch die hohe H_BIL_VEGP, aber auch durch die niedrigen TROC_40. Die SO_ABS_JUL schwankt zwischen gering und mittel, GAMS um den mittleren Bereich, die thermischen Komponenten schwanken stark. Der „nördliche Zwischenalpencluster“ aus Variante H2 bildet sich hier nicht aus (siehe auch Kapitel 6.4.6). Die Grenzen decken sich z.T. mit jenen der Wuchsgebiete 4.1, 4.2, 5.4 und 6.1.

Der dunkelgrüne „sonnigere-trockenere-kontinentalere Gebirgscluster“ zeigt wiederum große Parallelen zum dunkelgrünen Cluster aus Variante H2 (10 Cluster), so dass auch hier der hygrische Einfluss überwiegt. Der Cluster unterscheidet sich vom blauen Cluster v.a. durch eine höhere hygrische Kontinentalität (GAMS ist mittel bis hoch kontinental), geringere H_BIL_VEGP (Werte im mittleren Bereich) und höhere TROC_40 (Werte insgesamt aber im niedrigeren Bereich). Thermisch unterscheidet er sich v.a. durch höhere SO_ABS_JUL, und so schneidet er sonnenreichere (hohe SO_ABS_JUL) und wärmere (hohe GDD) Täler (z.B. Enns- und Salzachtal) aus blau heraus (s.o.). Auch im südlichen Osttirol bis Kärnten und im Brennergebiet bildet sich, im Gegensatz zur Variante H2, dieser Cluster aus, was v.a. ebenfalls auf die höheren GDD und SO_ABS_JUL zurückzuführen ist. Beeinflusst wird die Clusterbildung v.a. durch H_BIL_VEGP und TROC_40, aber auch durch GAMS, GDD und SO_ABS_JUL.

Der hellgrüne „feuchtere Flach- und Hügellandcluster“ weist wiederum starke Parallelen zum hellgrünen Cluster in der Variante H2 (4 Cluster) auf, so dass auch dieser Cluster eher hygrisch beeinflusst ist. Den stärksten Einfluss auf die Clusterbildung haben die H_BIL_VEGP (eher geringe Werte, aber noch höher als in orange) und die TROC_40 (mittlerer Bereich, aber geringer als in orange), aber auch die hohen GDD und SO_ABS_JUL (gleich hoch bzw. etwas niedriger als in orange) beeinflussen das Ergebnis. GAMS (ozeanisch) spielt eine geringere, MIN_TEMP nahezu keine Rolle. Das Wuchsgebiet 6.2 deckt sich schön mit diesem Cluster.

Als 6. Cluster (siehe Abb. 6.19) geht der wiederum nicht leicht zu deutende (siehe Variante K2) beige-blaue Cluster aus dem blauen Cluster hervor. Eventuell könnte man diesen Cluster mit dem orangen Cluster aus Variante T2 in den Nordalpen vergleichen, denn beide stoßen in der Eisenwurzen und dem Salzkammergut nach Süden vor. Der Cluster kann als der hygrisch ozeanischerer, sonnenreicherer, wärmerer (aufgrund der GDD) und eventuell auch trockenerer (aufgrund der H_BIL_VEGP) Teil des blauen Clusters angesehen werden. Am stärksten beeinflusst wird die Clusterbildung vom eher ozeanischen GAMS und von der eher höheren SO_ABS_JUL, gefolgt von den GDD, die H_BIL_VEGP hat einen schwächeren Einfluss auf die Clusterbildung und TROC_40 und MIN_TEMP haben kaum Bedeutung.

Der 7. violette Cluster geht aus dem hellgrünem Cluster hervor. Er ist hygrisch und thermisch beeinflusst, denn er zeigt Parallelen zum beige-grünen Cluster aus Variante H2 (6 Cluster) und, wenn auch in geringeren Maße, zum orangen und violetten Cluster aus Variante T2. Thermisch kontinental ist dieser Cluster auch nur im Klagenfurter Becken. Er wird nicht klar von bestimmten Variablen festgelegt (siehe Variante K1 & K2), TROC_40 (mittel bis eher höherer Bereich), GAMS (mittlerer Bereich) und GDD (eher hoch) haben etwas mehr Einfluss als H_BIL_VEGP (gering), SO_ABS_JUL (höherer Bereich) und MIN_TEMP (um Mittelbereich schwankend). Vom hellgrünen Cluster unterscheidet er sich nur geringfügig, er weist noch am ehesten eine geringere H_BIL_VEGP auf, z.T. besitzt er auch etwas geringere MIN_TEMP (v.a. im Klagenfurter Becken), GDD und SO_ABS_JUL. Die thermischen „Wärmeinseln“ des

hellgrünen Clusters im Klagenfurter Becken finden sich auch in Variante T2 (6 Cluster) (dort braun). Das Wuchsgebiet 6.2 deckt sich zum Teil recht gut mit diesem Cluster.

Der 8. graue „Randalpencluster“ geht aus dunkelgrün hervor und ist am ehesten dessen ozeanischere Teil. Er ist ebenfalls zu beige-grün aus Variante H2 (6 Cluster) und zu orange aus Variante T2 (6 Cluster) ähnlich, so dass dieser Cluster hygrisch und thermisch festgelegt ist. Er unterscheidet sich nur wenig vom dunkelgrünen Cluster und grenzt sich am ehesten durch eine höhere Ozeanität nach GAMS von diesem ab, darüber hinaus ist er z.T. wärmer (GDD und MIN_TEMP etwas höher). Der Cluster zeigt Parallelen zum Wuchsgebiet 5.3.

Der 9. braune „trocken-warme“ Cluster geht aus orange hervor und weist wiederum die höchsten GDD, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL, TROC_40 und hygrische Ozeanität sowie die geringste H_BIL_VEGP auf. Er ist praktisch ident mit dem braunen Cluster in der Variante H2 (10 Cluster), er zeigt aber auch Ähnlichkeiten zum schwarzen Cluster aus Variante T2 (11 Cluster), weshalb er eher hygrisch, aber auch thermisch definiert ist. So wird er v.a. durch TROC_40, GAMS und GDD festgelegt.

Bis hierher liegt eine einigermaßen räumlich homogenen Naturraumgliederung vor.

6.4.4.1 Vergleich zur Variante K2

Durch die Herreinnahme der Variable SO_ABS_JUL (vergl. Variante T2) kommt es gegenüber Variante K2 zu relativ wenig Veränderungen, was vermutlich auf die schon hohe Variablenzahl zurückzuführen ist. Auch die in der Variante T2 durch SO_ABS_JUL bedingten Änderungen, wie z.B. eine Zunahme der räumlichen Heterogenität, treten hier überhaupt nicht auf. So kann selbst die Variante mit 9 Clustern noch als „räumlich homogen“ bezeichnet werden. Die einzelnen Cluster und die Fusionsabfolge weisen starke Ähnlichkeiten zu jenen von Variante K2 auf. Grau (in Variante K2 nicht mehr besprochen) tritt in Variante K4 jedoch früher auf und unterscheidet sich auch stark von diesem. Sonst fallen v.a. die Änderungen im blauen Cluster auf, welcher wahrscheinlich aufgrund der geringen SO_ABS_JUL weiter nach Süden reicht, aus dem aber wiederum sonnenreiche und warme (GDD) Täler des dunkelgrünen Clusters ausgeschnitten werden. Der Bereich des Außerferns und des Mariazeller Landes kommt aufgrund der geringen SO_ABS_JUL zu blau, Umgekehrtes gilt für die Karawanken. Der im Süden vergrößerte blaue Cluster verkleinert aber auch den roten Cluster, weiters wird auch violett am östlichen Alpenrand stark eingeschränkt.

6.4.4.2 Vergleich zur Variante K3

Durch die Herreinnahme der Variable GAMS wird diese Variante räumlich um Vieles homogener und flächiger. Durch GAMS und die geringere Bedeutung der SO_ABS_JUL wird violett stark zugunsten von dunkelgrün verkleinert und, analog zur Variante K2, in die unteren Bereiche der Böhmischen Masse verdrängt, während dunkelgrün sich eben in diese höhergelegenen, hygrisch kontinentaleren Gebiete der Böhmischen Masse ausbreitet. Es kommt zur Ausbildung des grauen Clusters, erst viel später (hier nicht mehr beschrieben) zur Ausbildung des hellblauen Clusters und zur starken Einschränkung der roten „Inseln“ in den Nordalpen. Das einheitliche Gebiet der Koralpe wird stark verändert.

6.4.4.3 Kurzresümee der Variante K4

I.A. ist es aufgrund der hohen Variablenzahl (6) oft schwer die Cluster zu deuten, auch die Varianten T2 und H2 werden hier nur selten wiedergegeben. Meist haben hier aber wieder die hygrischen Komponenten bei der Clusterbildung eine stärkere großflächige Bedeutung, die thermischen Komponenten führen jedoch eher zu größeren Modifikationen innerhalb dieser „hygrisch gebildeten Cluster“ (stärker, als z.B. in Variante K2). Es kommt auch hier nicht zur Ausbildung des „nördlichen Zwischenalpenclusters“ aus Variante H2 (siehe auch Kapitel 6.4.6), wodurch der blaue Cluster weit nach Süden reicht.

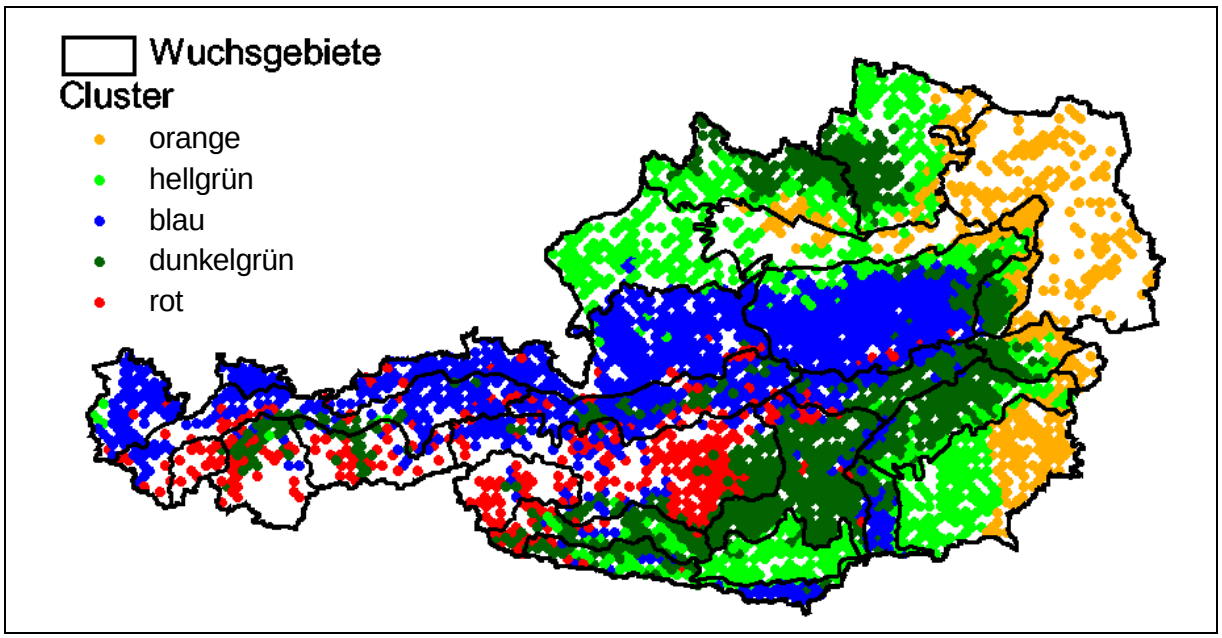


Abb. 6.18: Variante K4, 5 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

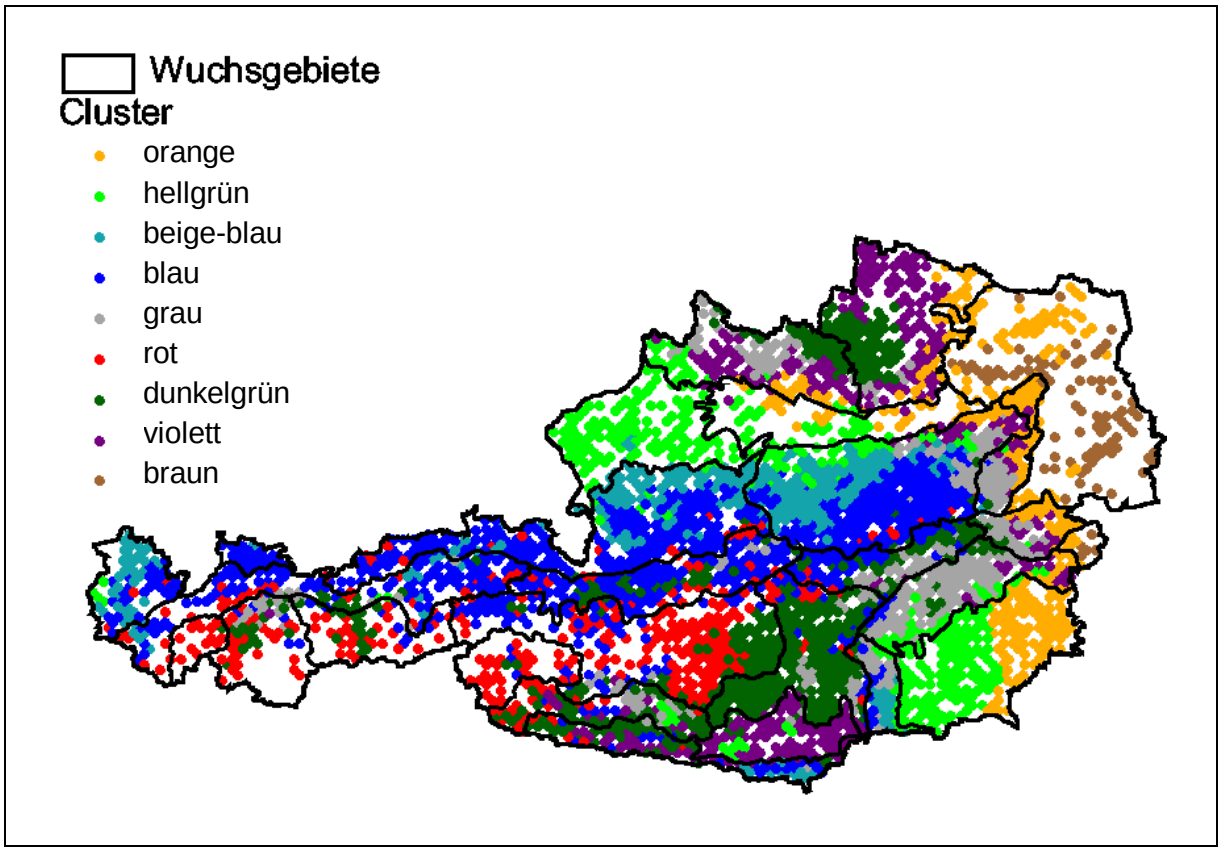


Abb. 6.19: Variante K4, 9 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.4.5 Variante K5

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, GAMS, H_BIL_VEGP

Diese Variante (siehe Abb. 6.20) unterscheidet sich von der Variante K2 durch die Wegnahme der Variable TROC_40 und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T1 und H4, mit welchen sie nun verglichen wird:

Die ersten 3 Cluster bilden der orange „Flach- und Hügellandcluster“, der „Gebirgscluster“ (violett, dunkelgrün und blau) sowie der rote „Hochgebirgscluster“. Diese 3 Cluster zeigen eine große Ähnlichkeit zur Variante T1 (3 Cluster), was den stärkeren thermischen Einfluss auf diese Variante verdeutlicht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass GAMS einen großen thermischen Anteil aufweist (siehe Kapitel 5.1.2.8) und so bei nur 4 Variablen die thermische Komponente stärker repräsentiert wird. Nun spaltet sich blau, und danach violett vom Gebirgscluster ab.

Der orange „trocken-warme Flach- und Hügellandcluster“ ist dennoch eher hygrisch, aber auch thermisch bestimmt, denn er weist starke Parallelen zu orange in Variante H4 (5 Cluster), aber auch Parallelen zu braun in Variante T1 (4 Cluster) auf. So ist z.B. das partielle Hineinreichen dieses Clusters nach blau (Inntal, Eisenwurzen) v.a. thermisch bedingt (siehe orange in Variante T1). Der Cluster wird aber am stärksten durch den sehr ozeanischen GAMS bestimmt, gefolgt von den hohen GDD. Die niedrige H_BIL_VEGP und die hohen MIN_TEMP haben auch

eine, wenn auch geringere Bedeutung. Letztere trägt wiederum dazu bei, dass der Großteil des Klagenfurter Beckens nicht diesem Cluster angehört. Auch hier gilt, analog zur Variante H4, dass diese Variante als einzige klimatische Clustervariante den Illyrischen Raum nicht durchschneidet, was auf den Wegfall der dort stark differenzierten TROC_40 zurückzuführen ist. So decken sich die Grenzen dieses Clusters z.T. schön mit jenen der Wuchsgebiete 8.2 und 8.1.

Der rote „hygrisch kontinentale Hochgebirgscluster“ ist thermisch und hygrisch bestimmt und räumlich schon recht heterogen. Er weist jedoch stärkere Analogien zum roten Cluster aus Variante T1 (3 Cluster), als zu jenem aus Variante H4 (8 Cluster) auf. Er erstreckt sich, v.a. durch GAMS und MIN_TEMP bedingt, weit nach Osten, aber auch nach Norden. Die „Inseln“ in den Nordalpen (z.B. Mariazellerland, Dachstein, Totes Gebirge, NO-Karwendel) sind jedoch auf die thermischen Komponenten, z.T. auch auf die H_BIL_VEGP zurückzuführen. Generell wird dieser Cluster v.a. durch die niedrige MIN_TEMP, aber auch durch starke hygrische Kontinentalität (GAMS) bestimmt, weniger Einfluss haben die im unteren Bereich schwankenden GDD, bzw. die im oberen Bereich schwankende H_BIL_VEGP.

Der dunkelgrüne „trockenere-kontinentalere Gebirgscluster“ oder „Zwischenalpencluster“ ist v.a. hygrisch bestimmt, denn er ähnelt dunkelgrün aus Variante H2 (8 Cluster) bzw. dunkelgrün aus Variante H4 (5 Cluster) minus rot aus Variante T1 (3 Cluster). Er wird v.a. durch die recht hohe hygrische Kontinentalität und die eher niedrige H_BIL_VEGP festgelegt. Durch diese beiden Größen unterscheidet er sich auch vom feuchteren, ozeanischeren blauen Cluster. Die GDD und die MIN_TEMP schwanken hier zwischen mittleren und oberen Bereich und tragen wenig zur Clusterbildung bei. Die Grenzen ähneln z.T. jenen des Wuchsgebietes 3.2.

Der blaue „feuchte ozeanischere Gebirgscluster“ ist demnach v.a. hygrisch bedingt und ähnelt blau aus Variante H4, partielle Aussparungen zugunsten von orange sind jedoch thermisch (s.o.). Er wird v.a. durch die sehr hohen H_BIL_VEGP, aber auch den eher ozeanischen GAMS bestimmt. Die im eher wärmeren Bereich schwankenden GDD und MIN_TEMP wirken sich wie oben erwähnt eher kleinräumig aus. Er reicht nicht so weit nach Süden (siehe auch Kapitel 6.4.6), so dass er teilweise Parallelen zum Wuchsgebiet 4.1 aufweist.

Der violette „Randalpencluster“ ist sowohl thermisch (vergl. orange in Variante T1) als auch hygrisch (vergl. hellgrün in Variante H4) festgelegt. Alle Variablen schwanken hier und tragen ungefähr gleich viel zum Ergebnis bei, vielleicht haben noch die GDD die größte Bedeutung. Die H_BIL_VEGP ist hier eher gering und GAMS liegt ca. im Mittelbereich, die GDD und MIN_TEMP weisen wärmere Werte auf. Er bildet einen Übergangscluster zwischen orange und dunkelgrün bzw. blau. Der orange Cluster ist wärmer (GDD und MIN_TEMP) trockener und hygrisch ozeanischer, dunkelgrün ist hygrisch kontinentaler und kühler (GDD und MIN_TEMP), blau ist etwas kühler (GDD und MIN_TEMP) und v.a. feuchter (höhere H_BIL_VEGP). Der Cluster zeigt Parallelen zum Wuchsgebiet 5.3. und 6.2.

Bis hierher kann von einer räumlich relativ homogenen Raumgliederung gesprochen werden. Im Folgenden wird noch die Variante mit 8 Clustern (siehe Abb. 6.21) gezeigt, jedoch auf-

grund der starken Heterogenität nicht mehr besprochen. Es kommt zur Ausbildung eines sehr heterogenen beige-blauen „Zwischenalpenclusters“, eines braunen „heiß-trockenen Clusters“ und eines grauen „trockeneren, wärmeren Zwischenalpenclusters“ (vergl. Variante KE5).

6.4.5.1 Vergleich zur Variante K2

Durch die Herausnahme der TROC_40 (vergl. Variante H4) kommt es gegenüber Variante K2 zu einigen Veränderungen: Blau wird durch die fehlenden, inneralpin recht flächigen TROC_40 im Süden zugunsten von dunkelgrün abgeschnitten (siehe auch Kapitel 6.4.6). Dadurch entspricht blau großflächig besser dem Wuchsgebiet 4.1 und dunkelgrün wird eher ein „Zwischenalpencluster“. Violett wird durch die größere Betonung von GAMS ausgeprägter und hellgrün bildet sich aufgrund der fehlenden TROC_40 nicht mehr aus.

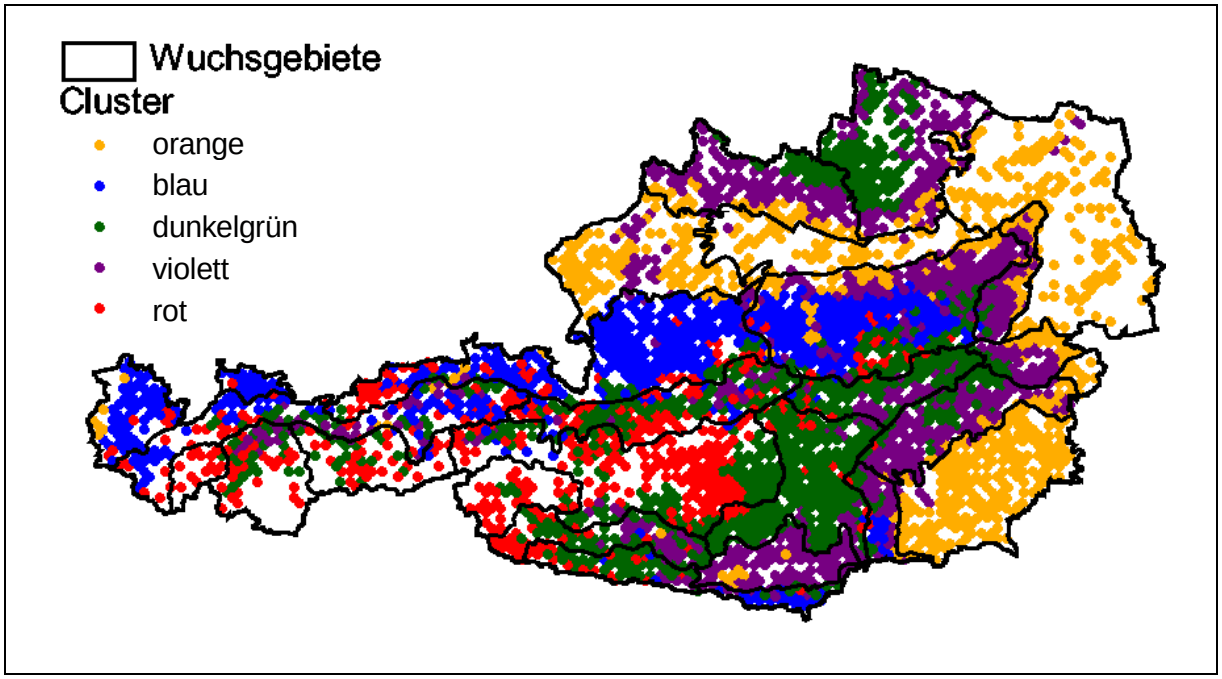


Abb. 6.20: Variante K5, 5 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

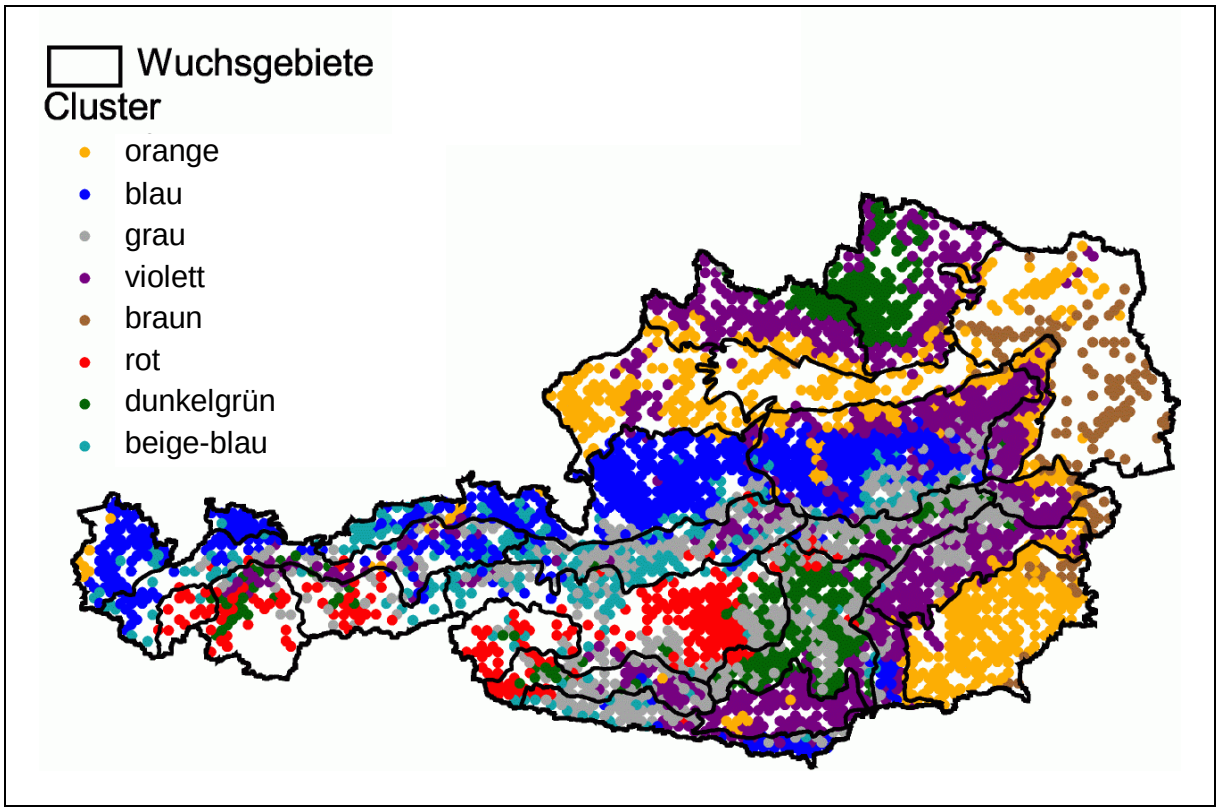


Abb. 6.21: Variante K5, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.4.5.2 Kurzresümee der Variante K5

I.A. weist diese Variante eine geringere räumliche Homogenität auf, als dies aufgrund der Variante H4 erwartet werden durfte. GAMS spielt zwar eine große Rolle, er trägt jedoch zu wenig zur räumliche Homogenität bei, ansonsten dominieren hier die thermischen Variablen. Variante K5 ist die einzige Variante mit klimatischen Variablen, in dem der Illyrischer Raum nicht zerschnitten ist. Der hellblaue „nördliche Zwischenalpencluster“ aus Variante H4 existiert hier zwar nicht, er findet sich aber in modifizierter Form in dunkelgrün wieder. Analog zur Variante H4 wird hier auch des Flach- und Hügelland aufgrund der fehlenden TROC_40 erst spät differenziert (7.Cluster) und der hellgrüne Cluster bildet sich hier gar nicht aus.

6.4.6 Zusammenfassung der Clustervarianten mit klimatischen Variablen

Die großflächige Verteilung der Cluster ist zwischen den einzelnen Clustervarianten mit klimatischen Variablen ähnlich, größere Unterschiede ergeben sich v.a. durch die Südgrenze von blau (s.u.) sowie durch die Zugehörigkeit des Klagenfurter Beckens und der tiefergelegenen Böhmischen Masse zu violett (wie in Variante K2, K3 & K5), welche dann vorliegt, wenn die Variable GAMS verwendet wird. GAMS führt auch stets zur besseren Ausbildung der östlichen Randalpen. Auch fällt die unterschiedlich starke „Inselbildung“ von rot in blau auf, wobei

diese bei der kombinierten Verwendung der Variablen GAMS und TROC_40 stark eingeschränkt ist, da diese Variablen das Bild innerhalb der Alpen glätten (s.u.). Der Illyrische Raum wird einzig in Variante K5 nicht zerschnitten, da hier die das Flachland stark differenzierende Variable TROC_40 nicht verwendet wird. In den Clustervarianten mit klimatischen Variablen (Variante K1 & K5) tritt auch erstmals ein, wenn auch nicht sehr klar ausgeprägter „Zwischenalpencluster" auf, welcher grob die gesamten Zwischenalpen (nach KILIAN ET AL. 1994) abdeckt, wobei der „nördliche Zwischenalpencluster" aus den Clustervarianten mit hygrischen Variablen nicht mehr auftritt (s.u.). Die MIN_TEMP zeigt auch hier eher einen geringen Einfluss auf die Clusterausbildung, jedoch trägt sie z.B. dazu bei, dass das Klagenfurter Becken aufgrund der viel niedrigeren MIN_TEMP trotz der sonst sehr ähnlichen Variablenwerte nicht zu hellgrün bzw. orange gehört.

Schwierig zu klären ist die Frage, unter welchen Voraussetzungen die Südgrenze des blauen „humiden Clusters" weiter im Norden endet, und somit dem Hauptwuchsgebiet „Nördliche Randalpen" nach KILIAN ET AL. (1994), sowie dem Naturraum der „nördlichen Kalkalpen" in praktisch allen anderen Naturraumgliederung oder auch dem montanen Fichten-Tannen-Buchenwald in MAYER (1977) in etwa entspricht, bzw. wann diese weiter nach Süden reicht. Weiter im Norden endet der blaue Cluster in den Varianten K1, K5, H2 und H4. Dies scheint zunächst unlogisch, da dies in Variante H2 (s.o.) durch GAMS, in Variante K1 hingegen ohne GAMS geschieht. Der Grund dürfte darin liegen, dass die Variable GAMS in den Alpen generell, und in diesem Gebiet im Besonderen, weniger differenziert ist bzw. einen langsamen Nord-Süd-Übergang aufweist. Dadurch lässt GAMS, v.a. in Kombination mit der ebenfalls inneralpin wenig differenzierten TROC_40, den blauen Cluster weiter nach Süden reichen, jedoch i.A. nur dann, wenn GAMS ein starkes Gewicht hat (in Variante H1 reichen dafür sogar die stark gewichteten TROC_40 alleine aus).

Es kann daher 2 Ursachen für das nördlichere Enden des blauen Clusters geben: Entweder es tritt, wie in Variante K1 und Variante K5 GAMS alleine oder gar nicht auf, so dass GAMS dann zuwenig Gewicht hat, um den Cluster bis weiter in Süden reichen zu lassen (eine Ausnahme bildet hier die stärker durch SO_ABS_JUL geprägte Variante K3). Oder GAMS hat ein *sehr* starkes Gewicht, weil GAMS durch TROC_40 verstärkt wird (wie in Variante H2) bzw. alleine mit nur einer anderen Variablen (wie in Variante H4) auftritt, so dass der blaue Cluster zunächst sehr wohl weiter nach Süden reicht (z.B. Variante H2 (5 Cluster)). Es bildet sich aber dann in weiterer Folgen aus blau der beige-blaue „nördliche Zwischenalpencluster" (siehe Kapitel 6.3) aus, welcher nun den blauen Cluster wieder südwärts beschränkt. Bei einer schwächeren Gewichtung von GAMS aufgrund vieler anderer Variablen dürfte demnach auch der nördlicher Zwischenalpencluster nicht mehr in dieser Form auftreten (wie in Variante K1 & K5). Es tritt hier dann aber, wenn auch nicht so klar, ein dunkelgrüner „Zwischenalpencluster" (s.o.) der gesamten Zwischenalpen auf, der sich jedoch vom „nördlichen Zwischenalpencluster" stark unterscheidet.

Variante K3 zeigt die größten Unterschiede zu den anderen Varianten, v.a. durch die weite Verteilung von violett und blau, Variante K5 schert v.a. durch den großen orangen Cluster aus.

Variante K3 stellt die räumlich heterogenste Variante dar, gefolgt von Variante K1 und Variante K5, am räumlich homogensten sind die Varianten K2 und K4. Die Varianten werden ein wenig mehr von hygrische als von thermischen Variablen bestimmt, meist dominiert jedoch jener Variablenteil (hygrisch oder thermisch), welcher eine höhere Variablenanzahl aufweist. Die Cluster sind teilweise aufgrund der hohen Variablenzahl schon recht schwer zu deuten (siehe Variante K4). Die Varianten zeigen vielfach recht schöne grobe, großflächige Übereinstimmungen zu den Hauptwuchsgebieten nach KILIAN ET AL. (1994) (siehe Kapitel 6.6.2).

6.5 Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen (Varianten KE)

Im Folgenden werden zu den Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen für jeden Cluster auch der F-Wert (F), t-Wert (t) (siehe Kapitel 5.2.3.1) und der Mittelwert (MW) jeder Variablen angegeben. Für die Bodengruppen gilt hierbei, dass der F-Wert nicht sinnvoll ist und daher nicht angegeben wird, während der t-Wert die standardisierte Häufigkeit des Auftretens einer Bodengruppe innerhalb des Clusters im Vergleich zur Häufigkeit des Auftretens auf allen Untersuchungspunkten angibt. Anstelle des MW wird bei den Bodengruppen ein Prozentwert (%) angegeben, welcher den prozentuellen Anteil der Bodengruppe innerhalb des Clusters angibt. In den Tabellen der F- bzw. t-Werte (siehe Tab. 6.1a; Tab. A1a – A8a im Anhang) sind positive t-Werte (Mittelwert liegt über dem Durchschnitt), ebenso wie niedrige F-Werte unter 0,25 (größere Homogenität innerhalb des Clusters), in gelb dargestellt, wobei der Wert 0,25 willkürlich angenommen wurde. Beim t-Wert sind die Maximumwerte jeder Variable rot, die Minimumwerte blau eingefärbt, beim F-Wert verhält es sich umgekehrt. Darüber hinaus werden in Tab. 6.1b, bzw. in den Tabellen A1b – A8b im Anhang von sämtlichen Variablen (sowie der Seehöhe) das Minimum (MIN), das Maximum (MAX), der Mittelwert (MW) und die Amplitude angegeben, wobei nur die zur Clusterberechnung verwendeten Variablen (in den Tabellen unterstrichen) diskutiert werden. Die Kotierung der Bodengruppenvariablen ist 5.1.1.2 zu entnehmen.

6.5.1 Variante KE1

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, TROC_40 und BODENGR (zusammengefasste Bodengruppen (siehe Kapitel 5.1.1.2) mit Faktor 1 gewichtet)
Diese Variante (siehe Abb. 6.22) unterscheidet sich von Variante K1 durch die Hereinnahme der Variable BODENGR und vereinigt durch die Variablenauswahl die Varianten T1 und H1 mit den Bodengruppen (siehe Abb. 5.1). Die ersten 3 Cluster bilden ein „Flach- und Hügellandcluster“ (orange und braun), ein „Gebirgscluster“ (blau, rot und grau) und ein eher „trockener, wärmerer und saurer Gebirgscluster“ (violett und dunkelgrün). Vom „Gebirgscluster“ spaltet sich nun rot ab, danach braun vom „Flach- und Hügellandcluster“ und weiters blaue vom „Gebirgscluster“. Zuletzt trennt sich dunkelgrün vom „trockenen, wärmeren und sauren Gebirgscluster“ als dessen feuchterer, kälterer (nach GDD) Teil ab.

Der orange „feuchtere, kühlere Flach- und Hügellandcluster“ nimmt das nördliche Alpenvorland (mit Ausnahme des Hausrucks) bis zum Rand des Tullner Feldes, die niedersten Gebiete der Böhmischen Masse sowie die Gegend von Gmünd, den Wienerwald, die Bucklige Welt, das gesamte Steirische Hügelland, sowie Teile des Rhein-, Inn-, Mur- und Drautales bzw. Klagenfurter Beckens ein. Der Cluster besitzt die 2. geringste mittlere Seehöhe (441 m), er weist jedoch eine für orange Cluster sehr hohe Seehöhenamplitude (1058 m) auf, wobei dieser Cluster nur bedingt mit den orangen Clustern anderer Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen verglichen werden kann, da er weit im Westen liegt. Er ist gekennzeichnet durch hohe GDD (t: 1,09; MW: 1631 °C), MIN_TEMP (t: 0,90; MW: -2,5°C) und TROC_40 (t: 0,84; MW: 1,74 pro Jahr) sowie eine niedrige H_BIL_VEGP (t: -0,86; MW: 30 mm) (siehe Tab. 6.1a,b), liegt aber bei allen klimatischen Variablen hinter braun an 2. Stelle (bei der H_BIL_VEGP an 2. letzter Stelle). Die MIN_TEMP schwankt nur wenig (um 3,4 °C), die TROC_40 hingegen schwanken von allen Clustern weitaus am stärksten (um 3,68 / Jahr). Der Cluster ist eher thermisch als hygrisch bestimmt, denn er zeigt (inclusive braun) stärkere Analogien zum braunen Cluster aus Variante T1 (3 Cluster) denn (alleine) zu hellgrün aus Variante H1 (6 Cluster). So haben v.a. die GDD eine sehr starken Einfluss auf die Clusterbildung, aber auch die MIN_TEMP, TROC_40 und H_BIL_VEGP beeinflussen die Clusterbildung immer noch in einem recht beachtlichen, wenn auch geringeren Maß, wobei dies auch für die BODENGR gilt. Die Bodengruppen werden im hohen Maße vom GLEY_PGL (t: 0,69; 30,9 %), gefolgt von den BE_LOCK_PB (t: 0,51; 22,8 %) und SONSTIGEn (t: 0,32; 12,5 %) gebildet, die geringsten Anteile haben RENDSI_MB (t: -0,41; 3,8 %) und TERRA_FU (t: -0,13; 3,7 %). Die Homogenität (F-Wert) innerhalb des Clusters ist für die Variablen MIN_TEMP (0,17, niedrigster F-Wert überhaupt), GDD (0,14) und H_BIL_VEGP (0,18) sehr hoch. Die TROC_40 (F: 0,48) weisen hingegen in diesem Cluster die niedrigste Homogenität (höchster F-Wert) unter allen Clustern auf, was wiederum die Behauptung (s.o.) untermauert, dass die TROC_40 im Flachland, die H_BIL_VEGP hingegen im Gebirge sehr differenziert ist. Durchschnittlich liegen die F-Werte mit 0,24 daher, ebenso wie ihre Spannweite (0,34) ziemlich im

Mittelfeld. Der Cluster zeigt teilweise eine schöne Übereinstimmung mit den Wuchsgebieten 7.1, 7.2 und 8.2, wobei bemerkenswert ist, dass die Variante KE1 zusammen mit Variante KE4b und KE5 die einzigen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen darstellen, welche den Illyrischen Raum nicht zerschneiden.

Der graue „eher feuchte, thermisch ozeanischere, podsolige Zwischenalpencluster“ erstreckt sich über die höhergelegenen alpinen Gebiete südlich der Nördlichen Kalkalpen von den Stubaier Alpen bis zum Wechsel, über Teile des Alpenhauptkammes und der Niederen Tauern, über die Steirischen Randalpen (Koralpe bis Fischbacher Alpen), Saualpe und Seetaler Alpen, sowie über Gebirgszüge nördlich des Drautales und schließt mitunter auch Täler ein. Er ist vereinzelt auch in der Gegend des Hausrucks, der Silvretta und der Böhmischen Masse anzutreffen. So weist er eine sehr hohe durchschnittliche Seehöhe von 1281 m (2. höchste) und Seehöhenamplitude (1393 m) auf. Er ist hygrisch und thermisch bestimmt, denn er zeigt weder in Variante H1 noch in Variante T1 einen analogen Cluster. Auch wird er von allen 4 klimatischen Variablen ca. im gleichen Maß bestimmt. Die MIN_TEMP liegen um den mittleren, die GDD im kühlen Bereich an 2. letzter Stelle (t: -0,67; MW: 912,3 °C). Die H_BIL_VEGP ist eher feucht und die TROC_40 sind eher gering. Die TROC_40 schwanken in diesem Cluster interessanterweise am geringsten (um 1,74 / Jahr), auch die MIN_TEMP schwankt eher wenig (um 3,5 °C), die GDD schwanken dagegen eher stark (um 1122,2 °C). Er liegt von den Gebirgsclustern daher im Mittelbereich und ist im Vergleich zu violett etwas humider, die GDD sind wesentlich niedriger, die MIN_TEMP etwas höher. Von dunkelgrün unterscheidet ihn v.a. die höhere MIN_TEMP und H_BIL_VEGP, die GDD und TROC_40 sind niedriger. Der blaue Cluster ist hingegen feuchter und wärmer (bezüglich GDD), die MIN_TEMP ist praktisch gleich. Eine wichtige Rolle bei der Clusterabgrenzung, v.a. gegenüber dem carbonatischen blauen Cluster, dürften die Bodengruppen gespielt haben, denn er besteht zu 100 % aus POD_SEMI. Der Cluster weist Parallelen zum Wuchsgebiet 5.4 und im geringeren Maße zu 2.2 oder 3.1 auf. Der Cluster ist räumlich heterogen, innerhalb des Clusters aber recht homogen (durchschnittlichen F-Wert von 0,22), was v.a. für die hygrischen Variablen gilt.

Der violette, trockene, wärmere „inneralpine Becken-, Tal- und Hochlandcluster“ stellt innerhalb des Gebirgsbereiches den trockensten und wärmsten (GDD) Teil dar und umfasst das Klagenfurter Becken sowie das Aichfeld, Teile des Inn-, Ötz-, Drau-, Lavant-, Enns-, Mur- und Mürztal, den größten Teil der Böhmischen Masse und Teile des nördlichen und östlichen Alpenrandes (z.B. Joglland). Die durchschnittliche Seehöhe ist zwar eher niedrig (724 m), sie schwankt jedoch recht stark (um 1230 m). Er dürfte gleichermaßen hygrisch und thermisch bestimmt sein, den er weist keine Analogien zu einem bestimmten Cluster auf, am ehesten noch zu beige-grün aus Variante H1 und zu violett aus Variante T1 (7 Cluster). So wird er auch von allen 4 klimatischen Variablen ca. in gleichen Masse festgelegt. Die GDD und TROC_40 liegen eher im mittel bis oberen Bereich, die MIN_TEMP inversionsbedingt im mittel bis unteren Bereich, auch die H_BIL_VEGP ist mittel bis niedrig. Die Charakterisierung „thermisch kontinental“ trifft daher teilweise zu, gilt aber v.a. für das Klagenfurter Becken und angrenzen-

de Gebiete, und ein wenig für das Ötz- und Inntal (vergl. Variante K1). Die H_BIL_VEGP ist in diesem Cluster relativ konstant und schwankt nur um 371 mm, die TROC_40 schwanken hingegen hier sehr stark mit 2,60 / Jahr. Die Bodengruppen werden v.a. von POD_SEMI (44 %) und ARME_BE (37,4 %) gebildet. Violett ist etwas wärmer und trockener als dunkelgrün, von grau unterscheidet er sich durch höhere GDD, inversionsbedingt etwas niedrigere MIN_TEMP (daher höhere thermische Kontinentalität) und größere Trockenheit. Räumlich sowie auch innerhalb des Clusters ist dieser Cluster recht homogen (durchschnittlicher F-Wert: 20), einzig die MIN_TEMP liegt mit 0,29 F-Wert etwas höher. Der Cluster weist Ähnlichkeiten mit dem Wuchsgebiet 6.2 auf.

Der rote, kalte, feuchte podsolige „Hochgebirgscluster“ erstreckt sich wieder im Wesentlichen über die höchsten Gebirgsregionen am gesamten Alpenhauptkamm, in den Kitzbühler Alpen, Nockbergen, Niederen Tauern und Karnische Alpen. In den Nördlichen Kalkalpen bildet er „Kälteinseln“ im Bereich Rax, Hochschwab, Eisenerzer Alpen, Totes Gebirge, Dachstein, Salzburger Kalkalpen, Karwendel, Lechtaler Alpen und Bregenzer Wald aus. Da sich der Cluster Großteils auf die höchsten Regionen beschränkt, weist er auch die weitaus höchste durchschnittliche Seehöhe (1779 m) auf, diese schwankt jedoch für Gebirgsregionen nur sehr wenig (um 1050 m). Der Cluster ist aufgrund der Analogien zu rot aus Variante T1 klar thermisch bestimmt, wobei er v.a. von den GDD, aber auch von der H_BIL_VEGP und der MIN_TEMP bestimmt wird. Die MIN_TEMP (t: -1.91; MW: -5,7°C), GDD (t: -1,79; MW: 450,7 °C), aber auch die TROC_40 (t: -0,76; MW: 0,22 pro Jahr) erreichen hier die niedersten Werte überhaupt, während die H_BIL_VEGP (t: 1,01; MW: 435 mm) am höchsten liegt. Interessant ist, dass in diesem Cluster die MIN_TEMP hier weitaus am stärksten schwankt (um 6,5 °C), die GDD sind hingegen überall so gering, dass sie insgesamt am wenigsten schwanken (639,6 °C). Die Bodengruppen, welche durchaus Einfluss auf die Clusterbildung haben dürften, werden zum überwiegenden Teil von den POD_SEMI (t: 0,77; 63,3 %) gebildet, wobei auch die RENDSI_MB (t: 0,05; 22,1 %) noch gut vertreten sind, REICHE_BE und BE_LOCK_PB kommen gar nicht vor (0,0 %). Der Cluster ist räumlich und auch innerhalb des Cluster sehr heterogen. So erreicht der durchschnittliche F-Wert von allen Clustern hier den höchsten Wert (0,41), wobei auch die Spannweite (0,73) hier am höchsten ist. V.a. die MIN_TEMP ist hier sehr heterogen (F: 0,84, höchster Wert), aber auch die H_BIL_VEGP (F: 0,44) und die TROC_40 (0,25) sind heterogen und nehmen jeweils den 2. höchsten F-Wert ein. Einzig die GDD sind sehr homogen (F: 0,11, knapp 2. niedrigster Wert). Der westliche Teil des Wuchsgebietes 1.2 weist Analogien zu diesem Cluster auf.

Der braune „warme, trockene Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich über das Weinviertel, Wiener Becken, Tullner Feld, das Gebiet des Neusiedler Sees einschließlich dem Leithagebirge sowie das Mittelburgenland. So weist er auch weitaus die niedrigste durchschnittliche Seehöhe (256 m), bzw. Seehöhenamplitude (356 m) auf. Er wird in etwas stärkeren Maß hygrisch (vergl. braun in Variante H1) als thermisch (vergl. schwarz in Variante T1 (11 Cluster)) bestimmt. Es gehen alle klimatischen Variablen in die Clusterbildung ein, den stärksten Ein-

fluss dürften wiederum die TROC_40 haben. Alle 4 klimatischen Variablen erreichen hier bei weiten ihr Maximum (MIN_TEMP (t: 1,58; MW: -1,7°C), GDD (t: 1,73; MW: 1893,1 °C), TROC_40 (t:2,92; 3,71 pro Jahr)) bzw. Minimum (H_BIL_VEGP (t: -1,76; MW: -163 mm), wobei der Vorsprung des t-Werts gegenüber dem 2. größten Cluster, als auch der t-Wert an sich bei den TROC_40 besonders groß ist. Dieser Cluster weist hinsichtlich der MIN_TEMP und der H_BIL_VEGP die konstantesten Werte auf (Amplitude von 2,9 °C bzw. 197 mm), und auch die GDD und TROC_40 schwanken nur sehr wenig (um 689,7 °C bzw. 2,03 / Jahr). Die recht verschiedenen Bodengruppen dürften einen nicht so starken Einfluss auf die Clusterbildung gespielt haben. Es dominieren die BE_LOCK_PB (43,5 %), gefolgt von den hier sehr stark vertretenen SONSTIGEn (20,2 %), welche v.a. durch die Auenböden der Donau gebildet werden, aber auch ARME_BE, REICHE_BE und GLEY_PGL sind zu je ca. 10 % vertreten. Der Cluster ist räumlich und auch in sich sehr homogen, denn er weist im Mittel den niedrigsten F-Wert auf (0,13). Die F-Werte der GDD (0,10) und der H_BIL_VEGP (0,04) sind auch die niedrigsten von allen Clustern, letzterer stellt den absolut niedrigsten F-Wert der gesamten Variante KE1 dar. Der Cluster zeigt sehr schöne Analogien zum Wuchsgebiet 8.1.

Der blaue „carbonatische, humide Gebirgscluster“ erstreckt sich im Wesentlichen über die Nördlichen und Südlichen (v.a. Gailtaler Alpen und Karawanken) Kalkalpen, wobei er im Bereich der Radstädter Tauern auch weiter nach Süden reicht. Er tritt auch im Gebiet der Kleinalpe, des Bregenzer Waldes, sowie punktförmig im gesamten Alpenbereich auf. Er liegt mit 1014 m Seehöhe im Durchschnitt für den alpinen Bereich ziemlich niedrig, die Amplitude ist jedoch recht hoch (1362 m). Er wird v.a. hygrisch (vergl. blau (inclusive schwarz und violett) in Variante H1 (6 Cluster)) aber in hohem Maße auch durch die Bodengruppen festgelegt. So ist die H_BIL_VEGP (t: 0,88) sehr hoch bzw. die TROC_40 (t: -0,67) sehr niedrig (2. vorderste bzw. 2. letzte Stelle), wobei v.a. die H_BIL_VEGP das Ergebnis beeinflusst. Die MIN_TEMP, (mittleren bis etwas höheren Bereich), und die GDD (eher niedrig) haben wenig Einfluss auf das Clusterergebnis. Die MIN_TEMP und GDD weisen hier eine große Amplitude (4,9 °C bzw. 1262,0 °C) auf, die H_BIL_VEGP schwankt hier überhaupt am stärksten (um 965 mm). Die Bodengruppen werden dominiert von den RENDSI_MB (59,5 %) aber auch TERRA_FU (20 %), wobei beide das Clusterergebnis entscheidend mitbestimmen. So befindet sich fast die gesamten RENDSI_MB in diesem Cluster, was auch der sehr hohe t-Wert von 0,98 untermauert. Die Homogenitäten innerhalb des Clusters sind i.A. recht hoch (Durchschnitt F: 0,35), aber auch recht unterschiedlich. So weist die H_BIL_VEGP mit 0,56 den höchsten F-Wert auf, die TROC_40 sind jedoch recht homogen. Der Cluster zeigt teilweise schöne Parallelen zum Wuchsgebiet 4.2, aber auch zu 4.1 und 6.1.

