BFW-DOKUMENTATION 11/2010

Erste österreichweite Jahrringanalyse Daten, Methoden und Ergebnisse

First tree ring analysis throughout Austria Data, methods and results

GEORG KINDERMANN

FDK 561.24:(436)

B F W

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Empfohlene Zitierung:

Erste österreichweite Jahrringanalyse - Daten, Methoden und Ergebnisse / Georg Kindermann / Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2010, BFW-Dokumentation Nr. 11, 77 S.

ISSN 1811-3044
Copyright 2010 by
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Für den Inhalt verantwortlich:
Leiter: Dipl.-Ing. Dr. Harald Mauser
Herstellung und Druck:
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien
URL: http://bfw.ac.at
Bestellungen und Tauschverkehr:
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Bibliothek
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien
Tel. + 43-1-878 38 1216
Fax. + 43-1-878 38 1250
E-mail: bibliothek@bfw.gv.at
Online Bestellungen: http://bfw.ac.at/order_online
Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Dem Wald zuliebe,
gedruckt auf chlorfrei
gebleichten Papier

FSC

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **6**

2 Daten **6**
2.1 Österreichische Waldinventur . . . 7
2.1.1 Jährliche Zuwächse . . . 7
2.1.2 Statische Einzelbaumdaten . . . 7
2.1.3 Variable Einzelbaumdaten . . . 8
2.1.4 Statische Standortsinformationen . . . 8
2.1.5 Variable Standortsinformationen . . . 8
2.1.6 Konvertierung von eindeutiger Baumnummer zu ÖWI Baumnummer . . . 10
2.1.7 Beschreibung der Spalteninhalte . . . 10
2.1.8 Datenübersicht . . . 19
2.2 Klima . . . 21
2.2.1 Messwerte . . . 22
2.2.2 Stationsbeschreibung . . . 22
2.2.3 Beschreibung der Spalteninhalte . . . 22
2.2.4 Datenübersicht . . . 23

3 Methoden und Ergebnisse **29**
3.1 Klimainterpolation . . . 29
3.1.1 Methoden . . . 29
3.1.2 Ergebnisse . . . 30
3.2 Methode der gleitenden Mittelwertsberechnung . . . 31
3.3 Abschätzung des jährlichen BHD-Zuwachses für Bäume deren BHD-Zuwachs nur für einen längeren Zeitraum bekannt ist . . . 38
3.3.1 Methoden . . . 38
3.3.2 Ergebnisse . . . 38
3.4 Einfluss von Standorts- und Baummerkmalen auf die Jahrringbreite . . . 39
3.4.1 Methoden . . . 40
3.4.2 Ergebnisse . . . 42
3.5 Zusammenhang zwischen Wuchsgebieten und Jahrringbreitenmustern . . . 43
3.5.1 Korrelationen zwischen mittleren Wuchsgebietsindices . . . 52
3.5.2 Hauptkomponentenanalyse der mittleren Wuchsgebietsindices . . . 53
3.5.3 Clusteranalyse der mittleren Wuchsgebietsindices . . . 53
3.5.4 t-Test zwischen den Wuchsgebieten . . . 56
3.5.5 Diskriminanzanalyse . . . 57
3.5.6 Clusteranalyse zur selbständigen Gruppierung einzelner Bäume . . . 69

4 Zusammenfassung **75**

Erste österreichweite Jahrringanalyse Daten, Methoden und Ergebnisse

Georg Kindermann

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Institut für Waldwachstum und Waldbau, Wien

Mithilfe von 4000 Bohrkernen konnte gezeigt werden, dass Baumart, geographische Lage, Seehöhe und Bodentyp die Schwankungen der Jahrringbreiten zwischen den Jahren beeinflussen.

By using 4000 increment cores it could be shown, that species, geographical location, altitude and soil type influence tree ring width deviation.

Kurzfassung

Im Rahmen der Österreichischen Waldinventur wurden 4000 Bohrkerne mit insgesamt 320 000 Jahrringen geworben. Auf Basis dieser Informationen wurde eine Methode entwickelt, welche es erlaubt, Jahrringbreiten von Bäumen abzuschätzen, von denen keine Bohrkerne geworben wurden jedoch periodische Zuwächse (z.B. fünfjähriger Durchmesserzuwachs) bekannt sind.