Der dunkelgrüne „winterkalte, thermisch kontinentalere, eher trockenere Zwischenalpencluster“ ist räumlich sehr heterogen und erstreckt sich vielfach über Tallagen, wie über Teile des Mur-, Mürz-, Salzach-, Enns-, Drau-, Lavant- und obere Inntals, des Brenners und über Randlagen des Klagenfurter Beckens. In den Zentralalpen, und hier v.a. in den Gurktaler Alpen, reicht er aber auch bis in größere Höhen hinauf. Dadurch ist seine durchschnittliche Seehöhe

für den Alpenbereich recht gering (1087 m), seine Seehöhenamplitude ist aber die höchste überhaupt (1552 m). Er ist nicht klar hygrisch oder thermisch festgelegt, man kann jedoch geringe Parallelen zu dunkelgrün aus Variante H1 (9 Cluster) erkennen. Der Cluster wird von keiner Variable wirklich entscheidend festgelegt. Die MIN_TEMP sind inversionsbedingt sehr gering (t: -0,85; MW: -4,5°C) an 2. letzter Stelle), die GDD schwanken zwischen eher hoch und eher niedrig, wodurch es teilweise zu einer recht hohen thermischen Kontinentalität kommt. Hierbei schwankt die MIN_TEMP nur wenig, während die GDD hier überhaupt am stärksten schwanken (um 1382,2 °C). Die H_BIL_VEGP und TROC_40 sind beide niedrig. Damit ist dieser Cluster insofern interessant, da er von der H_BIL_VEGP eher trocken, von den TROC_40 aber eher feucht ist. Ein wichtiger Faktor bei der Abgrenzung dürfte der Boden sein, den REICHE_BE (60 %) dominieren, welche fast ausschließlich in diesem Cluster zu finden sind (t: 1,72), aber auch die POD_SEMI sind gut vertreten (30,3 %). Interessant ist der Vergleich mit dem wesentlich humideren blauen Cluster, denn die GDD liegen hier etwa gleich, die MIN_TEMP liegt im dunkelgrünen Cluster jedoch inversionsbedingt viel tiefer. Der Cluster ist in sich recht unterschiedlich homogen. So sind die TROC_40 sehr homogen (mit 0,11 niedrigster F-Wert), die GDD hingegen haben mit 0,38 unter allen Clustern den höchsten F-Wert, die MIN_TEMP liegen mit 0,48 noch darüber.

6.5.1.1 Vergleich zur Variante K1 (9 Cluster)

Die Variante KE1 unterscheidet sich von der Variante K1 durch die zusätzliche Aufnahme der Variable BODENGR, was große Veränderungen bewirkt. Es kommt zu einer Vereinheitlichung und größeren räumlichen Homogenität von blau und orange, innerhalb der restlichen Alpen tritt jedoch eine größere räumliche Heterogenität auf, weiters ändern sich fast alle Cluster und hellgrün verschwindet. So dürfte sich orange durch die Variablen GLEY_PGL und BE_LOCK_PB weiter nach Westen ausweiten und so den Illyrischen Raum und das Nördliche Alpenvorland vereinheitlichen. Rot wird vielfach durch POD_SEMI definiert und daher im Norden durch die RENDSI_MB abgeschnitten. Violett dehnt sich aufgrund der POD_SEMI und der ARME_BE, aber auch thermisch bedingt (vergl. Variante T1) weiter aus. Grau beschränkt sich nur noch auf die POD_SEMI und wird daher im Nordosten beschnitten, vergrößert sich aber westwärts und bildet dort schöner einen „Zwischenalpencluster“ aus. Blau beschränkt sich v.a. auf die RENDSI_MB und TERRA_FU, und wird dadurch recht homogen. Er dehnt sich weiter nach Osten und in Tirol weiter nach Süden aus, so dass er besser die Wuchsgebiete 4.1 und 4.2 ausfüllt. Er umfasst edaphisch bedingt auch die Südalpen und verliert das Gebiet der Koralpe an grau. Dunkelgrün wird stark verkleinert.

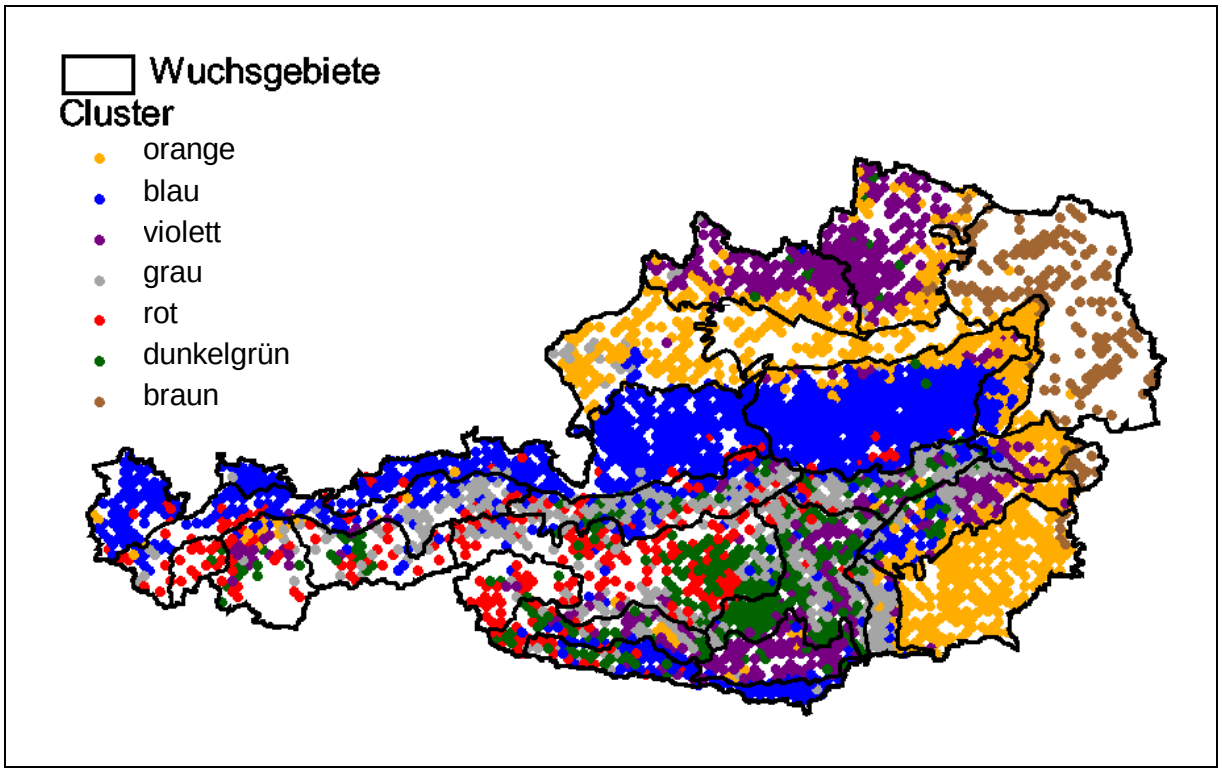


Abb. 6.22: Variante KE1, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.1.2 Kurzresümee der Variante KE1

I.A. sind die Homogenitäten innerhalb der Cluster bei dieser Variante zufriedenstellend, da der Wert 1 nirgends überschritten wird (siehe Kapitel 5.2.3.1). Die größte innere Heterogenität (hoher F-Wert) weist rot bzw. die MIN_TEMP auf, was auch auf den geringen Einfluss dieser Variable bei der Clusterbildung schließen lässt. Die geringsten F-Werte zeigen braun bzw. TROC_40. Der gesamte, über alle Cluster gemittelte durchschnittliche F-Wert ist mit 0,26 recht gering. Die Seehöhenamplituden sind generell ziemlich hoch und liegen überall, außer in braun über 1000 m, so dass die mittlere Seehöhenamplitude in Variante KE1 mit 1143 m auch ihr Maximum erreicht (siehe Tab. 6.2). Die durchschnittliche Seehöhe ist in braun am geringsten, und in rot am größten, die Seehöhenamplitude ist ebenfalls in braun am geringsten und in dunkelgrün am höchsten. Der Einfluss der hygrischen und thermischen Variablen ist ca. gleich groß, wobei die GDD doch etwas dominieren. Einen sehr starken Einfluss üben die Bodengruppen aus (s.o.), da diese aufgrund der nur 4 klimatischen Variablen, ein recht großes Gewicht haben. Sie führen im Flachland und in den Nördlichen Kalkalpen zu einer größeren räumlichen Homogenität, der restliche Alpenraum wird durch sie jedoch räumlich recht heterogen.

Tab. 6.1a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE1

F_WERT	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,17	0,38	0,29	0,26	0,84	0,48	0,18	0,66	0,37
GDD	0,14	0,30	0,22	0,27	0,11	0,38	0,10	0,28	0,22
H_BIL_VEGP	0,18	0,56	0,11	0,22	0,44	0,15	0,04	0,52	0,24
TROC_40	0,48	0,15	0,17	0,11	0,25	0,11	0,19	0,37	0,21
Spannweite	0,34	0,41	0,19	0,15	0,73	0,37	0,16	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,24	0,35	0,20	0,22	0,41	0,28	0,13		0,26

T_WERT	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun	Spannweite
MIN_TEMP	0,90	0,01	-0,17	-0,09	-1,91	-0,85	1,58	3,48
GDD	1,09	-0,32	0,30	-0,67	-1,79	-0,35	1,73	3,52
H_BIL_VEGP	-0,86	0,88	-0,70	0,38	1,01	-0,20	-1,76	2,77
TROC_40	0,84	-0,67	0,20	-0,53	-0,76	-0,21	2,92	3,68
ARME_BE	-0,06	-0,19	0,84	-0,35	0,02	-0,05	-0,05	1,19
REICHE_BE	0,06	-0,22	-0,32	-0,32	-0,32	1,72	0,08	2,05
POD_SEMI	-0,50	-0,61	0,34	1,58	0,77	0,04	-0,63	2,22
BE_LOCK_PB	0,51	-0,21	-0,12	-0,30	-0,30	-0,30	1,26	1,56
GLEY_PGL	0,69	-0,11	-0,13	-0,33	-0,31	-0,32	0,00	1,03
RENDSI_MB	-0,41	0,98	-0,50	-0,50	0,05	-0,50	-0,43	1,48
TERRA_FU	-0,13	0,52	-0,27	-0,27	-0,20	-0,27	-0,20	0,79
SONSTIGE	0,32	-0,14	0,08	-0,24	-0,22	-0,24	0,66	0,90

Tab. 6.1b (a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE1 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	220	403	371	425	1304	406	118
MAX	1278	1765	1601	1817	2354	1958	474
MITTELWERT	441	1014	724	1281	1779	1087	256
AMPLITUDE	1058	1362	1230	1393	1050	1552	356
MIN_TEMP in 1/10 °C	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	-39	-58	-57	-53	-104	-63	-31
MAX	-5	-9	-20	-18	-39	-27	-2
MITTELWERT	-25	-35	-37	-36	-57	-45	-17
AMPLITUDE	34	49	37	35	65	36	29
SO_ABS_JUL in h	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	179	135	170	145	126	142	205
MAX	273	255	267	256	250	259	283
MITTELWERT	241	203	227	203	192	215	252
AMPLITUDE	94	120	96	111	124	117	78
GDD in 1/10 °C	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	10746	3968	7901	4584	1265	3577	15315
MAX	20151	16588	18446	15806	7661	17399	22212
MITTELWERT	16311	10535	13077	9123	4507	10418	18931
AMPLITUDE	9405	12620	10545	11222	6396	13822	6897
H_BIL_VEGP in mm	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	-143	-21	-91	94	46	-69	-252
MAX	525	945	280	731	945	443	-55
MITTELWERT	30	407	66	300	435	174	-163
AMPLITUDE	668	965	371	637	899	511	197
GAMS in °	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	5	10	15	21	32	23	-13
MAX	48	55	64	64	72	63	43
MITTELWERT	25	34	41	44	53	47	14
AMPLITUDE	43	45	49	43	39	40	56

Tab. 6.1b (b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE1 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

TROC_40 pro Jahr	orange	blau	violett	grau	rot	dunkelgrün	braun
MIN	-0,10	-0,49	0,27	-0,48	-1,00	-0,43	2,65
MAX	3,58	1,59	2,87	1,26	1,22	1,83	4,68
MITTELWERT	1,74	0,31	1,13	0,44	0,22	0,74	3,71
AMPLITUDE	3,68	2,09	2,60	1,74	2,22	2,25	2,03
BODENGRUPPEN	**orange**	**blau**	**violett**	**grau**	**rot**	**dunkelgrün**	**braun**
ARME_BE	9,1%	5,0%	37,4%	0,0%	11,8%	9,4%	9,5%
REICHE_BE	11,2%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	60,0%	11,9%
POD_SEMI	6,0%	0,8%	44,0%	100,0%	63,3%	30,3%	0,0%
BE_LOCK_PB	22,8%	2,8%	5,3%	0,0%	0,0%	0,0%	43,5%
GLEY_PGL	30,9%	6,8%	6,2%	0,0%	0,7%	0,3%	10,1%
RENDSI_MB	3,8%	59,5%	0,0%	0,0%	22,1%	0,0%	3,0%
TERRA_FU	3,7%	20,0%	0,0%	0,0%	1,7%	0,0%	1,8%
SONSTIGE	12,5%	2,2%	7,2%	0,0%	0,3%	0,0%	20,2%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Es wurde daher in Variante KE1b (hier nicht abgebildet) versucht, den starken Bodeneinfluss durch eine geringere Gewichtung (0,6) der Variablen BODENGR etwas zurückzunehmen, jedoch erwies sich diese Variante aufgrund der starken Heterogenität und der geringen Analogien zu bestehenden Naturraumgliederungen als nicht sehr brauchbar.

6.5.2 Variante KE2

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, H_BIL_VEGP, GAMS, TROC_40 und BODENGR (gewichtet mit Faktor 1)

Diese Variante (siehe Abb. 6.24) unterscheidet sich von Variante KE1 durch die Hereinnahme der Variable GAMS, von der Variante K2 durch die Hereinnahme der Variablen BODENGR und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T1 und H2. Der Fusionsprozess ist auch gut im Dendrogramm mit 8 Clustern (siehe Abb. 6.23) zu sehen: Die ersten 2 Cluster sind der „Flach- und Hügellandcluster“ (orange, violett, hellgrün) und der „Gebirgscluster“ (rot, blau, dunkelgrün, grau, beige-blau). Aus dem Gebirgscluster löst sich zunächst der rote „Hochgebirgscluster“ heraus. Es bilden sich nun ein oranger „trocken-warmer Flachlandcluster“ und ein „Hügellandcluster“ (violett und hellgrün), danach spaltet sich der humide blaue, bzw. der eher trockene, wärmere dunkelgrüne Cluster vom „Gebirgscluster“ ab. Nun folgt die Teilung des „Hügellandclusters“ in violett und hellgrün und zuletzt teilt sich der Gebirgscluster in grau und beige-blau. Das Dendrogramm zeigt u.a., wie unähnlich der „Flach- und Hügellandcluster“ und der „Gebirgscluster“ zueinander sind (da sie sich erst nach sehr langer Zeit vereinigen), dass sowohl der orange, als auch der rote Cluster ziemlich isoliert stehen, während der dunkelgrüne, graue und beige-blaue Cluster einander recht ähnlich sind und dass die Fusion von violett und hellgrün nahezu gleichzeitig mit jener von dunkelgrün und grau bzw. beige-blau abläuft. Das Dendrogramm mit 25 Clustern (siehe Abb. A1 im Anhang) zeigt,

dass eigentlich 5 bzw. 7 eine „optimale“ Clusterzahl wäre, weil hier die Cluster noch recht unterschiedlich sind. Da aber die letzte Fusion zwischen beige-blau und grau erfolgt, wurde schon bei 8 Clustern abgebrochen, um den grauen Cluster nicht bis in die Nördlichen Kalkalpen hineinreichen zu lassen.

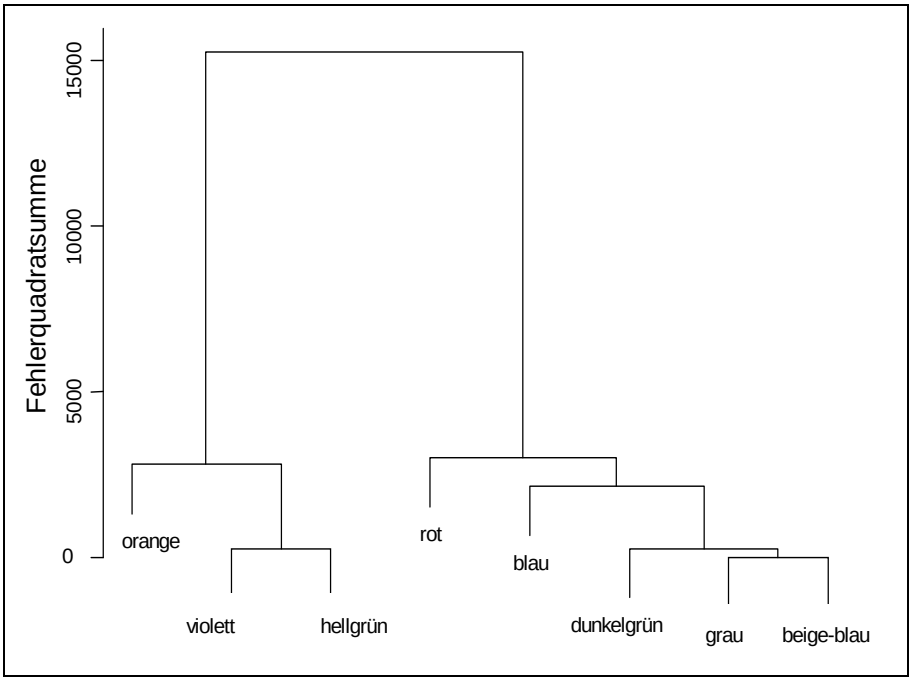


Abb. 6.23: Dendrogramm: Variante KE2, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Der orange „trocken-warme Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich über das Weinviertel, Wiener Becken, Tullner Feld, das Gebiet des Neusiedler Sees einschließlich dem Leithagebirge, das Mittelburgenland, das Oststeirische Hügelland sowie über das Donautal bis zum Ennsfeld. Mittelwert und Amplitude der Seehöhe sind daher in diesem Cluster am geringsten (301 m bzw. 575 m) (siehe Tab. A1b im Anhang). Der Cluster ist v.a. hygrisch geprägt, denn er weist starker Parallelen zu orange in Variante H2 (6 Cluster) auf, was sich abermals durch die Zerschneidung des Illyrischen Raumes sowie die Zugehörigkeit des Ennsfeldes zeigt. So übt wiederum TROC_40 den stärksten Einfluss auf die Clusterbildung aus, die anderen Variablen beeinflussen diesen Cluster auch, aber in geringerem Maß, den geringsten Einfluss hat GAMS. Der Cluster ist gekennzeichnet durch die höchsten GDD, MIN_TEMP, TROC_40, und die geringsten H_BIL_VEGP und hygrische Kontinentalität (GAMS). V.a. die TROC_40 liegen wieder sehr hoch (t: 2,23; MW: 3,06 pro Jahr) und mit großem Abstand vorne (siehe Tab. A1a,b im Anhang). Die MIN_TEMP, GDD und H_BIL_VEGP schwanken hier nur gering (Letztere mit 342 mm überhaupt am wenigsten), GAMS (53°) und TROC_40 (3,30 /Jahr) weisen hier die größten Amplituden auf. Die Bodengruppen werden v.a. durch BE_LOCK_PB (32 %), GLEY_PGL (21,9 %) und SONSTIGE (19,1 %) gebildet, diese sind jedoch für die Clusterausbildung praktisch irrelevant, da dieser Cluster dem orangen Cluster aus Variante K2 (6 Cluster) fast genau gleicht (s.u.). Dieser räumlich sehr homogene Cluster ist in sich bezüglich der MIN_TEMP (F: 0,19), der GDD (F: 0,09) sowie der H_BIL_VEGP (F: 0,11) am homo-

gensten, die TROC_40 (F: 0,61) und GAMS (F: 0,53) sind hingegen am heterogensten. Er weist daher eine große Spannweite und einen etwas über dem Durchschnitt liegenden F-Wert auf. Diese Inhomogenität in GAMS ist wiederum v.a. auf die großen, temperaturbedingten Unterschiede innerhalb von Wien und im Neusiedlerseegebiet (siehe Kapitel 5.1.2.8) zurückzuführen.

Der graue „feuchtere, kühlere, podsolige Zwischenalpencluster“ erstreckt sich wiederum eher über die höhergelegenen alpinen Gebiete der nördlichen bzw. südöstlichen Zwischenalpen vom Zillertal bis zum Wechselgebiet bzw. von der Koralpe bis in die Kreuzeckgruppe, vereinzelt tritt er aber auch in den Zentralalpen auf. So liegt er mit einer durchschnittliche Seehöhe von 1290 m auch weit über dunkelgrün, die Seehöhenamplitude ist mit 1066 m die geringste innerhalb der Alpen. Er ist hygrisch und thermisch bestimmt, denn er weist weder zur Variante T1, noch zur Variante H2 besondere Parallelen auf. Die MIN_TEMP liegen um den mittleren, die GDD im kühlen Bereich an 2. letzter Stelle (t: -0,68; MW: 909,2 °C). Die H_BIL_VEGP ist eher feucht, die TROC_40 sind eher gering und GAMS ist schon ziemlich kontinental (t: 0,65; MW: 45 °). Die Amplituden der MIN_TEMP (2,8 °C), von GAMS (27°) und TROC_40 (1,74 /Jahr) weisen in diesem Cluster ihr Minimum auf, und auch jene der GDD und der H_BIL_VEGP sind sehr gering. Unter den Gebirgsclustern liegt er daher im Mittelbereich und ist im Vergleich zu violett humider, kälter und hygrisch kontinentaler, von dunkelgrün unterscheidet er sich v.a. durch die höheren MIN_TEMP und H_BIL_VEGP, während die GDD und TROC_40 niedriger sind, GAMS liegt im grauen Cluster ein wenig darunter. Der blaue Cluster ist hingegen wesentlich feuchter und hygrisch ozeanischer, aber auch wärmer und basisch. Die Bodengruppen dürften eine größere Rolle bei der Clusterabgrenzung, v.a. gegenüber blau gespielt haben, denn der graue Cluster besteht auch hier zu 100 % aus POD_SEMI. Der Cluster ist in sich sehr homogen und weist auch mit 0,16 den geringsten durchschnittlichen F-Wert auf. Der Cluster weist Parallelen zum Wuchsgebiet 5.4.

Der rote „kalte, hygrisch kontinentale Hochgebirgscluster“ erstreckt sich im Wesentlichen über höhergelegenen Regionen der Alpen und zieht sich vom Rätikon den Alpenhauptkamm entlang bis zu den Nockbergen und Niederen Tauern bzw. über Osttirol bis in die Karawanken. Er bildet darüber hinaus wiederum „Kälteinseln“ in den Nordalpen, wie im Bereich des Hochschwabs, des Toten Gebirges, des Dachsteins, Hochkönigs, der Loferer Steinberge, der Kitzbühler Alpen, des Karwendels und der Lechtaler Alpen. Im Lungau reicht er wiederum weit ins Tal hinab. Er nimmt demnach die höchste durchschnittliche Seehöhe (1666 m) und größte Seehöhenamplitude (1719 m), sowohl von dieser Variante, als auch von allen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen überhaupt, ein. Er wird stark thermisch bestimmt (vergl. rot in Variante T1 (6 Cluster)), die Ähnlichkeiten zum roten Cluster in der Variante H2 (10 Cluster) sind wieder v.a. auf die Temperaturkomponente in GAMS zurückzuführen. Der Cluster wird durch die Variablen GDD, MIN_TEMP und GAMS festgelegt, die anderen beiden Variablen haben praktisch keinen Einfluss auf die Clusterbildung. Er ist geprägt von den tiefsten MIN_TEMP (t: -1,65; MW –5,4°C) und GDD (t: -1,56; MW 545,5 °C) sowie der stärksten

hygrischen Kontinentalität (GAMS: t: 1,33; MW: 53°). Die H_BIL_VEGP ist sehr hoch (mit t: 0,74; MW 377 mm an der 2. Stelle), die TROC_40 dementsprechend sehr niedrig. Die MIN_TEMP (6,9 °C) und H_BIL_VEGP (923 mm) weisen hier die größte Amplitude auf, wobei auch die GDD stark schwanken. Die vorwiegend aus POD_SEMI (61,9 %) bestehenden Bodengruppen haben praktisch keinen Einfluss auf die Clusterbildung, da dieser Cluster dem roten Cluster aus Variante K2 fast genau gleicht (s.u.). Dieser Cluster ist innerhalb der Zentralalpen räumlich sehr homogen, außerhalb jedoch weniger. In sich ist dieser Cluster wiederum sehr inhomogen, was v.a. auf die MIN_TEMP und H_BIL_VEGP zutrifft und sich auch durch den höchsten durchschnittlichen F-Wert (0,40) manifestiert. Das Wuchsgebiet 1.2 und 1.3 zeigt teilweise Analogien zu diesem Cluster.

Der violette „wärmere, trockenere, braunerdenreiche Randalpencluster“ umfasst einerseits den Großteil der östlichen Randalpen von der Stubalpe bis in den Wienerwald und den östlichsten Teil der Nördlichen Randalpen sowie den Rand der Böhmischen Masse. Andererseits füllt er auch tiefe Lagen, wie das Klagenfurter Becken, und Teile des Drau-, Gail-, Enns-, Mur-, Mürz- und des Inntales aus. Darüber hinaus umfasst er auch braunerdebedingt punktförmig viele Teile der höhergelegenen Böhmischen Masse. Die durchschnittliche Seehöhe (625 m) liegt ebenso wie die Seehöhenamplitude (1244 m) im Mittelbereich. Er ist hygrisch und thermisch beeinflusst, denn er zeigt Ähnlichkeiten zu beige-grün aus Variante H2 und zu orange aus Variante T1 (11 Cluster), die hygrische Affinität ist jedoch höher. Er steht zwischen Flachland und Gebirge, da er stets trockener und wärmer als die Gebirgscluster bzw. feuchter und kühler als die Flach- und Hügellandcluster (orange, hellgrün) ist (Ausnahme hellgrün: s.u.). Auch von der hygrischen Kontinentalität liegt er dazwischen, einzig der blaue Cluster ist hygrisch ozeanischer. Hier gilt auch (vergl. Variante K1 & K2), dass dieser Cluster nicht klar von bestimmten Variablen festgelegt wird, TROC_40 (höherer Bereich), GAMS (mittlerer Bereich) und GDD (höherer Bereich) haben etwas mehr Einfluss als H_BIL_VEGP (mittel bis gering) und MIN_TEMP (mittel bis höherer). Die Bodengruppen, welche v.a. aus Braunerden bestehen (ARME_BE 47,1 %, REICHE_BE 19,7 %) haben hier einen größeren Einfluss auf die Clusterbildung, wobei violett einen sehr großen Anteil der insgesamt vorkommenden ARME_BE (t: 1,15) vereinnahmt. Der Cluster ist räumlich eher inhomogen, bei der Homogenität innerhalb des Clusters liegt er im Mittelfeld. Das Wuchsgebiet 6.2 deckt sich zum Teil recht gut mit diesem Cluster, wobei auch Affinitäten zu den Wuchsgebieten 5.1, 5.2 und 5.3 bzw. zum Rand der Wuchsgebiete 9.1 und 9.2 zu erkennen sind.

Der blaue „stark humide carbonatische Gebirgscluster“ beschränkt sich im Wesentlichen auf die Nördlichen Kalkalpen (inclusive Bregenzer Wald) vom Rätikon bis ins Ötscherland, außerhalb davon tritt er nur ein wenig in den Karawanken und auf der Koralpe auf. Der Cluster weist wiederum eine für den Alpenbereich niedrige durchschnittliche Seehöhe (985 m) auf, die Seehöhenamplitude ist jedoch mit 1405 m die 2. höchste. Er ist stark hygrisch geprägt (vergl. blau in Variante H2 (6 Cluster)). Die TROC_40 nimmt hier den niedrigsten (t: -0,86; MW: 0,12 pro Jahr), die H_BIL_VEGP mit Abstand den höchsten Wert (t: 1,31; MW: 501 mm) ein, GAMS

liegt im ozeanischeren Bereich, GDD und MIN_TEMP liegen im Mittelbereich. Die GDD weisen in blau die größte Amplitude auf (1262,0 °C), wobei auch die Amplituden der MIN_TEMP und H_BIL_VEGP sehr hoch sind (4,6°C bzw. 803 mm), die TROC_40 schwankt hingegen nur sehr wenig (um 1,76 / Jahr). Festgelegt wird blau v.a. durch H_BIL_VEGP, aber auch durch TROC_40 und bis zu einem gewissen Grad durch GAMS, kaum jedoch von den thermischen Variablen. Die Bodengruppen haben einen wichtigen Einfluss auf die Clusterausbildung (s.u.) und werden wiederum von den RENDSI_MB (59,6 %) sowie der TERRA_FU (15,9 %) geprägt, jedoch treten auch viele andere Böden, wie z.B. GLEY_PGL (12 %) auf. Gegenüber dunkelgrün ist blau wesentlich feuchter und hygrisch ozeanischer, die GDD liegen in dunkelgrün knapp über, die MIN_TEMP jedoch inversionsbedingt weit unter jenen von blau, die Böden sind in blau basisch, in dunkelgrün sauer. Der räumlich doch recht homogene Cluster weist in sich sehr unterschiedliche Homogenitäten auf. So erreichen die stark schwankenden GDD hier den höchsten F-Wert (0,35) und auch die MIN_TEMP und v.a. die H_BIL_VEGP sind sehr inhomogen, während die TROC_40 den niedrigsten F-Wert (0,10) aufweisen. Die Grenzen decken sich z.T. mit jenen der Wuchsgebiete 4.1 und 4.2.

Der dunkelgrüne „trockenere, winterkalte, thermisch und hygrisch kontinentalere Zwischenalpencluster“ nimmt wiederum v.a. die Tal und Beckenlagen, aber auch Hochlagen ein und erstreckt sich über das Mur-, Mürz-, Salzach-, Enns-, Drau-, Gail-, Lavant- und obere Inntal, über die angrenzenden Gebiete des Klagenfurter Beckens sowie über die höhergelegene Böhmische Masse. Der Mittelwert der Seehöhe (920 m) ist der geringste innerhalb der Alpen, die Seehöhenamplitude liegt im Mittelbereich. Er weist wiederum große Parallelen zu dunkelgrün aus der Variante H2 (10 Cluster) auf, so dass auch hier der hygrische Einfluss überwiegt. Beeinflusst wird die Clusterbildung v.a. durch H_BIL_VEGP und TROC_40, aber auch durch GAMS und GDD. Der Cluster weist inversionsbedingt ziemlich niedrige MIN_TEMP (t: -0,40; MW: -4,0 °C), jedoch GDD im mittleren Bereich (t: - 0,11; MW 1141,9°C) auf. Die GDD sind allerdings die höchsten im Alpenbereich und so kann man den Cluster teilweise als thermisch kontinental bezeichnen. Die H_BIL_VEGP ist zwar insgesamt eher feucht und die TROC_40 liegt im mittleren Bereich, innerhalb der Alpen sind diese beiden Werte jedoch die trockensten, GAMS ist sehr kontinental und liegt an 2.Stelle (t: 0,76; MW: 46°). Die Bodengruppen, welche das Clusterergebnis etwas beeinflusst haben dürften, bestehen v.a. aus POD_SEMI (54,9 %) und REICHE_BE (29,3 %), wobei dieser Cluster wiederum insgesamt den größten Anteil an REICHE_BE (t: 0,67) aufweist. Der Cluster ist räumlich teilweise recht homogen (Böhmische Masse, nördlich des Klagenfurter Beckens), und auch bezüglich des F-Wertes gehört er zu den homogeneren Clustern. Er weist teilweise schöne Parallelen zum Wuchsgebiet 3.2 auf.

Der hellgrüne „feuchtere Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich im Wesentlichen über das westliche Alpenvorland (inklusive Hausruck) und über das Weststeirische Hügelland, er zieht sich jedoch im schmalen Band der Flyschzone den Alpenrand entlang bis in den Wienerwald, wobei ein zweites Band am Rand der Böhmischen Masse entlang läuft. Er tritt auch vereinzelt im Klagenfurter Becken sowie im Drau- und Rheintal auf. Er weist demnach die 2. niedrigste

mittlere Seehöhe (450 m) und überhaupt die geringste Seehöhenschwankung (555 m) auf. Er zeigt wiederum starke Parallelen zu hellgrün aus Variante H2 (6 Cluster), wobei das Klagenfurter Becken aufgrund der MIN_TEMP nicht mehr dazugehört (vergl. Variante K1 & K2). Die MIN_TEMP hat darüber hinaus keine Relevanz auf die Clusterausbildung, GDD und GAMS haben einen geringen Einfluss darauf. Höheren Einfluss haben die H_BIL_VEGP und v.a. die TROC_40. Die MIN_TEMP, GDD, TROC_40 und GAMS liegen alle hinter orange an 2. höchster Stelle, wobei interessant ist, dass der violette Cluster bezüglich der H_BIL_VEGP noch eine Spur trockener ist. Die GDD weisen hier die geringsten Schwankungen auf (6681 °C), die Schwankungen der übrigen klimatischen Variablen liegen im Mittelbereich. Die Bodengruppen beeinflussen das Clusterergebnis zum Teil, wie v.a. im Flyschgebiet, und werden v.a. von GLEY_PGL (40,8 %) und BE_LOCK_PB (30,6 %) gebildet. Der Cluster ist wiederum räumlich und auch in sich sehr homogen und weist bei den MIN_TEMP sogar den niedrigsten F-Wert auf. Der Cluster zeigt Parallelen zum Wuchsgebiet 7.1.

Der beige-blaue „weniger humide, carbonatische Gebirgscluster“ erstreckt sich über den Ostteil der Nördlichen Kalkalpen vom südlichen Wienerwald bis in die Eisenerzer Alpen, zieht sich aber unterschiedlich stark ausgeprägt die Kalkalpen entlang bis in den Außerfern. Stärker ausgeprägt ist dieser Cluster im steirischen Salzkammergut, im Tennengebirge, im Karwendel und im Außerfern. Auch tritt er in den südlichen Kalkalpen (v.a. Karawanken und Gailtaler Alpen) auf, punktförmig ist er in weiten Teilen der Alpen zu finden. Er liegt somit sowohl von der durchschnittlichen Seehöhe (1091 m), als auch von der Seehöhenamplitude (1255 m) im Mittelbereich. Er weist v.a. im Osten Parallelen zum hellblauen Cluster aus Variante H2 auf, und ist daher Großteils hygrisch definiert. GAMS hat bei der Clusterausbildung den größten Einfluss, gefolgt von H_BIL_VEGP, TROC_40 bzw. GDD. Die H_BIL_VEGP und TROC_40 sind eher feucht, sind aber noch trockener als in blau und rot. GAMS liegt hier im Mittelbereich, ist aber kontinentaler als in blau, die GDD und MIN_TEMP (eher niedrig) sind niedriger als in blau. Gegenüber grau ist beige-blau bezüglich H_BIL_VEGP etwas feuchter und hygrisch ozeanischer, weist etwas höhere MIN_TEMP und etwas niedrigere GDD auf und beinhaltet viel carbonatischen Boden. GAMS und TROC_40 zeigen recht geringe Schwankungen. Eine größere Rolle bei der Abgrenzung dürften die vorwiegend aus RENDSI_MB (63,3 %), aber auch TERRA_FU (24,4 %) (beide haben hier die höchste Konzentration) und ARME_BE (12,3 %) aufgebauten Bodengruppen gespielt haben. Räumlich ist der Cluster v.a. im Osten und Süden homogen, innerhalb des Clusters weist er durchaus niedrige F-Werte auf, wobei GAMS den niedrigsten Wert hier darstellt. Der Cluster zeigt Parallelen zum Wuchsgebiet 6.1.

Bis hierher kann die Variante als räumlich recht homogen angesehen werden. Es kommt nun (siehe Abb. 6.25) zur Ausbildung des gelben „wärmeren hygrisch ozeanischeren, humiden“ Clusters (vergl. beige-blau in Variante K2), des hellblauen, hygrisch kontinentalen „Kälteclusters“ (vergl. Variante T1) und danach des braunen „trockenen Hitzeclusters“ (vergl. Variante K2).

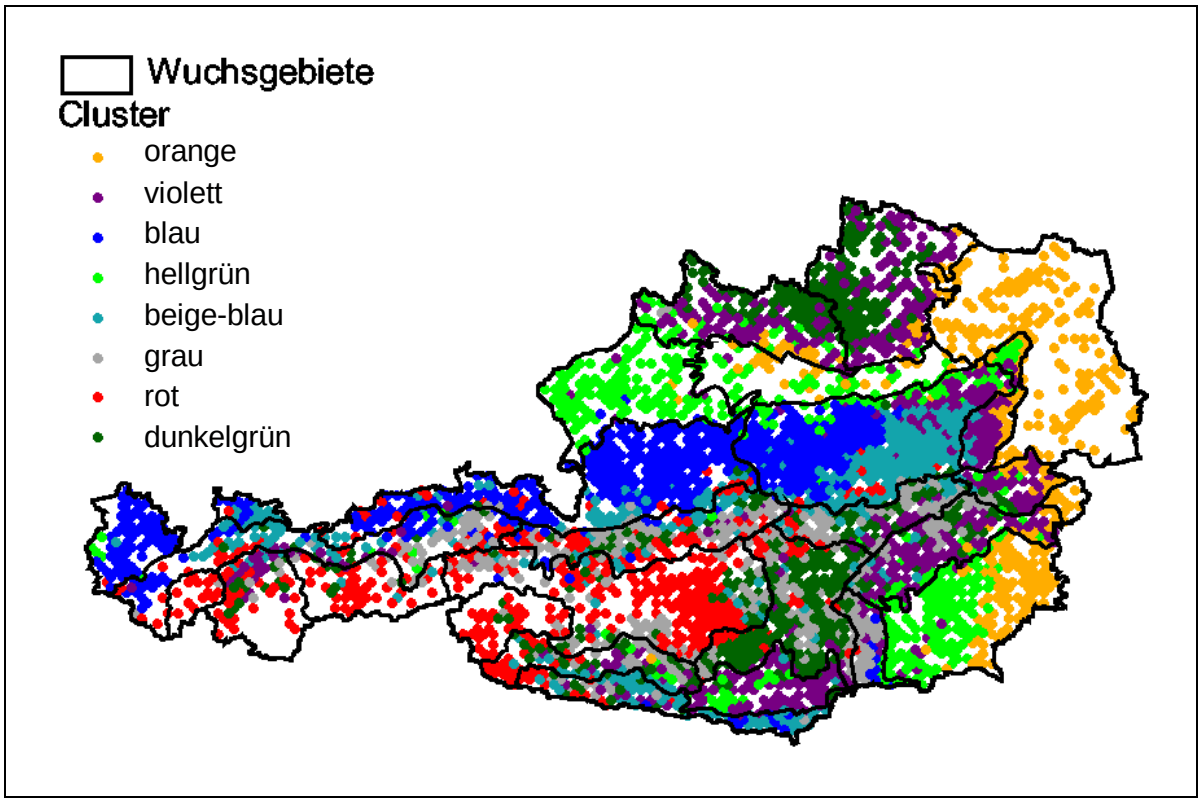


Abb. 6.24: Variante KE2, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

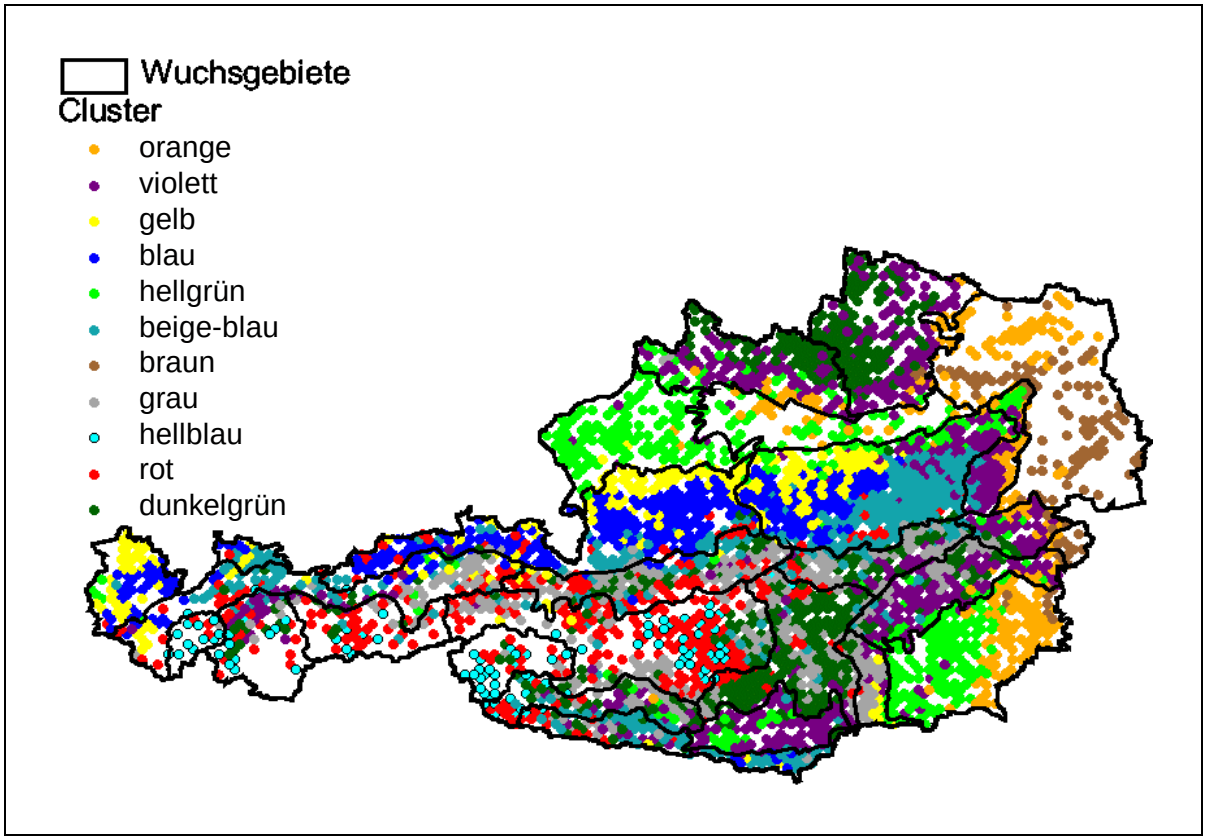


Abb. 6.25: Variante KE2, 11 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.2.1 Vergleich zur Variante KE1

Durch die Hereinnahme der Variablen GAMS kommt es gegenüber Variante KE1 (7 Cluster) zu folgenden Änderungen (vergl. auch Variante K2, Variante H2): Die Variante KE2 wird innerhalb der östlichen Rand-, Zentral- und Zwischenalpen räumlich homogener, in den nördlichen und Südlichen Kalkalpen, sowie in der Böhmischen Masse jedoch räumlich heterogener. Die F-Werte bleiben ungefähr gleich, oder werden teilweise etwas niedriger. Durch die höhere Variablenzahl wird generell der Einfluss der Bodengruppen etwas schwächer, so dass z.B. orange wieder den Illyrischen Raum und das nördliche Alpenvorland durchschneidet, wobei die unterschiedlichen Seehöhenamplituden aufgrund des Fehlens des braunen Clusters in Variante KE2 (8 Cluster) nicht verglichen werden können. Als neuer Cluster kommt hier beige-blau hinzu, welcher sich aufgrund von GAMS, aber auch aufgrund der geringeren Gewichtung der Bodengruppen, aus blau bildet. Dadurch kommt es zu einer Aufspaltung der Nördlichen Kalkalpen in beige-blau und blau. Der blaue Cluster zieht sich auch aus den hygrisch kontinentalen Zentralalpen weitgehend zurück und wird zum feuchtesten Cluster, da hier, im Gegensatz zur Variante KE1, der weniger humide Ostteil nicht diesem Cluster angehört. Dadurch wird blau auch einheitlicher, was sich durch seine niedrigeren F-Werte der H_BIL_VEG, TROC_40 und im Durchschnitt zeigt.
Rot wird aufgrund der hohen zentralalpinen hygrischen Kontinentalität größer und räumlich homogener, wodurch er in Talbereiche reicht und sich dadurch seine Seehöhenamplitude stark vergrößert, braun wird aufgrund der thermischen Komponente in GAMS kleiner. Violett vergrößert sich einerseits nach Nordosten in ein Gebiet gleicher hygrischer Kontinentalität und bildet hier schön einen Randalpencluster aus, welcher recht gut mit den Wuchsgebieten 5.1, 5.2 und 5.3 korrespondiert. Andererseits wandert violett in die niedrigsten, hygrisch ozeanischeren Bereiche der Böhmischen Masse hinunter, noch näher an die Donau heran, während sich in den höhergelegenen, hygrisch kontinentaleren Gebieten der Böhmischen Masse dunkelgrün ausbreitet. Der F-Wert von violett steigt dadurch im Durchschnitt stark an. Da dunkelgrün darüber hinaus von rot aus den Zentralalpen verdrängt wird, vermindert sich seine Seehöhenamplitude und sein durchschnittlicher F-Wert stark, grau verändert sich kaum.

6.5.2.2 Vergleich zur Variante K2

Die Variante KE2, welche sich durch die zusätzliche Variable BODENGR von Variante K2 unterscheidet, ist räumlich etwas heterogener als die Variante K2. Kaum Veränderungen, und daher kaum einen Einfluss der Bodengruppen, zeigen orange und rot. Durch die Bodengruppe verändert werden v.a. braunerdenbedingt violett (in der höhergelegenen Böhmischen Masse und südöstlich der Fischbacher Alpen), carbonatisch bedingt blau (er wird im Süden im Bereich Pongau und Kitzbühler Alpen abgeschnitten) und in geringeren Maße gleybedingt hellgrün (in der östlichen Flyschzone und in der Böhmischen Masse). Blau stimmt dadurch im Süden besser mit den Wuchsgebietsgrenzen überein. Auch bodenbedingt dürfte die Ausbildung

von beige-blau sein, da dieser in Variante K2 nicht existiert, und er zusammen mit blau die carbonatischen Böden einnimmt. Dunkelgrün und grau ziehen sich podsolbedingt durch Salzburg durch, so dass sie besser die Zwischenalpen einnehmen als in Variante K2, wobei die Trennung zwischen diesen Clustern in Variante K2 erst später erfolgt (dort nicht mehr angeführt).

6.5.2.3 Kurzresümee der Variante KE2

I.A. spielen die Bodengruppen hier bei der Clusterausbildung schon noch eine, jedoch geringere Rolle als in Variante KE1, was v.a. auf das Vorhandensein von 5 klimatischen Variablen und damit einer geringeren Gewichtung der Bodenvariablen zurückzuführen ist. Dadurch werden beispielsweise die nördlichen Kalkalpen wieder auf zwei Cluster aufgeteilt. Die östlichen Randalpen werden hier durch violett besonders gut wiedergegeben, der Illyrische Raum ist wiederum zerschnitten. Auch hier sind die F-Werte durchaus zufriedenstellend, wobei der durchschnittliche F-Wert mit 0,26 recht gering ist. Den niedrigsten F-Wert haben interessanter Weise der graue Cluster bzw. die GDD, während wiederum der rote Cluster bzw. die MIN_TEMP in sich am heterogensten sind. Diese Variante wird etwas stärker durch die hygrischen Variablen festgelegt, da diese Variablen auch zahlenmäßig überwiegen, wobei die TROC_40 diese Variante etwas stärker beeinflussen als GDD, H_BIL_VEGP und GAMS, die MIN_TEMP hat den geringsten Einfluss. Die durchschnittliche Seehöhe erreicht in orange ihr Minimum und in rot ihr Maximum, die Seehöhenamplitude ist in hellgrün am geringsten und in rot am höchsten, wobei diese mit 1719 m den Maximalwert aller Seehöhenamplituden darstellt (siehe Tab. 6.2). Die Variante KE2 ist räumlich einigermaßen homogen, darüber hinaus zeigt es auch teilweise eine recht gute Übereinstimmung mit der PNV-Karte nach MAYER (1977) (siehe Kapitel 6.6.3).

6.5.3 Variante KE2b

Die Variante KE2b (siehe Abb. 6.26; Tab. A2a,b im Anhang) unterscheidet sich von Variante KE2 nur durch die stärkere Gewichtung der BODENGR mit dem Faktor 1,2, wobei generell Varianten mit noch höheren Gewichtungen (hier nicht angeführt) zu einer zu großen räumlichen Heterogenität führen. Diese stärkere Gewichtung der BODENGR verursacht gegenüber der Variante KE2 allgemein eine etwas größere räumliche Heterogenität, die Nördlichen und die Südlichen Kalkalpen sind hier jedoch ein einheitlicher, räumlich homogener carbonatischer Cluster, denn beige-blau tritt nicht auf. Grau verschwindet nahezu vollkommend aus den nördlichen Zwischenalpen und östlichen Randalpen, ist jedoch (ähnlich wie dunkelgrün) aufgrund seiner unterschiedlichen Verbreitung kaum mehr mit grau aus Variante KE2 vergleichbar. Hellgrün vergrößert sich in Mittelburgenland und in der niedrigeren Böhmischen Masse, wobei

Letzteres unlogisch ist, da der dort verdrängte violette Cluster eigentlich stark braunerdebestimmt ist. Die Gewichtung ist jedoch noch zu gering, um die Trennung des Illyrischen Raums aufzuheben.

Die Fusionsabfolge ändert sich gegenüber der Variante KE2 erheblich (Dendrogramm: siehe Abb. A2 im Anhang), denn hier gehört violett dem Gebirgscluster an. Die ersten 2 Cluster sind der „Flach- und Hügellandcluster“ (orange, hellgrün) sowie der „Gebirgscluster“ (blau, rot, violett, dunkelgrün, grau). Als erster spaltet sich blau, dann rot vom Gebirgscluster ab, danach trennt sich der „Flach- und Hügellandcluster“ in orange und hellgrün, violett löst sich vom Gebirgscluster und schließlich spaltet sich dieser in dunkelgrün und grau. Die t-Werte der klimatischen Variablen ändern sich gegenüber der Variante KE2 in den vergleichbaren Clustern orange, hellgrün und rot (also im Flach- und Hügelland sowie im Hochgebirge) kaum, größere Änderungen treten in violett, grau und dunkelgrün auf. Die t-Werte der edaphischen Variable ändern sich praktisch in allen Clustern, mit Ausnahme von grau. Auch die F-Werte der einzelnen Cluster ändern sich nur wenig, sie werden aber im Durchschnitt etwas inhomogener (z.B. blau von 0,29 auf 0,35), so dass auch der durchschnittliche F-Wert auf 0,29 steigt. Man kann also annehmen, dass v.a. im Gebirge durch eine stärkere Gewichtung der Bodengruppen noch größere klimatische Unterschiede in einem Cluster vereint werden und es daher meist zum Ansteigen der F-Werte kommt. Auch die durchschnittliche Seehöhenwerte ändern sich zumeist nur wenig. Die Seehöhenaplituden hingegen ändern sich stärker, es ist aber kein Trend in eine Richtung zu erkennen (z.B. rot nimmt stark ab, blau nimmt zu), was darauf zurückzuführen ist, dass Seehöhenamplituden viel sensibler auf einzelne Punkte reagieren, als die durchschnittlichen Seehöhen und F-Werte.

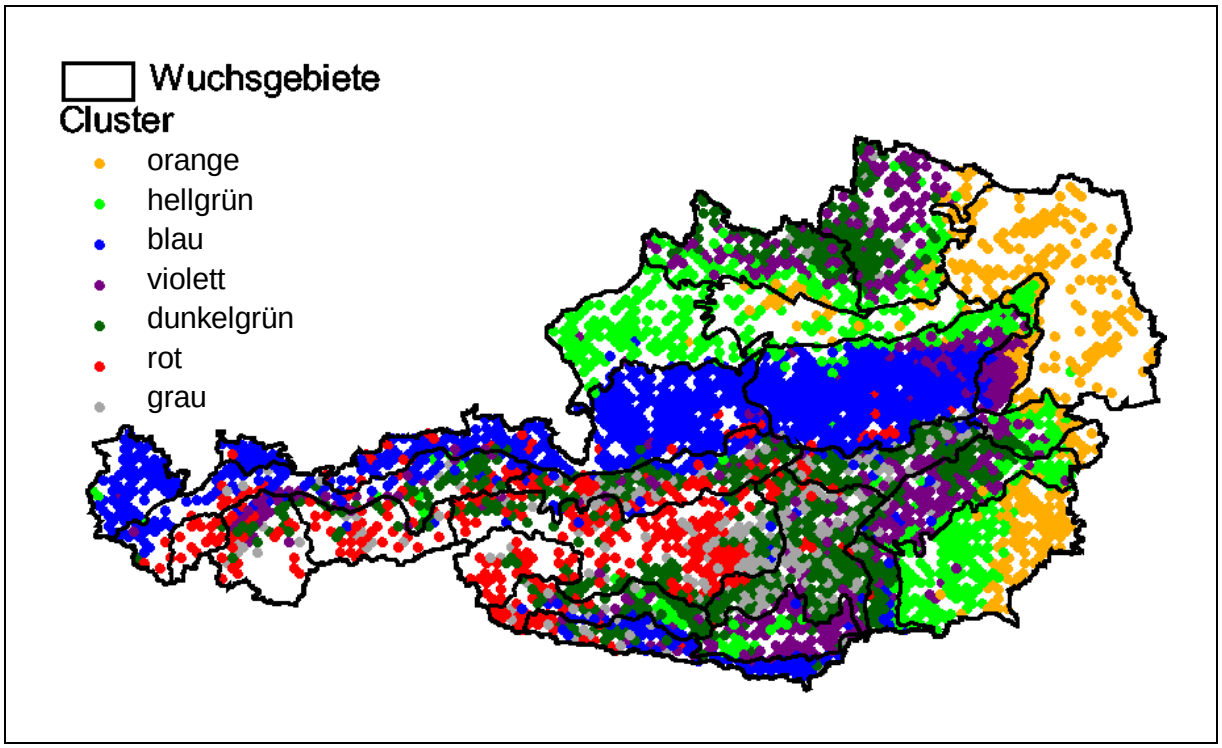


Abb. 6.26: Variante KE2b, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.4 Variante KE2b-re (reduziert)

Die Variante KE2b-re (siehe Abb. 6.27; Tab. A3a,b im Anhang) weist die gleichen Variablen und die gleiche Bodengruppengewichtung wie die Variante KE2b auf, jedoch wird hier dem *Wardverfahren* noch ein *single linkage Verfahren* vorgeschaltet, um Ausreißer zu eliminieren (siehe Kapitel 5.2.3.3). Mittels Dendrogramm (siehe Abb. A3 im Anhang) werden nun 15 Ausreißer entfernt (die Dendrogrammnummern werden hierbei mit den IDs verglichen). Obwohl sich die Anzahl der Punkte also nur um 15 auf 3570 reduziert und der Fusionsprozess beim *Wardverfahren* praktisch gleich abläuft (Dendrogramm: siehe Abb. A4 im Anhang) kommt es doch gegenüber Variante KE2b zu interessanten Verschiebungen:
Generell ist die Variante KE2b-re räumlich etwas heterogener als die Variante KE2b, aber auch als Variante KE2. Hellgrün verdrängt nun violett v.a. aus dem Klagenfurter Becken, vereinzelt auch aus der nördlichen Böhmischen Masse und orange zum Teil aus dem Ennsfeld und aus dem östlichen Wienerwald, wodurch die Grenze des Wuchsgebietes 5.1 genau getroffen wird. Grau breitet sich nun punktförmig etwas stärker in den westlichen Zwischenalpen und v.a. innerhalb des blauen Clusters in den Nördlichen Kalkalpen aus. In der Gegend des Montafon wird nun blau von dunkelgrün verdrängt, was besser der Wuchsgebietsgrenze von 2.1 entsprechen würde. Violett wird im Osten von grau durchsetzt, so dass die östlichen Randalpen räumlich heterogener werden.

Die t-Werte der klimatischen Variablen verändern sich gegenüber der Variante KE2b in orange, hellgrün, blau, dunkelgrün und rot kaum, in violett etwas mehr, die stärksten Veränderungen treten in grau auf. Die t-Werte der edaphischen Variablen ändern sich etwas in orange, hellgrün, blau, rot, stärker in violett und grau, während der dunkelgrüne Cluster wiederum gleich bleibt. Die F-Werte bleiben in orange, hellgrün (mit Ausnahme der MIN_TEMP aufgrund des Klagenfurter Beckens), blau, dunkelgrün und rot ziemlich gleich, in grau kommt es zu einer Vergrößerung, in violett zu einer Verkleinerung. Letzteres geschieht v.a. aufgrund des Wegfalls des Klagenfurter Beckens. Generell nehmen die F-Werte interessanterweise leicht zu, so dass der durchschnittliche F-Wert mit 0,31 hier seinen größten Wert annimmt (siehe Tab. 6.2). Die Seehöhenamplituden von blau und grau nehmen zu, da diese nun auch vermehrt höhere Regionen in den nördlichen Kalkalpen umfassen, die Seehöhenamplitude von rot nimmt hingegen ab, da rot sich zum Teil aus eben diesen Gebieten zurückzieht.

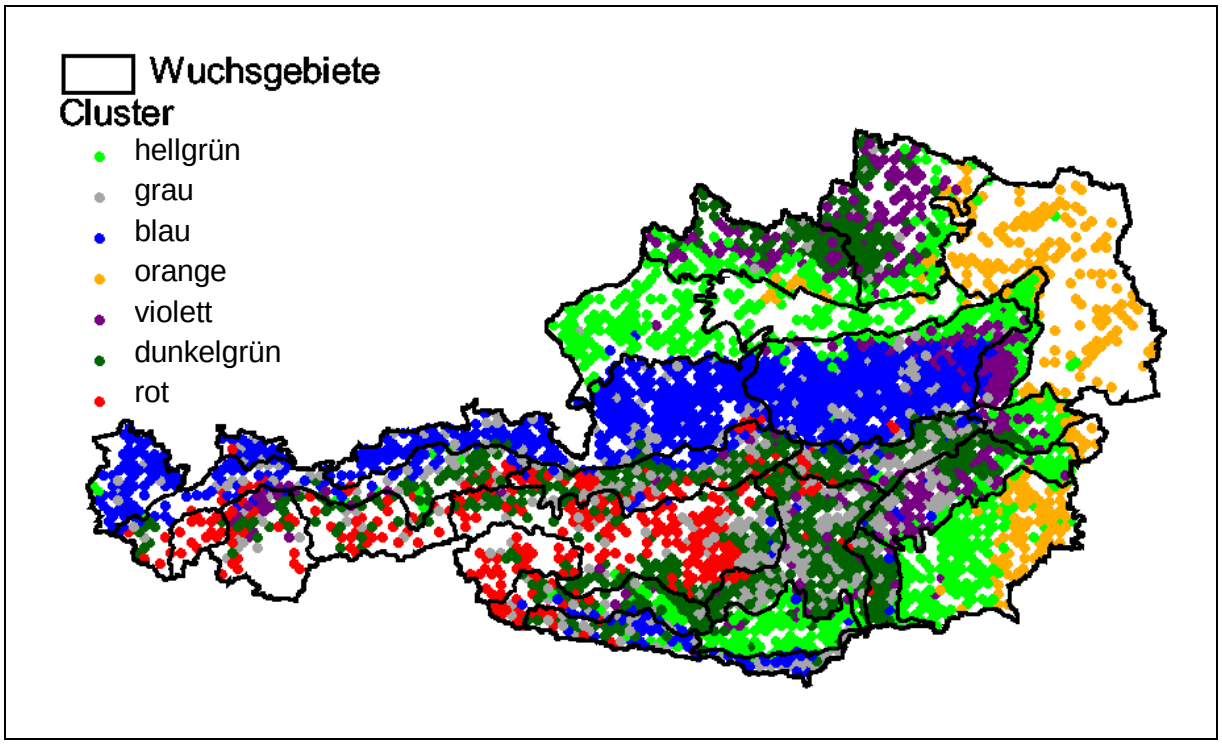


Abb. 6.27: Variante KE2b-re, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.5 Variante KE3

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL, H_BIL_VEGP, TROC_40 und BODENGR (gewichtet mit Faktor 1)

Diese Variante (siehe Abb. 6.28) unterscheidet sich von der Variante KE1 durch die Hereinnahme der Variable SO_ABS_JUL, von der Variante K3 durch die Hereinnahme der Variablen BODENGR und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T2 und H1. Die ersten 3 Cluster zeigen ein sehr ähnliches Bild, wie die Variante T2 mit 3 Clustern und bestehen aus dem „Flach- und Hügellandcluster“ (orange und hellgrün), dem Gebirgscluster (blau, grau, dunkelgrün und rot), sowie dem noch sonnenreichen „Übergangscluster“ (violett und beige-blau). Aus dem Gebirgscluster löst sich nun der rote Hochgebirgscluster, danach der „Zwischenalpencluster“ (grau und dunkelgrün), weiters teilt sich der „Flach- und Hügellandcluster“ in orange und hellgrün, und es kommt zur Teilung des Übergangsclusters in violett und beige-blau sowie des „Zwischenalpencluster“ in dunkelgrün und grau.

Der orange „warm-trockene Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich über das Weinviertel, Wiener Becken, Tullner Feld, Ennsfeld, den Ostrand des Wienerwaldes bis zum Steinfeld, Mittelburgenland sowie das Oststeirische Hügelland. Er weist die geringste mittlere Seehöhe (298 m) und Seehöhenamplitude (399 m) auf. Der Cluster ist wiederum stärker hygrisch geprägt (vergl. orange in Variante H1 (6 Cluster)) und wird v.a. durch die TROC_40, aber auch durch die GDD, H_BIL_VEGP und etwas weniger durch die SO_ABS_JUL festgelegt, die MIN_TEMP haben den geringsten Einfluss. Der Cluster ist geprägt von den höchsten

TROC_40, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL, GDD und niedrigsten H_BIL_VEGP, wobei die stark schwankende TROC_40 wiederum mit einem t-Wert von 2,34 sehr weit vorne liegen. Die MIN_TEMP und H_BIL_VEGP weisen hier die geringste, SO_ABS_JUL und GDD eine sehr niedrige Amplitude auf, GAMS schwankt hier am stärksten (siehe Tab. A4a,b im Anhang). Die Bodengruppen werden v.a. von BE_LOCK_PB (31,2 %), GLEY_PGL (26,9 %) und SONSTIGEn (17,9 %), Letztere weitgehend als Donauauen, gebildet und üben nur einen geringen Einfluss auf die Clusterbildung aus. Räumlich ist der Cluster wieder sehr homogen und auch die F-Werte liegen im niedrigen Bereich, wobei die H_BIL_VEGP mit 0,09 den niedrigsten Wert einnimmt, die TROC_40 mit 0,52 wiederum überhaupt den höchsten.

Der blaue „stark humide carbonatische Gebirgscluster“ zieht sich wiederum die gesamten nördliche Kalkalpen entlang vom Schneeberg bis ins Rätikon, wo er auch bis in die Silvretta reicht, außerhalb davon tritt er fast nur in den Karawanken auf. Er wird jedoch am Nordrand, und hier v.a. im Osten durch den beige-blauen Cluster (s.u.) eingeschränkt. Der Cluster weist mit 1583 m die höchste Seehöhenamplitude auf. Er ist wiederum stark hygrisch geprägt (vergl. violett & schwarz in Variante H1), wobei die Einschnitte des beige-blauen Clusters auch eine thermische Komponente haben. Die TROC_40 nimmt hier den niedrigsten Wert (t: -0,82; MW: 0,16 pro Jahr) ein, die niedrig bis mittleren GDD, die mittleren MIN_TEMP, die sehr niedrige SO_ABS_JUL (2. letzte Stelle mit t: -0,88) und hohe H_BIL_VEGP (höchster Wert mit t-Wert von 1,29; MW: 496 mm) schwanken alle recht stark, wobei die H_BIL_VEGP mit 856 mm in diesem Cluster die größte Amplitude aufweist. Diese stark schwankenden Variablen weisen auch alle hohe F-Werte auf, der F-Wert der TROC_40 liegt mit 0,12 recht niedrig. Generell ist die Homogenität innerhalb des Clusters recht hoch (2.höchster F-Wert). Gegenüber beige-blau ist er wesentlich kälter, sonnenscheinärmer und feuchter. Dunkelgrün weist eine Spur niedrigere MIN_TEMP bzw. etwas höhere GDD sowie höhere SO_ABS_JUL auf, er ist trockener und sauer, grau ist kälter, sonnenscheinärmer, trockener und sauer. Die Bodengruppen, welche einen großen Einfluss auf das Clusterergebnis haben (s.u.), werden wieder in hohem Maße von RENDSI_MB (79,2 %) und ein wenig auch von TERRA_FU (12,4 %) gebildet. Die Südgrenze deckt sich teilweise sehr schön mit jener der Wuchsgebiete 4.1 und 4.2.

Der violette „winterkalte, sonnenreiche Cluster“ nimmt aufgrund der hohen SO_ABS_JUL weite Teile Kärntens ein und zieht sich über das Lavanttal, entlang der Mur-Mürzfurche weit nach NW in die niedrigen Gebiete der Steirischen Randalpen und bis in Wechselgebiet hinauf. Nach Westen erstreckt er sich vom Klagenfurter Becken über das Drau-, Möll- und Gailtal und die Gailtaler Alpen bis ins Iseltal, nach Norden über das Krappfeld und die Gegend des Gurktales bis ins Murtal. Er umfasst praktisch die gesamte Böhmische Masse und bildet auch einige Punkte in der Gegend des Hausruck und der Flyschzone aus. Darüber hinaus ist der Cluster auch in einigen inneralpinen Tälern, wie dem Enns-, Salzach- und Inntal zu finden. Er nimmt somit die eher niedrigen Bereiche der östlichen und südlichen Zwischenalpen ein. Durch seine große Ausdehnung weist dieser Cluster auch eine sehr hohe Seehöhenamplitude (1390 m), sowie generell sehr hohe Variablenschwankungen auf (s.u.). Er ist v.a. thermisch bestimmt, denn

er zeigt schöne Parallelen zu violett aus Variante T2. Bestimmt wird er v.a. durch die höheren SO_ABS_JUL (t: 0,47; MW: 229 h), aber auch durch die mittleren bis hohen GDD, welche in diesem Cluster mit 1287,6 °C die höchste Amplitude besitzen. Die stark schwankenden H_BIL_VEGP (niedrigere Werte), MIN_TEMP (z.T. inversionsbedingt eher niedrig) und TROC_40 (mittlerer Bereich) haben weniger Einfluss auf die Clusterbildung. Ein Sonderfall ist wieder das Klagenfurter Becken, welches ähnliche Werte wie hellgrün zeigt, aber aufgrund der niedrigen MIN_TEMP violett angehört. Die Bedeutung der thermischen Kontinentalität tritt auch hier zurück, die thermisch kontinentalen Bereich außerhalb Kärntens aus Variante T1 findet man, neben dem Aichfeld, jedoch sehr eingeschränkt (z.B. Salzachtal). Die Bodengruppen bestehen v.a. aus POD_SEMI (36,9 %), ARME_BE (22,6 %) und REICHE_BE (20,5 %) und üben durchaus einen Einfluss auf die Clusterbildung aus (s.u.). Die Konzentration an REICHE_BE (t: 0,38) ist unter allen Clustern hier die höchste. Die sehr unterschiedlich hohen MIN_TEMP drücken sich auch durch den hohen F-Wert (0,54) aus, sonst liegen die F-Werte eher im Durchschnitt. Der Cluster ist räumlich in weiten Teile Kärntens und der Böhmischen Masse recht homogen, in den restlichen Gebieten jedoch recht heterogen.

Der rote „kalte, hygrisch kontinentale Hochgebirgscluster“ beschränkt sich Großteils auf höhergelegene Gebiete der Zentralalpen (mit 1783 m höchste mittlere Seehöhe), wie Silvretta, Samnaun, Ötztaler Alpen, Hohe Tauern, Defregger und Gurktaler Alpen, reicht aber im Bereich des Brenners bzw. Lungaus auch bis in Talbereiche hinunter, weshalb er eine ziemlich hohe Seehöhenamplitude (1320 m) aufweist. Er tritt vereinzelt auch weiter im Norden auf (z.B. Totes Gebirge). Der Cluster ist klar thermisch bestimmt (vergl. rot in Variante T2) und wird am ehesten durch MIN_TEMP, GDD, SO_ABS_JUL die festgelegt. So erreichen die MIN_TEMP (t: -2,38; MW: -6,3 °C) und die GDD (t: -1, 84; MW: 433, 5 °C) hier die niedrigsten Werte überhaupt, MIN_TEMP hierbei mit großem Abstand. Die SO_ABS_JUL liegt hier jedoch fürs Hochgebirge relativ hoch, denn sie ist mit 197 h noch immer höher als jene von blau und grau. Auch die H_BIL_VEGP liegt „nur“ an 3. Stelle (hinter blau und grau), die TROC_40 ist die 2. niedrigste hinter blau, aber noch vor grau. Die MIN_TEMP weist hier die höchsten (6,0 °C), GAMS die geringsten (27°) Schwankungen auf. Die Bodengruppen, welche für die Ausbildung des Clusters durchaus eine Rolle gespielt haben dürften, bestehen v.a. aus POD_SEMI (69,5 %). Der Cluster ist wiederum im Lungau, aber auch im westlichen Osttirol und im Samnaun räumlich recht homogen, sonst eher weniger. Die durchschnittliche Heterogenität innerhalb des Clusters ist von allen Clustern hier die höchste, wobei der F-Wert der MIN_TEMP (0,74) besonders hoch ist, aber auch jener der SO_ABS_JUL (0,46) liegt an letzter Stelle. Der Cluster weist Parallelen zum westlichen Teil des Wuchsgebietes 1.2 auf.

Der graue „feuchtere, kühlere, sonnenärmere, podsolige Zwischenalpencluster“ erstreckt sich wiederum eher über die höhergelegenen alpinen Gebiete der nördlichen Zwischenalpen (mit 1523 m 2. höchste mittlere Seehöhe), aber teilweise auch über die Zentralalpen. So erstreckt er sich über die Stubaier, Tuxer, Kitzbühler Alpen, die Hohen und Niederen Tauern, den Pongau, bis in die Eisenerzer Alpen, bzw. in die Nockberge. Er findet sich aber auch im Veitschgebiet

und im Bereich der Kor-, Stub- und Packalpe sowie in den Seetaler Alpen. Der Cluster ist eher thermisch definiert, denn er weist Parallelen zu blau aus Variante T2 auf. So wird er v.a. durch die sehr geringe SO_ABS_JUL (niedrigster Wert: t: - 1,30: MW: 184 h), aber auch durch die niedrigen GDD (2. letzte Stelle) und feuchte H_BIL_VEGP (2. Stelle) definiert. Die MIN_TEMP liegt ebenfalls an 2. unterster Stelle, die TROC_40 hingegen an 3. letzter. Die TROC_40 schwanken hier am geringsten (1,72 /Jahr) und auch GAMS schwankt hier nur recht wenig (32°). Die Bodengruppen, welche einen recht hohen Einfluss auf das Clusterergebnis ausüben, da dieser Cluster in Variante K3 in der Form gar nicht auftritt (s.u.), bestehen wiederum fast ausschließlich aus POD_SEMI (95,2 %). Zu dunkelgrün und violett hin unterscheidet er sich durch niedrigere GDD, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL und TROC_40, die H_BIL_VEGP ist in grau höher, wobei die Unterschiede zu violett v.a. in der SO_ABS_JUL noch um einiges größer sind, als zu dunkelgrün. Der Cluster ist räumlich recht heterogen, die F-Werte sind bei der MIN_TEMP und der SO_ABS_JUL eher hoch, der F-Wert der TROC_40 ist jedoch der Geringste, so dass der Cluster durchschnittlich im Mittelfeld liegt.

Der hellgrüne „feuchtere Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich über das nördliche Alpenvorland, wobei Hausruck und Ennsfeld mit anderen Clustern durchsetzt sind, den nördlichen Wienerwald, die untersten Bereiche der Böhmischen Masse, das Ödenburger und Günser Gebirge, den Ostrand der Buckligen Welt, das Weststeirische Hügelland, sowie über höhergelegene Bereichen des Klagenfurter Beckens. Er weist die 2. niedrigste durchschnittliche Seehöhe (428 m) bzw. Seehöhenamplitude (479 m) auf. Er ist stärker hygrisch definiert, denn er zeigt Parallelen zu hellgrün aus Variante H1 (6 Cluster), mit der thermische bedingten Ausnahme des Klagenfurter Beckens (vergl. Variante K1 & K2). Den stärksten Einfluss auf die Clusterausbildung haben wiederum die TROC_40, aber auch die anderen Variablen, am geringsten ist (abgesehen von der Abtrennung des Klagenfurter Beckens) der Einfluss der MIN_TEMP. Alle klimatischen Variablen liegen in diesem Cluster an 2. vorderster, bzw. 2. letzter (H_BIL_VEGP) Stelle. Die SO_ABS_JUL und die GDD weisen hier die geringste Amplitude (68 h bzw. 655,5 °C) auf, jene der TROC_40 liegt am höchsten (3,76 /Jahr). Die Bodengruppen, welche auch einen Einfluss auf die Clusterbildung ausüben, werden v.a. von BE_LOCK_PB (32,7 %), GLEY_PGL (32,5 %) und ARME_BE (23,5 %) gebildet, wobei BE_LOCK_PB und GLEY_PGL in diesem Cluster die höchsten t-Werte aufweisen. Der Cluster ist räumlich meist recht homogen, die Homogenität innerhalb der Cluster ist im Durchschnitt überhaupt die höchste (F: 0,19), wobei v.a. die MIN_TEMP und die GDD sehr homogen sind, während die TROC_40 wiederum einen recht hohen F-Wert aufweist.

Der beige-blaue „wärmere, sonnenreichere, humide Cluster“ erstreckt sich im Wesentlichen auf die Flyschzone bzw. auf den Nordrand der Nördlichen Kalkalpen, wobei er ab ca. St. Pölten ostwärts, in der Eisenwurzen sowie im nördlichen Bregenzer Wald weiter nach Süden reicht. Daneben füllt er auch noch Talbereiche, wie Teile des Montafons, des Inntales und des Murtals nördlich von Graz aus. Er weist somit innerhalb der Alpen die niedrigste mittlere Seehöhe auf (727 m). Der Cluster ist stärker thermisch definiert (vergl. orange in Variante T2),

weist aber ganz im Osten auch eine hygrische Komponente auf (vergl. dunkelgrün in Variante H1 (6 Cluster)). Festgelegt wird er in erster Linie von den mittel bis höheren GDD, der mittleren SO_ABS_JUL und der mittel bis höheren H_BIL_VEGP, die eher hohen MIN_TEMP und die niedrigen TROC_40 haben weniger Einfluss auf die Clusterausbildung. Die Bodengruppen bestehen v.a. aus RENDSI_MB (52,1 %), aber auch TERRA_FU (24,1 %) und GLEY_PGL (20,3 %) sind vertreten und haben bei der Clusterausbildung ebenfalls eine Rolle gespielt, wobei TERRA_FU in diesem Cluster die höchsten Häufigkeit aufweist. Der Cluster ist zwar schmal, aber räumlich einigermaßen homogen, bezüglich des F-Wertes liegt der Cluster im Mittelfeld, wobei die H_BIL_VEGP interessanterweise hier den höchsten F-Wert (0,48) aufweist.

Der dunkelgrüne „trockenere, wärmere, sonnenreichere Zwischenalpencluster“ nimmt v.a. untere Hang-, aber auch Talbereiche ein, wobei er im Osten in wesentlich höhere Regionen hinaufreicht. Daher ist seine mittlere Seehöhe (1201 m) weit geringer als in grau, die Seehöhenamplitude (1320 m) ist jedoch ziemlich hoch und somit höher als in grau. Er erstreckt sich vom Wechselgebiet über die steirischen Randalpen bis zur Kor- und Saualpe, zieht sich im Süden über die Seetaler Alpen, die Gurktaler Alpen, das Goldeck und die Kreuzeckgruppe bis ins Iseltal. Im Norden verläuft er ab den Seckauer Alpen eher im Talbereich, und zwar das Liesing-, Enns und Salzachtal entlang, um den Wilden Kaiser ins Inn-, Ziller-, Ötz-, Lechtal und auf den Brenner. Punktweise tritt er auch in den Südlichen Kalkalpen auf. Er weist wenige Parallelen zu den Clustervarianten mit thermischen oder hygrischen Variablen auf, im Osten zeigt er jedoch gewisse Ähnlichkeiten zu blau, hellblau und violett aus Variante H1 (9 Cluster), im Westen eher zu gelb aus Variante T2, so dass er hygrisch und thermisch definiert ist. Den größten Einfluss auf die Clusterbildung haben die H_BIL_VEGP und die GDD, wobei auch die SO_ABS_JUL mitentscheidend ist. Die MIN_TEMP (t: -0,13; MW: -3,7°C) ist eher niedrig, aber bemerkenswerte Weise noch immer höher als in violett, die niedrigen GDD und die eher niedrigen SO_ABS_JUL bzw. TROC_40 liegen hingegen weit unter jenen aus violett, die mittlere bis höhere H_BIL_VEGP liegt weit über violett. Die Schwankungen der SO_ABS_JUL sind in diesem Cluster am größten (105 h). Die Bodengruppen, haben einen großen Einfluss auf das Clusterergebnis (s.u.) und bestehen vorwiegend aus POD_SEMI (56, 1 %), aber auch aus REICHE_BE (19,7 %). Räumlich ist dieser Cluster ziemlich heterogen, die F-Werte liegen durchschnittlich recht niedrig, wobei die SO_ABS_JUL den höchsten F-Wert innerhalb des Cluster hat. Das Wuchsgebiet 5.4 zeigt Parallelen zu diesem Cluster.

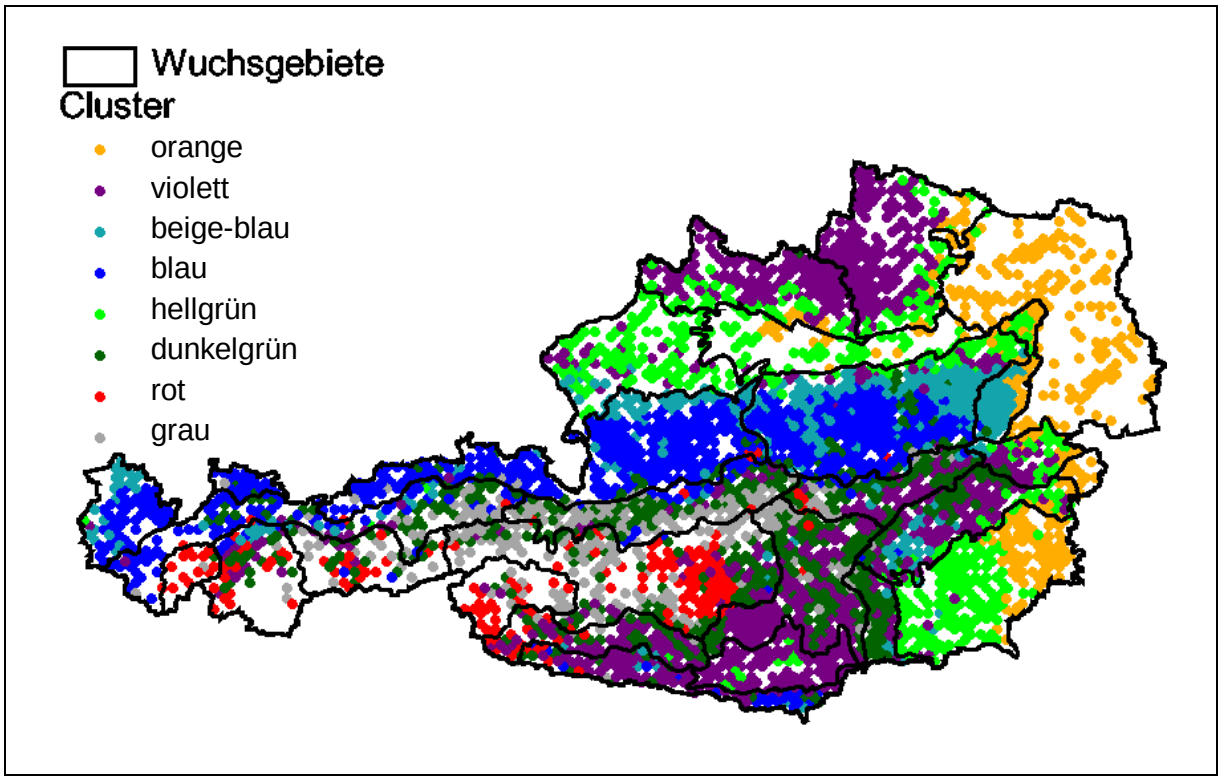


Abb. 6.28: Variante KE3, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.5.1 Vergleich zur Variante KE1

Durch die Herreinnahme der Variable SO_ABS_JUL (vergl. Variante T2 und Variante K3) kommt es gegenüber der Variante KE1 zu folgenden Veränderungen: Die räumliche Homogenität wird innerhalb der Zentral- und Zwischenalpen sowie der Böhmischen Masse höher, in den nördlichen Kalkalpen sowie im nördlichen und östlichen Alpenvorland niedriger, was Großteils auf den geringeren Einfluss der BODENGR zurückgeführt werden kann. Interessanterweise kommt es hier nicht zu einem Vordringen von rot nach Norden, was einerseits auf die carbonatischen Nordalpen zurückzuführen ist. Andererseits beschränkt sich, rot hier gegenüber der Variante KE1 (geringere GDD und MIN_TEMP in Variante KE3) noch mehr nur auf die kältesten Gebiete, so dass es gegenüber der Variante KE1 zu einem Rückzug von rot nach Süden kommt, wobei dies darüber hinaus durch die nunmehr geringere Bedeutung der die Alpen vereinheitlichenden TROC_40 erklärt werden kann. Die Seehöhenamplitude von rot nimmt nun aufgrund der tiefer gelegenen, winterkalten Gebiete im Lungau stark zu.
Durch den Rückzug von rot nimmt blau nun die höchstgelegenen Gebiete der nördlichen Kalkalpen ein, wodurch seine Seehöhenamplitude ansteigt. Es bildet sich jedoch (wie in Variante K3), ein neuer, sonnenscheinreicherer, wärmerer, trockenerer beige-blauer Cluster aus. Violett dehnt sich fast überall in sonnenreiche Gebiete (v.a. um das Klagenfurter Becken, östlichen Randalpen, die Böhmische Masse und Hausruck) aus. Dadurch werden jedoch weite Teile Kärntens vereinheitlicht, so dass die Südalpen und das Klagenfurter Becken kaum mehr als eigenständige Gebiete erkannt werden können. Daher nimmt auch die Seehöhenamplitude und

der durchschnittliche F-Wert von violett zu. Der kaum mehr vergleichbare graue Cluster wächst etwas im Gebiet der Hohen Tauern, schrumpft jedoch im Osten stark auf Kosten von violett und dunkelgrün, welcher sich weit in den nördlichen Zwischenalpen ausbreitet, im Osten aber vielfach von violett beschränkt wird. Dadurch steigt die mittlere Seehöhe und sinkt die Seehöhenamplitude von dunkelgrün, es kommt aber auch zu einer deutlichen Trennung des Zwischenalpen in einen Nord- und einen Südostteil (s.u.). Hellgrün bildet sich neu und wird von violett im Hausruck durchsetzt, wodurch orange weiter nach Osten wandert und braun verdrängt. Der Illyrische Raum wird dadurch, ebenso wie das nördliche Alpenvorland getrennt, was v.a. auf den sinkenden Einfluss der diese Gebiete vereinheitlichenden BODENGR zurückzuführen ist. Man könnte natürlich auch hellgrün als ehemaligen orangen Cluster deuten, welcher sich stark verkleinert, wobei der ehemals braune Cluster sich nun als oranger Cluster nach Westen ausdehnt. Daher sind die Seehöhenamplituden von orange, hellgrün und braun kaum vergleichbar.

6.5.5.2 Vergleich zur Variante K3

Die Variante KE3, welche sich durch die zusätzliche Variable BODENGR von der Variante K3 unterscheidet, ist räumlich ähnlich homogen wie Variante K3, die nördlichen Kalkalpen erscheinen etwas homogener. Der Einfluss der BODENGR ist in unterschiedlicher Intensität eigentlich bei allen Clustern zu sehen. Ein starker Einfluss der BODENGR ist in blau zu erkennen, welcher carbonatisch bedingt vereinheitlicht wird und rot dadurch aus diesen Gebieten verdrängt. Daher reicht blau einerseits weiter nach Norden, andererseits werden von ihm im Süden die nicht-carbonatischen Gebiete klar abgetrennt, so dass seine Südgrenze wiederum sehr schön mit jener der Wuchsgebiete 4.1 und 4.2 korreliert. Ebenso eine starke Änderung erfährt beige-blau, wobei der durchaus vorhandene Einfluss der Bodengruppen nur teilweise nachvollziehbar ist. So erkennt man einen direkten Einfluss in der Flyschzone und im Bregenzerwald bzw. Montafon durch GLEY_PGL und im Grazer Raum bzw. am Ostrand der nördlichen Kalkalpen durch RENDSI_MB und TERRA_FU. Die restlichen Änderungen gegenüber Variante K3 dürften jedoch indirekt, durch das Zusammenspiel mit anderen Variablen erfolgen. Violett vergrößert sich in den östlichen Randalpen, der Flyschzone und im Drautal v.a. durch ARME_BE, REICHE_BE, aber auch POD_SEMI, im Hausruck durch POD_SEMI und in der unteren Böhmischen Masse eher durch die REICHE_BE bzw. nur indirekt durch die Bodengruppen. Dunkelgrün dehnt sich auch bodenbedingt weit nach Westen in die Zwischenalpen und ins Gebiet der Koralpe aus und ändert sich in den nördlichen Kalkalpen. Die Gebiete in den Zwischenalpen und Koralpe erhält dunkelgrün aufgrund der nicht-carbonatischen Bodengruppen POD_SEMI, ARME_BE und REICHE_BE, jene innerhalb der nördlichen Kalkalpen aufgrund von TERRA_FU. Rot wird im Norden stark abgeschnitten, wobei dies in den nördlichen Kalkalpen klar auf den Bodeneinfluss durch den carbonatischen blauen Cluster zurückzuführen ist. In den Zwischenalpen wird rot hingegen vom neu entstandenen grauen Clus-

ter aufgrund nicht-edaphischer Variablen verdrängt, da grau ähnliche Bodengruppen aufweist. In Variante K3 hat sich bei 8 Clustern jedoch aus dem ursprünglich roten schon der hellblaue Cluster gebildet, welcher nun wiederum sehr ähnlich zu rot aus Variante KE3 ist. Hellgrün wird in der Böhmischen Masse, dem Hausruck, dem Drautal und den östlichen Randalpen meist bodenbedingt von violett (s.o.) verdrängt. Am Ostrand der Nördlichen Kalkalpen verdrängt ihn carbonatisch bedingt beige-blau (s.o.). Die Ausbreitung in den Illyrische Raum ist v.a. durch die BE_LOCK_PB begründet, jene in die Wachau durch ARME_BE, wobei orange diese Teile verliert. Grau tritt überhaupt neu hinzu und besteht fast ausschließlich aus POD_SEMI, was auf einen starken Einfluss der Bodenvariablen schließen lässt.

6.5.5.3 Kurzresümee der Variante KE3

Diese Variante ist räumlich eher heterogen, sie ist jedoch weit homogener, als aufgrund der Kombination der recht heterogenen Variablen SO_ABS_JUL und BODENGR zu erwarten war (vergl. Variante KE4). So dürften hier im Vergleich zur Variante KE4 z.B. die nördlichen Kalkalpen durch den höheren Einfluss der BODENGR räumlich einheitlicher sein. Der Einfluss der thermischen und der hygrische Variablen auf diese Variante hält sich in Summe etwa die Waage, den stärksten Einfluss haben jedoch die GDD, SO_ABS_JUL und die H_BIL_VEGP. Es ist durchaus auch ein Einfluss der Bodengruppen zu erkennen (s.o.), auch wenn dieser nicht immer nachvollziehbar ist (z.B. beige-blau). Es kommt zu einer schönen Trennung zwischen östlichen und südlichen Zwischenalpen (violett) einerseits sowie nördlichen Zwischenalpen (grau) andererseits, wobei dunkelgrün sich über die gesamten Zwischenalpen ausbreitet. Der große violette Cluster führt jedoch zu einer wenig zufriedenstellenden Differenzierung v.a. im Bereich des Klagenfurter Beckens und der Südalpen. Die Homogenitäten innerhalb der Cluster (F-Werte) sind durchaus günstig, wobei der durchschnittliche F-Wert bei 0,29 liegt. Die MIN_TEMP weist unter den Variablen wiederum die größten inneren Inhomogenitäten und auch den geringsten, zumindest klar sichtbaren Einfluss auf die Clustervarianten auf. Rot zeigt wieder den höchsten F-Wert unter den Clustern, die GDD und interessanterweise hellgrün weisen die niedrigsten F-Werte auf. Die mittlere Seehöhe ist in orange am geringsten und in rot am höchsten, die Seehöhenamplitude erreicht in orange ihr Minimum und in blau ihr Maximum.

6.5.6 Variante KE4

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, SO_ABS_JUL, H_BIL_VEGP, GAMS, TROC_40 und BODENGR (gewichtet mit Faktor 1)

Diese Variante (siehe Abb. 6.30a-h) unterscheidet sich von der Variante KE2 durch die Hereinnahme der Variable SO_ABS_JUL, bzw. von Variante KE3 durch die Variable GAMS, von der Variante K4 durch die Hereinnahme der Variablen BODENGR und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T2 und H2. Das Dendrogramm (siehe Abb. 6.29) zeigt ebenso wie Abb. 6.30a-h die Fusionsabfolge: Die ersten 2 Cluster (in Abb. 6.30a noch nicht zu sehen) werden vom „Flach- und Hügellandcluster“ (hellgrün, orange, braun) und vom „Gebirgscluster“ (violett, dunkelgrün, rot, hellblau, blau, grau, beige-blau) gebildet. Aus dem „Gebirgscluster“ lösen sich nun zusammen violett und dunkelgrün heraus, aus dem verbleibenden „Gebirgscluster“ lösen sich dann zusammen rot und hellblau und in weiterer Folge blau heraus. Danach trennt sich hellgrün vom „Flach- und Hügellandcluster“, es spalten sich violett und dunkelgrün weiters rot und hellblau, grau und beige-blau und schließlich orange und braun. Auch sind im Dendrogramm schön der „Flach- und Hügellandcluster“ und der „Gebirgscluster“ zu erkennen, welche sehr unterschiedlich sind, da sie erst sehr spät fusionieren. Violett und dunkelgrün bzw. rot und hellblau trennen sich fast zugleich und nach dem Dendrogramm mit 25 Clustern (siehe Abb. A5 im Anhang) wäre eine „optimale“ Clusterzahl z.B. 8 (siehe Abb. 6.30f).

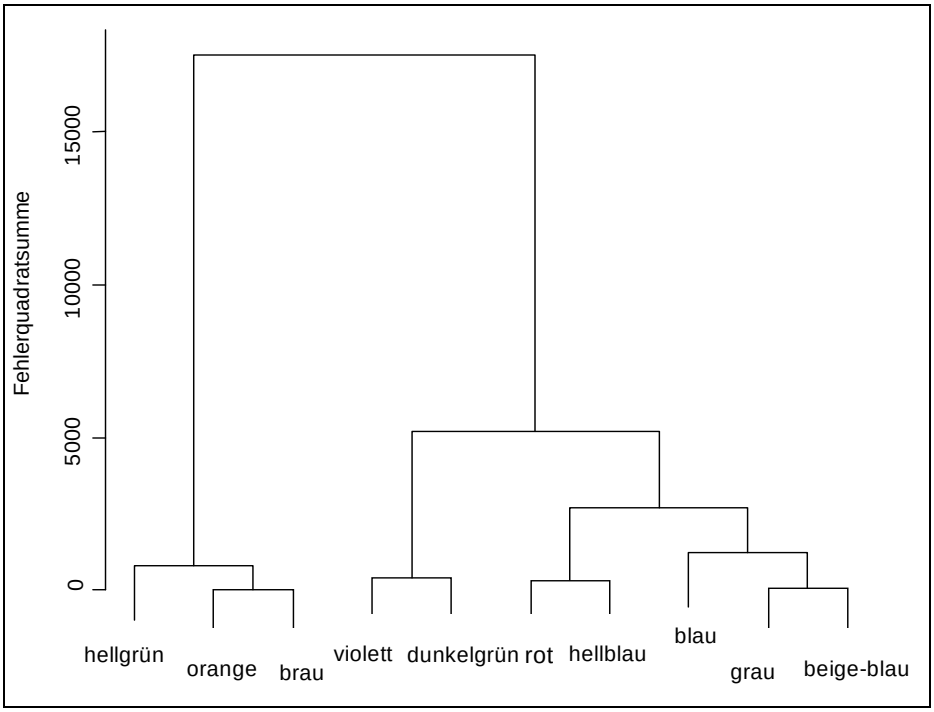


Abb. 6.29: Dendrogramm: Variante KE4, 10 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Der orange „warm-trockene“ Cluster nimmt bei 10 Clustern (siehe Abb. 6.30h) das Weinviertel, den südwestlichen Rand des Tullner Feldes und das Ennsfeld, den Ostrand des Wienerwaldes bis zum Steinfeld sowie das Oststeirische Hügelland und Teile des Weststeirischen Hügellandes ein. Der Cluster liegt im Mittel auf 336 m und hat eine Seehöhenamplitude von 472 m. Der Cluster ist wiederum stärker hygrisch geprägt (vergl. orange in Variante H2), im Illyrischen Raum liegt aber auch eine Ähnlichkeit zu schwarz (inclusive beige) aus Variante T2 vor. Er wird v.a. durch die TROC_40, aber auch durch die SO_ABS_JUL, GDD, H_BIL_VEGP und GAMS festgelegt, die MIN_TEMP haben den geringsten Einfluss. Der Cluster ist geprägt von hohen Temperaturwerten, Sonnenscheindauer, Trockenperioden, einer hygrischer Ozeanität und niedriger klimatischer Wasserbilanz. Da hier bei 10 Clustern auch noch der braune Cluster auftritt, nehmen die klimatischen Variablen hier hinter braun überall den 2. vordersten bzw. 2. letzten (GAMS und H_BIL_VEGP) Platz ein. Der Cluster weist die geringste Amplitude der SO_ABS_JUL (53 h) und sehr niedrige Amplituden von MIN_TEMP, GDD und H_BIL_VEGP auf, die TROC_40 schwanken hingegen sehr stark (siehe Tab. A5a,b im Anhang). Die Bodengruppen werden v.a. von BE_LOCK_PB (35,4 %) und GLEY_PGL (32 %), aber auch von SONSTIGEn (19,9 %) gebildet. Sie dürften in Mittelburgenland und im Weststeirischen Hügelland einen Einfluss auf das Clusterergebnis ausüben (s.u.), sonst jedoch kaum. Räumlich ist orange bis auf Randgebiete Großteils homogen, die F-Werte sind meist sehr niedrig, bis auf GAMS und v.a. TROC_40, welche hier ihr Maximum (0,59) erreichen.

Der graue „feuchtere, kühlere, sonnenärmere, podsolige Zwischenalpencluster“ erstreckt sich wiederum eher über die höhergelegenen alpinen Gebiete der nördlichen bzw. südöstlichen Zwischenalpen, aber teilweise auch über die Zentralalpen vom Kaunertal bis zum Wechselgebiet bzw. von der Koralpe bis ins Iseltal, wobei er v.a. im Westen auch in Talbereichen liegen kann. So liegt er mit durchschnittlich 1285 m weit über dunkelgrün. Er ist hygrisch und thermisch bestimmt, denn er weist weder zu Variante T2, noch zur Variante H2 besondere Parallelen auf. Den höchsten Einfluss auf die Clusterbildung dürften die H_BIL_VEGP und die GDD haben. Die MIN_TEMP und H_BIL_VEGP liegen um den mittleren, die GDD im kühlen Bereich, die SO_ABS_JUL und TROC_40 sind mittel bis niedrig, GAMS ist recht kontinental. Der Cluster zeigt bei den TROC_40 von allen Clustern die geringsten Schwankungen (1,74 /pro Jahr). Er liegt innerhalb der Gebirgscluster wiederum im Mittelfeld, im Vergleich zu violett ist er humider, kälter (v.a. die GDD), sonnenscheinärmer und hygrisch kontinentaler, von dunkelgrün unterscheidet er sich v.a. durch niedrigere SO_ABS_JUL, aber auch durch die höheren MIN_TEMP und H_BIL_VEGP, während die GDD und TROC_40 niedriger sind, GAMS ist praktisch gleich. Der blaue Cluster ist hingegen wesentlich feuchter und hygrisch ozeanischer, aber auch wärmer und basisch, die SO_ABS_JUL ist gleich niedrig. Die Bodengruppen bestehen wieder zu 100 % aus POD_SEMI und dürften daher durchaus einen Einfluss auf das Clusterergebnis haben. Der Cluster ist räumlich sehr heterogen, die F-Werte liegen hingegen, mit Ausnahme der SO_ABS_JUL (F: 0,44) durchaus im unteren Bereich. Der Cluster weist Parallelen zum Wuchsgebiet 5.4.

Der dunkelgrüne „trockenere, winterkalte, sonnenreichere, hygrisch und thermisch kontinentalere Zwischenalpencluster“ nimmt wiederum v.a. die Tal und Beckenlagen, aber auch Hochlagen ein und erstreckt sich über das Mur-, Mürz-, Salzach-, Enns-, Drau-, Gail-, Lavant- und Inntal, über den Brenner, über die angrenzenden Gebiete des Klagenfurter Beckens sowie über die höhergelegene Böhmische Masse. Er nimmt zum Teil auch gebirgigere Regionen ein, wie z.B. in den östlichen Randalpen oder den Südalpen. Er liegt daher mit 935 m durchschnittlicher Seehöhe für den Alpenbereich sehr nieder, seine Seehöhe schwankt jedoch stark (um 1319 m). Er weist wiederum Parallelen zu dunkelgrün aus Variante H2 (10 Cluster), aber auch ein wenig zu gelb aus Variante T2 auf, so dass auch hier der hygrische Einfluss überwiegt. Beeinflusst wird die Clusterbildung v.a. durch H_BIL_VEGP und GDD. Der Cluster weist inversionsbedingt ziemlich niedrige MIN_TEMP (t: -0,48; MW: -4,1 °C), jedoch mittlere GDD auf. Auch hier sind die GDD die höchsten im Alpenbereich, so dass der Cluster teilweise thermisch kontinental ist. Die GDD weisen hier die größte Schwankungsbreite unter allen Clustern auf (1128,8 °C) und auch die H_BIL_VEGP schwankt sehr hoch. H_BIL_VEGP und TROC_40 sind die trockensten innerhalb der Alpen, insgesamt sind diese jedoch eher feucht, GAMS ist recht kontinental (t: 0,65; MW: 45°) und die SO_ABS_JUL (insgesamt mittleren bis höheren Bereich) ist innerhalb der Alpen die höchste. Die Bodengruppen, haben einen Einfluss auf das Clusterergebnis und sind zum überwiegenden Teil POD_SEMI (51,4 %) und REICHE_BE (34,6 %), wobei dieser Cluster wiederum insgesamt den größten Anteil an REICHE_BE (t: 0,85) aufweist. Der Cluster ist räumlich meist recht heterogen und die F-Werte liegen im Durchschnitt. Er weist Parallelen zu den Wuchsgebietsgrenzen von 3.2 auf.

Der rote „kalte, humide, sonnenarme, hygrisch kontinentale Hochgebirgscluster“ erstreckt sich über die höchstgelegenen Regionen der Alpen, mit Ausnahme jener Regionen der Zentralalpen, die von hellblau eingenommen werden. Er erstreckt sich in den nördlichen Kalkalpen inselförmig vom Rätikon, über den Bregenzer Wald, Außerfern, Karwendel, Loferer Steinberge, Hochkönig, Osterhorngruppe, Dachstein, Totes Gebirge bis zum Hochschwab, nimmt die Niederen Tauern und Kitzbühler Alpen ein und erstreckt sich punktförmig den Alpenhauptkamm entlang von der Silvretta bis in die Nockberge. Er weist mit 1603 m knapp hinter hellblau die 2. höchste durchschnittliche Seehöhe auf und auch die Seehöhenamplitude ist mit 1297 m recht hoch. Er ist thermisch und hygrisch bestimmt, denn er zeigt Parallelen zu rot und blau in Variante T2 (6 Cluster) und auch zu violett in Variante H2. Festgelegt wird er in höheren Maße von GAMS, aber auch von SO_ABS_JUL, GDD und der H_BIL_VEGP. Die H_BIL_VEGP hat in diesem Cluster ihr Maximum (t: 1,38; MW: 516 mm) und die SO_ABS_JUL ihr Minimum (t: -1,24; 186 h), die Temperaturwerte liegen beide hinter hellblau an 2. letzter Stelle, die TROC_40 liegt mit dem blauen Cluster praktisch gleichauf an letzter Stelle und GAMS ist ziemlich kontinental (2. Stelle hinter hellblau). Rot weist unter allen Clustern die höchsten Amplituden in bezug auf die SO_ABS_JUL (112 h), H_BIL_VEGP (856 mm) und GAMS (42°) auf, und auch die Amplituden der MIN_TEMP und GDD sind recht hoch. Von hellblau unterscheidet er sich sonst noch durch eine um vieles höhere H_BIL_VEGP und eine niedrige-

re SO_ABS_JUL. Die Bodengruppen werden einerseits von POD_SEMI (41,1 %) und andererseits in den Nördlichen Kalkalpen von RENDSI_MB (30,5 %) bzw. TERRA_FU (13,3 %) gebildet und dürften indirekt durch die Kombination mit der SO_ABS_JUL einen, wenn auch geringeren Einfluss auf das Clusterergebnis gehabt haben. So sind z.B. die roten Punkte in der Osterhorngruppe wahrscheinlich auch auf TERRA_FU zurückzuführen. Räumlich ist dieser Cluster sehr inhomogen, und zeigt auch recht hohe F-Werte, wobei bei der H_BIL_VEGP und der SO_ABS_JUL die Heterogenität innerhalb des Clusters am höchsten ist.

Der blaue „stark humide carbonatische Gebirgscluster“ beschränkt sich im Wesentlichen auf die Nördlichen Kalkalpen (inclusive Bregenzer Wald) vom Rätikon bis ins Ötscherland, wobei er von rot teilweise stark eingeschränkt wird, außerhalb davon tritt er nur ein wenig in den Karawanken auf. Innerhalb der Alpen weist er die geringste durchschnittliche Seehöhe auf (918 m), wobei die Seehöhenamplitude recht hoch liegt (1297 m). Er ist wiederum stark hygrisch geprägt (vergl. blau in Variante H2 (6 Cluster)). Die TROC_40 nimmt hier den niedrigsten (t: -0,81; MW: 0,17 pro Jahr), die H_BIL_VEGP den 2. höchsten Wert ein, GAMS ist eher ozeanisch und die mittleren GDD, die mittel bis höheren MIN_TEMP, die niedrigen SO_ABS_JUL und hohen H_BIL_VEGP schwanken alle stark. Die TROC_40 schwanken in diesem Cluster sehr wenig (um 1,75 / Jahr). Die SO_ABS_JUL sind aber bemerkenswerter Weise noch immer höher als in beige-blau, da die sonnenscheinärmsten Gebiete „Inseln“ des roten Clusters innerhalb des blauen Clusters bilden. Festgelegt wird er v.a. durch H_BIL_VEGP, aber auch durch TROC_40 und bis zu einem gewissen Grad durch GAMS, die thermischen Variablen haben wenig Bedeutung. Die Bodengruppen, welche eine große Bedeutung für die Clusterausbildung haben (s.u.), werden wiederum von den RENDSI_MB (69,1 %) sowie der TERRA_FU (13,9 %) geprägt. Gegenüber dunkelgrün ist blau wesentlich feuchter und hygrisch ozeanischer, die GDD sind gleich, die MIN_TEMP liegen in dunkelgrün jedoch inversionsbedingt weit unter jenen von blau, die Böden sind in blau basisch, in dunkelgrün sauer. Die räumliche Homogenität wird durch rot reduziert, die F-Werte liegen bei GAMS und TROC_40 im niedrigen Bereich, bei der SO_ABS_JUL sind sie jedoch sehr hoch (2. höchster Wert), insgesamt liegt der Cluster im Durchschnitt. Die Grenzen decken sich teilweise sehr schön mit jenen der Wuchsgebiete 4.1 und 4.2.