Der Einfluss der Witterung auf die Jahrringbreite wird durch Standortsfaktoren modifiziert, wobei die Seehöhe den deutlichsten Einfluss zeigte. Zur Untersuchung des Witterungseinflusses war es nötig, Klimawerte von nahe gelegenen Klimastationen auf den untersuchten Standort zu übertragen. Dazu wurde eine Interpolationsmethode entwickelt, welche Abweichungen von ca. 0,4 °C und 10 mm je Monat aufwies. In trockenen, warmen Jahren zeigen Bäume in Hochlagen breite, in Tieflagen schmälere Jahrringe als ein durchschnittliches Jahr. In kühlen, feuchten Jahren zeigen Bäume in Hochlagen schmale, in Tieflagen breitere Jahrringe.

Wuchsgebiete zeigen unterschiedliche Jahrringmuster. Durch diese Wuchsgebietspezifischen Jahrringmuster ist es möglich die angegebene Herkunft eines Baumes zu überprüfen. Aufgrund von Jahrringmuster-Ähnlichkeiten konnten Wuchsgebiete zusammengefasst werden.

Schlüsselworte: Jahreszuwachs, Klimainterpolation, Standort, Wuchsgebiet

Abstract

As part of the Austrian National Forest Inventory 4000 increment cores with a total of 320 000 tree-rings were collected. Based on these Information a method was developed which allow tree-ring width estimates for trees where no cores are available but periodic increments (e.g. five years diameter increment) are known.

The influence of weather on annual ring width is modified by location factors, where the altitude shows the clearest influence. To investigate the influence of weather, it was necessary, to interpolate climate data from nearby climate stations to the site. A Interpolation method was developed which showed deviations of about 0.4 °C and 10 mm per month. In dry, warm Years trees at high altitude show wide rings widths in lower elevations they had narrower rings widths. In cool, wet years trees at high altitudes had narrow tree rings and in lower elevations they showed wider rings widths.

Growth regions show different tree-ring patterns. With this growth region specific tree-ring patterns, it is possible to indicated the origin of a tree. Due to Tree-ring pattern similarities growth region could be merged.

Keywords: Annual increment, climate interpolation, site, growth district

1 Einleitung

Im Zuge der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) wurden in den Jahren 1977, 1986-1990 und 2000-2002 Bohrkerne geworben, deren Jahrringbreiten gemessen und die Messdaten elektronisch gespeichert. Diese Daten wurden in eine einheitliche Struktur gebracht und statistisch ausgewertet. Neben der Zusammenführung von Bohrkern– und ÖWI–Daten wurden auch vorhandene Klimadaten aktualisiert.

Als Ergebnis dieser Arbeit liegt sowohl ein einheitlicher Datensatz der Bohrkerndaten der drei Aufnahmeperioden als auch ein Klimadatensatz für Österreich sowie deren Beschreibung vor.

Um klimatische Einflüsse auf Jahrringbreitenschwankungen untersuchen zu können, müssen Klimaparameter für den Ort der Bohrkernprobenahme vorliegen. Um diese Klimaparameter bereitstellen zu können, wurden Klimamesswerte von umliegenden Klimastationen auf den entsprechenden Geländepunkt interpoliert. Zur Interpolation wurden Messwerte der nächsten Klimastationen verwendet, um einen mit deren Abstand zum Geländepunkt gewichteten Höhengradienten zu bestimmen.

Die Einflüsse der Baumdimensionen, der mittleren Zuwächse, der Bodenverhältnisse und der Seehöhenlagen auf die Jahrringbreitenschwankungen wurden statistisch ausgewertet. Die interpolierten Klimadaten wurden zur Interpretation von Höhengradienten der Jahrringbreitenunterschieden in einzelnen Jahren verwendet.

Übereinstimmungen zwischen Jahrringmustern und forstlichen Wuchsgebieten sollten aufgrund einheitlicher Standortscharakteristika in den Wuchsgebieten bestehen. Ob die Unterschiede zwischen den Wuchsgebieten für eine Zuordnung aufgrund der wuchsgebietspezifischen Jahrringmuster in ein bestimmtes Wuchsgebiet ausreichen, wurde mit mehreren Methoden untersucht. Eine regionale Gliederung aufgrund von Jahrringmustern wurde ebenfalls durchgeführt.

Wachstumsschwankungen zwischen einzelnen Jahren können auf Stammscheiben und Bohrkernen leicht beobachtet werden. Eine Methode, diese Wachstumschwankungen auch auf Bäume, von denen der BHD-Zuwachs nur über einen längeren Zeitraum bekannt ist, zu übertragen, soll entwickelt werden.

2 Daten

Die vorhandenen Daten wurden auf die in Tabelle 1 aufgelisteten Teildatensätze aufgeteilt.

Der Gesamtdatensatz setzt sich aus ÖWI– sowie Klima–Daten zusammen. Die ÖWI–Daten wurden unterteilt in Standorts–, Baum– und Zuwachsdaten. Die gemessenen Jahrringbreiten der

Tabelle 1: *Übersicht über die Teildatensätze.*

Inhalt	Name	Kürzel	Kapitel
Jährliche Zuwächse	Increment	i	2.1.1
Statische Einzelbaumdaten	Tree Static	ts	2.1.2
Variable Einzelbaumdaten	Tree Variable	tv	2.1.3
Statische Standortsinformationen	Plot Static	ps	2.1.4
Variable Standortsinformationen	Plot Variable	pv	2.1.5
Konvertierung von eindeutiger Baumnummer zu ÖWI Baumnummer	Tree Number	tn	2.1.6
Klima Stundenwerte	Hour Value	h	2.2.1
Klima Tageswerte	Day Value	d	2.2.1
Klima Monatswerte	Month Value	m	2.2.1
Klima Stationsbeschreibung	Station	s	2.2.2

Bohrkerne wurden in der Zuwachsdatentabelle abgelegt. Die Baumdaten wurden weiter unterteilt in jene, die sich nicht verändern können (z. B. die Baumart) und jene, die im Lauf der Zeit eine Veränderung erfahren können (z. B. Baumhöhe). Die Unterteilung in statische (z. B. Seehöhe) und veränderliche (z. B. Schlussgrad) Informationen wurde auch bei den Standortsdaten durchgeführt. Weiters wurden die Baumnummern so umcodiert, dass diese, unabhängig vom Aufnahmezeitpunkt, für einen Baum konstant bleiben. Damit ermöglicht die Kombination aus Trakt, Aufnahmepunkt und Baumnummer, neben der Kombination von Trakt, Aufnahmepunkt und Baumkoordinaten, eine eindeutige Zuordnung. Es wurde eine Hilfstabelle erstellt, um von der generierten eindeutigen Baumnummer auf die bei der ÖWI im jeweiligen Aufnahmejahr vergebene Baumnummer zu gelangen.

Die Klimadaten wurden je nach ihrer Aufnahmehäufigkeit (Stunde, Tag, Monat) auf unterschiedliche Tabellen aufgeteilt, wobei die Tabellenstruktur unabhängig von der Aufnahmehäufigkeit ist. Eine weitere Tabelle, welche die Aufnahmestationen beschreibt, ist im Klimadatensatz enthalten.

2.1 Österreichische Waldinventur

Im Rahmen der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) wurden von einigen Bäumen Bohrkerne geworben. Bisher liegen Daten der Jahre 1977, 1986–1990 und 2000–2002 vor. Die Daten lagen bisher in drei unterschiedlichen Datentabellen vor. Diese Tabellen konnten aufgrund ihrer Ähnlichkeit in eine Tabelle zusammengeführt werden. Erwähnenswerte Unterschiede der drei Aufnahmen bestehen im Aufnahmeraster und in der Auswahl des zu bohrenden Baumes. Permanente Aufnahmepunkte wurden im Jahre 1981 eingerichtet. Die Aufnahmen von 1977 sind auf einem eigenen Grundraster verteilt und der gebohrte Baum befindet sich auf der Probefläche. Bei den Aufnahmen 1986–1990 wurden auf Probefläche 4 alle Bäume, deren Azimut 0–199 Gon (Halbkreis) betrug, aufgenommen und von einem dieser Bäume ein Bohrkern geworben. Bei der Aufnahme 2000–2002 wurde der zu bohrende Baum von einem 30 m nördlich gelegenen Punkt aus aufgesucht. Die negative Baumnummer dieser Bäume signalisiert, dass sie sich nicht auf der angegebenen Aufnahmefläche befinden.

Von den Aufnahmen 1977 (1291 gebohrte Bäume) und 2000–2002 (2000 gebohrte Bäume) wurden nur Daten der gebohrten Bäume in die hier beschriebene Datenstruktur gebracht. Von der Aufnahmeperiode 1986–1990 (992 gebohrte Bäume) wurden die Daten aller aufgenommenen Bäume (n=78 073) verarbeitet. Die Integrierung aller Aufnahmeperioden in die beschriebene Datenstruktur kann unter Verwendung der ÖWI–Datenbank erfolgen.