Der hellgrüne „feuchtere Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich im Norden über das nördliche Alpenvorland, wobei er im Hausruck und um das Ennsfeld mit anderen Clustern durchsetzt ist, sowie über den nördlichen Wienerwald und die untersten Böhmische Masse. Im Osten nimmt er die Bucklige Welt, das Ödenburger und Günser Gebirge sowie das Weststeirische Hügelland ein, er tritt vereinzelt auch im Klagenfurter Becken sowie im Rheintal auf. Er liegt mit durchschnittlich 443 m Seehöhe etwas über orange, die Seehöhe schwankt im gleichen, geringen Ausmaß. Er weist wiederum Parallelen zu hellgrün aus der Variante H2 (6 Cluster) auf, wobei das Klagenfurter Becken aufgrund der MIN_TEMP nicht mehr dazugehört (vergl. Variante K1 & K2), darüber hinaus lassen sich auch Analogien zu braun aus Variante T2 (11 Cluster) erkennen. Einfluss auf die Clusterausbildung haben v.a. die TROC_40, die

SO_ABS_JUL, aber auch die anderen Variablen, am geringsten ist wiederum der Einfluss der MIN_TEMP. Die MIN_TEMP, GDD, SO_ABS_JUL, TROC_40 sowie die hygrische Ozeanität liegen alle an 3. höchster Stelle, bzw. H_BIL_VEGP an 3. letzter Stelle hinter orange. Die GDD schwanken hier nur wenig, GAMS und die TROC_40 dafür recht stark (39° bzw. 2,87 /Jahr). Die Bodengruppen beeinflussen das Clusterergebnis durchwegs (s.u.) und werden v.a. von BE_LOCK_PB (33,2 %) und GLEY_PGL (31,4 %) gebildet, aber auch ARME_BE (18,7 %) und REICHE_BE (14,7 %) sind vertreten. Der Cluster ist räumlich relativ homogen, wird aber von orange und violett teilweise stark durchdrungen. Die Homogenität innerhalb des Clusters ist sehr hoch (2. niedrigster durchschnittlicher F-Wert), wobei die SO_ABS_JUL in diesem Cluster am homogensten sind (F: 0,17).

Der violette „wärmere, trockenere, braunerdenreiche Randalpencluster“ umfasst den Großteil der östlichen Randalpen von der Stubalpe bis in den Wienerwald, die nördliche Flyschzone, den Rand der Böhmischen Masse und den Hausruck. Er füllt auch tiefe Lagen, wie das Klagenfurter Becken, und Teile des Drau-, Gail-, Mur- und des Inntales aus. Darüber hinaus umfasst er auch braunerdebedingt punktförmig viele Teile der höhergelegenen Böhmischen Masse (s.u.). Er liegt durchschnittlich auf 645 m, hat aber mit 1016 m schon eine recht hohe Seehöhenamplitude. Er ist hygrisch und thermisch beeinflusst, denn er zeigt Ähnlichkeiten zu beigegrün aus Variante H2 und zu orange aus Variante T2. Hygrisch und thermisch steht dieser Cluster zwischen Flach- bzw. Hügelland und Gebirge, da er stets trockener, wärmer und sonnenreicher als die Gebirgscluster bzw. feuchter, kühler und sonnenärmer als die Flach- und Hügellandcluster (orange, braun, hellgrün) ist. Auch von der hygrischen Kontinentalität liegt er dazwischen, einzig blau ist hygrisch ozeanischer. Auch hier wird der Cluster nicht klar von bestimmten Variablen festgelegt (vergl. Variante K1 & K2), TROC_40 (höherer Bereich), GAMS (mittlerer Bereich) und GDD (höherer Bereich) haben etwas mehr Einfluss als H_BIL_VEGP (mittel bis gering), SO_ABS_JUL (mittel bis hoch) und MIN_TEMP (mittel bis höherer). Die MIN_TEMP, GDD, GAMS und TROC_40 schwanken alle sehr stark, wobei Letztere in diesem Cluster mit 3,12 /Jahr die höchste Amplitude aufweist. Die Bodengruppen haben durchaus einen Einfluss auf die Clusterbildung und bestehen v.a. aus Braunerden (ARME_BE 33,2 %), wobei dieser Cluster den größten Anteil der insgesamt vorkommenden ARME_BE (t: 0,71) vereinnahmt. Der Cluster ist räumlich eher inhomogen, bei der Homogenität innerhalb des Clusters liegt er im unteren Mittelfeld, denn bei GAMS ist der F-Wert am höchsten (0,42), bei der MIN_TEMP am 2. höchsten. Das Wuchsgebiet 6.2 deckt sich recht gut mit diesem Cluster, wobei auch Affinitäten zu den Wuchsgebieten 5.2 und 5.3 gegeben sind.

Der hellblaue „hygrisch kontinentale Kältecluster“ nimmt weite Teile des Alpenhauptkammes der Silvretta bis zu den Nockbergen ein, und reicht teilweise, wie v.a. im Lungau auch ins Tal hinab. Dadurch weist dieser Cluster sowohl die höchste durchschnittliche Seehöhe (1689 m), als auch die größte Seehöhenamplitude (1422 m) auf. Er wird v.a. thermisch (vergl. rot in Variante T2), aber auch hygrisch, durch die thermische Komponente von GAMS (vergl. rot in Variante H2) bestimmt. Die MIN_TEMP und GAMS haben den größten Einfluss auf die Clus-

terbildung, was z.B. im Lungau schön zu sehen ist. So liegen die MIN_TEMP (t: -2,23; MW: -6,1 °C) sehr weit, die GDD knapp an letzter Stelle und GAMS (t: 1,69; MW: 58 °C) ist hygrisch weitaus am kontinentalsten. Die SO_ABS_JUL ist zwar gering, liegt aber nur an 3. letzter Stelle, die H_BIL_VEGP liegt auch nur etwas über dem Mittelfeld, die TROC_40 sind hingegen schon recht gering. Von rot unterscheidet sich hellblau v.a. durch die viel niedrigeren MIN_TEMP, aber auch die niedrigere H_BIL_VEGP, während GAMS viel kontinentaler und die SO_ABS_JUL um einiges höher ist. Die weitaus größten Schwankungen der MIN_TEMP (6,9 °C) werden in diesem Cluster erreicht, und auch die H_BIL_VEGP schwankt stark, während die Amplitude von GAMS hier am geringsten ist (25°). Die Bodengruppen bestehen zum Großteil aus POD_SEMI (64,9 %), aber auch aus ARME_BE (16,5 %), sie dürften auch einen gewissen Einfluss auf die Clusterbildung ausüben. Die räumliche Homogenität ist teilweise erstaunlich hoch, wie z.B. im Lungau, die F-Werte liegen im Durchschnitt überhaupt am höchsten und weisen auch in der MIN_TEMP und GDD ein Maximum auf, wobei sich der sehr hohe F-Wert der MIN_TEMP (0,88) so weit wie kein anderer dem Grenzwert 1 annähert.

Der beige-blaue „weniger humide, carbonatische Gebirgscluster“ erstreckt sich über den Ostteil der Nördlichen Kalkalpen vom südlichen Wienerwald bis in die Eisenerzer Alpen, er ist generell in und südlich der Nördlichen Kalkalpen zu finden, wie z.B. im Bereich des Toten Gebirges, des Dachsteins, des Tennengebirges, des Karwendels und des Außerferns. Aber auch in Bereich der Kleinalpe, der Karawanken und der Goldeckgruppe ist er anzutreffen. Darüber hinaus findet er sich auch in zahlreichen Tälern und unteren Hangbereichen im gesamten Alpenbereich, wie z.B. im Lech-, Inn-, Salzach-, Ennstal, im Bereich der Kitzbühler Alpen. Der Cluster liegt mit einer durchschnittlichen Seehöhe von 1135 m um über blau, seine Seehöhenamplitude ist mit 1182 m hingegen etwas geringer als in blau. Er weist v.a. im Osten Parallelen zu hellblau aus der Variante H2 auf, und ist daher Großteils hygrisch definiert. Von größerer Bedeutung für die Clusterausbildung dürften GAMS und SO_ABS_JUL sein, aber auch die H_BIL_VEGP, die GDD und TROC_40 haben einen gewissen Einfluss. Die H_BIL_VEGP und TROC_40 sind eher feucht, sind aber noch trockener als in blau und rot (die TROC_40 ist praktisch gleich zu hellblau). GAMS liegt hier im mittleren bis kontinentalen Bereich, die GDD und MIN_TEMP sind eher niedrig, die SO_ABS_JUL ist sehr niedrig (2. letzter Stelle). Der Cluster weist sehr hohe Schwankungen in den GDD (10359 m) auf, GAMS und die TROC_40 schwanken hingegen recht wenig. Hinsichtlich des grauen Clusters ist beige-blau etwas feuchter und hygrisch ozeanischer, weist etwas höhere GDD und etwas niedrigere MIN_TEMP und SO_ABS_JUL auf und beinhaltet einen großen Anteil carbonatischen Bodens. Gegenüber blau ist er weit weniger humid, kühler, hygrisch kontinentaler und interessanterweise sonnenscheinärmer (s.o.). Die vorwiegend carbonatischen Bodengruppen haben bei der Clusterbildung eine größere Rolle gespielt und bestehen aus RENDSI_MB (48,3 %), TERRA_FU (20,0 %), welcher hier die höchste Konzentration aufweist, ARME_BE (15,3 %) und REICHE_BE (11,9 %). Räumlich ist der Cluster v.a. im Osten homogen, die F-Werte sind ziemlich niedrig, wobei TROC_40 hier den niedrigsten Wert darstellt.

Der braune „trockene Hitzecluster“ beschränkt sich auf das Tullner Feld, das südliche Wiener Becken, das Neusiedlerseegebiet, Teile des nördlichen Weinviertels sowie das Mittelburgenland. Er weist die geringste durchschnittliche Seehöhe (225 m) und Seehöhenamplitude (244 m) auf. Er ist hygrisch (vergl. braun in Variante H2) und thermisch (vergl. schwarz in Variante T2) geprägt und wird durch alle Variablen, v.a. aber durch TROC_40, GAMS und GDD festgelegt. Der Cluster weist in allen Variablen Extremwerte auf, so erreichen die MIN_TEMP (t: 1,82; MW: -1,4), GDD (t: 1,92; MW: 1969,7 °C), SO_ABS_JUL (t: 1,57; MW: 257 h) und TROC_40 (t: 2,97; MW: 3,76 pro Jahr) hier Maximalwerte, die H_BIL_VEGP (t: -1,77: MW: -165 mm) und GAMS (t: 2,31; MW: 7°) erreichen die Minimalwerte. Die MIN_TEMP, GDD und H_BIL_VEGP schwanken hier am wenigsten, GAMS am stärksten. Die TROC_40 liegt gegenüber den anderen Clustern extrem weit voran, GAMS liegt hier sehr weit zurück. Die Bodengruppen haben praktisch keinen Einfluss auf die Clusterbildung, sie werden v.a. von SONSTIGEn (33,3 %), welche sich zum Großteil aus den Donauauen zusammensetzen, sowie von REICHE_BE (19,6 %), ARME_BE (11,8 %) und GLEY_PGL (12,7 %) gebildet. Der Cluster ist räumlich recht homogen, bis aufs nördliche Weinviertel, und auch innerhalb des Clusters weist er die größte durchschnittliche Homogenität auf, wobei GAMS wiederum sehr inhomogen ist.

6.5.6.1 Vergleich zur Variante KE2

Durch die Hereinnahme der Variablen SO_ABS_JUL kommt es gegenüber der Variante KE2 (11 Cluster (gelb aber noch zu blau gedacht)) zu folgenden Änderungen (vergl. auch Variante K4, Variante T2): Wie auch schon in Variante T2, aber interessanterweise nicht in Variante K4, wird das Bild fast innerhalb der gesamten Alpen heterogener. Orange breitet sich aufgrund der hohen SO_ABS_JUL, aber auch mit Hilfe der BODENGR (SONSTIGE und GLEY_PGL) weiter ins Weststeirische Hügelland aus. Blau wird stark von rot durchsetzt, welcher höhergelegene, sonnenarme Gebiete herausschneidet, so dass die Seehöhenamplitude von blau abnimmt. Blau vergrößert sich aber auf Kosten des noch sonnenärmeren beige-blaus im Außerfern und in den relativ sonnenreichen Karawanken. Rot wird vom ursprünglich kalten Hochgebirgscluster mehr zum sonnenarmen Gebirgscluster und wird daher im Süden stark durch den hellblauen, kalten, relativ sonnenreicheren Cluster beschnitten, weshalb die Seehöhenamplitude von rot stark abnimmt. Er breitet sich dafür inselförmig über viele sonnenärme Regionen der nördlichen Kalkalpen aus. Violett wandert in der Böhmischen Masse ein wenig hinauf in Richtung etwas weniger SO_ABS_JUL, bildet auch im Hausruck aufgrund der etwas geringeren SO_ABS_JUL und am nördlichen Alpenrand, im Drau- und Gailtal aufgrund der dort für die Alpen relativ hohen SO_ABS_JUL einige Punkte aus. Da violett in den Zentralalpen einige hochgelegene Punkte an dunkelgrün verliert, sinkt damit seine Seehöhenamplitude ab. Der für die Alpen sonnenreiche dunkelgrüne Cluster gewinnt in den sonnenreichen Karnischen, Gailtaler und östlichen Randalpen Gebiete dazu, wodurch Letztere räumlich heterogener werden und

dunkelgrün seine Seehöhenamplitude und seinen durchschnittlichen F-Wert vergrößert. Hellgrün breitet sich im sonnenreichen Ödenburger und Günser Gebirge und in die untere Böhmische Masse aus, wird jedoch von orange im Süden eingeschränkt. Grau ändert sich nur wenig, er ist in den nördlichen Zwischenalpen (z.B. Ennstal, Salzachtal), aber auch im Ötztal etwas stärker vertreten, so dass die Zwischenalpen generell etwas einheitlicher abgebildet werden, wodurch sein durchschnittlicher F-Wert jedoch ansteigt. Hellblau ist eigen, denn er vergrößert sich stark und wird auch noch flächiger, hinzutreten zahlreiche Punkte von rot aus Variante KE2, welche für den jetzigen sonnenscheinarmen roten Cluster noch zuviel SO_ABS_JUL aufweisen. Der sonnenscheinarme beige-blaue Cluster verliert u.a. die Karawanken und den Außerfern an blau, die Gailtaler Alpen an dunkelgrün, so dass die Südalpen noch stärker aufgeteilt werden als in Variante KE2. Braun bleibt unverändert.

6.5.6.2 Vergleich zur Variante KE3

Durch die Hereinnahme der Variablen GAMS kommt es gegenüber der Variante KE3 zu folgenden Änderungen (vergl. auch Variante K4, Variante H2), wobei die eher hohe räumliche Heterogenität erhalten bleibt: Violett verschwindet aufgrund der höheren hygrischen Kontinentalität weitgehend aus den östlichen Zwischenalpen und der höhergelegenen Böhmischen Masse, wobei er meist von dunkelgrün verdrängt wird und seine große Seehöhenamplitude und durchschnittlicher F-Wert stark eingeschränkt werden. Dadurch fällt aber auch die schöne Unterscheidung der Zwischenalpen in einen östlichen bzw. südlichen Bereich einerseits und einen nördlichen Bereich andererseits weg. Der illyrische Raum wird weiter im Westen geteilt, da GAMS hier weitgehend einheitlich ist. Beige-blau aus Variante KE3 verschwindet und es tritt der neue beige-blaue, weniger humide, carbonatische Gebirgscluster auf, welcher den hygrisch ozeanischeren blauen Cluster im Osten und ein wenig auch im Süden beschneidet.

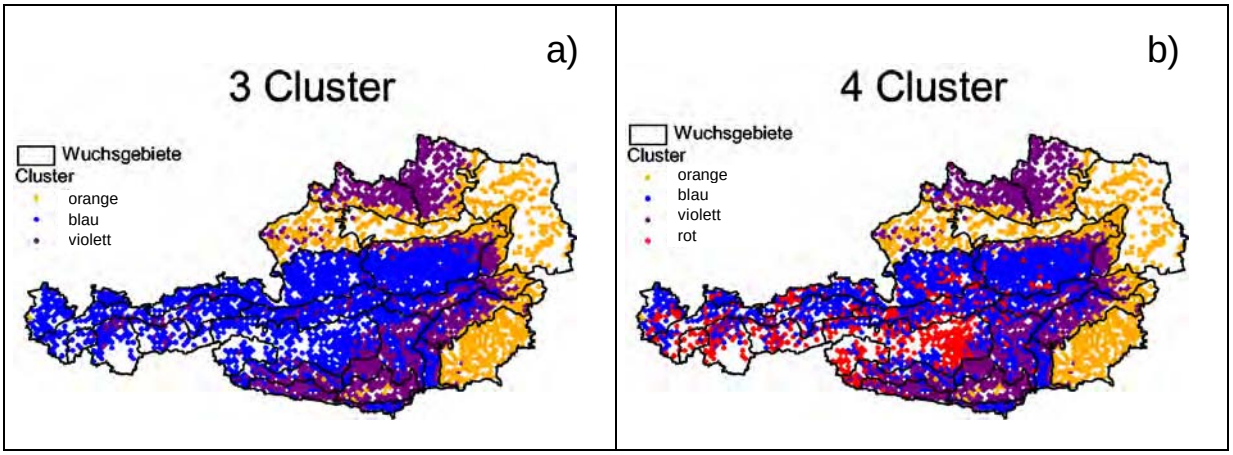


Abb. 6.30a-b: Variante KE4 Quelle: eigene Berechnungen

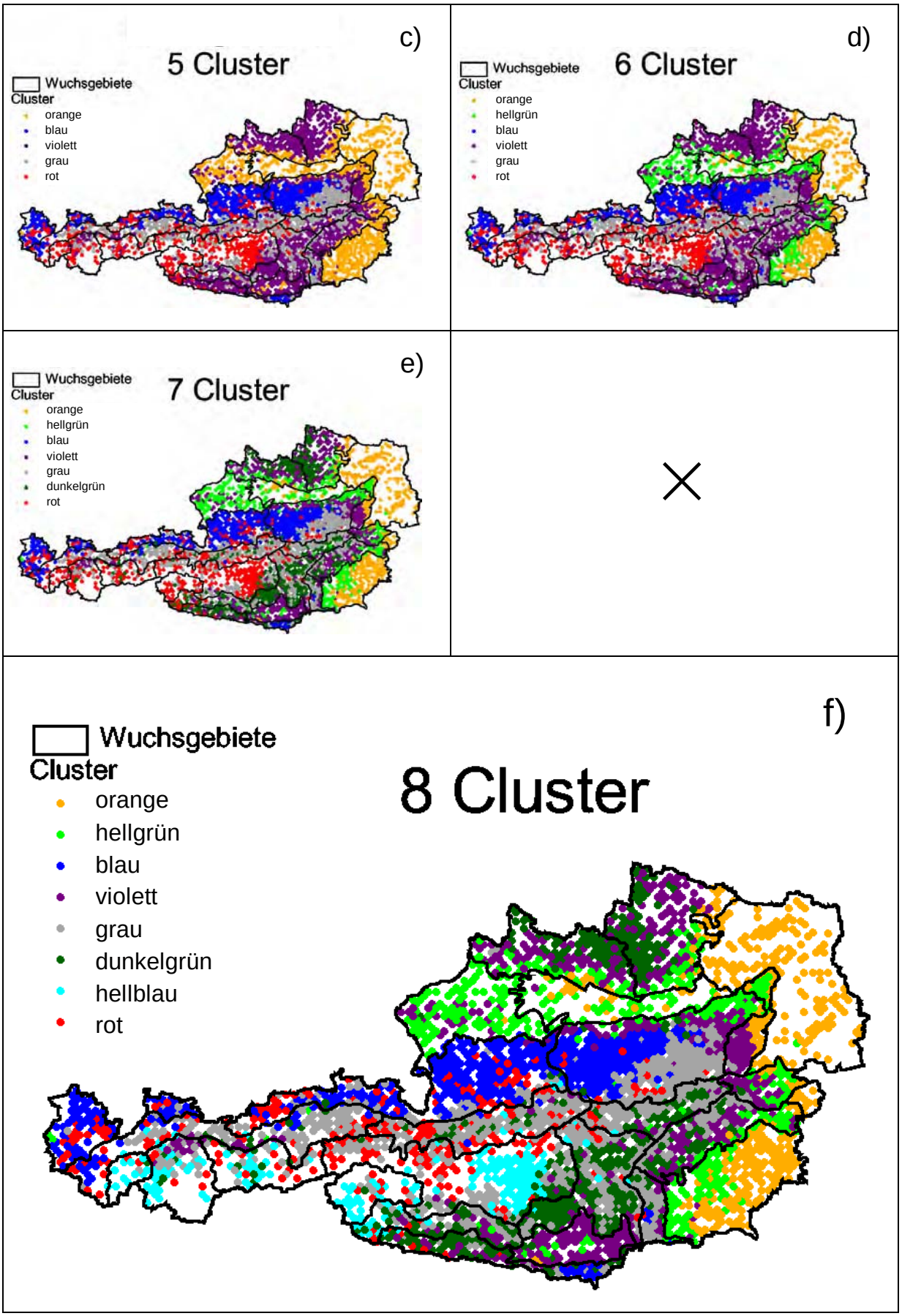


Abb. 6.30c-f: Variante KE4 Quelle: eigene Berechnungen

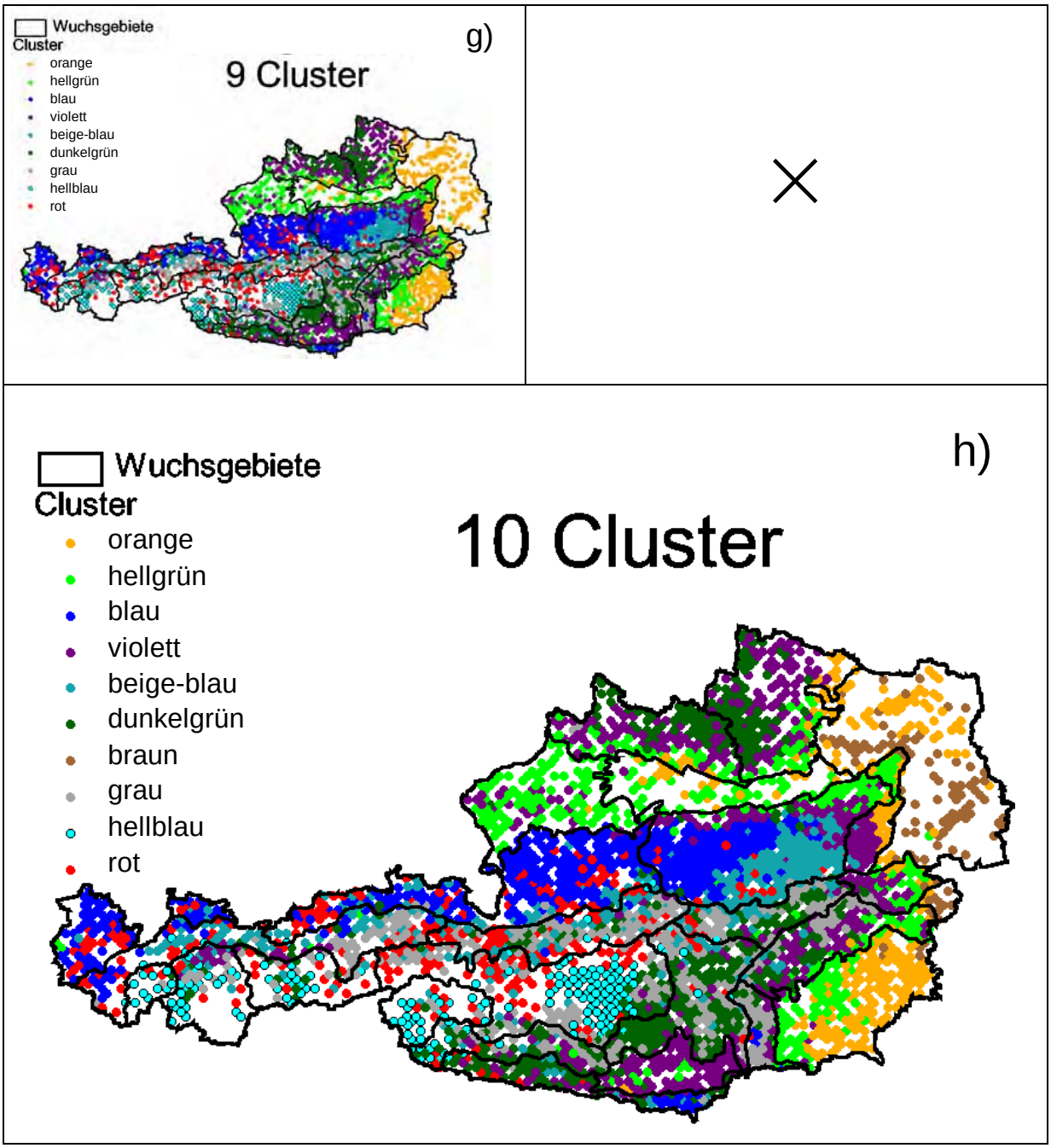


Abb. 6.30g-h: Variante KE4 Quelle: eigene Berechnungen

Rot durchdringt v.a. in hochgelegenen Gebieten stark die nördlichen Kalk- und Zwischenalpen. Dies steht im Widerspruch zu den Aussagen der Clustervarianten mit klimatischen Variablen, ist aber vermutlich auf die geringere Gewichtung der TROC_40 und von GAMS zurückzuführen (vergl. Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen i.A.). Diese rote Durchdringung von blau führt zu einer höheren räumlichen Heterogenität und zu einer Verminderung der Seehöhenamplitude, der mittlere Seehöhe sowie des durchschnittliche F-Werts von blau. Grau und dunkelgrün ändern sich generell sehr stark (z.B. Koralpe) und sind kaum mehr mit den jeweiligen Clustern aus Variante KE3 vergleichbar. Hinzu kommen auch die Trennung des roten Clusters (in rot und hellblau, wobei Letzterer dem roten Cluster aus der

Variante KE3 entspricht) und der braune Cluster, welcher sich in Variante KE3 erst viel später ausbildet.

6.5.6.3 Vergleich zur Variante K4

Die Variante KE4, welche sich durch die zusätzliche Variable BODENGR von Variante K4 unterscheidet, ist räumlich wesentlich heterogener als Variante K4 (9 Cluster). Blau erfährt einige Änderungen, denn er wird nun von beige-blau aus Variante K4 im Norden nicht mehr begrenzt, dafür beschneidet ihn nun der neu gebildete beige-blaue Cluster (nicht zu vergleichen mit jenem aus Variante K4) im Osten und die nicht-carbonatischen Bodengruppen (z.B. POD_SEMI) im Süden, wodurch seine Südgrenze besser mit den Wuchsgebieten 4.1 und 4.2 übereinstimmt. Violett wird wesentlich größer und nimmt weite Teile des grauen Clusters aus Variante K4 ein, wobei für seine Ausbreitung u.a. die ARME_BE in den östlichen Randalpen und in der höhergelegenen Böhmischen Masse, bzw. die GLEY_PGL teilweise in der Flyschzone verantwortlich sind. Rot weitet sich nun vermutlich aufgrund der Kombination der beiden heterogenen Variablen SO_ABS_JUL und BODENGR inselförmig über große Flächen der nördlichen Kalkalpen aus (z.B. Osterhorngruppe aufgrund TERRA_FU), wird aber stark durch hellblau im Süden beschnitten. Orange breitet sich durch die SONSTIGEn und GLEY_PGL in Kombination mit der SO_ABS_JUL ins Weststeirische Hügelland aus. Hellgrün vergrößert sich aufgrund der ARME_BE, REICHE_BE und GLEY_PGL in die untere Böhmische Masse, ins Ödenburger und Günser Gebirge und in die Östliche Flyschzone (Wienerwald) aus. Dunkelgrün und grau werden teilweise bodenbedingt heterogener, wobei besonders grau podsolbedingt größere Teile der westlichen Zwischenalpen einnimmt, welche er von blau abtrennt. Grau erfährt darüber hinaus starke Änderung, denn er verschwindet aus der Böhmischen Masse und aus weiten Teilen der östlichen Randalpen, da er sich nunmehr ausschließlich auf POD_SEMI entwickelt. Der hellblaue Kältecluster (in Variante K4 nicht mehr angeführt) wird wesentlich flächiger bzw. größer und breitet sich vermutlich aufgrund seiner nunmehr stärkeren Definition durch die MIN_TEMP über den Lungau aus. Beige-blau entsteht in dieser Form neu und ist vielfach carbonatisch. Braun bleibt praktisch unverändert.

6.5.6.4 Kurzresümee der Variante KE4

I.A. bestimmen hygrische und thermische Variablen, v.a. aber die GDD, GAMS und TROC_40 diese Variante, wobei die hygrischen Variablen ein wenig überwiegen und die MIN_TEMP den geringsten Einfluss zeigt. Auch die Bodengruppen üben einerseits einen nicht zu kleinen, wenn auch nicht immer nachvollziehbaren Einfluss auf das Ergebnis aus (s.u.), die Teilung der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen in jeweils 2 Cluster lässt andererseits auf einen geringeren Einfluss der Bodengruppen schließen. Die Variante KE4 zeigt schon bei wenigen Clustern eine hohe räumliche Heterogenität, welche auf die kombinierte Verwendung der beiden räum-

lich heterogenen Variablen SO_ABS_JUL und BODENGR zurückzuführen sein dürfte. Aufgrund dieser Variablenkombination, aber auch durch die hohen Variablenanzahl generell, wird die Variante KE4 auch oftmals recht komplex und schwer zu deuten. So können z.B. rot oder hellblau v.a. im Vergleich mit Variante K4 nicht wirklich zufriedenstellend erklärt werden. Die durchschnittliche Seehöhe sowie die Seehöhenamplitude sind in braun am geringsten und in hellblau am höchsten, wobei die mittlere und maximale Seehöhenamplitude hier hinter der Variante KE6 jeweils an 2, niedrigster Stelle liegt (siehe Tab. 6.2). Die F-Werte liegen im akzeptablen Bereich und auch der durchschnittliche F-Wert liegt mit 0,26 recht niedrig, nur der F-Wert der MIN_TEMP in hellblau ist schon sehr hoch (0,88), aber noch immer unter 1. Hellblau hat generell die höchsten F-Werte, braun die niedrigsten, unter den Variablen zeigen wiederum die MIN_TEMP und die SO_ABS_JUL die größten inneren Inhomogenitäten, die GDD sind hierbei am homogensten. Aufgrund der hohen räumlichen Heterogenität (s.o.) scheint Variante KE4 weniger für eine Naturraumgliederung geeignet zu sein, im Vergleich mit der PNV-Karte von MAYER (1977) (siehe Kapitel 6.6.3) weist es jedoch die höchste Übereinstimmung auf.

6.5.7 Variante KE4b

Die Variante KE4b (siehe Abb. 6.31; Tab. A6a,b im Anhang) unterscheidet sich von Variante KE4 nur durch die stärkere Gewichtung der BODENGR mit dem Faktor 1,2, wobei Varianten mit noch höheren Gewichtungen (hier nicht angeführt) wiederum zu einer zu großen räumlichen Heterogenität führen. Diese stärkere Gewichtung der BODENGR verursacht gegenüber Variante KE4 (7 Cluster) in grau, dunkelgrün, violett und im südlichen roten Cluster etwas höhere Heterogenitäten, blau und orange werden jedoch räumlich homogener, so dass interessanterweise insgesamt ein räumlich eher homogeneres Bild entsteht. Blau lässt aufgrund der stärkeren Betonung der carbonatischen Bodengruppen die roten „Inseln“ größtenteils verschwinden, wodurch die nördlichen Kalkalpen wesentlich einheitlicher werden und recht schön mit den Wuchsgebieten 4.1 und 4.2 korrespondieren. Dadurch steigt auch die mittlere Seehöhe von blau etwas an, die Seehöhenamplitude nimmt sogar stark zu. Blau dehnt sich weiter nach Osten aus und nimmt generell, teilweise carbonatisch bedingt (z.B. Gailtaler Alpen), teilweise nicht (z.B. Koralpe), mehr Punkte ein. Demnach zieht sich rot (bis auf Totes Gebirge und Hochschwab) nach Süden in die Zentralalpen zurück, weshalb seine mittlere Seehöhe und die Seehöhenamplitude ansteigen, und wird dort etwas stärker braunerdebedingt von grau durchsetzt. Orange wird räumlich homogener, da er bodenbedingt (v.a. BE_LOCK_PB und GLEY_PGL) noch viel länger ein einheitlicher Cluster bleibt und sich hellgrün erst viel später von ihm lostrennt. Dadurch bleibt in dieser Variante wiederum der Illyrische Raum einheitlich, und orange deckt sich recht gut mit dem Wuchsgebiet 8.2. Violett wird besonders am Alpenostrand (v.a. im Norden), aber auch im Inntal reduziert, da diesem Cluster keine RENDSI_MB, aber doch noch TERRA_FU angehören, wobei das Wuchsgebiet 6.2 recht gut wiedergegeben

wird. Grau und dunkelgrün verändern sich stark: War ihre Unterscheidung in Variante KE4 noch jene von Berg- und Tallagen, so ist die Unterscheidung jetzt rein edaphisch, denn dunkelgrün besteht nun ausschließlich aus REICHE_BE und RENDSI_MB, grau hingegen weitgehend aus POD_SEMI und ARME_BE. Dadurch fällt z.B. der Ostteil der Nördlichen Kalkalpen nun dunkelgrün zu. Braun entwickelt sich früher als in Variante KE4, nimmt hier aufgrund der BE_LOCK_PB auch das Weinviertel ein und stimmt nun recht gut mit dem Wuchsgebiet 8.1 überein.

Die F-Werte sind wegen der unterschiedlichen Clusteranzahl nur bedingt mit jenen von Variante KE4 zu vergleichen, die höchsten Werte zeigen hier wiederum die MIN_TEMP und die SO_ABS_JUL bzw. rot, die niedrigsten wiederum die GDD und braun. Einigermaßen vergleichbar ist der blaue Cluster, der hier carbonatisch bedingt, noch stärkere klimatische Unterschiede vereint, was jedoch zu einem Ansteigen des durchschnittlichen F-Wertes von 0,29 auf 0,37 führt. Auch in braun, welcher größer und daher ebenfalls klimatisch unterschiedlicher wird, vergrößert sich der F-Wert. Die F-Werte sind generell höher und erreichen hier im Durchschnitt mit 0,31 ihre höchste Ausprägung (siehe Tab. 6.2), so dass es also v.a. im Gebirge durch eine stärkere Gewichtung der Bodengruppen wieder zum Ansteigen der F-Werte gekommen ist (vergl. Variante KE2b). Die Seehöhenamplituden sind ebenfalls nur bedingt vergleichbar, sie steigen jedoch die stärkere Bodengewichtung eher an (s.o.).

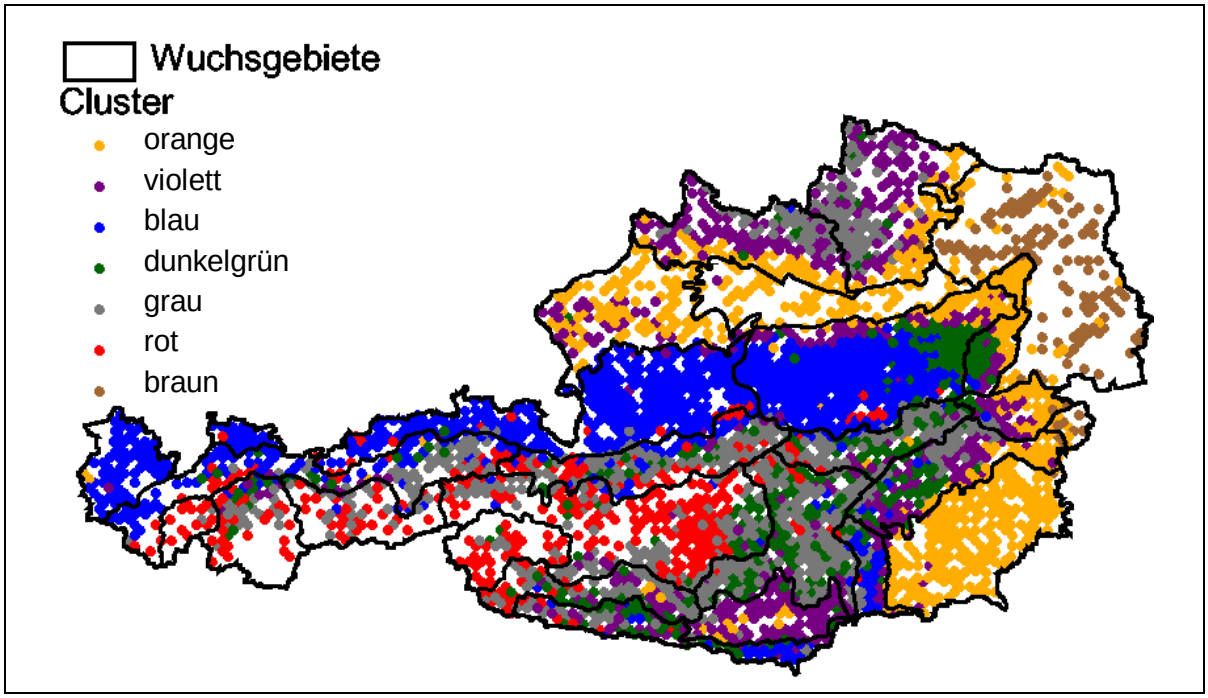


Abb. 6.31: Variante KE4b, 7 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.8 Variante KE5

Verwendete Variablen: GDD, MIN_TEMP, GAMS, H_BIL_VEGP und BODENGR (gewichtet mit Faktor 1)

Diese Variante (siehe Abb. 6.32) unterscheidet sich von Variante KE2 durch die Wegnahme der Variable TROC_40 bzw. von der Variante K5 durch die Herreinnahme der Variablen BODENGR und vereinigt durch die Variablenauswahl die beiden Varianten T1 und H4. Die ersten 3 Cluster sind der sehr große „Flach- und Hügellandcluster“ (braun, orange und violett), der „humid, carbonatische Gebirgscluster“ (blau und beige-blau) und der trocknere, saure Gebirgscluster (dunkelgrün, grau, rot). Danach löst sich der rote „Hochgebirgscluster“ und weiters der violette „Randalpencluster“ aus dem jeweiligen Clusterverbund. Es folgt die Teilung des trockeneren Gebirgsclusters in grau und dunkelgrün, weiters spalten sich blau und beige-blau und schließlich orange und braun.

Der orange „warm-trockene Flach- und Hügellandcluster“ erstreckt sich praktisch über das gesamte Gebiet des nördlichen und östlichen Alpenvorlandes sowie des Wiener Beckens, mit Ausnahme jener Gebiete, die von braun eingenommen werden. Er tritt auch am Alpenrand, (z.B. nordöstliche Flyschzone) oder in Randlagen Mittelburgenlands bzw. am unteren Rand der Böhmischen Masse (z.B. Wachau) sowie punktförmig im Klagenfurter Becken, Inn- und Rheintal auf. Er ist mitunter von violett durchsetzt (z.B. um den Hausruck). Der Cluster liegt im Durchschnitt auf 391 m Seehöhe und weist aufgrund seiner großen Ausdehnung eine für orange Cluster recht große Seehöhenamplitude von 615 m auf. Der Cluster ist ungefähr gleichermaßen hygrisch und thermisch geprägt (vergl. braun in Variante T1 (4 Cluster), orange in Variante H4 (5 Cluster)). Den stärksten Einfluss auf die Clusterbildung üben die GDD und GAMS aus, er weist hohe GDD (t: 1,24; MW: 1692,6 °C) und MIN_TEMP (t: 1,01; MW: -2,4 °C) bzw. niedrigen GAMS (t: -1,14; MW: 22°) und H_BIL_VEGP (t: -0,96; MW: 10 mm) auf, wobei diese Werte jeweils hinter braun den 2. vordersten bzw. 2. letzen Platz einnehmen. Aufgrund der großen Ausdehnung des Clusters schwanken die Variablenwerte gegenüber orangen Clustern aus anderen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen doch recht stark, GAMS erreicht hier die höchste Amplitude (41°) und sogar die Schwankungen der H_BIL_VEGP liegen mit 760 mm im sehr hohen Bereich (siehe Tab. A7a,b im Anhang). Auch die Böden bestimmen das Clusterergebnis mit, wenn auch nur in geringen Maße (s.u.). Sie bestehen aus v.a. GLEY_PGL (37,3 %), BE_LOCK_PB (23,6 %) und weisen darüber hinaus auch alle anderen Bodengruppen auf. Der Cluster ist räumlich recht homogen, mit Ausnahme der Randbereiche und des Hausruckgebietes. Auch die F-Werte sind recht niedrig, wobei jener der MIN_TEMP sogar noch unter jenen von GAMS und H_BIL_VEGP liegt. Durch den Wegfall der TROC_40 sind wiederum der Illyrische Raum und auch das nördliche Alpenvorland einheitlich, so dass das Wuchsgebiet 8.2 und auch 7.1 recht gut abgebildet wird.

Der blaue „stark humide, carbonatische Gebirgscluster“ erstreckt sich im Wesentlichen über die nördlichen Kalkalpen vom Ötscherland bis ins Rätikon, wobei der Südrand bzw. Nordrand

der nördlichen Kalkalpen häufig von beige-blau bzw. violett eingenommen wird. Darüber hinaus tritt er noch in den kalkreichen Karawanken und den nicht-carbonatischen Gebieten der Silvretta und der Koralpe auf. Er weist die höchste Seehöhenamplitude (1684 m) auf, seine mittlere Seehöhe (1030 m) ist jedoch für den Alpenbereich eher gering. Der Cluster ist stark hygrisch definiert, denn er zeigt eine hohe Ähnlichkeit zu blau aus Variante H4. Einen großen Einfluss auf die Clusterbildung hat v.a. die H_BIL_VEGP, aber auch GAMS. Die GDD und die MIN_TEMP weisen einen nur sehr geringen Einfluss auf. So nimmt die stark schwankende H_BIL_VEGP hier weitaus den höchsten Wert ein (t: 1,52; MW: 546 mm), GAMS liegt im ozeanischen Bereich (t: -0,54) und schwankt recht stark. Die GDD (niedrigerer Wertebereich) schwankt mit 1375,6 °C in diesem Cluster am stärksten und die MIN_TEMP (über Mittelbereich (t: 0,17)) schwankt auch stark (um 5,1 °C). Im Vergleich zu beige-blaue ist er etwas wärmer (GDD und MIN_TEMP), um Einiges feuchter und hygrisch ozeanischer. Der Einfluss der Bodengruppen ist durchaus vorhanden (s.u.), sie dürften jedoch eher indirekt das Clusterergebnis mitbestimmen. Die weitaus wichtigste Bodengruppe ist wiederum der RENDSI_MB (73,5 %), gefolgt vom GLEY_PGL (13, 0 %), wobei der sehr geringe Anteil an TERRA_FU (3,1 %) auffällt. Räumlich ist der Cluster doch recht heterogen, die Heterogenität innerhalb des Cluster ist auch sehr hoch (mit F: 0,37 zweithöchster Durchschnittswert), wobei die GDD (F: 0,39) in diesem Cluster die größte innere Heterogenität unter allen Clustern aufweisen. Die Nordgrenze des Clusters stimmt teilweise mit dem Wuchsgebiet 4.1 überein.

Der dunkelgrüne „trockenere, hygrisch und thermisch kontinentalere Zwischenalpencluster“ nimmt v.a. die Tal- und Beckenlagen der Zwischenalpen sowie z.T. auch der Zentralalpen ein und erstreckt sich auch über den Großteil der Böhmischen Masse. So nimmt er v.a. das Gebiet des Gurk-, Mur-, Mürz und Lavanttales ein und tritt teilweise auch in der Buckligen Welt, dem Jogelland, dem Enns- und Salzachtal, dem Brenner, dem unteren Ötztal und oberen Inntal, sowie im Drau-, Möll-, Gail- und Iseltal auf. Er liegt mit einer mittleren Seehöhe von 896 m wieder weit unter grau und in den Alpen am niedrigsten, die Seehöhenamplitude schwankt jedoch viel stärker als in grau (1506 m). Der Cluster ist stärker hygrisch bestimmt (vergl. dunkelgrün in Variante H4), weist aber auch thermische Parallelen zu violett in Variante T1 (11 Cluster)) auf. Der Einfluss der GDD und der H_BIL_VEGP auf das Clusterergebnis ist sehr hoch, GAMS und MIN_TEMP spielen auch eine, aber geringere Rolle. Die MIN_TEMP ist inversionsbedingt recht niedrig (2. niedrigster Wert mit t: -0,38) und die GDD bewegen sich im Durchschnitt, sind aber die höchsten im Alpenbereich, so dass dieser Cluster durchaus als „thermisch kontinental“ angesehen werden kann. Die H_BIL_VEGP ist niedrig (mit t: -0,55 niedrigster Wert innerhalb der Alpen) und GAMS ist sehr kontinental (mit t: 0,79 ebenfalls an 2. Stelle). Die GDD und GAMS schwanken stark. Zu grau hin unterscheidet sich dieser Cluster durch seine niedrigeren MIN_TEMP, höheren GDD und somit höhere thermische Kontinentalität, die H_BIL_VEGP ist wesentlich trockener und GAMS etwas kontinentaler. Die Bodengruppen dürften schon einen gewissen Einfluss auf die Clusterbildung ausgeübt haben. Sie bestehen v.a. aus POD_SEMI (45, 2 %), REICHE_BE (25,6 %) und ARME_BE (19,8 %), wo-

bei die REICHE_BE gegenüber anderen Clustern hier den höchsten Anteil (t: 0,55) aufweisen. Räumlich ist der Cluster v.a. in der Böhmischen Masse und z.T. auch nördlich des Klagenfurter Beckens recht homogen, sonst aber ist er überwiegend heterogen. Die F-Werte liegen meist im Mittelbereich. Der Cluster zeigt teilweise Übereinstimmungen mit dem Wuchsgebiet 3.2, wobei v.a. dessen Südgrenze schön getroffen wird. Er kommt in den Alpen vorwiegend in den „östlichen Zwischenalpen" vor (zusammen mit grau), so dass diese recht gut von den „nördlichen Zwischenalpen" (nur grau) nach KILIAN ET AL. 1994 abgegrenzt werden.

Der rote „kalte, hygrisch kontinentale Hochgebirgscluster" erstreckt sich im Wesentlichen wieder recht geschlossen über die Zentralalpen, wobei er von der Silvretta bis in die Gurktaler Alpen bzw. in die Karnischen Alpen reicht. Nördlich der Zentralalpen tritt er wiederum „inselförmig" am Hochschwab, in den Seckauer und Rottenmanner Tauern, im Toten Gebirge, am Dachstein und Hochkönig, in den Kitzbühler Alpen, im Karwendel und in den Lechtaler Alpen auf, östlich liegt er über den Seetaler Alpen und der Packalpe. Er weist wiederum die höchste mittlere Seehöhe (1727 m) auf, seine Seehöhenamplitude ist auch sehr groß (1377 m). Der Cluster ist stark thermisch bestimmt (vergl. rot in Variante T1 (6 Cluster)) und wird v.a. durch die GDD, die MIN_TEMP und GAMS festgelegt. GDD und MIN_TEMP erreichen hier mit Abstand ihre niedrigsten Werte, GAMS ist mit Abstand am höchsten (t: 1,42; MW: 54 °). Die H_BIL_VEGP schwankt hier am stärksten (792 mm) und liegt mit t: 0,77 an 2. Stelle, wobei auch die MIN_TEMP hier die höchste Amplitude (6,4 °C) aufweist. Auch die Bodengruppen, welche v.a. aus POD_SEMI (65,5 %), aber auch RENDSI_MB (20,7 %) bestehen, haben einen Einfluss auf das Clusterergebnis ausgeübt (s.u.), wobei rot jedoch durch seine klimatischen Extremwerte stärker klimatisch als edaphisch definiert ist. Innerhalb der Zentralalpen ist der Cluster noch einigermaßen räumlich homogen, außerhalb jedoch kaum. Die F-Werte sind im Durchschnitt überhaupt die höchsten (F: 0,39), sie sind jedoch sehr unterschiedlich hoch und weisen daher die höchste Spannweite (0,61) auf. Während GAMS und die GDD sogar niedrige bis mittlere F-Werte aufweisen, liegen sie bei der H_BIL_VEGP (F: 0,41) und der MIN_TEMP (F: 0,77; höchster der gesamten Variante) überall am höchsten.

Der violette „wärmere, trockenere Randalpencluster" umfasst die unteren Hangbereiche der Randalpen sowie wärmere Tal- und Beckenlagen. So nimmt er das Klagenfurter Becken inclusive Drau- und Gailtal, die niedrigen Bereiche der östliche Randalpen von der Koralpe über die Bucklige Welt bis in den Wienerwald, und weiter den nördlichen Alpenrand bis zum Traunstein ein, wobei er in der Eisenwurzen wiederum weiter nach Süden reicht. In wärmeren innneralpinen Tälern tritt er teilweise im Mur-, Mürz-, Enns-, Salzach- und Inntal auf. Darüber hinaus nimmt er auch den unteren Rand der Böhmischen Masse inklusive Dunkelsteiner Wald, sowie Gebiete um den Hausruck ein. Er liegt im Durchschnitt auf 609 m und schwankt um 767 m. Der Cluster ist hygrisch und thermisch (vergl. orange in Variante T1 (5 Cluster)) bestimmt, wobei die hygrische Komponente (vergl. hellgrün in Variante H4) leicht überwiegt, der Alpennordrand und in die Eisenwurzen sind jedoch stärker thermisch geprägt. GDD und GAMS dürften einen etwas stärkeren Einfluss auf das Clusterergebnis ausüben. Die GDD liegen im

höheren Bereich und sind recht konstant (geringe Schwankungsbreite), die MIN_TEMP schwankt um den Mittelbereich, die H_BIL_VEGP liegt im niedrigeren und GAMS im eher ozeanischen Bereich. Auch hier hatten die Bodengruppen einen Einfluss auf das Clusterergebnis, der Saum des nördlichen Alpenrandes wird jedoch interessanterweise nicht von GLEY_PGL bestimmt. Stärksten Anteil haben die ARME_BE (25,4 %), der TERRA_FU (20,9 %) und die REICHE_BE (18,1 %). Violett ist, mit Ausnahme des Klagenfurter Beckens, räumlich eher inhomogen, seine F-Werte liegen durchschnittlich etwas über dem Mittelbereich. Hierbei ist jedoch der F-Wert der GDD recht nieder, während der F-Wert der MIN_TEMP (F: 0,56) aufgrund der unterschiedlichen Werte des Klagenfurter Beckens und der restlichen Gebiete, recht hoch ist. Der Cluster zeigt eine schöne Übereinstimmung zum Wuchsgebiet 6.2.

Der graue „podsolige, kalte, feuchtere, thermisch ozeanischere Zwischenalpencluster“ erstreckt sich wiederum über die eher höhergelegenen Bereiche der Zwischen- aber auch Zentralalpen. Er zieht sich von den Tuxer, über die Kitzbühler Alpen beidseitig des oberen Salzachtals, südlich des Ennstales und beidseitig des Palten- und Liesingtales entlang über das Gebiet der Veitschalpe bis zum Wechsel. Im Osten nimmt er die östlichen Randalpen (von den Fischbacher Alpen bis zur Koralpe), die Saualpe, Seetaler Alpen und Teile der Gurktaler Alpen ein. In den Zentralalpen liegt er südwestlich der Nockberge, in der Kreuzeckgruppe sowie vereinzelt in den östlichen Hohen Tauern. Auch in den Karnischen und Gailtaler Alpen tritt er punktförmig auf. Er liegt mit einer mittleren Seehöhe von 1334 m weit über dunkelgrün, die Seehöhenamplitude ist jedoch weit geringer (1096 m). Der Cluster weist wenig Parallelen zu Clustervarianten mit thermischen oder hygrischen Variablen auf, er ist jedoch eher hygrisch definiert (vergl. Variante H4 hellblau und rot). Der Cluster wird stärker durch die GDD und GAMS festgelegt als durch die anderen beiden Variablen. Der Cluster weist die 2. niedrigsten GDD (t: -0,77; MW: 870,8 °C), mittlere bis niedrige MIN_TEMP, eine eher höhere H_BIL_VEGP und hygrische Kontinentalität (t: 0,70) auf. Die MIN_TEMP und GAMS sind recht konstant (schwanken nur um 2,8 °C bzw. 29°). Von beige-blau unterscheiden ihn die niedrigeren GDD und H_BIL_VEGP, GAMS ist um Einiges kontinentaler und die MIN_TEMP liegen durchschnittlich gleich hoch. Die Bodengruppen haben einen starken Einfluss auf die Clusterbildung, denn sie bestehen zu 100 % aus POD_SEMI. Räumlich ist dieser Cluster recht heterogen, die F-Werte sind hingegen sehr niedrig, wobei GAMS hier unter allen Clustern sogar den niedrigsten F-Wert (0,17) aufweist. Er tritt in den nördlichen Zwischenalpen weitgehend ohne dunkelgrünen, in den östlichen Zwischenalpen zusammen mit dem dunkelgrünen Cluster auf.

Der beige-blaue „humide, carbonatische Gebirgscluster“ erstreckt sich grob gesprochen über den Südrand der nördlichen Kalkalpen, wobei dies eher für den Ostteil gilt, da er im Westen die gesamten Kalkalpen durchsetzt. Im Osten nimmt er vom Wienerwald bis zum Hochschwabmassiv ein großes, geschlossenes Gebiet ein, weiter westwärts tritt er dann kleinräumig sehr differenziert, meist an unteren Hangbereichen oder in Tälern auf und reicht schließlich bis in den Bregenzer Wald. Auch im Bereich Lechtaler Alpen ist er recht flächig ausgeprägt. In den Südalpen nimmt er auch v.a. die carbonatischen Gebiete der Karawanken, Gailtaler Alpen

bzw. Lienzer Dolomiten ein. Punktförmig tritt er darüber hinaus im gesamter Alpenbereich auf, wobei er nicht nur an carbonatischen Boden gebunden ist. Seine Seehöhe liegt somit durchschnittlich im gleichen Höhenbereich wie blau, sie schwankt jedoch weniger als in blau. Er ist stärker hygrisch festgelegt (vergl. hellblau in Variante H4), wobei der Einfluss der einzelnen Variablen auf die Clusterbildung recht unklar bleibt, den stärksten Einfluss dürfte noch GAMS ausüben. Der Cluster weist eher niedrige, für den Alpenbereich jedoch hohe MIN_TEMP, niedrige GDD, eine hohe H_BIL_VEGP und einen eher kontinentalen GAMS auf. Die H_BIL_VEGP zeigt hier die größten Schwankungen (803 mm), GAMS ist hingegen recht konstant. Die Bodengruppen haben indirekt einen großen Einfluss auf die Clusterbildung (s.u.) ausgeübt, sie bestehen v.a. aus RENDSI_MB (59,5 %) und TERRA_FU (20,9 %), allerdings sind auch fast alle anderen Bodengruppen darin vertreten. Räumlich ist der Cluster mit Ausnahme des Ostteils und der Lechtaler Alpen sehr heterogen, seine F-Werte bewegen sich jedoch im Mittelbereich, wobei doch die recht inhomogene H_BIL_VEGP auffällt.

Der braune „sehr trocken-heiße Flachlandcluster“ beschränkt sich auf ein recht kleines Gebiet, welches die Donauauen von Krems bis Hainburg, das Gebiet des südlichen Wiener Beckens und des Neusiedler Sees mit Ausnahme des Leithagebirges sowie Teile Mittelburgenlands umfasst. Er weist wiederum die niedrigste mittlere Seehöhe bzw. Seehöhenamplitude auf. Der Cluster ist hygrisch und thermisch geprägt, die thermische Komponente dominiert jedoch etwas (vergl. schwarz in Variante T1). Er wird von keiner Variablen klar festgelegt, GAMS weist jedoch den geringsten Einfluss auf. Die GDD und MIN_TEMP haben hier mit großem Abstand ihre höchsten, GAMS und H_BIL_VEGP ihre geringsten Werte. Sämtliche klimatische Variablen (inclusive GAMS) schwanken in diesem Cluster am geringsten. Der Einfluss der Bodengruppen ist sehr hoch (s.u.), und sie bestehen vorwiegend aus den Auenböden der SONSTIGEn (54,0 %), aber auch die BE_LOCK_PB (31,7 %) sind stark vertreten. Dieser Cluster weist auch den höchsten Anteil an SONSTIGEn (t: 2,17) auf. Er ist räumlich relativ homogen, die F-Werte sind durchschnittlich weitaus die niedrigsten (F: 0,10), was auf seine geringe räumliche Ausdehnung zurückzuführen ist. Hierbei zeigt sich jedoch, dass die F-Werte der GDD, H_BIL_VEGP und MIN_TEMP extrem niedrig sind, was v.a. bei der MIN_TEMP (F: 0,04) sehr bemerkenswert ist, da diese normalerweise sehr hoch liegt. GAMS weist hingegen, aufgrund seiner hier sehr starken kleinräumigen Unterschiede mit 0,29 den höchsten F-Wert auf.

6.5.8.1 Vergleich zur Variante K5

Die Variante KE5, welche sich durch die zusätzliche Variable BODENGR von Variante K5 unterscheidet, ist räumlich ähnlich homogen wie Variante K5 (8 Cluster). Die räumliche Homogenität von blau und rot nimmt ab, dafür verschwindet nun der räumlich recht heterogene beige-blaue Zwischenalpencluster aus Variante K5. Der Einfluss der BODENGR ist praktisch in allen Clustern sichtbar. Braun wird stark verkleinert, da er v.a. an SONSTIGE gebunden ist. Daher verliert er die Gebiete mit GLEY_PGL (Mittelburgenland) und ARME_BE (Leithagebirge), die BE_LOCK_PB verbleiben auch nur im heißesten Südosten bei braun. Orange weitet sich demnach in die alten Gebiete von braun aus, darüber hinaus kommt nur die östliche Flyschzone gleybedingt hinzu und im Hausruckgebiet tritt er die POD_SEMIP-Punkte ab. Violett wird fast überall stark eingeengt, ändert sich podsolbedingt im Hausruckgebiet und reicht am Alpennordrand etwas weiter nach Westen, da er hier die TERRA_FU einnimmt. Im Nordosten nimmt ihm orange die Gleygebiete weg und am Ostrand beschränkt er sich auf die TERRA_FU. In den östlichen Randalpen gehen die Gley- und Podsolgebiete zu anderen Clustern über, und auch in der Böhmischen Masse beschränkt er sich fast nur noch auf ARME_BE. Blau wird stark von beige-blau durchsetzt, wobei dieser ihm teilweise die TERRA_FU wegnimmt. Mitunter ist die neue Verteilung von blau und beige-blau aber nur indirekt, das heißt durch das Zusammenspiel der BODENGR mit den klimatischen Variablen (wie z.B. die frühere Begrenzung von blau im Osten) oder gar nicht mehr erklärbar. Beige-blau entsteht überhaupt neu, und ist, weil er v.a. carbonatisch definiert ist, nicht mit jenem aus Variante K5 zu vergleichen.

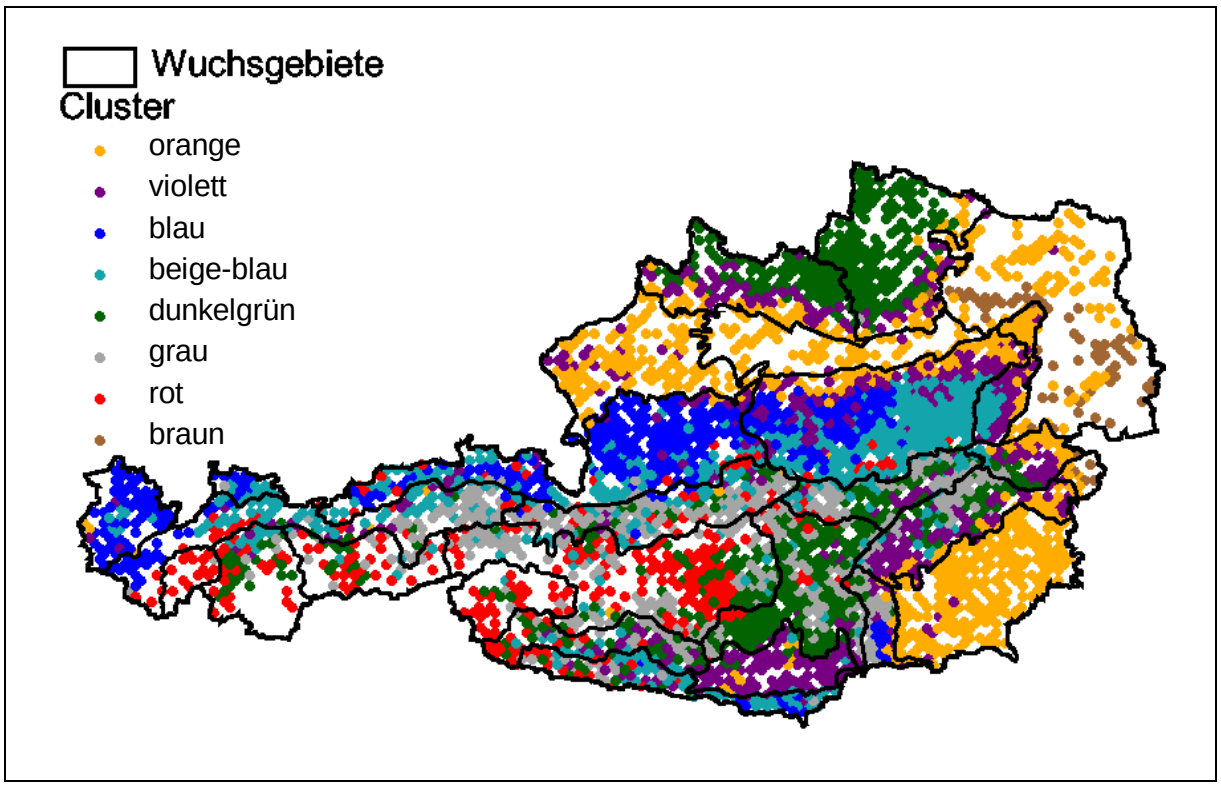


Abb. 6.32: Variante KE5, 8 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

Rot muss mit rot aus Variante K5 (5 Cluster) verglichen werden, denn rot ist nunmehr auch podsolig definiert und wird daher durch die carbonatischen Böden in den Nordalpen recht eingeschränkt. Die Einschränkungen des roten Clusters durch die podsoligen Cluster dunkelgrün und grau sind jedoch schwer zu begründen, wobei die grauen Einschränkungen möglicherweise auf dessen noch stärkere edaphische Definition (100 % POD_SEMI) zurückzuführen sind. So vergrößert sich grau in den nördlichen Zwischenalpen einerseits podsolbedingt, andererseits, da beige-blau aus Variante K5 nunmehr edaphisch bedingt verschwindet. Dunkelgrün weitet sich hingegen in den Zentral- und Zwischenalpen v.a. auf die ARME_BE und REICHE_BE, aber auch auf POD_SEMI (z.B. Wechsel) aus, in der Böhmischen Masse geschieht dies vorwiegend podsolbedingt, aber auch durch ARME_BE.

6.5.8.2 Vergleich zur Variante KE2

Durch die Herausnahme der Variablen TROC_40 kommt es gegenüber Variante KE2 zu folgenden Änderungen: Generell wird diese Variante durch die stärkere Betonung der BODENGR aufgrund der geringeren klimatischen Variablenzahl räumlich etwas heterogener, was v.a. für dunkelgrün, blau und rot gilt. Räumlich etwas homogener wird hingegen dunkelgrün in der Böhmischen Masse. Wie schon vielfach erwähnt, differenziert die Variable TROC_40 das Flachland stärker, so dass durch die Herausnahme von TROC_40 orange wiederum den gesamten Illyrischen Raum, sowie das gesamte nördliche Alpenvorland umfasst und vereinheitlicht. Dies führt auch zum totalen Verschwinden von hellgrün. Orange breitet sich auch in Richtung von braun (vergl. Variante KE2 (11 Cluster)) bzw. violett aus, so dass diese beiden Cluster durch die stärkere Gewichtung der BODENGR um einiges verkleinert werden (Begründung: siehe Vergleich zur Variante K5). Daher reduziert sich auch die Seehöhenamplitude von violett stark. Durch die Existenz des braunen (in GAMS und TROC_40 stark heterogenen) Clusters kommt es in orange gegenüber der Variante KE2 (8 Cluster ohne braun) interessanterweise zu einer starken Abnahme des durchschnittlichen F-Wertes.
Für die starke Durchsetzung von blau in den Nördlichen Kalkalpen mit beige-blau und violett, kann einerseits der TERRA_FU verantwortlich gemacht werden (s.o.). Andererseits kann dies auch durch die fehlenden TROC_40 begründet werden, welche die Alpen aufgrund ihrer geringen Differenzierung stärker glätten (siehe Kapitel 6.4.6). Trotz der geringeren Ausdehnung und höherer räumlicher Heterogenität nehmen die Seehöhenamplitude und der durchschnittliche F-Wert in blau zu, was zeigt, dass die stärkere Bodengewichtung einen größeren Einfluss auf diese Werte ausüben dürfte, als das räumliche Erscheinungsbild. Der stark edaphisch definierte graue Cluster (100 % POD_SEMI) ist in den nördlichen Zwischenalpen durch die stärkere Gewichtung der Bodenvariablen besser ausgeprägt, da seine Ausbildung hier von den Podsolen stark begünstigt wird. Er verdrängt hier vielfach rot, welcher zwar viele Podsole aufweist, aber nicht so sehr durch den Boden, sondern stärker durch klimatische Variablen definiert sein dürfte. Rot und dunkelgrün werden im Alpenbereich räumlich um einiges heterogener, da auch hier

durch die stärkere Bodengewichtung und den Wegfall der die Alpen glättenden TROC_40 das Bild stärker differenziert wird. Die Seehöhenamplitude von rot nimmt bei zunehmender Heterogenität ab, jene von dunkelgrün nimmt jedoch aufgrund einiger neuer Punkte in den Nockbergen zu. Die stärkere räumliche Homogenität von dunkelgrün in der Böhmischen Masse erscheint zunächst unlogisch, ist aber letztlich dadurch zu erklären, dass die TROC_40 (ähnlich wie im Flachland) in der Böhmischen Masse stärker differenziert ist als die anderen klimatischen Variablen. Daher kommt es durch die Wegnahme der TROC_40 zu einer Glättung.

6.5.8.3 Kurzresümee der Variante KE5

I.A. ist diese Variante räumlich im alpinen Bereich sehr heterogen, außerhalb ist sie recht homogen. Der hygrische Einfluss überwiegt bei der Clusterausbildung ein wenig vor dem thermischen, wobei GAMS und GDD am stärksten zur Clusterausbildung beitragen. Die BODENGR zeigen durch die geringe klimatische Variablenzahl (4) in allen Clustern einen recht großen Einfluss, welcher jedoch nicht immer nachvollziehbar ist (z.B. blau und beige-blau). Der Illyrische Raum und das nördliche Alpenvorland sind aufgrund der wegfallenden, das Flachland stärker differenzierenden TROC_40 einheitlich. Es kommt auch hier zu einer schönen Trennung zwischen östlichen und südlichen Zwischenalpen einerseits (dunkelgrün und grau) sowie nördlichen Zwischenalpen andererseits (grau), wobei auch die östlichen Randalpen einigermaßen ausgewiesen werden. Die F-Werte sind durchaus zufriedenstellend und liegen im Durchschnitt bei 0,26, die MIN_TEMP und rot weisen wiederum die größten Werte und auch den geringsten Einfluss auf die Clustervarianten auf. GDD und braun zeigen die niedrigsten F-Werte. Die mittlere Seehöhe ist in orange am geringsten und in rot am höchsten, die Seehöhenamplitude erreicht in hellgrün ihr Minimum und in rot ihr Maximum.

6.5.9 Variante KE6

Verwendete Variablen: VEGPERI, AMPLJA, H_BIL_VEGP, TROC_40, GAMS und BODENGR (mit Faktor 1 gewichtet)
Ergebnis 6 (siehe Abb. 6.33) vereinigt durch die Variablenauswahl die Varianten T6 und H2 mit den Bodengruppen. Es weist nach 9 Clustern, aber auch bei weit weniger Cluster innerhalb der Alpen, eine sehr starke räumliche Heterogenität auf, weshalb es nur kurz behandelt wird. Orange, hellgrün, blau und schwarz sind hygrisch, violett, rot und grau sind thermisch beeinflusst und dunkelgrün und gelb sind beides (vergl. Variante T6, Variante H2). Die BODENGR dürften v.a. auf blau, gelb und dunkelgrün Einfluss ausgeübt haben.
Der orange „trockenere, wärmere Flach- und Hügellandcluster“ ist gekennzeichnet durch die höchste VEGPERI und TROC_40 sowie die niedrigste H_BIL_VEGP und hygrische Kontinentalität, bei der AMPLJA liegt er an 2. Stelle (siehe Tab. A8a,b im Anhang) und ist daher

hygrisch ozeanisch und thermisch kontinental. Der hellgrüne „kühlere, feuchtere Flach- und Hügellandcluster“ liegt bei den VEGPERI und TROC_40 an 2. vorderster Stelle, bei H_BIL_VEGP und GAMS an 2. letzter Stelle, in der AMPLJA liegt er hinter orange am 3. Platz. Der blaue „humide“ Cluster erstreckt sich im Wesentlichen über die Nördlichen Kalkalpen bzw. Karawanken und weist die 2. höchste H_BIL_VEGP, jedoch nur die 3. niedersten TROC_40 auf, die hygrische Ozeanität ist die 2. höchste, die AMPLJA liegt eher im unteren und die VEGPERI im mittleren Bereich. Der schwarze „stark humide“ Cluster erstreckt sich über die regenreichsten, meist höchstgelegenen Gebiete der nördlichen Kalkalpen und weist sowohl die höchste H_BIL_VEGP als auch die niedrigste TROC_40 und AMPLJA auf. Die VEGPERI ist zwar ziemlich gering, liegt aber noch immer über jener von rot und grau, während GAMS im Mittelbereich liegt. Der graue „kalte, feuchte, hygrisch kontinentale, thermisch ozeanische Zwischenalpencluster“ liegt v.a. über den hochgelegenen Gebieten der Zwischenalpen und reicht weit nach Osten und in die Zentralalpen. Er zeichnet sich v.a. durch eine sehr kurze VEGPERI (2. kürzeste), sehr niedrige AMPLJA (fast gleich niedrig wie in schwarz) und eine hohe hygrische Kontinentalität (2. höchste) aus, die TROC_40 sind recht nieder, die H_BIL_VEGP ist recht hoch. Dieser Cluster ist sozusagen hygrisch kontinental und thermisch ozeanisch. Der rote „kalte Hochgebirgscluster“ liegt über den Zentralalpen und ist der hygrisch kontinentalste Cluster und weist die kürzeste VEGPERI auf. Die AMPLJA ist gering, die H_BIL_VEGP eher hoch und die TROC_40 die 2. niedrigsten. Auch dieser Cluster ist hygrisch kontinental und thermisch ozeanisch. Der violette „stark thermisch kontinentale“ Cluster erstreckt sich v.a. über das Klagenfurter Becken und angrenzende Gebiete und weist die höchste AMPLJA auf. Die VEGPERI ist recht lang (3. längste), die H_BIL_VEGP und GAMS sind eher gering, die TROC_40 liegt etwas über dem Mittel. Der dunkelgrüne „wärmere, trockenere, hygrisch und thermisch kontinentalere Zwischenalpencluster“ nimmt eher die niedrigen Bereichen der Zwischenalpen ein und tritt auch in den östlichen Randalpen und in der Böhmischen Masse auf. Er liegt bei der AMPLJA, VEGPERI und GAMS eher im höheren Bereich, die H_BIL_VEGP ist eher niedrig, die TROC_40 liegen im Mittel. Der gelbe „kühlere, feuchtere podsolige Zwischenalpencluster“ nimmt nur kleine Gebiete in eher höhergelegene Regionen der Zwischenalpen ein. Seine AMPLJA, VEGPERI und TROC_40 sind eher gering und liegen unter dunkelgrün aber über grau, GAMS und die H_BIL_VEGP sind eher hoch und liegen über dunkelgrün aber unter grau. Er weist 100 % POD_SEMI auf.

6.5.9.1 Kurzresümee der Variante KE6

I.A. kommt in dieser Variante das thermisch kontinentale Gebiet des Klagenfurter Beckens am schönsten heraus und auch die Ansprache „hygrisch kontinental und thermisch ozeanisch„ für grau und rot, „hygrisch und thermisch kontinental“ für dunkelgrün bzw. „hygrisch ozeanisch und thermisch kontinental“ für orange können nur in dieser Variante so klar vorgenommen werden (vergl. Kapitel 4.2.1). Die F-Werte liegen im Durchschnitt sogar mit 0,23 von allen

Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen am niedrigsten und auch die mittlere sowie die maximale Seehöhenamplitude sind hier am geringsten (953 m bzw. 1374 m) (siehe Tab. 6.2). Dennoch ist diese Variante räumlich zu heterogen, um als Naturraumgliederung brauchbar zu sein. Auch die Übereinstimmung mit der PNV-Karte nach MAYER (1977) ist bis auf interessante Ausnahmen (siehe Kapitel 6.6.3) eher gering.

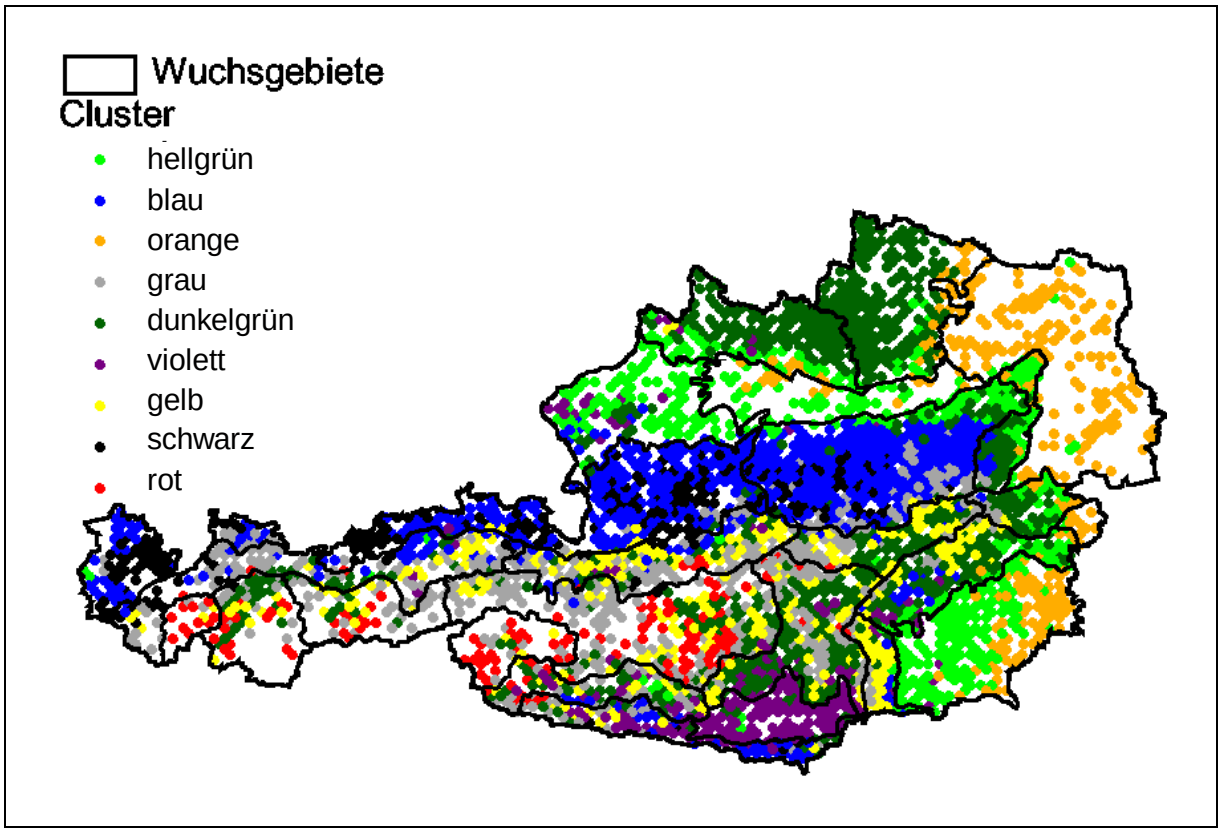


Abb. 6.33: Variante KE6, 9 Cluster Quelle: eigene Berechnungen

6.5.10 Zusammenfassung der Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen

Die Räumlichen Homogenitäten sind generell geringer als bei den Clustervarianten mit klimatischen Variablen, wobei die räumliche Homogenität durch eine stärkere Bodengewichtung in Nördlichen und Südlichen Kalkalpen meist ansteigt, im sonstigen Alpenbereich dadurch meist abnimmt, außeralpin ist es unterschiedlich. Die hygrischen Variablen üben allgemein einen geringfügig größeren Einfluss auf die Clusterausbildung aus, als die thermischen, wobei dies von Variante zu Variante variiert. Die Zugehörigkeit des Klagenfurter Beckens und der tiefergelegenen Böhmischen Masse zum gleichen, violetten Cluster (Variante KE1, KE2, KE2b, KE4 und KE4b) liegt dann vor (vergl. Clustervarianten mit klimatischen Variablen), wenn die Variable GAMS verwendet wird, wobei die um Ausreißer reduzierte Variante KE2b-re hierbei eine Ausnahme darstellt. Auch kommt es zu einer besseren Ausprägung der östlichen Randalpen, wenn GAMS verwendet wird.

Generell zeigen die Varianten mit stärkerer Bodengewichtung ein ähnliches Bild in der Clusterverteilung, da hier die Nördlichen und Südlichen Kalkalpen aus einem einzigen Cluster gebildet werden, bei schwächerer Bodengewichtung teilen sich die Nördlichen und Südlichen Kalkalpen jeweils in mindestens 2 Cluster auf. Eine stärkere Bodengewichtung kann hierbei einerseits durch einen höheren Gewichtungsfaktor der BODENGR erreicht werden, andererseits kann die Bodenkomponente auch aufgrund einer geringeren Zahl von klimatischen Variablen (wie in Variante KE1) stärker durchkommen.
Die übrigen, nicht stärker Boden-gewichteten Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen sind untereinander auch recht ähnlich, wobei die Variante KE3 aufgrund der großen Bedeutung der SO_ABS_JUL und die Variante KE6 aufgrund der recht unterschiedlichen Variablenkonstellation, hierzu Ausnahmen bilden. Bei einer stärkeren Bodengewichtung durch einen höheren Gewichtungsfaktor, kann sich die Fusionsabfolge erheblich ändern (siehe Variante KE4b). Die Bodengewichtung ist in allen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen stark genug, um den carbonatischen blauen Cluster nicht, bis in die Zwischen- oder Zentralalpen reichen zu lassen.
Der Illyrische Raum und das nördliche Alpenvorland werden in den Varianten KE1, KE4b & KE5 nicht zerschnitten, wobei dies hier nur bei Variante KE5 auf die fehlende, das Flachland stark differenzierende TROC_40 zurückzuführen ist. In Variante KE1 & KE4b liegt dies hingegen an der stärkeren Bodengewichtung, denn TROC_40 wird hier sehr wohl verwendet. Die rote „Inselbildung“ in den Nördlichen Kalkalpen wird, analog zu den Clustervarianten mit klimatischen Variablen (siehe Kapitel 6.4.6), durch die kombinierte Verwendung der das Gebirge glättenden Variablen TROC_40 und GAMS, sowie darüber hinaus durch eine stärkere Bodengewichtung eingeschränkt. Eine ausgeprägte rote „Inselbildung“ weist einzig Variante KE4 auf, welche nur einen sehr schwachen Bodenvariableneinfluss zeigt. Variante KE3, welche demnach eigentlich starke Inselausprägungen haben müsste, stellt hier wiederum eine Ausnahme dar.
Es gilt hier, noch im stärkeren Maße als bei den Clustervarianten mit klimatischen Variablen, dass Varianten mit vielen Variablen (z.B. Variante KE4) schon sehr komplex werden und daher teilweise schwer zu deuten sind.

6.6 Vergleich der Clustervarianten und Variantenauswahl

Die einzelnen Clustervarianten wurden nun in bezug auf verschiedenen Beurteilungskriterien analysiert und bewertet, wobei versucht wurde, jeweils eine „beste“ Variante pro Kriterium auszuwählen. Diese Beurteilungskriterien waren die räumliche Homogenität, der Vergleich mit der Wuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET AL. (1994), der Vergleich mit der Karte “Wälder des Ostalpenraums“ nach MAYER (1977), die Homogenität innerhalb der Cluster (F-Werte) und die Größe der Seehöhenamplituden der Cluster.
Bei der Auswahl der Beurteilungskriterien wurde davon ausgegangen, dass die bestehenden Naturraumgliederungen nach KILIAN ET AL. (1994) und MAYER (1977) *die* entscheidenden herkömmlichen Gliederungen in bezug auf das Waldwachstum darstellen. Die räumliche Homogenität wurde herangezogen, da nahezu alle österreichweiten Naturraumgliederungen räumlich homogene Gebiete ausweisen (Ausnahme: BOBEK und MRAS (1979)) und eine räumlich heterogene Raumgliederung auf einem 3,9 x 3,9 km Punktraster nur beschränkt Sinn macht (siehe auch Kapitel 6.1). Der F-Wert stellt nach der Theorie der Clusteranalyse (siehe Kapitel 5.2.3.1) ein Maß für die Homogenität der gebildeten Gruppen dar und die Seehöhenamplitude sollte schließlich Aufschluss über die Kompaktheit bzw. Höhenstufenbindung der Cluster geben. Es wurden hierbei v.a. die Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen analysiert.

6.6.1 Vergleich der räumlichen Homogenitäten

Hierbei soll eine möglichst große räumliche Homogenität als günstig für die Clustervariante angesehen werden (siehe Kapitel 6.6). Auf die unterschiedlichen räumlichen Homogenitäten innerhalb der Clustervarianten wird hier nicht mehr eingegangen, da diese sowohl in der Besprechung der einzelnen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen, als auch in deren Zusammenfassungen ausführlich behandelt werden. Eine Ergebnisauswahl ist hier schwierig zu treffen, da die verschiedenen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen meist recht unterschiedliche räumliche Homogenitäten zwischen ihren Clustern aufweisen.
Schließlich wurden folgende Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen aufgrund der in den Variantenbesprechungen angeführten Merkmalen als die räumlich homogensten ausgewählt: *Variante KE1, Variante KE2 (8 Cluster), Variante KE2b* und *Variante KE4b*. Im Vergleich zwischen Variante KE1 und KE2 weist die Variante KE1 in den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen sowie in der Böhmischen Masse die höheren räumliche Homogenitäten auf, die Variante KE2 hingegen in den Zentral- Zwischen und Randalpen. Im Vergleich zwischen Variante KE2 und KE2b weist die Variante KE2 in den Zentral- und Zwischenalpen, Variante KE2b hingegen in den Nord- und Südalpen die größere Homogenität auf.

Der Vergleich zwischen Variante KE2b und KE4b zeigt in Variante KE2b größere räumliche Homogenitäten in den östlichen Rand- und Südalpen, Variante KE4b ist hingegen in den Zentralalpen räumlich homogener, so dass die Variante KE4b in bezug auf die räumliche Heterogenität etwas niedriger zu bewerten ist. Von diesen Varianten ist *Variante KE1* in nördlichen und südlichen Kalkalpen sowie in der Böhmischen Masse, *Variante KE2* in den Zentralalpen sowie zusammen mit *Variante KE4b* in den Zwischenalpen und *Variante KE2b* in den östlichen Randalpen räumlich am homogensten. Im Flach- und Hügelland ist die räumliche Homogenität zwischen den Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen weitgehend gleich. Die größte räumliche Homogenität in der Böhmischen Masse zeigen jedoch die nicht ausgewählten *Varianten KE 3* und *KE6*. Die räumlich inhomogenste Variante ist schließlich *Variante KE6.*

Räumlich homogener als die Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen sind jedoch die Clustervarianten mit klimatischen Variablen, da diese ohne die Bodengruppen erzeugt wurden. Die Bodengruppen führen ja meist in den Zentral-, Zwischen- und Randalpen zu einem Ansteigen der räumlichen Heterogenität, in den Nord- und Südalpen tragen sie hingegen eher zur räumlichen Homogenität bei, außeralpin können sie Unterschiedliches bewirken. So zeigen die Varianten K2 und K4 durchaus noch größere räumliche Homogenitäten, v.a. in den Zentral- Zwischen- und östlichen Randalpen.
Sehr große räumliche Homogenitäten, v.a. innerhalb der Alpen, zeigen auch die Clustervarianten mit hygrischen Variablen, wobei Varianten H2 und H4 räumlich geringfügig homogener sind als die Clustervarianten mit klimatischen Variablen. Variante H2 stellt hier bei einer Clusterzahl von 6 wohl die räumlich homogenste Variante dar, die Clustervarianten mit thermischen Variablen sind räumlich alle recht inhomogen.

6.6.2 Vergleich mit der Wuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET AL. (1994)

Die Wuchsgebietsgliederung nach KILIAN ET AL. (1994) (siehe Kapitel 2.2.5), welche schon vergleichend über jede Variante gelegt wurde, soll nun als Vergleichsbasis für eine Variantenauswahl dienen. Die Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen sollen in erster Linie auf die großräumige Übereinstimmung mit den 9 Hauptwuchsgebieten (HWG) untersucht werden, zu denen die großräumigen Analogien meist auch viel stärker sind, und erst in 2. Linie mit den einzelnen 22 Wuchsgebieten verglichen werden (deren Vergleich ja schon bei der Besprechung der einzelnen Varianten durchgeführt wird), wobei auch die räumliche Homogenität mitberücksichtigt werden muss.
Die Bezifferung der HWG lautet dabei wie folgt: 1 = Innenalpen, 2 = Nördliche Zwischenalpen, 3 = Östliche und Südliche Zwischenalpen, 4 = Nördliche Randalpen, 5 = Östliche Randalpen, 6 = Südliche Randalpen, 7 = Nördliches Alpenvorland, 8 = Sommerwarmer Osten und 9 = Wald- und Mühlviertel

Variante KE1 ist räumlich recht unterschiedlich homogen, da der gesamter Alpenbereich außer den Nördliche Kalkalpen heterogen, die übrigen Cluster jedoch homogen sind. VarianteKE1 trifft v.a. HWG 4 „Nördliche Randalpen“ sehr gut, wobei die Südgrenze von *blau* von den Kitzbühler Alpen westwärts etwas weiter im Süden verläuft. Im Süden stimmt *violett* mit Wuchsgebiet 6.2 des HWG 6 gut überein und auch Wuchsgebiet 8.2 wird einheitlich dargestellt. Der nördliche Teil des HWG 8, Wuchsgebiet 8.1 wird sehr schön von *braun* eingenommen. Darüber hinaus zeigen sich Parallelen zwischen *rot* und HWG 1, *orange* und HWG 7, *blau* und Wuchsgebiet 6.1 sowie *violett* und HWG 9. So gut wie gar nicht ausgewiesen wird HWG 5 „Östliche Randalpen“, die Zwischenalpen-HWGe können nur beschränkt durch die heterogenen Cluster *grau* und *dunkelgrün* dargestellt werden, wobei sich *dunkelgrün* v.a. über HWG 3 und *grau* über HWG 2 erstreckt.

Variante KE2 (8 Cluster) zeigt schöne Analogien zu KILIAN ET AL. (1994). So korrespondiert der räumlich sehr homogene *rote Cluster* gut zu HWG 1, wobei er auch weiter nach Norden reicht und im Osten jedoch schon früher endet. Weiters deckt sich der räumlich recht heterogene *violette Cluster*, außer im südlichen Teil, recht gut mit HWG 5 „Östliche Randalpen“ und *violett* bildet wiederum gut Wuchsgebiet 6.2 ab. Auch d*unkelgrün* deckt räumlich recht homogen HWG 3 ab, wobei v.a. Wuchsgebiet 3.2 gut ausgebildet ist. HWG 4 „Nördliche Randalpen“ sowie Wuchsgebiet 6.1 können von *blau* nur in Verbindung mit *beige-blau* abgedeckt werden, wobei die Trennlinie innerhalb des HWGs 4 in die Wuchsgebiete 4.1 und 4.2 zwischen *blau* und *beige-blau* weiter ostwärts zu liegen käme. Ebenso füllen *violett* und *dunkelgrün* zusammen HWG 9 schön aus. Wuchsgebiet 8.2 wird von *hellgrün* und *orange* durchschnitten.

Variante KE2b erfährt gegenüber Variante KE2 folgende Änderungen: HWG 4 und Wuchsgebiet 6.1 werden durch *blau* alleine abgedeckt und dadurch vereinheitlicht. V*iolett* zieht sich etwas aus den östlichen Randalpen zurück, so dass HWG 5 etwas schlechter dargestellt wird. *Violett* und *dunkelgrün* schieben sich aber auch etwas die Böhmische Masse hinauf, so dass HWG 9 nicht mehr so gut abgedeckt wird. R*ot* wird räumlich etwas heterogener, g*rau* verschwindet weitgehend aus den nördlichen Zwischenalpen, wobei *dunkelgrün* diesen Platz vielfach auffüllt. Durch diese Verschiebung werden die Zwischenalpen besser unterschieden und zwar in HWG 3 mit *grau* und *dunkelgrün* und HWG 2 mit vorwiegend *dunkelgrün* (weitgehend ohne *grau*). In bezug auf KILIAN ET AL. (1994) ist diese Variante daher ähnlich zu bewerten wie Variante KE 2.

Die Änderungen der Variante KE2b-re gegenüber Variante KE2b haben in bezug auf KILIAN ET AL. (1994) nur wenig Auswirkungen, wobei das Bild allgemein räumlich etwas heterogener wird.

Variante KE3 zeigt allgemein ein räumlich recht heterogenes Bild. Die Übereinstimmung zu KILIAN ET AL. (1994) ist v.a. aufgrund des großflächigen *violetten Clusters*, welcher in unterschiedliche HWGe (3, 5 und 6) reicht und diese daher kaum noch differenziert, aber auch wegen der Zerschneidung des Wuchsgebiets 8.2 und der generell hohen räumlichen Heterogenität eher gering. *Blau* und *beige-blau* decken wiederum nur zusammen HWG 4 ab. Schön geteilt werden hingegen die Zwischenalpen, da im Groben *dunkelgrün* zusammen mit *grau* über HWG 2, und zusammen mit *violett* über HWG 3 liegt. *Rot* deckt einigermaßen gut HWG 1 ab, wobei er einerseits räumlich sehr klein ausgeprägt ist. Andererseits liegen daher fast alle roten Clusterpunkte innerhalb von HWG 1, so dass die in anderen Varianten häufig auftretenden „roten Clusterinseln" der Nordalpen hier kaum vorkommen.

Variante KE4 (10 Cluster) ist aufgrund der sehr hohen räumlichen Heterogenität von vornherein auszuschließen. Dennoch zeigen sich großräumig Parallelen zwischen *blau* und *beige-blau* und HWG 4, zwischen *violett* und HWG 5, zwischen *orange* und *braun* und HWG 8, zwischen *hellgrün* und HWG 7, zwischen *grau* und *dunkelgrün* und den HWGen 2 und 3, zwischen *dunkelgrün* und *violett* und HWG 9, sowie zwischen *hellblau* und HWG 1.

Variante KE4b zeigt gegenüber Variante KE4 zahlreiche Änderungen, die eine weit größere Übereinstimmung zu KILIAN ET AL. (1994) bewirken. *Blau* deckt alleine fast das gesamte HWG 4 ab. Der räumlich eher heterogene *rote Cluster* erstreckt sich recht schön über HWG 1, reicht jedoch auch noch weiter nach Norden. G*rau* korrespondiert gut mit HWG 2, in welchem er weitgehend ohne dunkelgrün auftritt. Zusammen mit *dunkelgrün* deckt er grob HWG 3 ab, wodurch es hier zu einer recht schönen Trennung der Zwischenalpen-HWGe 2 und 3 kommt. *Orange* korrespondiert recht gut mit HWG 7 und sehr gut mit Wuchsgebiet 8.2, welches hier nicht zerschnitten wird. *Braun* deckt fast genau Wuchsgebiet 8.1 ab. HWG 5 wird hingegen durch *violett* nur schlecht wiedergegeben.

In Variante KE5 können die Trennung der Zwischenalpen in HWG 2 (*grau*) und HWG 3 (*dunkelgrün* und *grau*), die grobe Ausweisung des HWGs 5 und des Wuchsgebietes 6.2 durch *violett* sowie die Einheit von Wuchsgebiet 8.2 positiv bewertet werden. Die geringere Übereinstimmung von *orange* und *braun* zu den HWGen 7 und 8, sowie v.a. die starke räumliche Heterogenität in allen Gebirgscluster (auch *blau*) sind jedoch zu bemängeln, weshalb diese Variante in bezug auf KILIAN ET AL. (1994) nicht so gut zu bewerten ist.

Variante KE6 kann wegen der großen räumlichen Heterogenität im Alpenraum von vornherein ausgeschlossen werden, es zeigen sich aber auch hier grobe Parallelen zu den HWGen. So korrespondieren *blau* und *schwarz* zusammen sehr gut mit HWG 4, wobei diese Variante interessanterweise die einzige Variante darstellt, bei der die Südgrenze des HWG 4 im Westen auch mit jener von *blau* bzw. *schwarz* zusammenfällt. *Dunkelgrün* zeigt überhaupt die besten Ana-

logien zu HWG 9 und eingeschränkt auch zu HWG 5 und 3. *Hellgrün* zeigt Parallelen zu HWG 7, *orange* zu HWG 8, *grau* zu HWG 2 & 3 und *rot* zu HWG 1.

Die größte Übereinstimmung mit KILIAN ET AL. (1994) kann visuell daher nur schwer festgestellt werden, da jede Variante andere Vorzüge bzw. Mängel aufweist. Schließlich wurden folgende Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen aufgrund der diskutierten Aspekte ausgewählt: *Variante KE1, Variante KE2 (8 Cluster), Variante KE2b, Variante KE2b-re* und *Variante KE4b*, wobei *Variante KE2* in der Übereinstimmung geringfügig besser liegt und *Variante KE1* etwas schlechter.
Die beste Übereinstimmung zu HWG 1 weist in bezug auf die räumliche Homogenität die Variante KE2 auf, die wenigsten roten Clusterpunkte außerhalb von HWG 1 treten in Variante KE3 auf. Die relativ beste Differenzierung der HWGe 2 und 3 weisen die Varianten KE2b, KE2b-re, KE3, KE4b und KE5 auf, die beste räumliche Abdeckung dieser HWGe zeigen die Varianten KE2b, KE2b-re und KE4b. HWG 4 wird in einem einheitlichen Cluster am besten in Variante KE1 abgebildet, die Südwestgrenze stimmt am besten in Variante KE6 überein. Die größte Übereinstimmung mit HWG 5 weist Variante KE2 auf. Das gesamte HWG 6 wird in keiner Clustervariante mit klimatischen und edaphischen Variablen abgebildet, wobei Wuchsgebiet 6.1 noch am relativ besten in Variante KE1 und KE2b dargestellt wird, Wuchsgebiet 6.2 findet in Variante KE2b-re seine größte Übereinstimmung. HWG 7 wird am besten in den Varianten KE1, KE2b-re, KE3 und KE4b abgebildet. HWG 8 wird in keiner Clustervariante mit klimatischen und edaphischen Variablen durch *einen* Cluster ganz dargestellt, am ehesten noch in Variante KE2, KE2b und KE2b-re. Durch die Kombination von orange und braun lässt es sich, wenn auch nicht ganz zufriedenstellend, in Variante KE1 und KE4b darstellen. Diese und Variante 5 sind auch die einzigen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen, welche Wuchsgebiet 8.2 nicht zerschneiden, wobei dies bei Variante KE5 aufgrund der fehlenden TROC_40, bei den anderen beiden aufgrund der Bodengruppen geschieht. HWG 9 wird in Variante KE6 am besten abgebildet.

Unterschiede zu KILIAN ET AL. (1994), die in fast allen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen gleich auftreten, sind die weiter südlich liegende Südwestgrenze des HWGes 4 ab ca. Innsbruck, die frühere ostwärtige Begrenzung des HWGes 1 im Lungau, die weiter nordwärts liegende Begrenzung des HWGes 9, sowie das frühere westwärtige Ende des HWGes 2 im Zillertal oder oberen Inntal, wobei im 2. Fall das HWG 2 stets weiter im Süden liegt (außer in Variante H2 und H4 (s.u.)). Falls es zur Teilung des HWGes 4 in beige-blau und blau kommt, so liegt diese Trennlinie stets weiter östlich, als die Linie zwischen den Wuchsgebieten 4.1 und 4.2. Hierbei ist weiters interessant, dass dann der Ostteil (beige-blau) im Clusterprozess stets aus dem „Zwischenalpencluster“ (grau) hervor geht, und nicht, wie man vermuten würde, aus dem „Nordalpencluster“ (blau). Auch reicht der violette Cluster,

welcher mit HWG 5 korrespondiert, nie weiter nach Süden, als ins Wuchsgebiet 5.3 (außer in den Clustervarianten mit thermischen Variablen (s.u.)).

Die Clustervarianten mit klimatischen Variablen zeigen auch sehr gute, teilweise noch bessere Übereinstimmungen mit KILIAN ET AL. (1994). Besonders gilt dies für *Variante K2* (6 Cluster), mit Analogien zwischen rot und HWG 1, dunkelgrün und HWG 3, blau und HWG 4, hellgrün und HWG 7 sowie orange und HWG 8, weiters für *Variante K4* (9 Cluster), mit Analogie zwischen rot und HWG 1, dunkelgrün und HWG 3, hellgrün und HWG 7, sowie grau und HWG 5, welches hier besonders schön abgebildet wird. Schließlich gilt dies auch für *Variante K5* (5 Cluster), mit Analogien zwischen rot und HWG 1, dunkelgrün und den HWGen 3 bzw. 2, blau und HWG 4, violett und HWG 5, sowie orange und den HWGen 7 bzw. 8.
Generell gilt hier, dass die Clustervarianten mit klimatischen Variablen räumlich noch etwas homogener sind als die Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen (s.o.), und sie so die HWGe 1, 3 und auch 5 schöner, weil flächiger abbilden können. Da die Bodenkomponente fehlt, reicht HWG 4 jedoch stets zu weit nach Süden (bei Variante K5 noch am wenigsten) und Wuchsgebiet 6.1 wird kaum ausgewiesen, HWG 2 wird nie auch nur annähernd abgedeckt. Vereinfacht gesagt geben daher die Clustervarianten mit klimatischen Variablen die HWGe zwar flächiger, aber weniger exakt und differenziert wieder.

Auch die Clustervarianten mit hygrischen Variablen zeigen teilweise sehr schöne Übereinstimmungen mit der HWGen. So zeigen sich in *Variante H2* (6 Cluster) schöne Analogien zwischen blau und HWG 4, hellblau und HWG 2, wobei dieser Cluster HWG 2 hier unter allen Clustervarianten überhaupt am besten abdeckt, beige-grün und HWG 5, hellgrün und HWG 7 und schließlich bei 10 Clustern zwischen HWG 1 und rot sowie HWG 3 und dunkelgrün. Auch *Variante H4* (8 Cluster) zeigt schöne Übereinstimmungen zwischen blau (inclusive violett) und HWG 4, hellblau und HWG 2, rot und HWG 1, dunkelgrün und HWG 3, hellgrün und HWG 5, sowie orange und HWG 7.
Auch die Clustervarianten mit hygrischen Variablen geben die HWGe flächiger wieder, als die Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen. Bei den beiden bezüglich KILIAN ET AL. (1994) besten Clustervarianten (Variante H2 und H4) reicht jedoch stets der sehr schöne hellblaue Zwischenalpencluster im Osten ins HWG 4 hinein, wodurch die großflächige Abdeckung zu den Wuchsgebieten wiederum etwas unexakter wird.

Von den Clustervarianten mit thermischen Variablen sind diesbezüglich erwähnenswert, der rote Cluster in Variante T1 & T2 und dessen Übereinstimmung mit HWG 1, der violette Cluster in Variante T1 und Variante T2 (6 Cluster) und dessen Übereinstimmung mit HWG 6, welches nur in diesen beiden Clustervarianten ansatzweise ganz abgedeckt wird, der orange Cluster aus Variante T2, T4 & T5, welcher gut HWG 5 abdeckt, wobei diese Cluster nur hier durchgehend vom Wienerwald bis zur Koralpe reichen und der schwarze Cluster inclusive bei-

ge in Variante T2 (bei der nicht abgebildeten Variante mit 8 Clustern sind diese *ein* Cluster), welcher recht gut HWG 8 abdeckt. Die inneralpinen HWGe werden in den Clustervarianten mit thermischen Variablen jedoch so gut wie gar nicht wiedergegeben.

6.6.3 Vergleich mit der Karte "Wälder des Ostalpenraums" nach MAYER (1977)

Eine andere Vergleichbasis für die Variantenauswahl ergibt sich durch Übereinstimmung der Cluster mit dieser Karte der PNV (siehe Kapitel 2.2.2), welche räumlich wesentlich heterogener als KILIAN ET AL. (1994) ist (siehe auch Kapitel 4.6.1).
Hierbei werden folgende Abkürzungen verwendet: Montaner Fichten-Tannen-Buchenwald (M-FTB), Montaner Buchenwald (M-B), Tief- bis Submontaner Eichen-Buchenwald (T-EB), Waldkiefernwald (WK), Bodensaurerer Eichen- und Kieferneichenwald (B-EK), Eichen-Hainbuchenwald (EH), Subkontinentaler Eichenmischwald (S-E), Außeralpine Augebiete (A-A), Montaner Fichten-Tannenwald (M-FT), Tiefsubalpiner Fichtenwald (T-F), Hochsubalpiner Lärchen-Zirbenwald (H-LZ), Subalpiner Legföhrengebüsch-Lärchenwald (S-LL) und Montaner Fichtenwald (M-F).

In Variante KE1 werden vielfach mehrere Waldgesellschaften in einem Cluster zusammengefasst, wobei die Clusterausdehnungen mit den Verbreitungen der Waldgesellschaften oft nur wenig übereinstimmen, so dass die Analogien zu MAYER (1977) eher gering sind. So nimmt z.B. *orange* recht gut den T-EB ein, er umfasst aber auch den B-EK, sowie Teile des EHes und M-Bes. Auch g*rau* deckt sich im Südosten mit dem T-F, zeigt aber sonst stärkere Analogien zum M-FT. Positiv hervorzuheben ist der *blaue Cluster*, welcher in den gesamten Nördlichen Kalkalpen schön den M-FTB einnimmt, wobei die „roten Inseln" anderer Waldgesellschaften zum Teil recht gut herauskommen (z.B. Hochschwab). Er deckt sich zum Teil auch mit dem M-FTB in den Östlichen Randalpen und bildet sich auch in den carbonatischen Südalpen über anderen Waldgesellschaften aus. Auch *rot* deckt recht gut den T-F, S-LL und H-LZ ab.