2.1.1 Jährliche Zuwächse

Die Spalten der Datentabelle für die jährlichen Zuwächse sind in Tabelle 2 aufgezählt. Darin sind Spalten für die jährlichen Durchmesser– und Höhenzuwächse zu finden, wobei es derzeit keine beobachteten Höhenzuwächse gibt. Die Tabelle enthält zunächst Spalten, um den Baum eindeutig zu identifizieren (Aufnahmetrakt, Nummer des Aufnahmepunktes, Baumnummer). Wenn mehrere Bohrkerne von einem Baum geworben bzw. mehrere Radien einer Stammscheibe gemessen wurden, erlaubt die Spalte „Bohrkernnummer“ eine eindeutige Zuordnung. Die Spalte „Jahr in dem der beobachtete Zuwachs erfolgte“ erlaubt die Zuordnung des Jahrring– bzw. Höhenzuwachses zu einem bestimmten Jahr. Das Jahr der Bohrkernwerbung kann z. B. durch die SQL Abfrage “`max(iy)+1`” ermittelt werden, solange der jüngste Jahrring bei der Auswertung verworfen wurde.

2.1.2 Statische Einzelbaumdaten

Die Spalten der Datentabelle für die statischen Einzelbaumdaten sind in Tabelle 3 aufgezählt. Bäume können mittels Trakt, Punktnummer, und Baumnummer bzw. mit Trakt, Punktnummer, und Baumposition eindeutig identifiziert werden. Die Baumposition kann mit Azimut und Entfernung vom Probepunkt zum Baum bestimmt werden. Informationen über Baumart, Keimjahr,

Tabelle 2: *Datenspalten des Datensatzes „Jährliche Zuwächse“.*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
i.ex	–	Experiment	Datenquelle
i.tr	–	Trakt	Aufnahmetrakt
i.pt	–	Sample point number	Nummer des Aufnahmepunktes
i.tn	–	Tree number	Baumnummer
i.cn	–	Increment core number	Bohrkernnummer
i.iy	Jahr	Increment year	Jahr in dem der beobachtete Zuwachs erfolgte
i.ir	cm	Increment ring width	Jahrringbreite
i.ih	m	Increment height	Höhenzuwachs

Tabelle 3: *Datenspalten des Datensatzes „Statische Einzelbaumdaten“.*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
ts.ex	–	Experiment	Datenquelle
ts.tr	–	Trakt	Aufnahmetrakt
ts.pt	–	Sample point number	Nummer des Aufnahmepunktes
ts.tn	–	Tree number	Baumnummer
ts.sp	–	Species	Baumart
ts.gj	Jahr	Germination year	Keimjahr
ts.gjs	–	Source of gj	Quelle des Keimjahres
ts.di	m	Distance from plot center	Entfernung vom Probepunkt zum Baum
ts.az	°C	Azimuth	Richtung vom Probepunkt zum Baum
ts.hyl	Jahr	Harvest year low	Frühestes Nutzungsjahr
ts.hyh	jahr	Harvest year high	Spätestes Nutzungsjahr
ts.ht	–	Harvest type	Nutzungsart
ts.bf	–	Brance form	Fichtenverzweigungsform
ts.bc	–	Bloom color	Blühfarbe von Fi/Lä

Blühfarbe und bie Fichten die Verzweigungsform können abgefragt werden. Wenn ein Baum entnommen wurde, ist die Entnahmeart und der Zeitraum, in dem die Entnahme erfolgte, angeführt.

2.1.3 Variable Einzelbaumdaten

Die Spalten der Datentabelle für die variablen Einzelbaumdaten sind in Tabelle 4 aufgezählt. Diese Tabelle kann eventuell noch mit der Spalte „Blowup Faktor“ (repräsentierte Stammzahl je Hektar) ergänzt werden, um die Hochrechnung auf Hektarwerte zu erleichtern. In dieser Tabelle wird für ein bestimmtes Aufnahmejahr Durchmesser, Höhe, Kronendaten, Schädigungen, Baumklassen, Schäden und Qualitätsmerkmale angegeben.

2.1.4 Statische Standortsinformationen

Die Spalten der Datentabelle für die statischen Standortsinformationen sind in Tabelle 5 aufgezählt. Hier können geographische Lage, Lokalklima, Hangneigung, Hangrichtung, Wuchsgebiet, Wuchsraum, Relief und Bodengruppe abgefragt werden.