Variante KE2 (siehe Abb. A6 im Anhang) zeigt sehr schöne Analogien zu MAYER (1977). So deckt *orange* schön den EH (wobei auch das Ennsfeld gut ausgewiesen wird), den S-E und zum Teil auch den B-EK ab. V*iolett* zeigt in der Böhmischen Masse, dem östlichen Alpenrand und dem Ostteil des nördlichen Alpenrandes schöne Analogien mit dem M-B, er „fehlt" jedoch am sonstigen Alpennordrand und im Hausruck. Im Klagenfurter Becken, Drau-, Gail- und unteren Murtal zeigt er Übereinstimmung mit dem T-EB und auch der WK im Inntal kommt schön heraus. B*lau* und *beige-blau* korrespondieren zusammen gut mit dem M-FTB in den nördlichen Kalkalpen. *Rot* zeigt gute Analogien zum T-F, S-LL, M-F und H-LZ der Zentralalpen und bildet in den Nördlichen Kalkalpen bei entsprechenden Waldgesellschaften schöne „Inseln" (z.B. im Toten Gebirge) aus. *Hellgrün* zeigt teilweise recht schöne Übereinstimmungen mit dem T-EB. G*rau* korrespondiert im Osten mit dem T-F, im Westen jedoch mit dem M-

FT. D*unkelgrün* nimmt in den östlichen und südlichen Zwischenalpen den M-FT ein und deckt sich recht gut mit dem M-FTB der Böhmischen Masse.
In der Variante mit 11 Clustern (siehe Abb. 6.25), welche aufgrund des räumlich stark heterogenen gelben Clusters nicht ausgewählt wurde, zeigt auch noch *braun* eine recht gute Übereinstimmung mit S-E und *hellblau* mit dem M-F bzw. im Osten dem T-F.

In Variante KE2b zeigen sich schöne Analogien zu MAYER (1977), sie sind im Vergleich zu Variante KE2 insgesamt etwas geringer. Gegenüber Variante KE2 ändert sich Folgendes: Aus blau und beige-blau wird ein *blauer Cluster*, welcher jetzt alleine den M-FTB der gesamten nördlichen Kalkalpen schön abdeckt. *Hellgrün* deckt am Ostrand der Böhmischen Masse besser den T-EB ab, im Mittelburgenland liegt er jedoch über dem M-B. *Dunkelgrün* und *grau* differenzieren v.a. im Südosten aber schlecht zwischen M-FT und T-F. *Rot* trifft hingegen im Lungau die Verteilung des T-F besser.

In Variante KE2b-re ändert sich im Vergleich zu Variante KE2b Folgendes: *Hellgrün* deckt nur in dieser Variante den T-EB auch im Klagenfurter Becken und Drau- bzw. Gailtal ab. Darüber hinaus nimmt er jetzt schöner den T-BE im südlichen Wienerwald und am Nordostrand der Böhmischen Masse ein. *Grau* bildet nun in den Nördlichen Kalkalpen „Inseln“ aus, welche jedoch „falsch“ sind, da sie mit keiner Waldgesellschaft korrelieren. *Grau* und *dunkelgrün* zeigen noch weniger Übereinstimmung mit dem T-F und M-TF. B*lau* erstreckt sich hier nicht mehr ins Montafon, was MAYER (1977) besser entspricht, *rot* erstreckt sich hier kaum über die Nördlichen Kalkalpen. Diese Variante weist zu MAYER (1977) schöne Ähnlichkeiten auf, sie kann von der Übereinstimmung her ungefähr gleich wie Variante KE2b bewertet werden.

Variante KE3 zeigt recht wenig Übereinstimmung zu MAYER (1977). Dies ist v.a. darauf zurückzuführen, dass *violett* durch seine große Ausdehnung zahlreiche Waldgesellschaften (M-B, M-FTB, M-FT, T-EB) zusammenfasst. *Blau* und *beige-blau* decken zwar wiederum den M-FTB der Nördlichen Kalkalpen gut ab, allerdings sind die „Inseln“ anderer Waldgesellschaften darin meist nicht existent oder nicht exakt. *Hellgrün* deckt sich im nördlichen Alpenvorland und am Rand der Böhmischen Masse sehr gut mit dem T-EB, in den übrigen Gebieten ist die Übereinstimmung mit diesem jedoch gering. *Dunkelgrün, grau, orange* und *rot* nehmen mindestens je zwei Waldgesellschaften ein.

Variante KE4 (siehe Abb. 6.34) zeigt sehr schöne Analogien zu MAYER (1977), wobei auch sehr viele verschiedene Waldgesellschaften differenziert werden können. So können hier z.B. durch *hellblau* gut die Gebiete mit M-F (oberes Inntal, Brenner und Iseltal) ausgewiesen werden und *violett* tritt im Inntal schön als Waldkiefernwald (WK) auf. V*iolett* zeigt auch sehr schöne Ähnlichkeiten mit dem M-B (Böhmischen Masse, Hausruck und gesamter nördlichen und östlichen Alpenrand), im Klagenfurter Becken korrespondiert er recht gut mit dem M-FTB

und dem T-EB. Auch *braun* korrespondiert gut mit dem S-E bzw. den A-A im trockenen Osten.

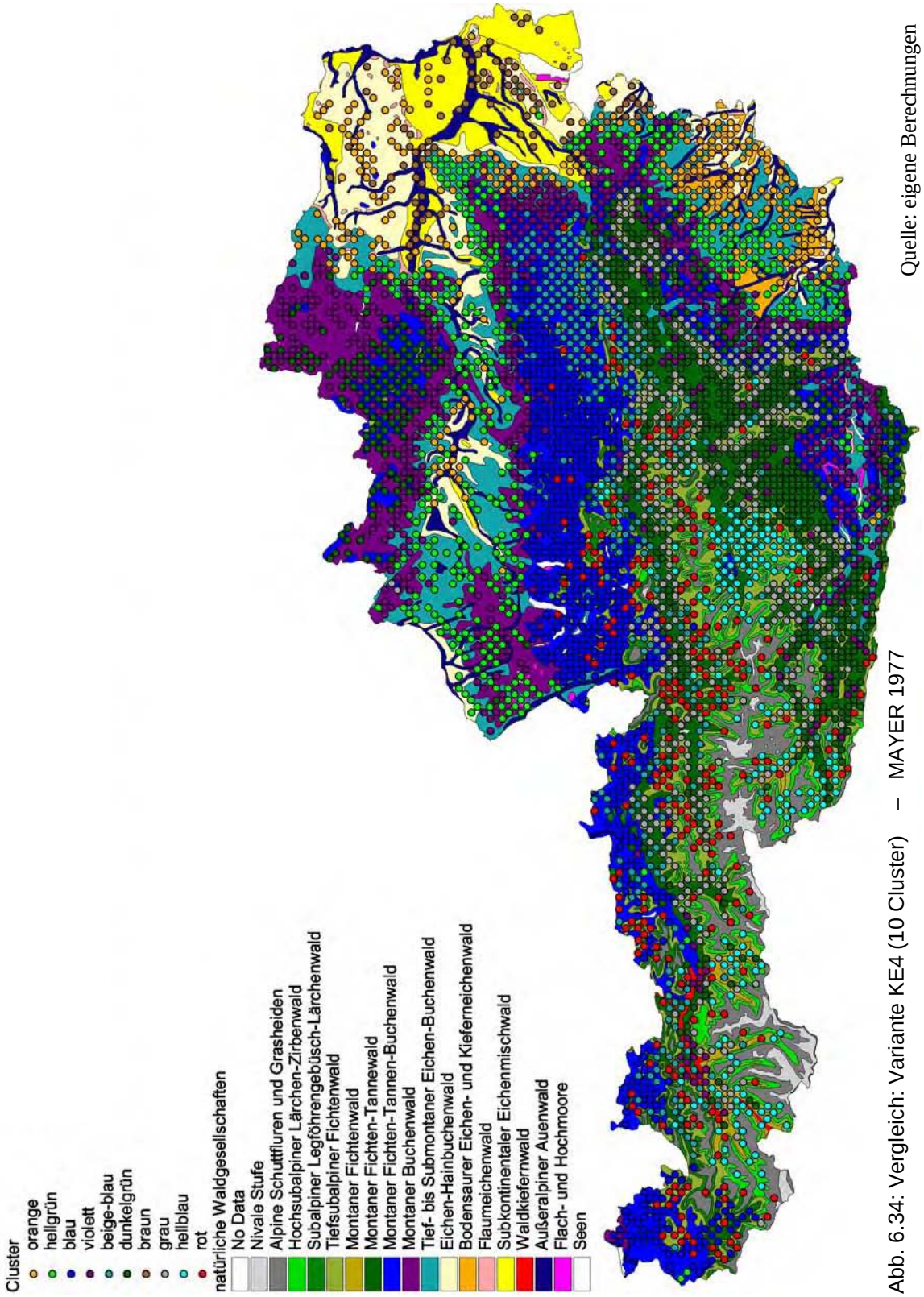


Abb. 6.34: Vergleich: Variante KE4 (10 Cluster) – MAYER 1977

Quelle: eigene Berechnungen

Dunkelgrün zeigt in der Böhmischen Masse schöne Analogien zum M-FTB und in den südöstlichen Zwischenalpen bzw. Südalpen zum M-FT *Blau* und *beige-blau* korrespondieren zusammen in den Nördlichen Kalkalpen sehr gut mit dem M-FTB, *blau* reicht jedoch im Montafon auch in andere Waldgesellschaften. *Hellgrün* korrespondiert am Rand der Alpen und der Böhmischen Masse sehr schön mit dem T-EB, einzig im Wienerwald wird er unterbrochen. O*range* deckt sich im recht gut mit dem B-EK und EH (Illyrischen Raum) bzw. mit dem EH (Weinviertel und Ennsfeld). *Grau* zeigt im Osten teilweise eine Übereinstimmung mit dem T-F, im Westen hingegen mit dem M-FT. *Rot* zeigt sowohl in den Zentralalpen, als auch in den Nordalpen, wo er „Inseln" (z.B. im Toten Gebirge) ausbildet, vielfach eine Übereinstimmung mit dem T-F, H-LZ und S-LL. *Hellblau* (s.o.) korrespondiert jedoch im Lungau mit keiner Waldgesellschaft.

Variante KE4b ist recht ähnlich zu Variante KE4, sie weist jedoch einige, v.a. außeralpine Waldgesellschaften, nicht zuletzt wegen der geringeren Differenzierung, schlechter aus. *Blau* kann hier einerseits (im Gegensatz zu Variante KE4) alleine den M-FTB in den nördlichen Kalkalpen und auch in der Koralpe abdecken. Andererseits ist die Abdeckung von *braun*, *orange* und *grau* zu den jeweiligen Waldgesellschaften schlechter als in Variante KE4. *Rot* deckt wieder den T-F, H-LZ und S-LL ab, liegt aber durch das Fehlen von *hellblau* im Lungau auch über vielen anderen Waldgesellschaften und bildet auch weniger „Inseln" in den Nordalpen aus.

In Variante KE5 sind die Übereinstimmungen zu MAYER (1977) teils recht gut, teils eher gering. *Braun* zeigt eine recht gute Übereinstimmung mit dem S-E und den A-A, da auch das Leithagebirge ausgespart ist. *Violett* deckt sich am Alpenrand teilweise recht gut mit dem M-B, bzw. im Klagenfurter Becken mit dem T-EB und M-FTB, die Einschnitte von violett in den Nordalpen weisen jedoch in MAYER (1977) keine Analogie auf. *Blau* und *beige-blau* decken zusammen recht gut den M-FTB in den Nördlichen Kalkalpen ab. *Dunkelgrün* und *grau* sind allerdings auf mehrere Waldgesellschaften aufgeteilt und *orange* umfasst hier zahlreiche unterschiedliche Waldgesellschaften (EH, T-EB, B-EK).

Variante KE6 zeigt teilweise sehr schlechte, teilweise aber auch sehr gute Übereinstimmungen zu MAYER (1977). Positiv hervorzuheben ist v.a. die weitgehend zufriedenstellende Abdeckung des T-F durch den *grauen Cluster*, welche in dieser Güte in keiner anderen Variante auftritt. Auch *orange* deckt recht gut den S-E und EH ab und *hellgrün* korrespondiert sehr gut mit dem T-EB, wobei v.a. die Übereinstimmung im südlichen Wienerwald bemerkenswert ist. *Dunkelgrün* umfasst jedoch aufgrund seiner Größe zahlreiche verschiedene Waldgesellschaften. *Blau* nimmt zusammen mit *schwarz* den M-FTB der nördlichen Kalkalpen ein, wobei *blau* und *schwarz* einerseits (im Gegensatz zu den meisten anderen Varianten) auch noch westlich von Innsbruck mit diesem korrespondieren. Andererseits bilden *grau* und *schwarz* aber in blau

„Inseln“ anderer Waldgesellschaften aus, welche mit MAYER (1977) nicht übereinstimmen. *Gelb* kann schließlich keiner Waldgesellschaft zugeordnet werden.

Die größte Übereinstimmung zu MAYER (1977) weisen daher die *Variante KE4* und *Variante KE2* auf. Im Vergleich zeigen hierbei violett und hellgrün, bzw. blau und rot im Bregenzer Wald in Variante KE4 eine bessere Übereinstimmung, in Variante KE2 sind es blau und rot im Ostteil der Nördlichen Kalkalpen. Auch treten in Variante KE2 hellblau und braun erst in der Variante mit 11 Clustern auf, welche jedoch schon den gelben, mit keiner Waldgesellschaft korrelierenden Cluster enthält. Daher zeigt die *Variante KE4* die größte Übereinstimmung zu MAYER (1977), in welcher auch die größte Anzahl von Waldgesellschaften differenziert werden kann. Hinter Variante KE2 kann man nun Variante KE2b, Variante KE2b-re und Variante KE4b reihen.
Es zeigt sich auch dass die Übereinstimmungen der Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen mit MAYER (1977) meist besser ist, als jene mit KILIAN ET AL. (1994), da ja die PNV direkt von den klimatischen und edaphischen Faktoren abgeleitet wird, die Wuchsgebiete hingegen eine Zusammenfassung der PNV darstellen.

Unterschiede zu MAYER (1977), die in fast allen Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen gleich auftreten, sind die Zugehörigkeit der Südalpen zu blau bzw. beigeblau (diese entsprechen ja dem M-FTB), die Verbreiterung von blau in Richtung Süden ab ca. Innsbruck bis ins Montafon (entspricht demnach auch dem M-FTB), die weitgehende Einheit des Klagenfurter Beckens sowie des Drau- und Gailtales als violetter Cluster und demnach M-B (Ausnahmen: Variante KE2b-re und KE6). Weiters gehört die höhergelegene Böhmische Masse meist dem gleichen Cluster, wie die Östlichen Zwischenalpen an (meist dunkelgrün mit Entsprechung M-FT; Ausnahme: Variante KE1). Der graue Cluster bewegt sich meist zwischen T-F im Südosten und M-FT im Westen und Norden, und der hellblaue Cluster (mit Entsprechung M-F) reicht, sofern er existiert, bis in den Lungau hinein. Auch tritt der Saum des M-FTBs (entspricht blau) der östliche Randalpen aus MAYER (1977) in den Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen so gut wie nie wirklich auf.

6.6.4 Vergleich der F-Werte

Eine weitere Möglichkeit der Variantenauswahl besteht im Vergleich der unterschiedlichen F-Werte (siehe Kapitel 5.2.3.1), wobei jene Variante ausgewählt werden sollen, welche die größte Homogenität innerhalb der Cluster aufweisen, also die niedrigsten F-Werte (siehe Tab. 6.1a; Tab. A1a – A8a im Anhang) besitzen.
Man kann weitgehend annehmen, dass v.a. im Gebirge durch eine stärkere Gewichtung der Bodengruppen noch größere klimatische Unterschiede in einem Cluster vereint werden und es

daher meist zum Ansteigen der F-Werte kommt. Die räumliche Homogenität dürfte hierbei interessanterweise eine geringere Rolle als der Bodeneinfluss spielen. Betrachtet man einzelne, vergleichbare Cluster von unterschiedlichen Varianten, so wird dies Großteils bestätigt: So kommt es z.B. zum Ansteigen des F-Wertes durch eine stärkere Bodengewichtung im blauen Cluster von Variante KE2b (gegenüber Variante KE2) und von Variante KE4b (gegenüber Variante KE4) im Zuge einer Vergrößerung der räumlichen Homogenität. Im blauen Cluster von Variante KE5 (gegenüber Variante KE2) bzw. roten Cluster von Variante KE1 (gegenüber Variante KE2) geschieht dies durch eine stärkere Bodengewichtung im Zuge einer Verringerung der räumlichen Homogenität. Eine Ausnahme wäre hier rot in Variante KE2b (gegenüber Variante KE2), wo der F-Wert leicht abnimmt. Es kann natürlich auch zum Ansteigen des F-Wertes bei gleich hohem Bodeneinfluss durch eine Vergrößerung des Clusters kommen (z.B. brauner Cluster von Variante KE1 (gegenüber Variante KE5)).

Zur Variantenauswahl wird nun der aus allen Clustern bzw. Variablen gemittelte F-Wert als Kriterium herangezogen, wobei die unterschiedlichen Clustergrößen dabei nicht berücksichtigt werden können (siehe Tab. 6.2). Ebenso muss die Tatsache ignoriert werden, dass ja streng genommen nur Varianten mit gleicher Clusterzahl verglichen werden können, da mit zunehmender Clusteraufteilung der F-Wert sinkt. Bei den hier vorliegenden Varianten kann jedoch kein Zusammenhang zwischen Clusteranzahl und F-Wert erkannt werden. Es kristallisiert sich nun wieder schön heraus, dass die Varianten mit stärkerer Gewichtung des Bodens (mit „b“ gekennzeichnet) stets höhere F-Werte annehmen, als jene mit der Bodengewichtung 1, weshalb die „b“-Varianten schon einmal ausgeschlossen werden können. Die Variante KE2b-re, welche mit eliminierten Ausreißern zustande gekommen ist, weist zusammen mit Variante KE4b den höchsten durchschnittlichen F-Wert (0,31) auf. Alle Clustervarianten mit klimatischen und edaphischen Variablen weisen eine sehr günstige innere Homogenität auf, den überall liegt der F-Wert weit unter 1 (siehe Kapitel 5.2.3.1).

Die Variante mit dem geringsten durchschnittlichen F-Wert ist nun unerwarteter Weise die *Variante KE6* (F: 0,23), welche aufgrund seiner sehr hohen räumlichen Heterogenität jedoch von Beginn an eher ausgeklammert und daher nur grob analysiert wurde. Ein Zusammenhang zwischen räumlicher Homogenität und F-Wert ist daraus jedoch nur bedingt abzulesen, denn einerseits weisen räumlich heterogene Cluster nicht unbedingt niedrigere F-Werte auf (s.o.). Andererseits zeigen die nach Kapitel 6.6.1 räumlich homogensten Varianten nicht unbedingt die höchsten F-Werte. Ebenfalls unerwartet ist nun die Tatsache, dass die übrigen Varianten fast alle den gleiche durchschnittlichen F-Wert aufweisen. Diese Varianten, welche alle einen F-Wert von 0,26 besitzen, sind die *Variante KE1*, *Variante KE2*, *Variante KE4* und *Variante KE5*. Nur Variante KE3 besitzt hier mit 0,29 einen höheren F-Wert.

Tab. 6.2: Vergleich der einzelnen Varianten in bezug auf F-Wert und Seehöhenamplitude

	mittlerer F-Wert	mittlere Seehöhenamplitude	maximale Seehöhenamplitude
Variante KE1	0,26	1.143m	1.552 m
Variante KE2	0,26	1.124 m	1.719 m
Variante KE2b	0,29	1.123 m	1.684 m
Variante KE2b_re	0,31	1.124 m	1.684 m
Variante KE3	0,29	1.102 m	1.583 m
Variante KE4	0,26	989 m	1.422 m
Variante KE4b	0,31	1.072 m	1.685 m
Variante KE5	0,26	1.064 m	1.684 m
Variante KE6	0,23	953 m	1.374 m

6.6.5 Vergleich der Seehöhenamplituden

Bei diesem Vergleich wird von der Annahme ausgegangen, dass mit abnehmender Seehöhenamplitude die Cluster kompakter und homogener werden. Hierzu wird einerseits der Mittelwert der Seehöhenamplitude aller Cluster einer Clustervariante mit klimatischen und edaphischen Variablen, andererseits die Maximale Seehöhenamplitude aller Cluster einer Clustervariante als Beurteilungskriterium herangezogen (siehe Tab. 6.2).

Für die Seehöhenamplitude gilt, ähnlich zum F-Wert (s.o.), dass v.a. im Gebirge durch eine stärkere Gewichtung der Bodengruppen noch größere klimatische Unterschiede in einem Cluster vereint werden und es meist zum Ansteigen der Seehöhenamplitude kommt (z.B. blau in Variante KE2b (gegenüber Variante KE2) und in Variante KE4b (gegenüber Variante KE4)). Die Seehöhenamplituden ändern sich durch eine größere Bodengewichtung i.A. stärker als die F-Werte und als die durchschnittlichen Seehöhen (nur wenig Änderungen). Sie können sich jedoch in beide Richtungen (also auch abwärts) sehr stark ändern. Beides ist darauf zurückzuführen, dass die Seehöhenamplituden viel sensibler auf einzelne Punkte reagieren, als die durchschnittlichen Seehöhen und F-Werte. So genügt auch nur ein einzelner, sehr hochgelegener Punkt, welcher bodenbedingt hinzukommt, um die Seehöhenamplitude stark ansteigen zu lassen. Eine räumliche Vergrößerung des Clusters führt naturgemäß auch zum Ansteigen der Seehöhenamplitude (braun in Variante KE1 (gegenüber Variante KE5)).

Beim Mittelwert der Seehöhenamplitude ist es wiederum die *Variante KE6*, welche genauso wie auch beim F-Wert (s.o.), die geringste mittlere Seehöhenamplitude (953 m) aufweist. Da diese Variante aber aufgrund seiner starken räumlichen Heterogenität eigentlich ausgeklammert wurde, liegt der nunmehr niedrigste Mittelwert der Seehöhenamplitude von 989 m in *Variante KE4* vor. Die höchste mittlere Seehöhenamplitude weist hingegen die *Variante KE1* mit 1143 m auf, wobei diese Variante zu den räumlich homogensten Varianten gehört. Trotzdem sieht man aber, dass auch hier kaum ein Zusammenhang zwischen räumlicher Homogenität und Seehöhenamplitude, aber auch zwischen stärkerer Bodengewichtung und Seehöhenamplitude hergestellt werden kann.

Bei der Maximalen Seehöhenamplitude zeigt sich in bezug auf dessen geringsten Wert das gleiche Bild, denn wieder ist es die *Variante KE6*, welche mit 1374 m die niedrigste maximale Seehöhe aufweist, wobei *Variante KE4* wieder an 2. niedrigster Stelle liegt (1422 m). Die höchste Maximale Seehöhenamplitude weist hierbei die *Variante KE2* (1719 m) auf.

6.7 Vergleich der klimatischen Variablenausprägungen

6.7.1 Vergleich der Mittelwerte & t-Werte der klimatischen Variablen und der Seehöhen

Obwohl man gleichfärbige Cluster unterschiedlicher Varianten ja nur bedingt vergleichen kann (siehe Kapitel 6.1), fällt doch auf, dass die Mittelwerte der klimatischen Variablen (siehe Tab. 6.1b; Tab. A1b – A8b im Anhang) sowie die praktisch konform gehenden t-Werte (siehe Kapitel 5.2.3.1; siehe Tab. 6.1a; Tab. A1a – A8a im Anhang) meist in den Clustern gleicher Farbe ihre maximalen bzw. minimalen Ausprägungen haben. Dies ist dadurch zu begründen, dass ja die Farbgebung der Cluster unterschiedlicher Varianten bewusst so gewählt wurde, dass sich klimatisch und räumlich ähnliche Cluster farblich gleichen. Es zeigt auch, dass das hier angewendete Ward-Verfahren auch bei verschiedenen klimatischen Eingangsvariablen stets zu räumlich und klimatisch ähnlichen Gruppenbildungen neigt. Anders ist die Situation hingegen bei den Maxima und Minima der Amplituden der klimatischen Variablen, welche meist auf recht unterschiedliche Cluster verteilt sind. Dies ist dadurch zu erklären, dass Amplituden ja sehr sensibel auf geringfügige Unterschiede reagieren. So kann schon eine einzige zusätzliche Rasterzelle mit einem sehr hohen Variablenwert die Amplitude stark ansteigen lassen.
Bei der hier durchgeführten Analyse werden jedoch nur die für die Clustererzeugung herangezogenen Variablen (in den Tabellen unterstrichen) verglichen. Die folgenden Maxima und Minima der Mittelwerte bzw. der Amplituden sind jedoch nicht mit den Maximal- (MAX) und Minimalwerten (MIN) in den Tabellen zu verwechseln.
So treten bei der MIN_TEMP die Maxima der Mittelwerte stets in braun, wenn dieser nicht vorhanden in orange auf, ihre Minima befinden sich stets in rot, bzw. falls vorhanden in hellblau. Rot bzw. hellblau weisen auch die größten Amplituden auf, während die geringsten Amplituden neben braun und orange auch in grau auftreten können. Die SO_ABS_JUL weist ihr Maximum des Mittelwerts ebenfalls in braun oder orange auf, wobei das Minimum in rot oder grau zu liegen kommt. Die größten Schwankungen treten hingegen in rot und dunkelgrün auf, die geringsten in orange und hellgrün. Für die Mittelwerte der GDD gelten die gleichen Aussagen, wie für jene der MIN_TEMP, die größte Amplituden der GDD weist jedoch oft dunkelgrün, aber auch blau und violett auf, die geringsten Amplituden befinden sich in braun und hellgrün, aber auch in rot. Die H_BIL_VEGP weist fast immer das Maximum ihres Mittelwerts in blau, mitunter auch in rot auf, das Minimum liegt in orange oder braun. Die größten Ampli-

tuden finden sich in rot, aber auch blau oder beige-blau, die geringsten in braun oder orange. GAMS hat seine maximalen Mittelwerte in rot, oder wenn vorhanden in hellblau, das Minimum liegt hier in braun bzw. orange. Starke Schwankungen treten hier in orange, aber auch rot und braun auf, am konstantesten ist GAMS in hellblau, grau oder ebenfalls braun, wenn dieser sehr kleinräumig ist. Die durchschnittlich geringste TROC_40 tritt meist in blau auf, mitunter auch in rot, die größten Werte haben braun oder orange. Grau ist bezüglich der TROC_40 sehr oft am konstantesten, teilweise auch blau, die größten Schwankungen findet man in orange, violett und z.T. hellgrün.
Die mittlere Seehöhe erreicht stets in rot, wenn vorhanden in hellblau ihr Maximum und in orange oder braun ihr Minimum. Die Seehöhenamplitude ist in rot, aber z.T. auch in blau, hellblau oder dunkelgrün am höchsten, die geringsten Werte zeigen braun, hellgrün und orange.

6.7.2 Vergleich der F-Werte der klimatischen Variablen

Die F-Werte (siehe Kapitel 5.2.3.1) weisen naturgemäß im Gebirge ihre höchsten und im Flachland ihre niedrigsten Werte auf, da Gebirgscluster größere Seehöhenamplituden und damit auch größere klimatische Amplituden besitzen (siehe Tab. 6.1a; Tab. A1a – A8a im Anhang). Die größten Werte treten einerseits bei Variablen auf, welche einen geringen Einfluss auf die Clusterausbildung aufweisen, wie meist die MIN_TEMP, oder andererseits bei Variablen, welche räumlich stark differenzieren, wie die SO_ABS_JUL oder die TROC_40, aber z.T. auch GAMS (beide im Flachland). Die kleinsten Werte zeigen demnach die einflussreichsten Variablen, v.a. die GDD, oder wenig differenzierte Variablen, wie im Gebirge die TROC_40. Innerhalb der MIN_TEMP weist rot, und wenn vorhanden hellblau, den höchsten F-Wert auf, die geringsten F-Werte findet man in den Flach- und Hügellandclustern orange oder eben braun, aber auch in hellgrün.
Die SO_ABS_JUL hat in rot ihre höchsten, in orange bzw. hellgrün ihre geringsten F-Werte. Die GDD weisen in blau, mitunter aber auch in dunkelgrün oder hellblau die höchsten F-Werte auf, die geringsten Werte treten v.a. in braun, aber auch in hellgrün und orange auf. Die F-Werte in der H_BIL_VEGP erreichen v.a. in rot, aber auch in blau oder beige-blau ihr Maximum, minimale Werte zeigen sich in braun oder orange. GAMS hat in orange bzw. braun hohe Werte, niedrig sind sie in beige-blau oder grau. Die TROC_40 zeigt v.a. in orange, aber auch in violett ihre höchsten Werte, die niedrigsten Werte treten in blau, grau, dunkelgrün oder auch hellblau auf.

7 Diskussion

(die Diskussionen der einzelnen Varianten befinden sich in den Zusammenfassungen am Ende der jeweiligen Kapitel)

Die Vorteile der hier angewendeten Clusteranalyse gegenüber herkömmlichen, auf Expertenwissen basierenden Naturraumgliederungen sind einerseits ihre empirisch bedingte Objektivität, Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit, aufgrund derer man bei Verwendung des selben Datensatzes und der selben Einstellungen der Clusteranalyse auch stets das gleiche Ergebnis erhält. Andererseits ist es auch nach Abschluss dieser Arbeit jederzeit möglich, die Clusteranalyse mit neuen bzw. verbesserten digitale Karten nochmals durchzuführen, und so das Ergebnis ohne großen Aufwand zu verbessern bzw. abzuändern. So können durch Änderung der Parameter auch neue Gliederungen für verschiedene Klimaszenarien gewonnen werden (vgl. auch HARGROVE und LUXMOORE 1998). Auch kann der Anwender bei der hier verwendeten Methode (hierarchische Clusteranalyse) die Clusterzahl und die Variablen je nach Fragestellung frei wählen. Darüber hinaus ist eine solche Gliederung mit einem wesentlich geringeren finanziellen und zeitlichen Aufwand verbunden als herkömmliche Gliederungen. Der Nachteil besteht sicherlich darin, dass aufgrund des statistischen Verfahrens der Clusteranalyse die einzelnen Standortfaktoren innerhalb Österreichs nicht lokal unterschiedlich gewichtet werden können, wie dies ja bei den analog erzeugten Naturraumgliederungen der Fall ist und Expertenwissen nur beschränkt verwertet werden kann.
In diesem Sinne sei erwähnt, dass diese Gliederung zum Einen als neuartige, nach einer neuen Gliederungsmethodik durchgeführte Naturraumgliederung zu verstehen ist. Zum Anderen soll sie aber weniger als Konkurrenz zu bisherigen Gliederungen verstanden werden, sondern eher eine Ergänzung zu herkömmlichen Gliederungen darstellen. So können durch Vergleiche der hier vorliegenden Naturraumgliederung mit bereits bestehenden Naturraumgliederungen durchaus wertvolle Impulse für die herkömmlichen Gliederungen gewonnen werden, wobei dies insbesondere für die Gliederungen nach KILIAN ET AL. (1994) und MAYER (1977) (vergl. hierzu Kapitel 6.6) gilt.

Erfreulicherweise konnte trotz des großen Datensatzes in der hier vorliegenden Clusteranalyse das hierarchische Ward-Verfahren angewandt werden, welches nach BACKHAUS ET AL. (1996) als „*bestes Verfahren*“ gilt, um möglichst homogene und gleich große Gruppen auszuweisen. Damit konnte, im Gegensatz zu einer Arbeit für die USA von HARGROVE und LUXMOORE (1998), eine allgemein als gut geeignet angesehene Methode verwendet werden. HARGROVE und LUXMOORE (1998) mussten hingegen aufgrund des großen Datensatzes ein partionierendes Verfahren anwenden. Kritisch muss jedoch erwähnt werden, dass auch beim Ward-Verfahren geringe Unterschiede in den Ausgangsdaten schon zu größeren Unterschieden im Clusterergebnis führen können. So wurden z.B. die GDD zunächst mit 2 geringfü-

gig verschiedenen Schwellenwerten (5°C und 5,5°C) (in der Arbeit nicht erwähnt) gerechnet, welche dann zu deutlich sichtbaren Unterschieden im Clusterergebnis geführt haben.
Generell zeigte sich, dass die Methode der Clusteranalyse, insbesondere das hier verwendete Ward-Verfahren, sehr gut in der Lage war, die Zielsetzung dieser Diplomarbeit (eine Ausweisung von Naturräumen mit weitgehend einheitlichen Standortfaktoren; siehe Kapitel 1) zu erfüllen. So konnten sehr ansprechende Ergebnisse in bezug auf räumliche Homogenität und Homogenität innerhalb der Cluster (F-Wert) erzielt werden (siehe Abb. 7.1a und 7.2a,b). Die räumliche Homogenität lag hier insbesondere bei den Clustervarianten mit hygrischen bzw. klimatischen Variablen am höchsten. Die F-Werte waren in allen Varianten ziemlich niedrig (im Durchschnitt um die 0,27), so dass der Schwellenwert 1 in keinem einzigen Cluster überschritten wurde.
Es konnten auch sehr schöne Parallelen zu der Naturraumgliederung nach KILIAN ET AL. (1994) erzielt werden, wobei die Variante KE2 (siehe Abb. 7.1a) hierzu die größte Übereinstimmung aufweist. Hierbei wurden v.a. die Hauptwuchsgebiete großräumig mitunter erstaunlich gut wiedergegeben, während die Grenzen der Wuchsgebiete nur eher partiell oder gar nicht getroffen wurden. Noch stärkere Analogien konnten jedoch zu MAYER (1977) erzeugt werden, wobei diese bei Variante KE4 (siehe Abb. 7.1b) am größten waren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Karte von MAYER (1977) die PNV darstellt, welche ja direkt aus den v.a. klimatischen Datenquellen gewonnen wird, während KILIAN ET AL. (1994) eher eine Zusammenfassung von Gebieten mit ähnlicher Höhenstufenabfolge darstellt.
Beim Vergleich zu KILIAN ET AL. (1994) und MAYER (1977) (siehe Kapitel 6.6) fiel auf, dass stärkere Abweichungen zwischen diesen Gliederungen und den verschiedenen Clustervarianten oft in den gleichen Regionen auftraten (z.B. Lungau). Dies ist vermutlich eher auf die unterschiedlichen Ausgangsdaten, als auf eine unterschiedliche ökologische Bewertung dieser Datenquellen zurückzuführen.

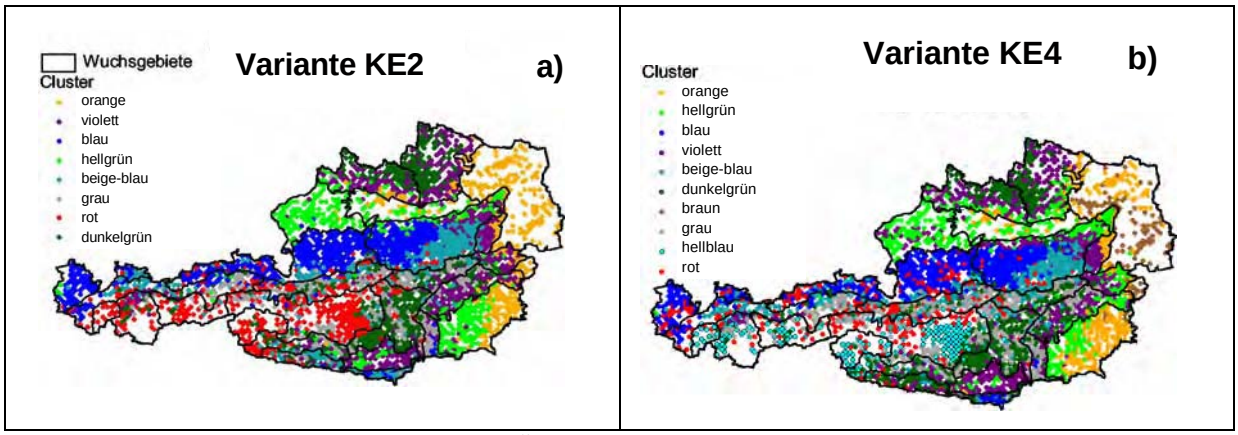


Abb. 7.1: a) Variante KE2 mit größter Übereinstimmung zu KILIAN ET AL. (1994) und eine der räumlich homogensten Varianten; b) Variante KE4 mit größter Übereinstimmung zu MAYER (1977)

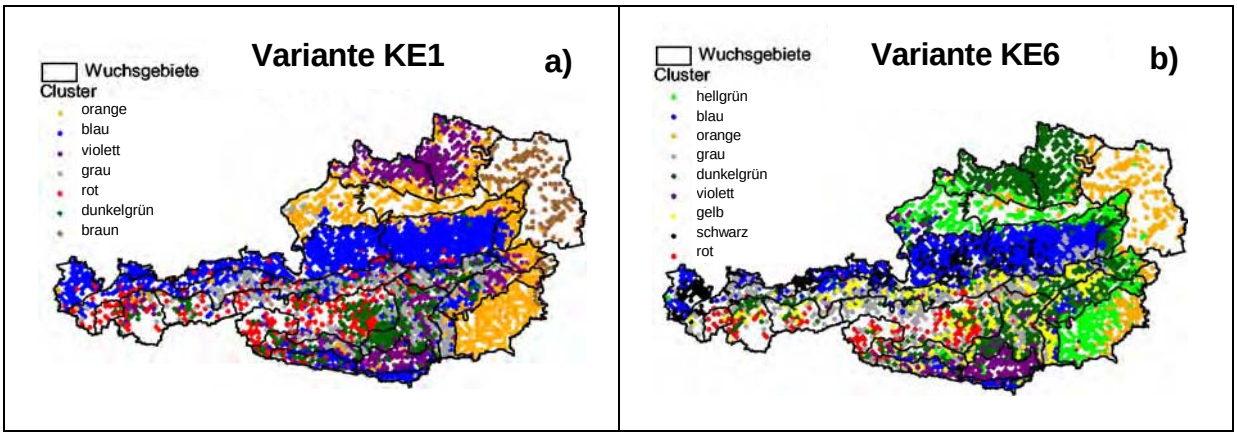


Abb. 7.2: a) Variante KE1: eine der räumlich homogensten Varianten; b) Variante KE6 mit niedrigstem F-Wert und niedrigster Seehöhenamplitude

Nach dem Vergleich der zahlreichen Clustervarianten aufgrund verschiedener Beurteilungskriterien (siehe Kapitel 6.6) stellt sich nun die Frage, ob die Auswahl einer „besten“ Clustervariante, welche man schließlich als „Endergebnis“ bezeichnen könnte, möglich ist. Hierzu muss zunächst einmal hinterfragt werden, welches denn nun die entscheidenden Beurteilungskriterien für die Güte einer Naturraumgliederung sind. So wurden für die vorliegende Arbeit die Beurteilungskriterien „räumliche Homogenität“, „Übereinstimmung mit KILIAN ET AL. (1994)“, „Übereinstimmung mit MAYER (1977)“, „F-Wert“ und die „Seehöhenamplitude“ ausgewählt (Begründung: siehe Kapitel 6.6). Abb. 7.1 und 7.2 zeigen die nach den jeweiligen Beurteilungskriterien besten Varianten mit klimatischen und edaphischen Variablen, wobei bei der räumlichen Homogenität zwei der vier homogensten Varianten dargestellt sind. Diese Beurteilungskriterien sind jedoch nicht allgemein gültig, da sie vom Verfasser subjektiv ausgewählt worden sind. Daher muss man stets bedenken, dass bei anderen Beurteilungskriterien auch andere Varianten als „die besten“ ausgewählt worden wären.

Wie sich in 6.6 gezeigt hat, ist es jedoch schon schwierig, innerhalb eines Beurteilungskriteriums rein visuell eine „beste“ Variante auszuwählen, da jede Variante andere Vorzüge bzw. Mängel aufweist. So kommt es z.B. in den nördlichen und südlichen Kalkalpen durch eine stärkere Bodengewichtung meist zu einer höheren räumlichen Homogenität, im sonstigen Alpenbereich bewirkt diese jedoch eine Verminderung der räumlichen Homogenität, wie dies beispielsweise in Variante KE1 (siehe Abb. 7.2a) der Fall ist.

Darüber hinaus sind diese Beurteilungskriterien teilweise untereinander schon widersprüchlich. So ist z.B. im Gebirge damit zu rechnen, dass eine hohe Seehöhenamplitude (welche als negativ gewertet wurde) eine hohe räumliche Homogenität (welche als positiv gewertet wurde) mit sich bringt. Ein Beispiel hierzu wäre Variante KE1 (siehe Abb. 7.2a), welche die größte mittlere Seehöhenamplitude aufweist, jedoch zu den räumlich homogensten Varianten gehört. Auch tritt häufig bei einer Variante mit stärkerer Analogie zu MAYER (1977) eine schwächere Analogie zu KILIAN ET AL. (1994) auf, da MAYER (1977) im Gegensatz zu KILIAN ET AL. (1994) ja vielfach den Höhenstufen folgt. So weist z.B. Variante KE4 (siehe Abb. 7.1b) zu

MAYER (1977) die größte Ähnlichkeit auf, in bezug auf KILIAN ET AL. (1994) kommt es jedoch zu großen Abweichungen.
Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, eine objektiv „beste“ Variante als Endergebnis auszuscheiden. Man kann nur versuchen, die Varianten nach verschiedenen Gesichtspunkten zu untersuchen und zu beurteilen.

Ein wichtiger Punkt für die Bewertung der hier errechneten Ergebnisse ist sicherlich auch die Datenqualität. Zum einen weist die Naturraumgliederung dieser Arbeit eine große Zahl von unterschiedlichen Datenquellen auf, wie sie sonst bei keiner der in 2.2 vorgestellten Naturraumgliederungen vorliegt. So bezieht die hier vorliegende Naturraumgliederung z.B. als einzige unter den vorgestellten Gliederungen auch die ökologisch wichtigen Trockenperioden mit ein. Auch die Datenqualität konnte durch aktuellere, digitale, mit neueren Interpolationsverfahren (z.B. Kriging) berechnete Karten gegenüber den herkömmlichen Naturraumgliederungen verbessert werden.
Andererseits stellt sich natürlich bei klimatischen Datensätzen stets die Frage der Richtigkeit der interpolierten Flächen zwischen den Messstationen. Dies gilt insbesondere für hygrische Datensätze, deren Verbreitungsmuster von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt, wobei diese zahlreichen Einflussfaktoren in der Niederschlagskarte mit Hilfe von neuronalen Netzen (siehe Kapitel 5.1.3) doch recht gut modelliert werden konnten. Recht zuverlässig sind hingegen thermische Datensätze, da diese gut mit der Seehöhe als Hilfsvariablen modelliert werden können. Mit Vorsicht zu genießen sind aber insbesondere Datensätze, welche aufgrund der hohen Anforderung an die Messung nur wenige zuverlässige Stationen aufweisen. So wurden z.B. für den Datensatz der Trockenperioden 30-jährige Messreihen auf Tagesbasis ohne Ausfälle benötigt, so dass für ganz Österreich nur 130 Messstationen verwendet werden konnten. Hierzu muss gesagt werden, dass es vermutlich nie 100 %ig zufriedenstellende klimatische Datensätze geben wird und dass für die hier vorliegende Arbeit die, nach Einschätzung des Autors, derzeit besten verfügbaren Datensätze herangezogen wurden.
Es kann daher bei der Zusammenführung von diesen zahlreichen Datenquellen unterschiedlicher Qualität und Auflösung mitunter zu Abweichungen von der realen Situation gekommen sein, welche natürlich auf das Ergebnis der Clusteranalyse einen Einfluss ausgeübt haben können. Eine zusätzliche Einschränkung der Datenqualität stellt darüber hinaus auch die aufgrund der limitierten Computerkapazität vorgenommene Datenreduktion der Bodendaten (siehe Kapitel 5.1.1.3) dar.
Auch ist z.B. bei den Trockenperioden (oder auch bei den GDD) die Frage des Schwellenwerts zu bedenken. So liefern unterschiedliche Schwellenwerte (40 und 60 mm) schon stark abweichende Ergebnisse (siehe Kapitel 5.1.2.9, 5.1.2.10), welche sich dann natürlich auch auf die jeweiligen Clustervarianten durchaus auswirken (siehe Variante H1 und Variante H3). Die hier herangezogene Schwellenwerte von 40 mm für die Trockenperioden bzw. 5,5 °C für die GDD werde jedoch durch die herangezogene Literatur untermauert (vergl. HAVLIK 1991, LARCHER 1995).

Schließlich hat auch die Position der Waldinventurpunkte, auf denen ja die Clusteranalyse gerechnet wurde, einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das Clusterergebnis. So scheinen manche v.a. kleinere Täler nur deshalb nicht in den einzelnen Varianten auf, weil eben keine Punkte auf ihrem Talboden zu liegen kommen. Würde man daher das Punktnetz der WI von 3,9 x 3,9 km Maschenweite um ein Stück verrücken, veränderten dadurch zahlreiche Punkte im Gebirge ihre Seehöhe um hunderte Höhenmeter und das Ergebnis der Clusteranalyse wäre schon ein anderes.

Verbesserungsmöglichkeiten für die Zukunft wären natürlich in erster Linie durch verbesserte Datenquellen zu erreichen. Diese wird es jedoch wahrscheinlich in den nächsten Jahren kaum geben, da praktisch alle hier verwendeten klimatischen Karten ziemlich aktuell sind (zumeist aus dem Jahr 2001) und in absehbarer Zeit wohl kaum bessere Messreihen bzw. ein dichteres Messnetz zur Verfügung stehen wird. Am ehesten könnten Verbesserungen noch bei der Karte der Trockenperioden bzw. bei den auf der Niederschlagskarte basierenden Karten erzielt werden, da hier vielleicht durch verbesserte Methoden (z.B. multivariable Regression, neuronale Netze mit Teilräumen (siehe Kapitel 5.1.3.2)) aus den bestehenden Datensätzen noch bessere Ergebnisse errechnet werden können. Allein bei den auf der Niederschlagskarte basierenden Karten könnte eine noch feinere Auflösung (< 1 km) Verbesserungen bringen, die restlichen Karten besitzen mit 250 m eine ausreichende Auflösung. Bei den punktförmigen Bodendaten ist sicherlich auch nicht mit einer Verdichtung des Netzes in den nächsten Jahren zu rechnen. Es wäre jedoch u.U. möglich, dass (neben dem Bodentyp) noch zusätzliche wichtige Bodenparameter in die Waldinventur aufgenommen werden, welche zur Zeit nur bei der Waldbodenzustandsinventur erhoben werden.
Die Methodik lässt kaum noch Verbesserungen zu, da ja das Ward-Verfahren nach BACKHAUS ET AL. (1996) als bestes Clusterverfahren in bezug auf Homogenität und Clustergröße gilt. Man könnte eventuell noch öfter ein „single linkage Verfahren“ vorschalten um Ausreißer zu eliminieren (wie dies in Variante KE2b-re durchgeführt wurde).

8 Literaturverzeichnis

ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG 1980: Forstliche Standortaufnahme, 188 S.

AUER, I., BÖHM, R., DOBESCH, H., HAMMER, N., KOCH, E., LIPA, W., MOHNL, H., POTZMANN, R., RETITZKY, CH., RUDEL, E., SVABIK, O. 1998: Klimatographie und Klimaatlas von Oberösterreich. ZAMG, Linz/ Wien, 599 S.

AUER, I., BÖHM, R., MOHNL, H., POTZMANN, R., SCHÖNER, W., SKOMOROWSKI, P. 2001: ÖKLIM – Der digitale Klimaatlas Österreichs, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. In: Deutsch- Österreichisch – Schweizerische Meteorologen – Tagung, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik- ISSN Heft Nr. 27/Publ. Nr.399 - CD-ROM, 7 S.: http://www.zamg.ac.at/~DACH2001/ (21.09.01)

AUGUSTO, G., PAINHO, M. 2000: DMEER- The Digital Map of European Ecological Regions, Institute for Statistics and Information Management- New University of Lisbon, 4th EIONET Seminar on Nature Conservation, Paris 30 –31 March 2000, 12 S.

BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. 1996: Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. 8.Auflage. Springer, 591 S.

BAGNOULS, F., GAUSSEN, H. 1953: Saison sèche et Indice Xérothermique. Documents pour les Cartes des Product. Végétales. Série: Généralités, Tome III, Vol. I, art. VIII: 1 – 48.

BARENBERG, G. 1992: Statistische Methoden in der Geographie, 415 S.

BASTIAN, O., SCHREIBER, K. F. 1999: Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft, 564 S.

BAUMGARTNER, A., REICHEL, E., WEBER, G. 1983: Der Wasserhaushalt der Alpen. Niederschlag, Verdunstung und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931-1960, 343 S.

BECK-MANNAGETTA, P. 1963: Geologische Übersichtskarte 1 : 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel II/3.

BEGON, M., HARPER, J.L., TOWNSEND, C.R. 1998: Ökologie – Individuen, Populationen, Lebensgemeinschaften. Deutschsprachige Ausgabe. Birkhäuser Verlag, 750 S.

BFN (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) 2000: Karte der natürlichen Vegetation Europas. 1 : 2,5 Mio., 7 S.

BILL, R., FRITSCH, D. 1994: Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten, 414 S.

BOBEK, H. 1975: Morphographische Karte 1 : 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel II/7.

BOBEK, H., KURZ, W., ZWITTKOVITS, F. 1971: Klimatypen 1: 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel III/9.

BOBEK, H., MRAS, G. 1979: Ökologische Gesamtwertung 1: 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel IV/5.

BÖHLMANN, D. 1982: Ökophysiologisches Praktikum. Grundlagen des Pflanzenwachstums, 201 S.

BÖHM, R., POTZMANN, R. 1999: Systematic climate mapping in complicated terrain- part one: From point information to maps of means (a GIS supported procedure including quantitative error analysis). ÖGM- Bulletin 99/ 1: 21- 30.

BOTKIN, B.D 1993: Forest Dynamics. An Ecological Model. Oxford University Press, 309 S.

BRAUN, H., FEULNER, J., MAKALA, R. 1997: Praktikum Neuronale Netze. Springer Verlag, 241 S.

BRORS, H.-B. 1986: Untersuchungen zur Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Aachener Geographische Arbeiten 17, 104 S.

BUGMANN, H. 1994: On the ecology of mountainous forests in a changing climate: A simulation study. Diss. ETH No. 10638, 258 S.
BURROUGH, P. A. 1986: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford, 193 S.
BUSCHMANN, C., BILKE, S., LÄNGLE, T., LICHTENTHALER, H.K. 1999: Baden-Württemberg-Projektträgerschaft "Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherheit" (BW-PLUS) Abschlußbericht Botanisches Institut II Universität Karlsruhe, Einfluss von Trockenstress auf die Photosyntheseaktivität verschiedener Ökotypen der Buche (L.) Fagus sylvatica.: http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/1999/bio-geo/7/7.text (01.02.01).
CONRAD, V. 1946: Usual formulas of continentality and their limits of validity. Transactions of the American Geophysical Union 27: 663-664.
CURRIE, D.J., PAQUIN, U. 1987: Large-scale geographical patterns of species richness of trees. In: Nature (London) 329: 326 – 327.
DAVIDSON, J. 1937: Bioclimatic zones of Australia. In: Nature 140: 265 – 266.
DE MARTONNE, E. 1926a: L´indice d´aridité. In: Bull. Ass. Geogr. Fr. 9: 3 – 5.
DEFANT, A., OBST, E. 1923: Lufthülle und Klima, 186 S.
DEL NEGRO, W. 1977: Abriss der Geologie von Österreich. Geologische Bundesanst., 138 S.
DOMRÖS, M., GONGBING, P. 1988: The Climate of China. Springer Verlag, 360 S.
DIRMHIRN, I., HADER, F., SAUBERER, F., STEINHAUSER, F. 1958: Klimatographie von Österreich, 136 S.
ELLENBERG, H. 1953: Physiologisches und ökologisches Verhalten derselben Pflanzenart. In: Berichte der deutschen Botanischen Gesellschaft, 65: 241 – 246.
ELLENBERG, H. 1973: Ökosystemforschung, 280 S.
ELLENBERG, H. 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Auflage, 1095 S.
ELLENBERG, H. ET AL. 1991: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. In: Scripta Geobot, 18: 1 – 248.
ENDLICHER, W. 1991: Klima, Wasserhaushalt, Vegetation, 187 S.
ENGLISCH, M., KILIAN, W. 1998: Anleitung zur forstlichen Standortskartierung in Österreich. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Heft 104, 108 S.
ERTELD, W, HENGST, E. 1966: Waldertragslehre, 332 S.
EWERS, F.W., SCHMID, R. 1981: Longevity of needle fasciles of Pinus longaeva and other North American Pines. In: Oecologia, 51: 107 – 115.
FARQUAR, G.D., WONG, S.C., EVANS, J.R., HUBICK K.T. 1989: Photosynthesis and gas exchange. In: Plants under stress (JONES, H.G., FLOWERS, T.J., JONES M.B., eds.) Cambridge University Press. Cambridge: 47-69.
FIEDLER, H.J., LYR, H., NEBE, W., TESCHE, M., TRANQUILLINI, W. 1992: Physiologie und Ökologie der Gehölze, 620 S.
FINK, J. 1958: Die Böden Österreichs. Mitt. Österr. Geogr. Ges. 100: 316 – 358.
FINK, J. 1969: Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges. Bd. 13, 95 S.
FINK, J. 1978: Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung. Festschrift zum 60. Geburtstag von Julius Fink, 687 S.
FINK, J., NAGL, H. 1979: Quartäre Sedimente und Formen 1 : 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel II/6.
FINK, J., WALDER, R., RERYCH, W. 1979: Böden und Standortbeurteilung 1 : 750 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel IV/4.
FINKE, L. 1996: Landschaftsökologie, 245 S.
FINK, M. 1993: Geographische Gliederung und Landschaften Österreichs. In: MUCINA, GRABHERR: Die Pflanzengesellschaften Ös. 1.Teil: 29 – 42.
FLEMMING, G. 1994: Wald-Wetter-Klima: Einführung in die Forstmeteorologie. Dt. Landwirtschaftsverlag, 136 S.

FLIRI, F. 1962: Wetterlagenkunde von Tirol. Grundzüge der dynamischen Klimatologie eines alpinen Querprofils. Tiroler Wirtschaftsstudien, 13, 436 S.
FORMAYER, H. 2001: Unveröffentlichtes Grid: Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 40 mm PET. Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur, Wien.
FORMAYER, H. 2001: Unveröffentlichtes Grid: Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 60 mm PET. Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur, Wien.
FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT (FBVA) 1992: Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Ergebnisse Band I, II, Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, 168: 1-247.
FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT (FBVA) 1995: Instruktionen für die Feldarbeit der Österreichischen Waldinventur 1992 – 1996, 194 S.
FREY, W., LÖSCH, R. 1998: Lehrbuch der Geobotanik, 436 S.
FULLER, L.G., REED, D.D., HOMES, M.J. 1987: Modeling northern hardwood diameter groth using weekly climatic factors in northern Michigan. In: Forest Growth Modeling and Prediction, Vol. I. U.S. Department of Agriculture Forest Service, General Technical Report NC-120: 467 – 474.
GAMS, H. 1931: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. Zt. D. Ges. f. Erdkunde: 52 – 68 und 178 – 195.
GATES, M. D. 1993: Climate Change and its Biological Consequences, 280 S.
GATTINGER, T. 1968: Hydrogeologie 1 : 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel III/12.
GIESE, E. 1974: Zuverlässigkeit von Indices bei Ariditätsbestimmungen. In: Geogr. Zs. 62: 179 – 203.
GÖPFERT, W. 1991: Raumbezogene Informationssysteme. 2. Auflage, 318 S.
GRABHERR, G. ET AL. 1998: Hemerobie Österreichischer Waldökosysteme. Österreichische Akademie der Wissenschaften, 493 S.
HÄCKEL, H. 1993: Meteorologie, 402 S.
HARGROVE, W., LUXMOORE, R. 1998: A New High-Resolution National Map of Vegetation Ecoregions Produced Empirically Using Multivariate Spatial Clustering,: http://www.esd.ornl.gov/~hnw/esri98/ (03.02.00)
HARLFINGER, O., KNEES, G. 1999: Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. 1.Teil, Universitätsverlag Wagner, 196 S.
HÄRTEL, O., SAUBERER, F. 1959: Probleme der Bioklimatologie. Band 5: Pflanze und Strahlung, 268 S.
HARTMANN, F., SCHNELLE, F. 1970: Klimagrundlagen natürlicher Waldstufen und ihrer Waldgesellschaften in deutschen Mittelgebirgen. Ökologie d. Wälder u. Landschaften 4, 175 S.
HAVLIK, D. 1991: Klimatologie und Waldsterben – Der Trockenstress. In: Freiburger Geographische Hefte, 32: 95 – 110: http://www.weihenstephan.de/bk/Vorlesng/ein_stau.pdf. (15.01.01)
HEILIG, G., KOCH, G. 1997: Gliederung bodenbildender Ausgangsgesteine. Unveröffentlichtes Manuskript.
HOFMANN, W., NEBE, W. 1982: Der Gesamt-Ca-Gehalt des Bodens als wesentliche Fruchtbarkeitsziffer forstlicher Standorte. Arch. Naturschutz Landschaftsforschung, Berlin 22: 19-25.
HUBER, B., SCHMIDT, E. 1936: Weitere thermoelektrische Untersuchungen über den Transpirationsstrom der Bäume. In: Tharandter forstliches Jahrbuch, 87: 369 – 412.
HUDEC, M. 1997: Multivariate Statistische Verfahren. Skriptum zur Vorlesung.
JELEM, H. 1960: Grundsätze und Anweisungen für die forstliche Standortserkennung und Standortskartierung. Forstliche Bundesversuchsanstalt Heft 1: 21.

JELEM, H., KILIAN, W. 1972: Standortsaufnahme im Rahmen der Österreichischen Forstinventur – eine forstpolitische Entscheidungshilfe. FBVA-Inf.-dienst 143, Allg. Forstz. Wien, 83 (11): 295 – 297.
JUNGHANS, H. 1967: Der Einfluss des Windes auf das Niederschlagsdargebot von Hängen. Arch. Forstwesen 16.
KAISER, T. 1996: Die potentielle natürliche Vegetation als Planungsgrundlage im Naturschutz. Natur und Landschaft, 71. Jg., Heft 10: 435-439.
KIENAST, F., ZIMMERMANN, N. 1999: Predictive Mapping of alpine Grass in Switzerland: Species versus community approach. Journal of Vegetation Sciense, 10: 469 – 482.
KILIAN, W. 1981: Aufgliederung der Waldfläche Österreichs nach Standortsmerkmalen. FBVA-Inf.-dienst 204, Allg. Forstz. Wien, 92 (9): 329 – 334.
KILIAN, W., MÜLLER, F., STARLINGER, F. 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Heft 82, 60 S.
KLINK, H. 1998: Vegetationsgeographie. Das Geographische Seminar, 240 S.
KNAUER, N. 1981: Vegetationskunde und Landschaftsökologie, 315 S.
KOTILAINEN, M. J. 1933: Zur Frage der Verbreitung des atlantischen Florenelementes Fennoskandias. In: Ann. Bot. Soc. Zool.-Bot. Fenn. Vanamo, Bd. 4,1: 74.
KOWARIK, I. 1987: Kritische Anmerkungen zum theoretischen Konzept der potentiell natürlichen Vegetation mit Anregungen zu einer zeitgemäßen Modifikation. Tuexenia. 7: 53-67.
KOZLOWSKI, T.T., KRAMER, P.J., PALLARDY, S.G. 1991: The Physiological Ecology of woody plants. Academic Press, 657 S.
KRAMER, H. 1988: Waldwachstumslehre, 374 S.
KRAUSS, G.A. 1936: Aufgaben der Standortskunde. Jahresbericht d. deutschen Forstsvereins.
LANG, R. 1915: Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. In: Int. Mitt. Bodenk. 5: 312 – 346.
LARCHER, W., BAUER, H. 1981: Ecological significance of resistance to low temperature. In: Encyclopedia of Plant Physiology, vol 12A: 403 – 437.
LARCHER, W. 1980: Ökologie der Pflanzen, 399 S.
LARCHER, W. 1987: Stress bei Pflanzen. In: Naturwissenschaften 74: 158 – 167.
LARCHER, W. 1994: Ökophysiologie der Pflanzen, 394 S.
LARCHER, W. 1995: Physiological plant ecology. Third edition, Springer Verlag, 506 S.
LESER, H. 1976: Landschaftsökologie, 432 S.
LESER, H. 1995: Geomorphologie, 218 S.
LESER, H. 1997: Landschaftsökologie, 644 S.
LESER, H., HASS, H-D., MOSIMANN, T., PAESLER, R. 1984: Diercke-Wörterbuch der Allgemeinen Geographie. 1. Band, 422 S.
LESER, H., HASS, H-D., MOSIMANN, T., PAESLER, R. 1984: Diercke-Wörterbuch der Allgemeinen Geographie. 2. Band, 421 S.
LEXER, M., HÖNNINGER, K. 1997a: On the definition of the physiological amplitude of alpine tree species in forest succession models. Soc. Am. For. Symposium Proceedings on Systems Analysis in Forest Resources.
LEXER, M., HÖNNINGER, K. 1998: Estimating physical soil parameters for sample plots of large-scale forest inventories. Forest Ecology and Management 111: 231-247.
LEXER, M., HÖNNINGER, K., ENGLISCH, M. 1999: Schätzung von chemischen Bodenparametern für Waldstandorte am Beispiel der Österreichischen Waldinventur. Forstw. Cbl., 118: 212-227.
LEXER, M., HÖNNINGER, K., SCHEIFINGER, H., MATULLA, CH., GROLL, N., KROMP-KOLB, H., SCHADAUER, K., STARLINGER, F., ENGLISCH, M. 2001: The Sensitivity of the Austrian Forest to Scenarios of Climate Change, 132 S.
LOIBL, W. 1998: Spatial modelling of monthly precipitation patterns for Austria out of response models applied using neural networks and explanatory variable surfaces. In: Ö. Beiträge

zur Meteorologie und Geophysik. ISSN 1016-6254, (Conference Proceedings der 2nd European Conference on Applied Climatology - CD-ROM).
LOIBL, W., SCHWARZ, L. 2001: Regionalisierung von Niederschlagsdaten mit Hilfe von neuronalen Netzen – Möglichkeiten und Grenzen der Generierung österreichweiter Karten. In: Deutsch- Österreichisch – Schweizerische Meteorologen – Tagung, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik- ISSN Heft Nr. 27/Publ. Nr.399 - CD-ROM. 18 S.: http://www.zamg.ac.at/~DACH2001/ (Session 3a) (21.09.01)
LORENZ, P. und SKODA, G. 1997: Ermittlung von Flächenmitteln des Niederschlags aus punktuellen Messungen, Endbericht. Inst. f. Meteorologie und Geophysik der Univ. Wien
MAURER, H.J. 1975: Niederschlagsarme Perioden und Trockenperioden in der Bundesrepublik Deutschland. Diss. Geowiss. Fakultät Universität Freiburg im Breisgau.
MAYER, H. 1971: Die Waldgebiete und Wuchsgebiete Österreichs. Cbl. Ges. Forstw. 88., Heft 3: 129 – 164.
MAYER, H. 1974: Wälder des Ostalpenraums, 344 S.
MAYER, H. 1977: Karte der natürlichen Wälder des Ostalpenraumes. Zentralblatt f. d. gesamte Forstwesen, Jg. 94, Heft 3: 147 – 153.
MAYER, H. 1992: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage, 522 S.
MITSCHERLICH, E.A. 1981: Wald, Wachstum und Umwelt. 2. Waldklima und Wasserhaushalt. Sauerländers Verlag, 402 S.
MRAS, G., NAGL, H. 1992: Ökologische Raumgliederung und Raumbewertung am Beispiel Österreichs. In: Geographischer Jahresbericht aus Österreich: 7 – 36.
MÜLLER, D. 1928: Die Kohlensäureassimilation bei arktischen Pflanzen und die Abhängigkeit der Assimilation von der Temperatur. Planta 6: 22-39.
NAGL, H. 1983: Klima- und Wasserbilanztypen Österreichs. In: Geographischer Jahresbericht aus Österreich: 50 – 69.
NAGL, H. 1993: Klimageographie. Skriptum zur Vorlesung. Geographisches Institut der Universität Wien, 335 S.
NAGL, H. 1995: Skriptum des Proseminars für Landschaftsökologie und Naturlandforschung. Geographisches Institut der Universität Wien, 219 S.
NEURO DIMENSIONS INC 2000: Neuro Solutions, 3.0222 Program online manual: http://www.nd.com/ (24.06.01)
NIKLFELD, H. 1973c: Natürliche Vegetation. 1:2000000. In: Atlas d. Donauländer, Tafel 171.
NIKLFELD H. 1993: Pflanzengeographische Charakteristik Österreichs. In: MUCINA, GRABHERR: Die Pflanzengesellschaften Österreichs. 1.Teil.: 43 - 75
NOBILIS, F. 1985: Trockenperioden in Österreich, 293 S.
NOWAK, H. 1990: Vereinfachte Landschaftsgliederung Österreichs". 1. Entwurf, UBA-IB (interner Bericht)-228, 32 S.
OSTERMANN, O. 2000: DMEER, the Digital Map of European Ecological Regions and its use for a typology of landscapes. In: Recognising European pastoral farming systems and understanding their ecology. EFNCP Occasional Publication number 23. County Clare, Irand, S.51 - 52: http://www.efncp.org/pdf/proc7.pdf (05.09.01)
PAAR, M. 1998: Fertigstellung einer UBA-Studie zur EU-Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Österreich. Umweltbundesamt.: http://www.ubavie.gv.at (15.09.00)
PASSARGE, S. 1913: Physiogeographie und vergleichende Landschaftsgeographie. In: Mitt. Geogr. Ges. Hamburg, Bd. 27: 119 – 151.
PFADENHAUER, J. 1997: Vegetationsökologie – ein Skriptum, 448 S.
PISEK, A., WINKLER, E. 1959: Licht- und Temperaturabhängigkeit der CO_2-Assimilation der Fichte, Zirbe und Sonnenblume. In: Planta 53: 532 – 550.
RASTIN, N., ULRICH, B. 1985: Bodenchemische Standortcharakterisierung zur Beurteilung des Stabilitätszustandes von Waldökosystemen. In: Hamburg. Ber. FZ Waldökosysteme/Waldsterben. Göttingen 10: 1 – 91.

REHFUESS, K.E. 1990: Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung, 294 S.
RICHTER, M. 1997: Allgemeine Pflanzengeographie, 256 S.
ROCHAS, R. 1996: Theorie der neuronalen Netze. Springer Verlag, 446 S.
ROSENBLATT, F. 1958: The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. In: Psychological Review, vol. 65: 386 – 408.
ROSENZWEIG, M.L. 1968: Net primary productivity of terrestrial communities: Prediction from climatological data. Am. Nat. 102: 67-74.
SAKAI, A., WARDLE, P. 1978: Freezing resistance of New Zealand trees and shrubs. New Zealand Journal of Ecology,1: 51 – 61.
SAUBERER, N., NIKLFELD, H., WRBKA, T. 1995: Gliederung Österreichs in „naturräumliche Einheiten" zur Ausweisung von „Natura 2000"-Gebieten. 1 : 500000. In: SAUBERER, N., GRABHERR, G. 1995: Fachliche Grundlagen zur Umsetzung der FFH-Richtlinie in Österreich. Schwerpunkt Lebensräume. Report des Umweltbundesamtes 115.
SAUBERER, N., GRABHERR, G. 1995: Fachliche Grundlagen zur Umsetzung der FFH-Richtlinie in Österreich. Schwerpunkt Lebensräume. Report des Umweltbundesamtes 115.
SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. 1982: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, 442 S.
SCHLICHTING, E. 1993: Einführung in die Bodenkunde, 131 S.
SCHMITHÜSEN, J. 1942: Vegetationsforschung und ökologische Standortslehre in ihrer Bedeutung für die Geographie der Kulturlandschaft. Z. Ges. Erdkunde: 113-157.
SCHÖNER, W. 2000: Modellierung der flächenmäßigen Verteilung von relativer Sonnenscheindauer und Bewölkung in Österreich mittels Desktop-Gis (Arc View): Abschlussarbeit UNIGIS98.
SCHRETZENMAYR, M. 1961: Die Leitgesellschaft. Eine vegetationskundliche Arbeitshypothese im Rahmen der forstlichen Standortskartierung. Archiv f. Forstw.10.
SCHRITZ, C. 1997: Flechtenkartierung in Winnenden: http://www.iaf.fh-nuertingen.de/fb/diplom/Diplarbeiten/fleka/fleka.htm#1 (23.02.01)
SCHROEDER, F.-G. 1998: Lehrbuch der Pflanzengeographie, 457 S.
SCHÜEPP, W. 1984: Meteorologie und Wald im Raum Basel. Regio Brasiliensis, 25, Heft 2-3: 191 - 1898
SCHULTZ, J. 1995: Ökozonen der Erde, 535 S.
SCHWACKHÖFER, W. 1966: Die landwirtschaftlichen Kleinproduktionsgebiete Österreichs. BMLF, Jg. 14., Sonderheft 3, 149 S.
SELJANINOW, G.T. 1937: Agroklimatisches Welt-Nachschlagwerk. (russisch)
SHUGART, H.H. 1984: A Theory of Forest Dynamics, 278 S.
SOLOMON, A. ET AL. 1984: Response of unmanaged forests to CO_2-induced climate change, 93 S.
SPSS INC. 2001: Homepage zu Neural Connection und FAQ`s: http://www.spss.com/neuro/ncqa.html (04.06.01)
STEDEN, A., SCHMITTNER, F. 1951: Die Produktionsgebiete Österreichs. In: Die Bodenkultur, 5. Jg.: 397 – 416.
STEINER, C. 1998: Ein klimasensitives statistisches Modell zur Beurteilung der Baumeignung. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, 160 S.
STEINHAUSER, F., NOWAK, H. 1963: Wahre Temperaturmittel Jänner, Juli, Jahr und Jahresschwankungen 1901 – 1950; 4 Karten 1: 2 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel III/1a-d.
STEINHAUSER, F., PIPPAN, T. 1960: Karte der mittleren Jahressummen des Niederschlags 1901 – 1950, 1 : 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas d. Rep. Österreich, Tafel III/3.
STEPHENSON, N.L. 1990: Climate control of Vegetation distribution: The role of waterbalance. Am.Nat.135: 649 – 670.

STROBL, J. 1988: Digitale Forstkarte und Forsteinrichtung: Anwendung von GIS-Technologie, (pcArc/Info) in der forstlichen Praxis. Salzburger Geogr. Materialien 12, 59 S.
THORNTHWAITE, C.W. 1948: An approach towards a rational classification of climate. Geogr. Rev. 38: 55-94.
TRANSEAU , E.N. 1905: Forest centers of eastern North America. In: Am. Nat. 39: 875 – 889.
TROLL, C. 1939: Luftbildplan und Ökologische Bodenforschung. In: Z. Ges. Erdkunde: 241- 298.
TROLL, C. 1950: Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. In: Studium Generale 3.: 163 – 181.
TROLL, C. 1959: Die Physiognomik der Gewächse als Ausdruck der ökologischen Lebensbedingungen. In: Dt. Geogr. Tg.. Berlin 1959, Tag. Ber. u. Wiss. Abh.. 1960: 97 – 112.
TROLL, C. & PAFFEN, K.H. (1964): Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. In: Erdkunde 18: 5-28
TSCHERMAK, L. 1935b: Die wichtigsten natürlichen Waldformen der Ostalpen und des heutigen Österreich. Forstl. Wochenschr. Silva 23: 393 – 398.
TSCHERMAK, L. 1940: Die Gliederung des Waldes der Reichsgaue Wien und Niederdonau, Kärnten und Steiermark, Salzburg und Oberdonau, Tirols, Vorarlbergs und der Alpen Bayerns in natürliche Wuchsbezirke. Cs. ges. Forstwes. 66: 25 – 35, 60 – 67, 72 – 87 und 106 – 119.
TSCHERMAK, L. 1950: Die Waldbaugebiete Österreichs. In: Waldbau auf pflanzengeographischer Grundlage: 244 – 255.
TSCHERMAK, L. 1953: Zur Karte der Wuchsgebiete des Österreichischen Waldes. Österreichische Vierteljahreszeitschrift f. Forstwirtschaft: 29 – 35.
TUHKANEN, S. 1980: Climatic Parameters and Indices in Plant Geography. In: Acta Phytogeographica Sueca 67. 110 S.
TURNER, H. 1993 : Grundzüge der Hochgebirgsklimatologie. In: Die Welt der Alpen: 170 – 195.
TÜXEN, R. 1956: Die heutige potentiell natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. Angewandte Pflanzensoziologie 13: 5-43.
ULRICH, B. 1984: Langzeitwirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldökosysteme. Düsseldorfer Geobot. Koll. 1: 11 – 49.
VAN EIMERN, J., HÄCKEL, H. 1984: Wetter- und Klimakunde. Ein Lehrbuch der Agrarmeteorologie, 275 S.
VETTERS, H. 1933: Geologische Karte der Republik Österreich. 1:500 000. Geologische Bundesanstalt Wien..
WAKONIGG, H. 1991: Typen der Niederschlagsverteilung im Österreichischen Alpenraum. Wetter und Leben 43, Heft 1-3: S. 41-57.
WAGNER, H. 1971: Natürliche Vegetation 1: 1 000 000. In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel IV/3.
WAGNER, H. 1989: Die natürliche Pflanzendecke Österreichs. Österreichische Akademie der Wissenschaften, 63 S.
WALTER, H. 1955: Die Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. In: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Heft 68: 331 - 344
WALTER, H. 1960: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. 1.Teil: Standortlehre, 566 S.
WALTER, H., LIETH, H. 1965: Alpenkarte. In: Klimadiagrammweltatlas.
WALTER, H. 1983: Ökologie der Erde. Ökologische Grundlagen in Globaler Sicht, 238 S.
WERNECK, H.L. 1950: Die naturgesetzlichen Grundlagen des Pflanzen- und Waldbaues in Oberösterreich, 358 S.
WERNECK, H.L. 1953: Die naturgesetzlichen Grundlagen des Pflanzen- und Weinbaues in Niederösterreich, 332 S.
WHITEHEAD, D., JARVIS, P.G. 1981: Coniferous forests and Plantations. In.: Water Deficit and Plant Growth, Volume IV: 49-152.
WOODWARD, F.I. 1987: Climate and Plant distribution, 174 S.

WOODWARD, F.I. 1992: A review of the effects of climate on vegetation: Ranges, competition, and composition. In: Global Warming and Biological Diversity. Yale University Press.: 105 – 123.
ZWITTKOVITS, F. 1983: Klimatypen, Klimabereiche, Klimafacetten. Erläuterungen zur Klimatypenkarte von Österreich. Öster. Akademie d. Wissenschaften, 54 S.

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1: Standortfaktoren und Standortelemente nach NEBE (1992)
Tab. 5.1a: Bodengruppen der ÖWI
Tab. 5.1b: Bodengruppen der ÖWI
Tab. 5.1c: Bodengruppen der ÖWI
Tab. 5.2: Boden-Großgruppen
Tab. 5.3: Verwendeten Netzparameter für November und alle 4 Jahreszeiten
Tab. 5.4: Pearsonkorrelation der Niederschlagssummen zwischen Jahreszeiten und Einflussvariablen
Tab. 5.5a: Korrelationsmatrix der Grids (Teil 1)
Tab. 5.5b: Korrelationsmatrix der Grids (Teil 2)
Tab. 5.5c: Korrelationsmatrix der Grids (Teil 3)
Tab. 5.6: Verwendete Variablen aller gerechneten und diskutierten Varianten der Clusteranalyse
Tab. 6.1a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE1
Tab. 6.1b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE1
Tab. 6.1b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE1
Tab. 6.2: Vergleich der einzelnen Varianten in bezug auf F-Wert und Seehöhenamplitude
Tab. A1a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2
Tab. A1b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2
Tab. A1b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2
Tab. A2a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b
Tab. A2b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b
Tab. A3a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b-re
Tab. A3b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b-re
Tab. A3b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b-re
Tab. A4a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE3
Tab. A4b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE3
Tab. A5a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4
Tab. A5b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4
Tab. A5b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4
Tab. A6a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4b
Tab. A6b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4b
Tab. A7a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE5
Tab. A7b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE5
Tab. A7b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE5
Tab. A8a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE6

Tab. A8b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE6
Tab. A9a: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 1)
Tab. A9b: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 2)
Tab. A9c: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 3)
Tab. A9d: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 4)

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Die natürliche Pflanzendecke Österreichs (WAGNER 1971)
Abb. 2.2: Die Waldgebiete und Wuchsbezirke (MAYER 1974)
Abb. 2.3: Wälder des Ostalpenraumes (MAYER 1977)
Abb. 2.4: Ökologische Gesamtwertung (BOBEK und MRAS 1979); Detail
Abb. 2.5: Vereinfachte Landschaftsgliederung Österreichs (NOWAK 1990)
Abb. 2.6: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs (KILIAN ET AL. 1994)
Abb. 2.7: Naturräumliche Einheiten zur Ausweisung von Natura 2000-Gebieten (SAUBERER ET AL. 1995)
Abb. 2.8: Digital Map of European Ecological Regions (AUGUSTO und PAINHO 2000)
Abb. 2.9: Landwirtschaftliche Kleinproduktionsgebiete Österreichs (SCHWACKHÖFER 1966)
Abb. 2.10: Klimatypenkarte (BOBEK ET AL. 1971)
Abb. 4.1: Seehöhenabhängigkeit ökologisch wichtiger Klimaparameter nach TURNER (1993)
Abb. 4.2: Reflexion, Absorption und Transmission eines Pappelblatte in Abhängigkeit von der Wellenlänge nach LARCHER (1994)
Abb. 4.3: Temperatur-Nettophotosynthese-Kurve nach BOTKIN (1993)
Abb. 4.4: Verbreitungsgruppierung von Koniferen aufgrund der Frostresistenzen der Ruheknospen nach LARCHER (1994)
Abb. 4.5: Vergleich der Frostresistenzen von Laubbäumen und Koniferen nach WOODWARD (1987)
Abb. 4.6: Baumwachstum – Wärmesumme – Kurve einer Kiefer nach BOTKIN (1993)
Abb. 4.7: Klimadiagramm nach WALTER (1955)
Abb. 4.8: Pflanzenverteilung Nordamerikas aufgrund der jährlichen aktuellen Evapotranspiration und des jährlichen Wasserdefizit nach STEPHENSON (1990)
Abb. 4.9: Saugspannungskurve nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1982)
Abb. 4.10: Ökogramme nach PFADENHAUER (1997)
Abb. 5.1: Zusammengefasste Bodengruppen
Abb. 5.2: Temperatur des wärmsten Monats (MAX_TEMP)
Abb. 5.3: Temperatur des kältesten Monats (MIN_TEMP)
Abb. 5.4: Jährliche Temperaturamplitude (AMPLJA)
Abb. 5.5: Länge der Vegetationsperiode (VEGPERI)
Abb. 5.6: Growing Degree Days (GDD)
Abb. 5.7: Absolute Sonnescheindauer im Juli (SO_ABS_JUL)
Abb. 5.8: Frosttage (FROSTT)
Abb. 5.9: Hygrische Kontinentalität nach Gams (GAMS)
Abb. 5.10: Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 40 mm PET (TROC_40)
Abb. 5.11: Trockenperioden in der Vegetationsperiode mit > 60 mm PET (TROC_60)

Abb. 5.12: Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (H_BIL_VEGP)
Abb. 5.13: MSE versus Epochen
Abb. 5.14: Niederschlagssummen im November (alle Variablen incl. Luv/Lee), Detail
Abb. 5.15: Niederschlagssumme im November ohne Luv/Lee Einfluss
Abb. 5.16: Niederschlagssummen im November mit Luv/Lee Einfluss
Abb. 5.17: Niederschlagssummen im Frühling
Abb. 5.18: Niederschlagssummen im Sommer
Abb. 5.19: Frühling: Korrelation: Messdaten - Modellwerte
Abb. 5.20: Sommer: Korrelation: Messdaten – Modellwerte
Abb. 5.21: Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode
Abb. 5.22: Niederschlagssummen im Herbst
Abb. 5.23: Niederschlagssummen im Winter
Abb. 5.24: Herbst: Korrelation: Messdaten Modellwerte
Abb. 5.25: Winter: Korrelation: Messdaten - Modellwerte
Abb. 5.26: Jahresniederschlag
Abb. 5.27: Schematische Abbildung eines Dendrogramms
Abb. 5.28: Durchführung der Clusteranalyse
Abb. 6.1a-d: Variante T1
Abb. 6.1e-h: Variante T1
Abb. 6.1i: Variante T1
Abb. 6.2: Variante T2, 6 Cluster
Abb. 6.3: Variante T2, 11 Cluster
Abb. 6.4: Variante T3, 7 Cluster
Abb. 6.5: Variante T4, 7 Cluster
Abb. 6.6: Variante T5, 7 Cluster
Abb. 6.7: Variante T6, 6 Cluster
Abb. 6.8: Variante H1, 6 Cluster
Abb. 6.9: Variante H1, 9 Cluster
Abb. 6.10a-b: Variante H2
Abb. 6.10c-f: Variante H2
Abb. 6.10g-h: Variante H2
Abb. 6.11: Variante H3, 7 Cluster
Abb. 6.12: Variante H4, 5 Cluster
Abb. 6.13: Variante H4, 8 Cluster
Abb. 6.14a-b: Variante K1
Abb. 6.14c-f: Variante K1
Abb. 6.14g: Variante K1
Abb. 6.15: Variante K2, 6 Cluster
Abb. 6.16: Variante K2, 8 Cluster
Abb. 6.17: Variante K3, 8 Cluster

Abb. 6.18: Variante K4, 5 Cluster
Abb. 6.19: Variante K4, 9 Cluster
Abb. 6.20: Variante K5, 5 Cluster
Abb. 6.21: Variante K5, 8 Cluster
Abb. 6.22: Variante KE1, 7 Cluster
Abb. 6.23: Dendrogramm: Variante KE2, 8 Cluster
Abb. 6.24: Variante KE2, 8 Cluster
Abb. 6.25: Variante KE2, 11 Cluster
Abb. 6.26: Variante KE2b, 7 Cluster
Abb. 6.27: Variante KE2b-re, 7 Cluster
Abb. 6.28: Variante KE3, 8 Cluster
Abb. 6.29: Dendrogramm: Variante KE4, 10 Cluster
Abb. 6.30a-b: Variante KE4
Abb. 6.30c-f: Variante KE4
Abb. 6.30g-h: Variante KE4
Abb. 6.31: Variante KE4b, 7 Cluster
Abb. 6.32: Variante KE5, 8 Cluster
Abb. 6.33: Variante KE6, 9 Cluster
Abb. 6.34: Vergleich: Variante KE4 (10 Cluster) – MAYER 1977
Abb. 7.1a: Variante KE2 mit größter Übereinstimmung zu KILIAN ET AL. (1994) und eine der räumlich homogensten Varianten
Abb. 7.1b: Variante KE4 mit größter Übereinstimmung zu MAYER (1977)
Abb. 7.2a: Variante KE1: eine der räumlich homogensten Varianten
Abb. 7.2b: Variante KE6 mit niedrigstem F-Wert und niedrigster Seehöhenamplitude
Abb. A1: Dendrogramm von Variante KE2, 25 Cluster
Abb. A2: Dendrogramm von Variante KE2b, 7 Cluster
Abb. A3: Dendrogramm von Variante KE2b-re mit Single Linkage Verfahren, 50 Cluster
Abb. A4: Dendrogramm von Variante KE2b-re mit Ward Verfahren, 7 Cluster
Abb. A5: Dendrogramm von Variante KE4, 25 Cluster
Abb. A6: Vergleich: Variante 2 (8 Cluster) – MAYER 1977

11 Anhang

Tab. A1a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2

F_WERT	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,19	0,47	0,35	0,19	0,33	0,20	0,79	0,28	0,60	0,35
GDD	0,09	0,17	0,35	0,10	0,18	0,16	0,22	0,17	0,25	0,18
H_BIL_VEGP	0,11	0,18	0,45	0,18	0,23	0,16	0,50	0,22	0,39	0,25
TROC_40	0,61	0,35	0,10	0,26	0,10	0,13	0,23	0,15	0,51	0,24
GAMS	0,53	0,34	0,22	0,18	0,17	0,18	0,24	0,19	0,35	0,26
Spannweite	0,51	0,30	0,35	0,17	0,23	0,07	0,57	0,13	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,31	0,30	0,29	0,18	0,20	0,16	0,40	0,20		0,26

T_WERT	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	Dunkelgrün	Spannweite
MIN_TEMP	1,37	0,24	0,20	0,81	-0,29	-0,08	-1,65	-0,40	3,01
GDD	1,58	0,58	-0,27	1,05	-0,47	-0,68	-1,56	-0,11	3,15
H_BIL_VEGP	-1,47	-0,68	1,31	-0,63	0,51	0,36	0,74	-0,45	2,78
TROC_40	2,23	0,41	-0,86	0,44	-0,49	-0,52	-0,64	-0,10	3,10
GAMS	-1,56	-0,06	-0,53	-0,99	0,25	0,65	1,33	0,76	2,89
ARME_BE	-0,16	1,15	-0,26	-0,35	0,04	-0,35	0,04	-0,35	1,50
REICHE_BE	-0,02	0,35	-0,20	-0,27	-0,32	-0,32	-0,11	0,67	1,00
POD_SEMI	-0,54	-0,57	-0,57	-0,34	-0,63	1,58	0,74	0,59	2,21
BE_LOCK_PB	0,85	-0,06	-0,29	0,79	-0,30	-0,30	-0,30	-0,16	1,15
GLEY_PGL	0,39	-0,32	0,06	1,02	-0,33	-0,33	-0,30	-0,09	1,35
RENDSI_MB	-0,40	-0,25	0,98	-0,48	1,07	-0,50	-0,10	-0,50	1,58
TERRA_FU	-0,13	0,04	0,36	-0,27	0,69	-0,27	-0,22	-0,27	0,97
SONSTIGE	0,61	-0,01	-0,12	0,33	-0,24	-0,24	-0,20	-0,04	0,85

Tab. A1b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün
MIN	118	304	452	260	511	706	635	477
MAX	693	1548	1857	815	1765	1772	2354	1652
MITTELWERT	301	625	985	450	1091	1290	1666	920
AMPLITUDE	575	1244	1405	555	1255	1066	1719	1175
MIN_TEMP in 1/10 °C	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün
MIN	-32	-60	-55	-43	-59	-51	-104	-59
MAX	-2	-17	-9	-5	-24	-23	-35	-22
MITTELWERT	-19	-32	-33	-26	-39	-36	-54	-40
AMPLITUDE	30	43	46	39	35	28	69	37
SO_ABS_JUL in h	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün
MIN	205	167	135	187	143	145	126	150
MAX	283	266	247	273	255	259	250	256
MITTELWERT	251	230	203	240	201	203	194	220
AMPLITUDE	78	99	111	86	112	114	124	106
GDD in 1/10 °C	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün
MIN	15003	9886	3968	11983	6098	5606	1265	6622
MAX	22212	17759	16588	18663	16273	13333	13050	17236
MITTELWERT	18339	14219	10753	16142	9922	9092	5455	11418
AMPLITUDE	7209	7873	12620	6681	10174	7726	11785	10614
H_BIL_VEGP in mm	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün
MIN	-252	-119	142	-95	5	94	-69	-71
MAX	90	439	945	525	615	531	855	478
MITTELWERT	-100	69	501	82	327	295	377	119
AMPLITUDE	342	558	803	621	610	437	923	549

Tab. A1b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

GAMS in °	orange	violett	blau	hellgrün	beige-blau	grau	rot	dunkelgrün
MIN	-13	14	10	6	22	28	38	25
MAX	40	57	44	40	53	56	72	64
MITTELWERT	17	36	30	24	39	45	53	46
AMPLITUDE	53	43	34	33	31	27	33	39
TROC_40 pro Jahr	**orange**	**violett**	**blau**	**hellgrün**	**beige-blau**	**grau**	**rot**	**dunkelgrün**
MIN	1,38	-0,02	-0,49	-0,10	-0,43	-0,48	-1,00	-0,34
MAX	4,68	3,29	1,27	2,77	1,55	1,26	1,41	2,48
MITTELWERT	3,06	1,33	0,12	1,36	0,47	0,45	0,33	0,84
AMPLITUDE	3,30	3,31	1,76	2,87	1,97	1,74	2,41	2,83
BODENGRUPPEN	**orange**	**violett**	**blau**	**hellgrün**	**beige-blau**	**grau**	**rot**	**dunkelgrün**
ARME_BE	5,9%	47,1%	2,9%	0,0%	12,3%	0,0%	12,3%	0,0%
REICHE_BE	9,0%	19,7%	3,6%	1,7%	0,0%	0,0%	6,4%	29,3%
POD_SEMI	4,2%	2,9%	2,9%	13,3%	0,0%	100,0%	61,9%	54,9%
BE_LOCK_PB	32,0%	6,9%	0,5%	30,6%	0,0%	0,0%	0,0%	4,0%
GLEY_PGL	21,9%	0,4%	12,0%	40,8%	0,0%	0,0%	1,1%	7,4%
RENDSI_MB	4,2%	10,0%	59,6%	0,9%	63,3%	0,0%	16,0%	0,0%
TERRA_FU	3,7%	7,8%	15,9%	0,0%	24,4%	0,0%	1,4%	0,0%
SONSTIGE	19,1%	5,1%	2,7%	12,8%	0,0%	0,0%	0,9%	4,4%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A2a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b

F_WERT	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,21	0,17	0,43	0,37	0,26	0,85	0,46	0,68	0,39
GDD	0,09	0,09	0,33	0,20	0,24	0,17	0,29	0,24	0,20
H_BIL_VEGP	0,10	0,18	0,53	0,23	0,36	0,39	0,28	0,43	0,29
TROC_40	0,57	0,32	0,14	0,25	0,18	0,22	0,10	0,47	0,25
GAMS	0,61	0,23	0,35	0,34	0,20	0,26	0,25	0,41	0,32
Spannweite	0,51	0,23	0,39	0,17	0,18	0,69	0,36	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,32	0,20	0,35	0,28	0,25	0,38	0,28		0,29

T_WERT	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau	Spannweite
MIN_TEMP	1,36	0,84	0,01	0,01	-0,22	-1,68	-0,68	3,04
GDD	1,60	1,03	-0,35	0,40	-0,40	-1,62	-0,46	3,23
H_BIL_VEGP	-1,50	-0,73	1,02	-0,56	-0,05	0,81	-0,05	2,52
TROC_40	2,30	0,60	-0,72	0,16	-0,30	-0,68	-0,33	3,02
GAMS	-1,56	-0,88	-0,24	0,15	0,70	1,32	0,84	2,88
ARME_BE	-0,15	0,06	-0,29	0,87	-0,35	-0,08	0,55	1,22
REICHE_BE	-0,12	0,01	-0,25	0,18	-0,32	-0,32	2,12	2,44
POD_SEMI	-0,63	-0,35	-0,59	-0,63	1,58	0,95	-0,63	2,22
BE_LOCK_PB	0,97	0,56	-0,30	0,05	-0,30	-0,30	-0,30	1,27
GLEY_PGL	0,46	0,67	-0,09	-0,08	-0,33	-0,29	-0,33	1,01
RENDSI_MB	-0,39	-0,50	1,11	-0,22	-0,50	-0,08	-0,50	1,61
TERRA_FU	-0,12	-0,27	0,53	0,08	-0,27	-0,22	-0,27	0,80
SONSTIGE	0,66	0,23	-0,15	0,17	-0,24	-0,23	-0,24	0,90

Tab. A2b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	118	251	403	357	510	978	565
MAX	511	815	2087	1548	1772	2354	1958
MITTELWERT	294	455	1027	695	1109	1700	1133
AMPLITUDE	393	564	1684	1190	1261	1377	1393
MIN_TEMP in 1/10 °C	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	-33	-43	-62	-57	-60	-104	-63
MAX	-2	-5	-9	-19	-22	-35	-27
MITTELWERT	-20	-25	-35	-35	-38	-55	-43
AMPLITUDE	31	39	53	38	38	69	36
SO_ABS_JUL in h	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	205	187	135	167	145	126	142
MAX	283	273	255	260	259	250	256
MITTELWERT	251	239	202	227	212	193	209
AMPLITUDE	78	86	119	93	114	124	114
GDD in 1/10 °C	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	14768	11983	1580	7112	5606	1265	3577
MAX	22212	18663	16588	17656	15764	10450	15409
MITTELWERT	18408	16073	10408	13480	10207	5201	9961
AMPLITUDE	7444	6681	15008	10545	10157	9185	11832
H_BIL_VEGP in mm	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	-252	-111	5	-91	-65	46	-69
MAX	90	525	945	625	531	804	526
MITTELWERT	-107	59	437	96	207	392	207
AMPLITUDE	342	636	940	716	595	757	595
GAMS in °	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	-13	6	10	19	28	38	25
MAX	44	45	54	57	64	72	63
MITTELWERT	17	25	33	38	45	53	47
AMPLITUDE	57	39	44	37	36	33	38
TROC_40 pro Jahr	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
MIN	1,38	-0,10	-1,00	-0,34	-0,48	-1,00	-0,43
MAX	4,68	2,92	1,55	2,87	2,16	1,22	1,41
MITTELWERT	3,13	1,51	0,26	1,09	0,66	0,29	0,63
AMPLITUDE	3,30	3,03	2,55	3,22	2,64	2,22	1,83
BODENGRUPPEN	orange	hellgrün	blau	violett	dunkelgrün	rot	grau
ARME_BE	6,3%	12,9%	1,9%	38,2%	0,0%	8,4%	28,4%
REICHE_BE	6,0%	9,7%	2,2%	14,9%	0,0%	0,0%	71,6%
POD_SEMI	0,0%	12,5%	1,8%	0,0%	100,0%	71,5%	0,0%
BE_LOCK_PB	35,4%	24,1%	0,0%	9,9%	0,0%	0,0%	0,0%
GLEY_PGL	23,8%	30,3%	7,3%	7,6%	0,0%	1,3%	0,0%
RENDSI_MB	4,5%	0,0%	64,6%	11,4%	0,0%	17,2%	0,0%
TERRA_FU	3,9%	0,0%	20,3%	8,9%	0,0%	1,3%	0,0%
SONSTIGE	20,2%	10,6%	2,0%	9,1%	0,0%	0,3%	0,0%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A3a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b-re

F-WERT	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,48	0,48	0,46	0,24	0,22	0,31	0,82	0,60	0,43
GDD	0,09	0,25	0,39	0,09	0,14	0,27	0,17	0,30	0,20
H_BIL_VEGP	0,18	0,49	0,54	0,10	0,15	0,38	0,39	0,44	0,32
TROC_40	0,38	0,14	0,14	0,49	0,19	0,18	0,23	0,35	0,25
GAMS	0,27	0,41	0,37	0,63	0,35	0,23	0,24	0,40	0,36
Spannweite	0,39	0,35	0,40	0,55	0,21	0,20	0,65	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,28	0,35	0,38	0,31	0,21	0,27	0,37		0,31

T_WERT	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot	Spannweite
MIN_TEMP	0,69	-0,36	-0,04	1,40	0,20	-0,24	-1,83	3,23
GDD	1,06	-0,30	-0,41	1,66	0,31	-0,45	-1,68	3,34
H_BIL_VEGP	-0,78	0,22	1,06	-1,55	-0,66	-0,01	0,80	2,61
TROC_40	0,70	-0,41	-0,75	2,46	0,16	-0,32	-0,67	3,21
GAMS	-0,84	0,40	-0,22	-1,65	0,28	0,73	1,40	3,05
ARME_BE	0,12	0,24	-0,35	-0,19	1,23	-0,35	-0,04	1,58
REICHE_BE	0,01	1,43	-0,32	-0,07	-0,32	-0,32	-0,20	1,76
POD_SEMI	-0,41	-0,63	-0,62	-0,63	-0,63	1,58	1,04	2,22
BE_LOCK_PB	0,51	-0,13	-0,30	1,27	-0,30	-0,30	-0,30	1,58
GLEY_PGL	0,47	-0,33	-0,05	0,65	0,06	-0,33	-0,29	0,98
RENDSI_MB	-0,46	-0,50	1,48	-0,47	-0,07	-0,50	-0,29	1,98
TERRA_FU	-0,16	0,54	0,18	-0,27	0,17	-0,27	-0,22	0,81
SONSTIGE	0,40	-0,04	-0,24	0,32	0,20	-0,24	-0,24	0,64

Tab. A3b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b-re (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	229	442	403	118	357	510	978
MAX	815	1820	2087	496	1548	1788	2354
MITTELWERT	455	1038	1046	282	699	1131	1720
AMPLITUDE	586	1378	1684	378	1190	1277	1377
MIN_TEMP in 1/10 °C	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	-57	-63	-60	-33	-48	-60	-92
MAX	-5	-15	-14	-2	-19	-15	-35
MITTELWERT	-27	-39	-36	-19	-33	-38	-56
AMPLITUDE	52	48	46	31	29	45	56
SO_ABS_JUL in h	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	187	141	135	205	167	145	126
MAX	273	256	255	283	260	259	247
MITTELWERT	240	208	201	252	225	211	193
AMPLITUDE	86	115	119	78	93	114	121
GDD in 1/10 °C	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	11983	4847	2832	14768	7609	5220	1380
MAX	18907	15693	16273	22212	17588	15764	10058
MITTELWERT	16173	10671	10209	18629	13137	10037	5054
AMPLITUDE	6925	10847	13440	7444	9980	10544	8678
H_BIL_VEGP in mm	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	-199	-69	5	-252	-97	-65	49
MAX	525	762	945	15	372	731	813
MITTELWERT	50	265	445	-117	74	215	388
AMPLITUDE	725	831	940	267	468	796	765
GAMS in °	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	6	17	10	-13	20	21	38
MAX	47	62	52	44	57	64	66
MITTELWERT	26	41	33	15	40	45	54
AMPLITUDE	41	45	42	57	36	43	27

Tab. A3b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE2b-re (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

TROC_40 pro Jahr	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
MIN	-0,10	-0,43	-1,00	1,81	0,09	-0,48	-1,00
MAX	4,11	1,68	1,39	4,68	2,92	2,16	1,22
MITTELWERT	1,60	0,55	0,23	3,27	1,09	0,64	0,31
AMPLITUDE	4,21	2,11	2,39	2,87	2,82	2,64	2,22
BODENGRUPPEN	hellgrün	grau	blau	orange	violett	dunkelgrün	rot
ARME_BE	14,7%	18,8%	0,0%	5,2%	49,5%	0,0%	9,9%
REICHE_BE	9,9%	51,5%	0,0%	7,4%	0,0%	0,0%	3,5%
POD_SEMI	9,9%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	100,0%	75,3%
BE_LOCK_PB	22,7%	4,7%	0,0%	43,9%	0,0%	0,0%	0,0%
GLEY_PGL	24,1%	0,0%	8,5%	29,5%	11,8%	0,0%	1,3%
RENDSI_MB	1,5%	0,0%	79,5%	1,5%	17,6%	0,0%	8,7%
TERRA_FU	2,8%	20,5%	11,3%	0,0%	11,2%	0,0%	1,3%
SONSTIGE	14,3%	4,5%	0,0%	12,5%	9,9%	0,0%	0,0%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A4a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE3

F_WERT	orange	violett	beige-blau	blau	hellgrün	dunkelgrün	rot	grau	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,21	0,54	0,26	0,42	0,15	0,30	0,74	0,37	0,59	0,38
GDD	0,11	0,28	0,19	0,31	0,09	0,18	0,17	0,21	0,21	0,19
SO_ABS_JUL	0,22	0,30	0,36	0,42	0,24	0,42	0,46	0,39	0,24	0,35
H_BIL_VEGP	0,09	0,22	0,48	0,43	0,14	0,22	0,39	0,27	0,39	0,28
TROC_40	0,52	0,18	0,23	0,12	0,32	0,12	0,35	0,10	0,42	0,24
Spannweite	0,43	0,36	0,29	0,31	0,22	0,30	0,57	0,29	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,23	0,31	0,30	0,34	0,19	0,25	0,42	0,27		0,29

T_WERT	orange	violett	beige-blau	blau	hellgrün	dunkelgrün	rot	grau	Spannweite
MIN_TEMP	1,37	-0,25	0,50	-0,13	0,86	-0,19	-2,38	-0,67	3,76
GDD	1,59	0,27	0,24	-0,62	1,09	-0,54	-1,84	-1,18	3,42
SO_ABS_JUL	1,33	0,47	0,06	-0,88	0,95	-0,46	-0,79	-1,30	2,62
H_BIL_VEGP	-1,51	-0,51	0,21	1,29	-0,83	0,23	0,63	0,77	2,80
TROC_40	2,34	0,10	-0,38	-0,82	0,73	-0,47	-0,70	-0,64	3,16
ARME_BE	-0,23	0,37	-0,27	-0,34	0,40	-0,13	0,18	-0,32	0,74
REICHE_BE	0,07	0,38	-0,32	-0,26	-0,32	0,35	-0,15	-0,32	0,70
POD_SEMI	-0,62	0,19	-0,61	-0,59	-0,63	0,61	0,91	1,48	2,11
BE_LOCK_PB	0,81	-0,19	-0,30	-0,27	0,87	-0,19	-0,30	-0,30	1,17
GLEY_PGL	0,56	-0,20	0,34	-0,26	0,74	-0,28	-0,33	-0,33	1,08
RENDSI_MB	-0,40	-0,39	0,79	1,47	-0,50	-0,50	-0,36	-0,50	1,97
TERRA_FU	-0,11	-0,20	0,68	0,22	-0,27	0,14	-0,18	-0,21	0,95
SONSTIGE	0,56	0,05	-0,24	-0,19	0,27	-0,15	-0,21	-0,14	0,80

Tab. A4b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE3 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	violett	beige-blau	blau	hellgrün	dunkelgrün	rot	grau
MIN	118	330	357	504	220	500	1037	799
MAX	517	1720	1489	2087	699	1820	2354	1992
MITTELWERT	298	760	727	1159	428	1201	1783	1523
AMPLITUDE	399	1390	1132	1583	479	1320	1318	1193
MIN_TEMP in 1/10 °C	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
MIN	-33	-63	-49	-60	-39	-60	-104	-67
MAX	-2	-13	-9	-15	-5	-22	-44	-25
MITTELWERT	-19	-38	-29	-37	-25	-37	-63	-43
AMPLITUDE	31	50	40	45	34	38	60	41
SO_ABS_JUL in h	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
MIN	213	176	177	135	205	142	148	126
MAX	283	267	260	236	273	247	247	215
MITTELWERT	251	229	219	195	241	206	197	184
AMPLITUDE	70	91	83	100	68	105	99	89
GDD in 1/10 °C	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
MIN	14768	5126	8049	2772	12678	5026	1265	2709
MAX	22212	18003	17588	15547	19233	15458	10352	12792
MITTELWERT	18354	12950	12823	9295	16321	9625	4335	7017
AMPLITUDE	7444	12876	9539	12775	6555	10432	9087	10083
H_BIL_VEGP in mm	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
MIN	-252	-82	-72	89	-199	12	46	77
MAX	29	656	670	945	374	543	701	672
MITTELWERT	-110	106	263	496	37	267	353	385
AMPLITUDE	281	738	742	856	573	531	655	595
GAMS in °	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
MIN	-13	12	10	14	6	23	45	31
MAX	44	62	51	59	47	64	72	63
MITTELWERT	17	40	31	35	25	44	57	48
AMPLITUDE	57	50	41	45	41	41	27	32
TROC_40 pro Jahr	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
MIN	1,47	-0,04	-0,46	-1,00	0,34	-0,43	-1,00	-0,49
MAX	4,68	2,48	1,81	1,39	4,11	1,60	1,14	1,22
MITTELWERT	3,16	1,04	0,58	0,16	1,63	0,50	0,27	0,33
AMPLITUDE	3,21	2,52	2,27	2,39	3,76	2,03	2,14	1,72
BODENGRUPPEN	**orange**	**violett**	**beige-blau**	**blau**	**hellgrün**	**dunkelgrün**	**rot**	**grau**
ARME_BE	3,7%	22,6%	2,6%	0,3%	23,5%	7,0%	16,7%	1,1%
REICHE_BE	11,4%	20,5%	0,0%	1,7%	0,0%	19,7%	5,2%	0,0%
POD_SEMI	0,6%	36,9%	1,0%	2,1%	0,0%	56,1%	69,5%	95,2%
BE_LOCK_PB	31,2%	3,1%	0,0%	1,0%	32,7%	3,1%	0,0%	0,0%
GLEY_PGL	26,9%	4,2%	20,3%	2,2%	32,5%	1,7%	0,0%	0,0%
RENDSI_MB	4,3%	4,5%	52,1%	79,2%	0,0%	0,0%	5,7%	0,0%
TERRA_FU	4,0%	1,7%	24,1%	12,4%	0,0%	10,5%	2,3%	1,5%
SONSTIGE	17,9%	6,4%	0,0%	1,1%	11,3%	2,0%	0,6%	2,2%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A5a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4

F_WERT	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dun-kelgrün	braun	grau	hellblau	rot	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,18	0,16	0,31	0,45	0,23	0,38	0,09	0,21	0,88	0,40	0,80	0,33
GDD	0,06	0,07	0,24	0,19	0,14	0,22	0,05	0,18	0,35	0,17	0,30	0,17
SO_ABS_JUL	0,22	0,17	0,51	0,25	0,33	0,30	0,23	0,44	0,37	0,55	0,39	0,34
H_BIL_VEGP	0,11	0,16	0,35	0,19	0,24	0,29	0,05	0,18	0,47	0,47	0,43	0,25
TROC_40	0,59	0,30	0,12	0,26	0,11	0,11	0,23	0,12	0,36	0,13	0,49	0,23
GAMS	0,33	0,21	0,19	0,42	0,16	0,26	0,40	0,22	0,11	0,38	0,31	0,27
Spannweite	0,53	0,23	0,39	0,26	0,22	0,27	0,35	0,31	0,77	0,42	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,25	0,18	0,29	0,29	0,20	0,26	0,17	0,22	0,42	0,35		0,26

T_WERT	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dun-kelgrün	braun	grau	hellblau	rot	Spannweite
MIN_TEMP	1,03	0,95	0,30	0,10	-0,23	-0,48	1,82	-0,10	-2,23	-0,96	4,05
GDD	1,43	1,06	-0,14	0,50	-0,55	-0,13	1,92	-0,66	-1,65	-1,42	3,56
SO_ABS_JUL	1,31	0,86	-0,56	0,55	-0,90	0,25	1,57	-0,56	-0,81	-1,24	2,81
H_BIL_VEGP	-1,28	-0,79	1,22	-0,57	0,52	-0,31	-1,77	0,27	0,39	1,38	3,15
TROC_40	1,78	0,66	-0,81	0,21	-0,56	-0,15	2,97	-0,50	-0,60	-0,80	3,78
GAMS	-1,20	-0,91	-0,61	-0,03	0,32	0,65	-2,31	0,70	1,69	0,71	4,00
ARME_BE	-0,30	0,24	-0,30	0,71	0,14	-0,35	0,02	-0,35	0,17	-0,06	1,06
REICHE_BE	-0,32	0,18	-0,30	-0,20	0,08	0,85	0,34	-0,32	0,01	-0,31	1,18
POD_SEMI	-0,62	-0,63	-0,57	-0,29	-0,63	0,51	-0,63	1,58	0,81	0,30	2,22
BE_LOCK_PB	0,97	0,89	-0,26	-0,17	-0,30	-0,17	0,40	-0,30	-0,30	-0,30	1,27
GLEY_PGL	0,73	0,71	-0,02	0,07	-0,32	-0,31	0,09	-0,33	-0,32	-0,24	1,06
RENDSI_MB	-0,36	-0,50	1,22	-0,17	0,70	-0,36	-0,43	-0,50	-0,34	0,26	1,72
TERRA_FU	-0,09	-0,27	0,28	-0,01	0,53	-0,12	-0,27	-0,27	-0,23	0,25	0,80
SONSTIGE	0,65	-0,15	-0,18	0,29	-0,07	-0,24	1,25	-0,24	-0,21	-0,16	1,48

Tab. A5b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dunkelgrün	braun	grau	hellblau	rot
MIN	152	251	402	330	584	442	118	619	932	789
MAX	624	725	1699	1346	1765	1762	362	1788	2354	2087
MITTELWERT	336	443	918	645	1135	935	225	1285	1689	1603
AMPLITUDE	472	473	1297	1016	1182	1319	244	1168	1422	1297
MIN_TEMP in 1/10 °C	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dunkelgrün	braun	grau	hellblau	rot
MIN	-37	-44	-51	-59	-59	-61	-23	-50	-104	-67
MAX	-13	-5	-9	-19	-24	-22	-2	-22	-35	-25
MITTELWERT	-23	-24	-32	-34	-38	-41	-14	-36	-61	-46
AMPLITUDE	24	39	42	40	35	39	21	28	69	42
SO_ABS_JUL in h	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dunkelgrün	braun	grau	hellblau	rot
MIN	219	205	135	179	147	186	213	158	148	126
MAX	272	273	244	267	231	259	283	239	236	238
MITTELWERT	250	239	203	231	194	224	257	203	197	186
AMPLITUDE	53	68	109	88	84	73	70	81	88	112
GDD in 1/10 °C	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dunkelgrün	braun	grau	hellblau	rot
MIN	14168	12678	6360	7609	5026	4405	17546	5220	1265	2709
MAX	20151	18596	16588	17644	15385	15693	22212	14405	10677	12421
MITTELWERT	17706	16177	11274	13917	9582	11314	19697	9145	5106	6059
AMPLITUDE	5983	5918	10228	10036	10359	11288	4666	9185	9412	9711
H_BIL_VEGP in mm	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dunkelgrün	braun	grau	hellblau	rot
MIN	-235	-149	181	-97	-4	-65	-252	12	-69	89
MAX	151	374	945	378	586	656	-55	528	701	945
MITTELWERT	-59	47	481	94	329	151	-165	277	301	516
AMPLITUDE	386	522	763	475	591	721	197	516	770	856

Tab. A5b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

GAMS in °	orange	hellgrün	blau	violett	beige-blau	dunkelgrün	braun	grau	hellblau	rot
MIN	5	6	10	15	27	24	-13	28	47	21
MAX	44	45	40	56	56	59	29	64	72	63
MITTELWERT	21	25	29	36	40	45	7	45	58	45
AMPLITUDE	39	39	30	41	30	34	42	36	25	42
TROC_40 pro Jahr	**orange**	**hellgrün**	**blau**	**violett**	**beige-blau**	**dunkelgrün**	**braun**	**grau**	**hellblau**	**rot**
MIN	1,06	0,34	-0,46	-0,20	-0,43	-0,34	2,78	-0,48	-1,00	-1,00
MAX	4,11	3,21	1,29	2,92	1,56	2,10	4,68	1,26	1,24	1,22
MITTELWERT	2,63	1,57	0,17	1,14	0,41	0,80	3,76	0,47	0,37	0,18
AMPLITUDE	3,05	2,87	1,75	3,12	1,99	2,45	1,91	1,74	2,24	2,22
BODENGRUPPEN	**orange**	**hellgrün**	**blau**	**violett**	**beige-blau**	**dunkelgrün**	**braun**	**grau**	**hellblau**	**rot**
ARME_BE	1,7%	18,7%	1,7%	33,2%	15,3%	0,0%	11,8%	0,0%	16,5%	9,3%
REICHE_BE	0,0%	14,7%	0,8%	3,6%	11,9%	34,6%	19,6%	0,0%	9,8%	0,4%
POD_SEMI	0,7%	0,0%	2,7%	15,3%	0,0%	51,4%	0,0%	100,0%	64,9%	41,9%
BE_LOCK_PB	35,4%	33,2%	1,2%	3,8%	0,0%	3,8%	19,6%	0,0%	0,0%	0,0%
GLEY_PGL	32,0%	31,4%	9,3%	12,1%	0,6%	0,8%	12,7%	0,0%	0,5%	2,9%
RENDSI_MB	5,8%	0,0%	69,1%	13,4%	48,3%	5,7%	2,9%	0,0%	6,7%	30,5%
TERRA_FU	4,5%	0,0%	13,9%	6,7%	20,2%	3,8%	0,0%	0,0%	1,0%	13,3%
SONSTIGE	19,9%	2,0%	1,2%	11,9%	3,7%	0,0%	33,3%	0,0%	0,5%	1,8%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A6a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4b

F_WERT	orange	violett	blau	dunkelgrün	grau	rot	braun	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,18	0,47	0,42	0,42	0,30	0,87	0,12	0,75	0,40
GDD	0,11	0,16	0,33	0,25	0,24	0,19	0,08	0,26	0,19
SO_ABS_JUL	0,25	0,24	0,50	0,51	0,60	0,53	0,22	0,38	0,41
H_BIL_VEGP	0,16	0,23	0,49	0,25	0,35	0,41	0,03	0,46	0,27
TROC_40	0,58	0,25	0,13	0,11	0,15	0,23	0,15	0,46	0,23
GAMS	0,32	0,45	0,34	0,26	0,20	0,25	0,66	0,46	0,36
Spannweite	0,47	0,30	0,36	0,39	0,45	0,68	0,63	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,27	0,30	0,37	0,30	0,31	0,41	0,21		0,31

T_WERT	orange	violett	blau	dunkelgrün	grau	rot	braun	Spannweite
MIN_TEMP	0,98	0,04	0,05	-0,19	-0,33	-1,74	1,66	3,40
GDD	1,21	0,53	-0,39	-0,15	-0,51	-1,63	1,81	3,44
SO_ABS_JUL	1,05	0,55	-0,71	-0,04	-0,27	-1,08	1,46	2,54
H_BIL_VEGP	-0,97	-0,54	1,12	-0,10	0,00	0,78	-1,80	2,92
TROC_40	1,08	0,19	-0,78	-0,25	-0,32	-0,67	3,03	3,81
GAMS	-1,04	-0,06	-0,26	0,43	0,79	1,36	-1,96	3,32
ARME_BE	0,03	0,80	-0,34	-0,35	-0,03	-0,02	-0,04	1,15
REICHE_BE	-0,02	-0,20	-0,26	1,63	-0,32	-0,14	0,23	1,96
POD_SEMI	-0,58	-0,22	-0,53	-0,63	1,36	0,85	-0,63	1,99
BE_LOCK_PB	0,75	-0,16	-0,20	-0,30	-0,30	-0,30	1,37	1,68
GLEY_PGL	0,76	0,16	-0,10	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	1,09
RENDSI_MB	-0,43	-0,50	0,98	0,56	-0,50	-0,11	-0,50	1,49
TERRA_FU	-0,20	0,14	0,55	-0,27	-0,27	-0,22	-0,27	0,82
SONSTIGE	0,20	0,32	-0,11	-0,24	-0,24	-0,22	0,98	1,22

Tab. A6b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE4b (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	violett	blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	141	357	402	442	510	958	118
MAX	725	1441	2087	1679	1788	2354	362
MITTELWERT	403	643	1049	960	1160	1701	232
AMPLITUDE	584	1084	1685	1237	1277	1396	244
MIN_TEMP in 1/10 °C	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
MIN	-44	-61	-62	-58	-63	-104	-24
MAX	-2	-14	-9	-19	-23	-33	-2
MITTELWERT	-24	-35	-35	-37	-39	-55	-16
AMPLITUDE	42	47	53	39	40	71	22
SO_ABS_JUL in h	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
MIN	205	199	135	150	158	126	213
MAX	276	267	244	255	259	238	283
MITTELWERT	244	231	199	216	210	190	254
AMPLITUDE	70	68	108	105	101	112	70
GDD in 1/10 °C	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
MIN	12678	7609	1580	5026	4405	1265	17267
MAX	20333	17644	16588	16273	15385	10677	22212
MITTELWERT	16793	14005	10238	11223	9777	5182	19270
AMPLITUDE	7655	10036	15008	11247	10980	9412	4945
H_BIL_VEGP in mm	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
MIN	-215	-97	34	-39	-69	23	-252
MAX	374	595	945	656	528	804	-75
MITTELWERT	7	100	459	195	217	387	-173
AMPLITUDE	589	691	911	695	596	780	177
GAMS in °	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
MIN	3	15	10	22	28	38	-13
MAX	45	56	54	56	64	72	30
MITTELWERT	23	36	33	42	46	53	12
AMPLITUDE	43	41	44	34	36	33	42
TROC_40 pro Jahr	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
MIN	0,34	-0,20	-1,00	-0,20	-0,48	-1,00	2,87
MAX	4,54	2,92	1,55	1,81	2,10	1,22	4,68
MITTELWERT	1,96	1,12	0,20	0,70	0,64	0,30	3,81
AMPLITUDE	4,19	3,12	2,55	2,01	2,58	2,22	1,81
BODENGRUPPEN	**orange**	**violett**	**blau**	**dunkelgrün**	**grau**	**rot**	**braun**
ARME_BE	11,9%	36,1%	0,4%	0,0%	10,2%	10,3%	9,7%
REICHE_BE	8,8%	3,8%	1,9%	57,4%	0,0%	5,3%	16,1%
POD_SEMI	2,2%	18,4%	4,3%	0,0%	89,8%	67,0%	0,0%
BE_LOCK_PB	29,5%	3,9%	3,0%	0,0%	0,0%	0,0%	46,8%
GLEY_PGL	32,9%	14,8%	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
RENDSI_MB	2,9%	0,0%	59,6%	42,6%	0,0%	15,6%	0,0%
TERRA_FU	1,9%	10,5%	20,7%	0,0%	0,0%	1,4%	0,0%
SONSTIGE	9,7%	12,4%	2,9%	0,0%	0,0%	0,3%	27,4%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A7a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE5

F_WERT	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun	Spannweite	Durchschnitt
MIN_TEMP	0,19	0,56	0,44	0,29	0,40	0,22	0,77	0,04	0,72	0,36
GDD	0,13	0,13	0,39	0,18	0,24	0,17	0,16	0,05	0,34	0,18
H_BIL_VEGP	0,29	0,33	0,38	0,37	0,19	0,23	0,41	0,03	0,37	0,28
GAMS	0,27	0,21	0,25	0,18	0,23	0,17	0,21	0,29	0,12	0,23
Spannweite	0,16	0,43	0,19	0,19	0,20	0,06	0,61	0,26	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,22	0,31	0,37	0,26	0,26	0,20	0,39	0,10		0,26

T_WERT	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun	Spannweite
MIN_TEMP	1,01	0,24	0,17	-0,19	-0,38	-0,18	-1,88	1,93	3,81
GDD	1,24	0,64	-0,35	-0,48	-0,08	-0,77	-1,70	2,01	3,71
H_BIL_VEGP	-0,96	-0,42	1,52	0,60	-0,55	0,44	0,77	-1,83	3,35
GAMS	-1,14	-0,37	-0,54	0,20	0,79	0,70	1,42	-2,58	4,00
ARME_BE	-0,10	0,45	-0,28	-0,06	0,28	-0,35	-0,04	-0,30	0,81
REICHE_BE	-0,11	0,29	-0,29	-0,11	0,55	-0,32	-0,32	-0,05	0,87
POD_SEMI	-0,63	-0,34	-0,52	-0,63	0,37	1,58	0,82	-0,63	2,22
BE_LOCK_PB	0,90	-0,02	-0,30	-0,25	-0,30	-0,30	-0,30	0,84	1,20
GLEY_PGL	0,93	-0,33	0,10	-0,33	-0,16	-0,33	-0,27	-0,33	1,27
RENDSI_MB	-0,50	-0,25	1,33	0,98	-0,50	-0,50	0,01	-0,38	1,83
TERRA_FU	-0,20	0,56	-0,15	0,56	-0,27	-0,27	-0,20	-0,27	0,83
SONSTIGE	0,31	-0,05	-0,15	-0,12	-0,06	-0,24	-0,22	2,17	2,40

Tab. A7b(a): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE5 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	141	309	403	511	451	706	978	118
MAX	756	1076	2087	1778	1958	1802	2354	319
MITTELWERT	391	609	1030	1099	896	1334	1727	196
AMPLITUDE	615	767	1684	1267	1506	1096	1377	201
MIN_TEMP in 1/10 °C	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	-39	-60	-60	-58	-63	-51	-104	-18
MAX	-2	-17	-9	-24	-22	-23	-40	-2
MITTELWERT	-24	-33	-33	-37	-40	-37	-57	-13
AMPLITUDE	37	43	51	34	41	28	64	16
SO_ABS_JUL in h	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	195	175	135	141	142	145	126	213
MAX	273	267	244	255	256	259	250	283
MITTELWERT	244	229	202	200	220	201	194	258
AMPLITUDE	79	92	108	114	115	114	124	70
GDD in 1/10 °C	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	11983	10678	2832	4847	3577	4826	1265	18524
MAX	20178	17665	16588	16273	16601	12535	10450	22212
MITTELWERT	16928	14464	10406	9888	11534	8708	4894	20071
AMPLITUDE	8195	6988	13756	11426	13024	7709	9185	3688
H_BIL_VEGP in mm	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	-235	-199	181	-34	-97	94	12	-252
MAX	525	523	945	769	443	672	804	-75
MITTELWERT	10	126	546	347	99	313	383	-179
AMPLITUDE	760	722	763	803	539	578	792	177
GAMS in °	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	3	15	10	22	25	28	40	-13
MAX	44	51	48	53	63	58	72	14
MITTELWERT	22	32	29	39	46	45	54	4
AMPLITUDE	41	36	38	31	38	29	32	27

Tab. A7b(b): Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE5 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

TROC_40 pro Jahr	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
MIN	-0,20	-0,46	-1,00	-0,49	-0,23	-0,48	-1,00	2,87
MAX	4,54	4,11	1,27	1,81	2,92	1,26	1,22	4,68
MITTELWERT	2,01	1,12	0,11	0,41	0,94	0,44	0,30	3,87
AMPLITUDE	4,74	4,57	2,27	2,30	3,14	1,74	2,22	1,81
BODENGRUPPEN	orange	violett	blau	beige-blau	dunkelgrün	grau	rot	braun
ARME_BE	7,9%	25,4%	2,3%	9,0%	19,8%	0,0%	9,7%	1,6%
REICHE_BE	6,4%	18,1%	1,0%	6,4%	25,6%	0,0%	0,0%	7,9%
POD_SEMI	0,0%	13,3%	5,1%	0,0%	45,2%	100,0%	65,5%	0,0%
BE_LOCK_PB	33,5%	7,8%	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	31,7%
GLEY_PGL	38,1%	0,0%	13,0%	0,0%	5,3%	0,0%	1,9%	0,0%
RENDSI_MB	0,0%	10,3%	73,5%	59,5%	0,0%	0,0%	20,7%	4,8%
TERRA_FU	1,8%	20,9%	3,1%	20,9%	0,0%	0,0%	1,9%	0,0%
SONSTIGE	12,3%	4,2%	2,0%	2,6%	4,1%	0,0%	0,3%	54,0%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. A8a: F- und t-Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE6

F_WERT	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot	Spannweite	Durchschnitt
AMPLJA	0,14	0,21	0,10	0,17	0,19	0,39	0,25	0,20	0,27	0,29	0,21
V_PERI55	0,06	0,19	0,07	0,26	0,16	0,11	0,13	0,40	0,38	0,34	0,19
H_BIL_VEGP	0,11	0,34	0,10	0,30	0,22	0,14	0,17	0,31	0,20	0,25	0,21
TROC_40	0,33	0,12	0,53	0,13	0,27	0,19	0,13	0,07	0,34	0,46	0,23
GAMS	0,17	0,32	0,69	0,20	0,33	0,31	0,30	0,28	0,09	0,60	0,30
Spannweite	0,27	0,22	0,63	0,17	0,17	0,28	0,17	0,33	0,29	Durchschnitt gesamt:	
Durchschnitt	0,16	0,24	0,30	0,21	0,23	0,23	0,20	0,25	0,26		0,23

T_WERT	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot	Spannweite
AMPLJA	0,86	-0,14	1,16	-1,28	0,31	1,62	-0,47	-1,29	-1,22	2,91
V_PERI55	1,10	0,04	1,48	-1,06	0,14	0,61	-0,42	-0,95	-2,43	3,90
H_BIL_VEGP	-0,85	0,77	-1,54	0,71	-0,57	-0,41	0,20	1,83	0,61	3,38
TROC_40	0,77	-0,66	2,42	-0,55	0,08	0,17	-0,49	-1,00	-0,73	3,41
GAMS	-1,01	-0,43	-1,59	0,85	0,51	-0,34	0,62	-0,02	1,78	3,38
ARME_BE	-0,09	-0,28	-0,13	-0,09	0,64	-0,14	-0,35	-0,32	-0,12	1,00
REICHE_BE	0,09	-0,20	-0,09	-0,02	0,22	0,56	-0,32	-0,26	-0,15	0,88
POD_SEMI	-0,57	-0,62	-0,63	0,50	0,09	-0,04	1,58	-0,60	1,22	2,22
BE_LOCK_PB	0,54	-0,30	1,26	-0,27	-0,16	0,10	-0,30	-0,24	-0,30	1,57
GLEY_PGL	0,90	0,02	0,33	-0,26	-0,22	-0,24	-0,33	-0,13	-0,33	1,24
RENDSI_MB	-0,44	1,12	-0,48	-0,08	-0,42	-0,30	-0,50	1,37	-0,43	1,88
TERRA_FU	-0,16	0,35	-0,27	0,13	-0,06	-0,03	-0,27	0,18	-0,24	0,62
SONSTIGE	0,23	-0,16	0,72	-0,17	-0,07	0,31	-0,24	-0,18	-0,21	0,96

Tab. A8b: Statistische Werte der Variablen innerhalb der einzelnen Cluster von Variante KE6 (zur Clusterberechnung verwendeten Variablen sind unterstrichen)

SEEHÖHE in m	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	245	402	118	850	367	357	706	713	1404
MAX	725	1499	556	2063	1548	1111	1797	2087	2354
MITTELWERT	417	852	284	1497	803	619	1195	1382	1836
AMPLITUDE	479	1097	438	1214	1180	754	1091	1374	951
MIN_TEMP in 1/10 °C	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	-38	-53	-33	-74	-63	-60	-63	-71	-104
MAX	-5	-9	-2	-18	-17	-21	-15	-15	-44
MITTELWERT	-24	-34	-19	-40	-36	-43	-38	-39	-64
AMPLITUDE	33	44	31	56	46	38	48	56	61
SO_ABS_JUL in h	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	210	135	205	138	170	181	151	136	126
MAX	273	249	283	247	259	267	259	250	244
MITTELWERT	242	206	251	194	222	238	207	194	195
AMPLITUDE	63	114	78	109	89	86	107	114	118
GDD in 1/10 °C	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	13206	7650	14768	1580	7288	11495	5800	2832	1265
MAX	18857	16844	22212	11540	16773	18663	13333	12733	7131
MITTELWERT	16532	11667	18520	7210	12324	15049	9768	7554	3833
AMPLITUDE	5651	9194	7444	9961	9485	7168	7533	9901	5866
H_BIL_VEGP in mm	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	-200	85	-252	89	-100	-4	12	375	46
MAX	247	737	28	804	502	378	520	945	607
MITTELWERT	34	384	-116	371	94	129	260	614	349
AMPLITUDE	446	652	280	715	602	383	508	570	561
GAMS in °	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	6	10	-13	29	15	14	21	17	51
MAX	45	48	44	62	59	50	64	54	72
MITTELWERT	23	31	16	47	43	32	44	36	59
AMPLITUDE	39	37	57	33	44	36	43	37	21
TROC_40 pro Jahr	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	0,57	-0,46	1,75	-1,00	-0,43	-0,20	-0,48	-1,00	-1,00
MAX	4,10	1,49	4,68	1,39	2,92	2,12	1,26	1,02	1,14
MITTELWERT	1,67	0,32	3,23	0,42	1,01	1,10	0,48	-0,01	0,25
AMPLITUDE	3,53	1,96	2,93	2,39	3,34	2,31	1,74	2,02	2,14
AMPLJA in 1/10°C	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	183	162	191	143	171	189	155	141	149
MAX	217	209	219	184	216	233	208	187	195
MITTELWERT	201	184	206	164	192	214	178	164	166
AMPLITUDE	34	47	28	41	45	44	53	46	46
VEGPERI in Tagen	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
MIN	197	159	204	97	159	184	148	114	83
MAX	234	224	239	190	219	223	200	196	153
MITTELWERT	217	190	226	161	192	204	178	164	127
AMPLITUDE	36	65	35	94	60	39	52	82	70
BODENGRUPPEN	hellgrün	blau	orange	grau	dunkelgrün	violett	gelb	schwarz	rot
ARME_BE	8,2%	2,4%	6,9%	8,4%	31,2%	6,6%	0,0%	0,9%	7,2%
REICHE_BE	12,2%	3,7%	6,9%	8,8%	15,9%	25,9%	0,0%	1,8%	5,0%
POD_SEMI	2,9%	0,5%	0,0%	51,0%	32,6%	26,9%	100,0%	1,3%	83,5%
BE_LOCK_PB	23,6%	0,0%	43,6%	1,0%	4,1%	11,3%	0,0%	1,8%	0,0%
GLEY_PGL	37,3%	10,7%	20,1%	2,1%	3,6%	2,8%	0,0%	6,2%	0,0%
RENDSI_MB	2,5%	65,3%	1,0%	17,0%	3,4%	8,0%	0,0%	75,3%	2,9%
TERRA_FU	2,7%	15,7%	0,0%	10,2%	5,4%	6,1%	0,0%	11,5%	0,7%
SONSTIGE	10,5%	1,6%	21,5%	1,6%	3,8%	12,3%	0,0%	1,3%	0,7%
gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

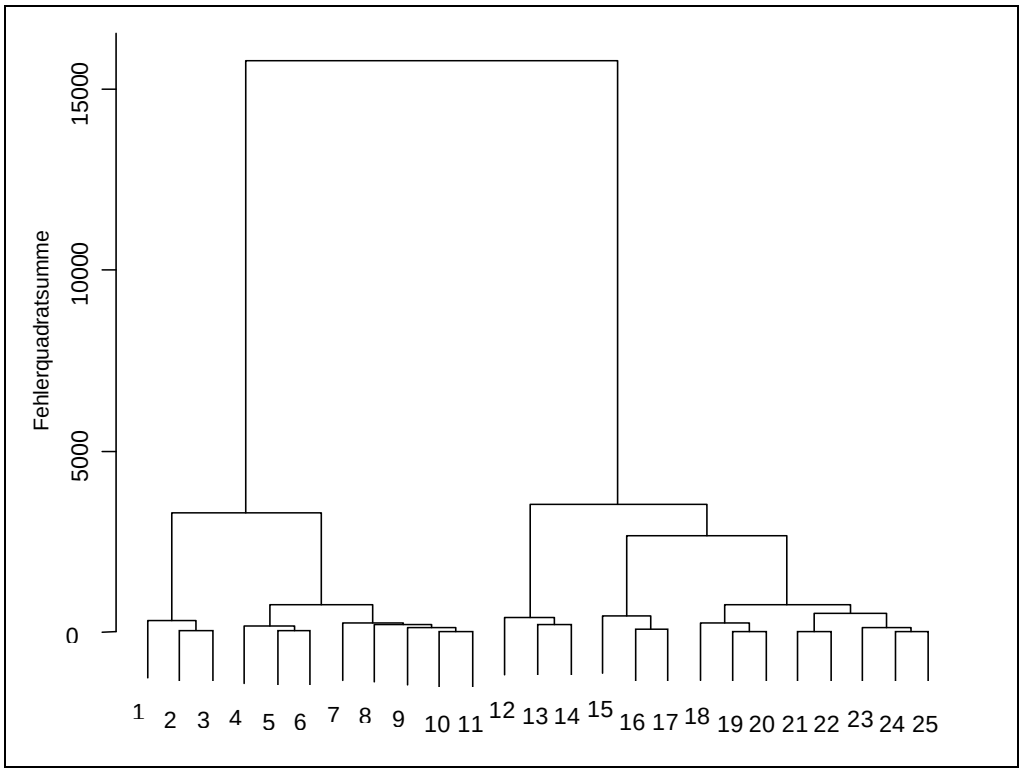


Abb. A1: Dendrogramm von Variante KE2, 25 Cluster

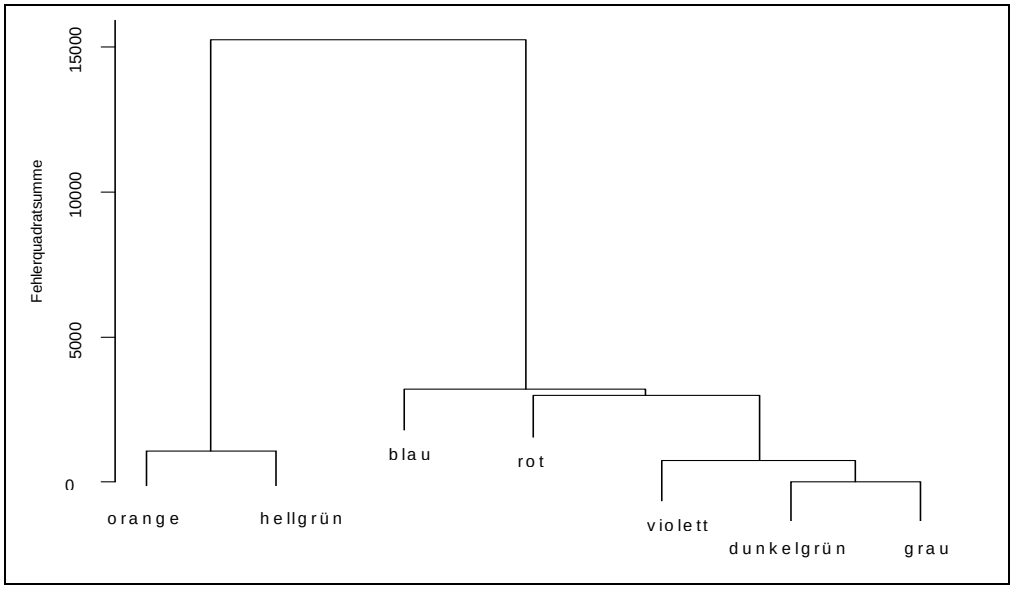


Abb. A2: Dendrogramm von Variante KE2b, 7 Cluster

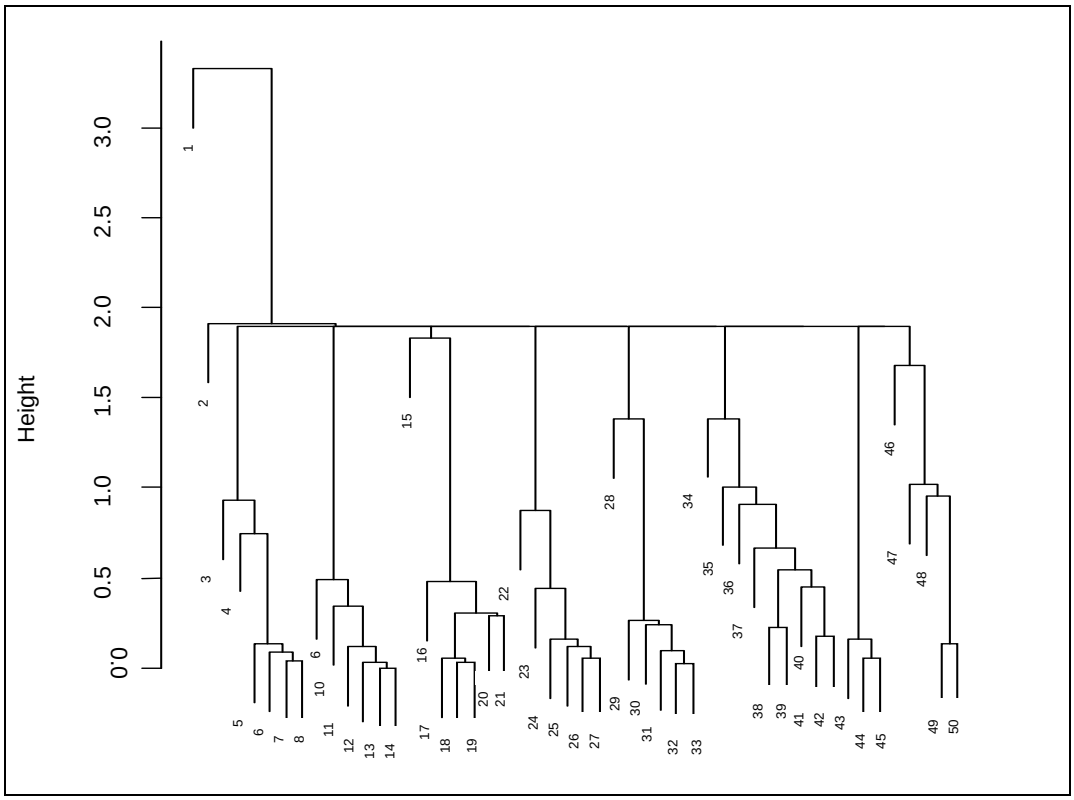


Abb. A3: Dendrogramm von Variante KE2b-re mit Single Linkage Verfahren, 50 Cluster

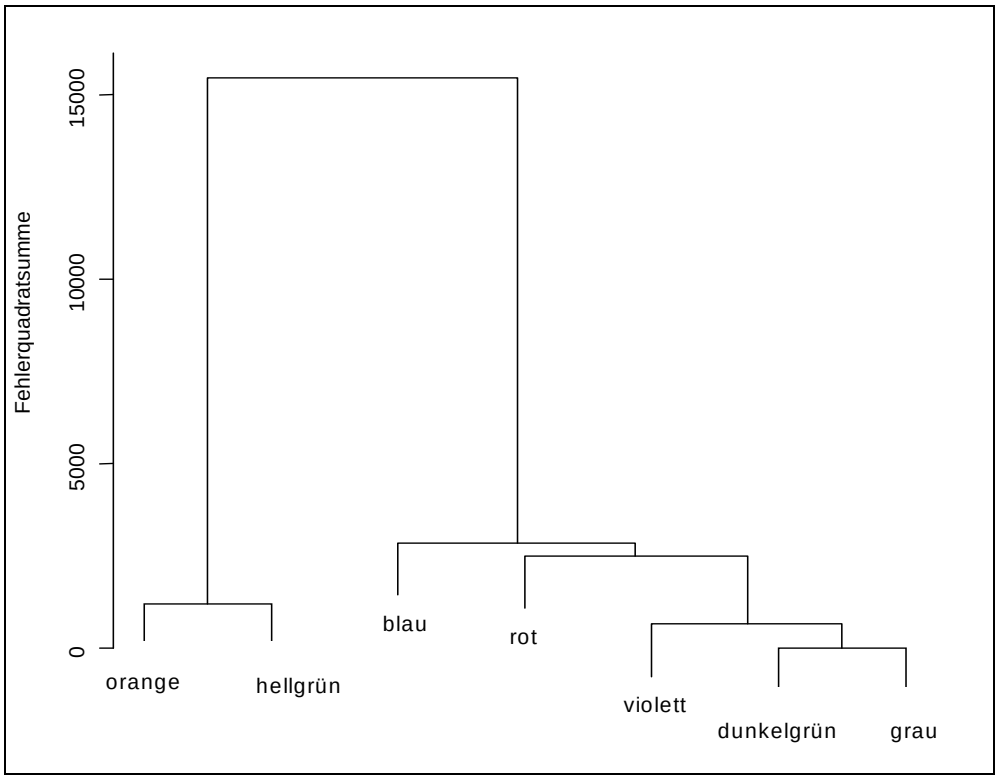


Abb. A4: Dendrogramm von Variante KE2b-re mit Ward Verfahren, 7 Cluster

Tab. A9a: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 1) Quelle: eigene Berechnungen

	AMPLJA	JAHR_TEMP	MAX_TEMP	MIN_TEMP	FROSTT	GDD	VEGPERI	H_BIL_JA
JAHR_TEMP	0,80							
MAX_TEMP	0,88	0,99						
MIN_TEMP	0,31	0,82	0,72					
FROSTT	-0,71	-0,94	-0,92	-0,81				
GDD	0,87	0,99	1,00	0,74	-0,92			
VEGPERI	0,81	1,00	0,98	0,80	-0,93	0,98		
H_BIL_JA	-0,64	-0,61	-0,64	-0,36	0,54	-0,64	-0,59	
H_BIL_FRUE	-0,68	-0,66	-0,69	-0,39	0,59	-0,69	-0,65	0,96
H_BIL_SO	-0,67	-0,67	-0,70	-0,43	0,62	-0,70	-0,65	0,95
H_BIL_VEGP	-0,69	-0,68	-0,72	-0,43	0,63	-0,72	-0,67	0,98
PET_NS_VEG	0,69	0,75	0,77	0,53	-0,73	0,78	0,73	-0,89
PET_VEG	0,88	0,99	1,00	0,72	-0,92	1,00	0,98	-0,65
GAMS	-0,57	-0,83	-0,79	-0,75	0,81	-0,82	-0,82	0,16
NS_FRUE	-0,51	-0,44	-0,48	-0,21	0,38	-0,48	-0,43	0,93
NS_SOM	-0,58	-0,56	-0,59	-0,34	0,52	-0,59	-0,54	0,94
NS_VEG_PER	-0,57	-0,54	-0,57	-0,30	0,49	-0,57	-0,52	0,98
NS_JA	-0,55	-0,50	-0,54	-0,27	0,43	-0,53	-0,48	0,99
SCHNEEDECK	-0,83	-0,93	-0,94	-0,67	0,88	-0,94	-0,92	0,76
SO_ABS_JUL	0,71	0,71	0,74	0,45	-0,67	0,75	0,70	-0,63
SO_REL_JUL	0,75	0,64	0,70	0,31	-0,57	0,69	0,64	-0,60
TROC_40	0,63	0,71	0,72	0,54	-0,72	0,75	0,69	-0,76
TROC_60	0,58	0,68	0,68	0,53	-0,68	0,70	0,66	-0,67
TROC_80	0,46	0,59	0,59	0,51	-0,60	0,59	0,59	-0,55
ARME_BE	0,08	0,06	0,06	0,02	-0,04	0,06	0,05	-0,17
REICHE_BE	0,10	0,04	0,06	-0,02	-0,01	0,05	0,05	-0,13
POD_SEMI	-0,30	-0,40	-0,38	-0,34	0,41	-0,40	-0,40	0,01
BE_LOCK_PB	0,29	0,33	0,33	0,24	-0,35	0,34	0,32	-0,24
GLEY_PGL	0,24	0,30	0,29	0,24	-0,30	0,30	0,30	-0,15
RENDSI_MB	-0,27	-0,20	-0,23	-0,06	0,16	-0,23	-0,19	0,47
TERRA_FU	-0,05	-0,01	-0,02	0,03	0,00	-0,03	-0,01	0,18
SONSTIGE	0,22	0,22	0,23	0,14	-0,21	0,24	0,22	-0,16

Tab. A9b: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 2) Quelle: eigene Berechnungen

	H_BIL_FRUE	H_BIL_SO	H_BIL_VEGP	PET_NS_VEG	PET_VEG	GAMS	NS_FRUE	NS_SOM
H_BIL_SO	0,88							
H_BIL_VEGP	0,96	0,98						
PET_NS_VEG	-0,88	-0,92	-0,93					
PET_VEG	-0,70	-0,71	-0,72	0,77				
GAMS	0,23	0,27	0,26	-0,44	-0,79			
NS_FRUE	0,96	0,83	0,91	-0,80	-0,49	0,00		
NS_SOM	0,86	0,99	0,96	-0,89	-0,60	0,15	0,84	
NS_VEG_PER	0,94	0,96	0,98	-0,89	-0,58	0,09	0,94	0,97
NS_JA	0,93	0,92	0,96	-0,85	-0,54	0,04	0,95	0,94
SCHNEEDECK	0,78	90,00	0,81	-0,82	-0,95	0,65	0,61	0,71
SO_ABS_JUL	-0,57	-0,69	-0,66	0,69	0,74	-0,53	-0,45	-0,63
SO_REL_JUL	-0,55	-0,62	-0,61	0,61	0,69	-0,45	-0,43	-0,56
TROC_40	-0,74	-0,81	-0,81	0,91	0,72	-0,52	-0,66	-0,77
TROC_60	-0,66	-0,71	-0,71	0,86	0,67	-0,53	-0,58	-0,66
TROC_80	-0,55	-0,58	-0,58	0,72	0,57	-0,46	-0,48	-0,54
ARME_BE	-0,16	-0,16	-0,16	0,15	0,07	0,07	-0,17	-0,17
REICHE_BE	-0,13	-0,09	-0,10	0,07	0,06	0,05	-0,13	-0,08
POD_SEMI	0,06	0,11	0,09	-0,19	-0,39	0,49	-0,07	0,04
BE_LOCK_PB	-0,26	-0,26	-0,27	0,32	0,33	-0,30	-0,20	-0,23
GLEY_PGL	-0,15	-0,17	-0,17	0,19	0,30	-0,30	-0,08	-0,13
RENDSI_MB	0,44	0,38	0,42	-0,35	-0,23	-0,02	0,46	0,38
TERRA_FU	0,17	0,14	0,16	-0,13	-0,02	-0,07	0,20	0,16
SONSTIGE	-0,18	-0,17	-0,18	0,21	0,23	-0,23	-0,14	-0,14

Tab. A9c: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 3) Quelle: eigene Berechnungen

	NS_VEG_PER	NS_JA	SCHNEEDECK	SO_ABS_JUL	SO_REL_JUL	TROC_40	TROC_60	TROC_80
NS_JA	0,98							
SCHNEEDECK	0,69	0,67						
SO_ABS_JUL	-0,58	-0,56	-0,74					
SO_REL_JUL	-0,53	-0,54	-0,68	0,79				
TROC_40	-0,75	-0,72	-0,74	0,66	0,64			
TROC_60	-0,66	-0,62	-0,67	0,60	0,56	0,94		
TROC_80	-0,53	-0,50	-0,56	0,49	0,46	0,83	0,93	
ARME_BE	-0,17	-0,18	-0,11	0,04	0,04	0,09	0,05	0,02
REICHE_BE	-0,11	-0,13	-0,08	0,05	0,10	0,05	0,04	0,06
POD_SEMI	0,00	-0,06	0,32	-0,21	-0,15	-0,22	-0,21	-0,15
BE_LOCK_PB	-0,23	-0,21	-0,32	0,29	0,23	0,33	0,29	0,22
GLEY_PGL	-0,12	-0,11	-0,28	0,30	0,23	0,21	0,18	0,13
RENDSI_MB	0,43	0,48	0,29	-0,32	-0,33	-0,30	-0,23	-0,19
TERRA_FU	0,18	0,20	0,05	-0,07	-0,07	-0,13	-0,11	-0,10
SONSTIGE	-0,14	-0,14	-0,21	0,19	0,19	0,23	0,23	0,20

Tab. A9d: Korrelationsmatrix der Punktcoverages (Teil 4) Quelle: eigene Berechnungen

	ARME_BE	REICHE_BE	POD_SEMI	BE_LOCK_PB	GLEY_PGL	RENDSI_MB	TERRA_FU
REICHE_BE	-0,11						
POD_SEMI	-0,22	-0,20					
BE_LOCK_PB	-0,11	-0,10	-0,19				
GLEY_PGL	-0,12	-0,11	-0,21	-0,10			
RENDSI_MB	-0,18	-0,16	-0,32	-0,15	-0,17		
TERRA_FU	-0,10	-0,09	-0,17	-0,08	-0,09	-0,14	
SONSTIGE	-0,08	-0,08	-0,15	-0,07	-0,08	-0,12	-0,06

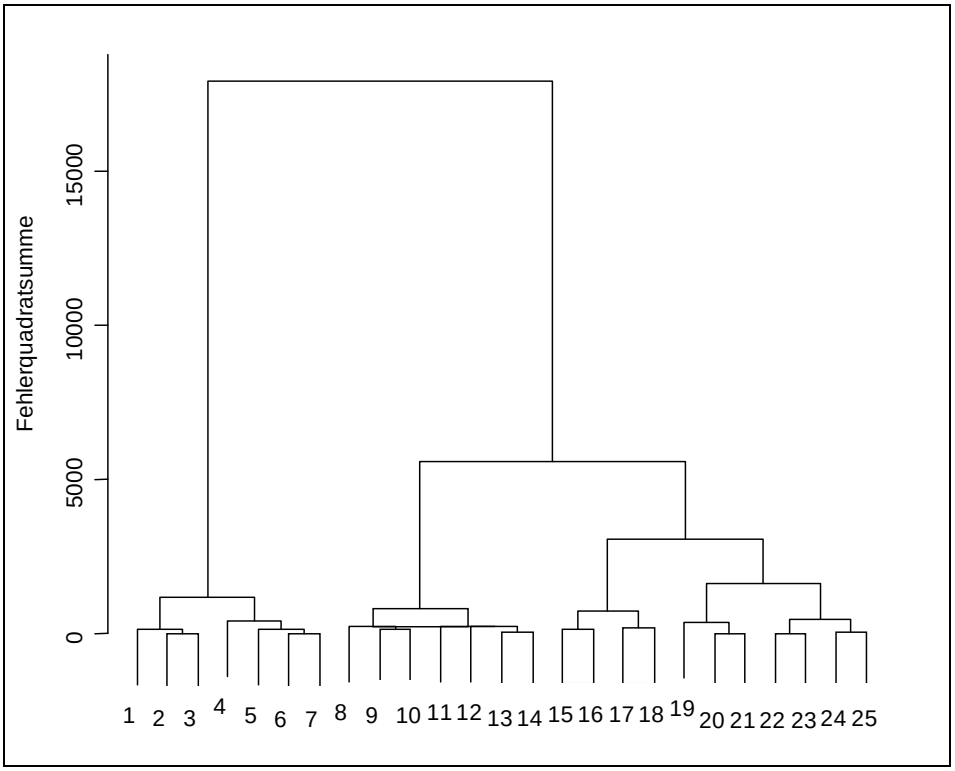


Abb. A5: Dendrogramm von Variante KE4, 25 Cluster

AML-Script zur Berechnung der GDD und der VEGPERI (vegp_ws.aml)

```
/********************
/* loibl W. 20.6.2001
/* interpoliert mittlere Monatstemperaturen auf Tage über alle Monate
/* berechnet Zahl der Tage die 5,5°C überschreiten
/* kumuliert Temperatur über 5,5°C
/* Angaben sind in 1/10 Grad!
/* .dire ....Directory
/* .m .......Monat
/* .d ........day
/********************

&s .mon 0
&do .mon = 1 &to 12
&s .m %.mon%
&if [exist t_day5_%.m% -grid] &then kill t_day5_%.m%
&if [exist t_kum5_%.m% -grid] &then kill t_day5_%.m%

Grid
&echo &on
&s .d 0
&do .d = 1 &to 30
/**********
&if [exist t_%.m%_%.d% -grid] &then kill t_%.m%_%.d%

&if %.m% = 1 &then
&do
&s .grid1 = temp_12
&s .grid2 = temp_01
&s .grid3 = temp_02
&s .m = 01
&end
/**********
&if %.m% > 1 &then
&do
&s .mu = [calc %.m% - 1]
&s .mo = [calc %.m% + 1]
&if %.mu% lt 10 &then &s .mu 0%.mu%
&if %.mo% lt 10 &then &s .mo 0%.mo%
&s .grid1 = temp_%.mu%
&s .grid2 = temp_%.m%
&s .grid3 = temp_%.mo%
&end
/**********
&if %.m% = 12 &then
&do
&s .grid1 = temp_11
&s .grid2 = temp_12
&s .grid3 = temp_01
&end
/**********
&if %.d% <= 15 &then
&do
&s tmp1 = [calc 30 - %.d%]
&s tmp2 = [calc %tmp1% / 30]
```

```
&s fct_o = [calc 1.5 - %tmp2%]
&s fct_u = [calc 1.0 - %fct_o%]
/**********
&if %.d% = 1 &then
&do
t_%.m%_%.d% = int (%.grid1% * %fct_u% + %.grid2% * %fct_o%)
t_day5_%.m% = con (t_%.m%_%.d% > 55, 1, 0)
t_kum5_%.m% = con (t_%.m%_%.d% > 55, t_%.m%_%.d%, 0)
&end
&else
/***********

&if [exist t_day5_%.m% -grid] &then
&do
&if [exist yyy2 -grid] &then kill yyy2
rename t_day5_%.m% yyy2
&end

&if [exist t_kum5_%.m% -grid] &then
&do
&if [exist yyy3 -grid] &then kill yyy3
rename t_kum5_%.m% yyy3
&end

t_%.m%_%.d% = int (%.grid1% * %fct_u% + %.grid2% * %fct_o%)
t_day5_%.m% = con (t_%.m%_%.d% > 55, yyy2 + 1, yyy2)
t_kum5_%.m% = con (t_%.m%_%.d% > 55, yyy3 + t_%.m%_%.d%, yyy3)
&end
/**************

&if %.d% > 15 &then
&do
&s tmp1 = [calc 30 - %.d%]
&s tmp2 = [calc %tmp1% / 30]
&s fct_u = [calc 0.5 + %tmp2%]
&s fct_o = [calc 1.0 - %fct_o%]

&if [exist t_day5_%.m% -grid] &then
&do
&if [exist yyy2 -grid] &then kill yyy2
rename t_day5_%.m% yyy2
&end

&if [exist t_kum5_%.m% -grid] &then
&do
&if [exist yyy3 -grid] &then kill yyy3
rename t_kum5_%.m% yyy3
&end

t_%.m%_%.d% = int (%.grid2% * %fct_u% + %.grid3% * %fct_o%)
t_day5_%.m% = con (t_%.m%_%.d% > 55, yyy2 + 1, yyy2)
t_kum5_%.m% = con (t_%.m%_%.d% > 55, yyy3 + t_%.m%_%.d%, yyy3)
&end
&end
q
&end
```

```
&return
/*================================
&routine bailout q &ty bailing out
of temp_avg ....  &return; &return
/*================================
```

Boden- und Humushorizonte

Ae = ausgewaschener Bleichhorizont (Eluvialhorizont im Podsol)
Aeh = unterschiedlich stark humoser Horizont (durch Einspülung von Huminstoffen)
Ah = humushaltiger Horizont
Ahe = gebleichter Auswaschungshorizont mit Humusgehalt unter Ah
Ai = humusarmer, flacher Horizont (i = initial)
Al = an Ton verarmter Horizont (Eluvialhorizont in der Braunerde)
Bav = toniger verlehmter Horizont
Bhs = mit Huminstoffen und Oxiden angereicherter Horizont (Illuvialhorizont im Podsol)
Bt = mit Ton angereicherter Horizont (Illuvialhorizont in der Braunerde)
Bv = verlehmter Horizont
C = lC = Lockergestein
Cc = mit Kalk angereichert
Cn = gänzlich unverwittertes Grundgestein
Cv = schwach verwittertes Grundgestein
F = Fermentationshorizont aus halb zerfallenen Blättern bzw. Nadeln und Kleintierkot
G = durch Grundwasser beeinflusst
Go = Oxidationshorizont (rotbraune Flecken)
Gr = Reduktionshorizont (graublaue Flecken)
H = Humufizierungshorizont aus Feinhumus
HA = Anmoorhorizont
hH = Hochmoorhorizont
kR= kalkiges Festgestein (>70%)
L = Ol = Streu: weitgehend unzersetztes organisches Ausgangsmaterial (Blätter, Nadeln, Samen, Zweige)
M = verlagertes braunes Bodensediment
nH = Niedermoorhorizont (Pflanzenrückstände aus Niedermoorvegetation)
O = organischer Auflagehorizont
Of = Vermoderungshorizont
Oh = Humusstofflage
P = a = toniger Horizont mit Trockenrissen und Absonderungsaggregaten
QC = silikatisches Gestein; kalkarm (< 2 %)
R = mC = Festgestein
Sd = Staunässesohle
Sw = Staunässeleiter
tC = toniges Gestein (>45 % Ton)
uH = Übergangsmoorhorizont