2.1.5 Variable Standortsinformationen

Die Spalten der Datentabelle für die variablen Standortsinformationen sind in Tabelle 6 aufgezählt. Hierin sind Informationen über Oberhöhe, Waldgesellschaft, Entwicklungsphase, Bestandesform, Totholz, Stöcke, Schlussgrad, empfohlene Pflegemaßnahmen, Schäden, Beweidung,

Tabelle 4: *Datenspalten des Datensatzes „variable Einzelbaumdaten“.*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
tv.ex	–	Experiment	Datenquelle
tv.y	Jahr	Observation year	Aufnahmejahr
tv.tr	–	Trakt	Aufnahmetrakt
tv.pt	–	Sample point number	Nummer des Aufnahmepunktes
tv.tn	–	Tree number	Baumnummer
tv.d	cm	Diameter at breast height	Brusthöhendurchmesser
tv.h	m	Height	Baumhöhe
tv.hc	m	Height to the crown base	Höhe des Kronenansatzes
tv.cr	–	Life crown ratio	Kronenanteil
tv.d03	cm	Diamter at 0.3*h	Stammdurchmesser in 0,3*h
tv.dm	m	Measurement height of the DBH	Messhöhe des BHD
tv.hm	–	Height measured or calculated	Baumhöhe gemessen/errechnet
tv.hcm	–	Height to the crown base measured or calculated	Kronenansatzhöhe gemssen oder errechnet
tv.d03m	–	measured or calculated	d03 gemessen oder berechnet
tv.bo	–	Border	Bestandesrand
tv.tc	–	Tree class	Baumklasse
tv.ds	–	Stage of development	Wuchsklasse
tv.qc	–	Quality class	Schaftgüteklasse
tv.rt	–	Recommended treatment	Auszeige/Pflegemaßnahmen
tv.cco	–	Crown condition	Kronenzustand
tv.ccw	–	Crown condition tree top	Kronenzustand Wipfelregion
tv.nl	–	Needle loss	Entnadelungstyp
tv.rs	–	Rotten stump	Stockfäule
tv.da1	–	Damage 1	Schaden 1
tv.da2	–	Damage 2	Schaden 2
tv.da3	–	Damage 3	Schaden 3
tv.np	–	Number of peeling damages	Anzahl Schälwunden
tv.mt	–	Mistletoe/Adventiv branch	Mistel/Wasserreiser Befall
tv.lb	m	Length of the broken stem part	Länge des abgebrochenen Stammteils
tv.ag	–	Advance growth	Vorwuchs
tv.dt	–	Drought tree	Dürrling
tv.ft	–	Forked tree	Zwiesel

Tabelle 5: *Datenspalten des Datensatzes „Statische Standortsinformationen“.*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
ps.ex	–	Experiment	Datenquelle
ps.tr	–	Trakt	Aufnahmetrakt
ps.pt	–	Sample point number	Nummer des Aufnahmepunktes
ps.cl	–	Mesoclimate	Lokalklima
ps.ep	–	Exposition, aspect	Hangneigungsrichtung
ps.gd	–	Growth district	Wuchsgebiet
ps.gr	–	Growth region	Wuchsraum
ps.hw	m	Northing	Hochwert
ps.nn	m	Altitude	Seehöhe
ps.re	–	Relief	Relief
ps.rw	m	Easting	Rechtswert
ps.sg	–	Soil group	Bodengruppe
ps.sl	–	Slope	Hangneigung

Humus, Gründigkeit, Sträucher, Stabilität, Betriebsart, Bestandesaufbau, Vegetationstyp und Wasserhaushalt enthalten. Eine Unterteilung in Unterflächen ist möglich.

2.1.6 Konvertierung von eindeutiger Baumnummer zu ÖWI Baumnummer

Die Spalten der Datentabelle sind in Tabelle 7 aufgezählt. Da in diesem Datensatz die Angabe von Trakt, Aufnahmepunkt und Baumnummer eindeutig einem Baum zuzuordnen ist, konnten die Baumnummern der ÖWI nicht verwendet werden. Um die Information der Originalbaumnummer nicht zu verlieren, kann mit den Eingangsdaten Trakt, Aufnahmepunkt, Baumnummer und Aufnahmejahr die Originalbaumnummer der ÖWI samt der zugehörigen Unterflächennummer abgefragt werden. Diese Umcodierung bringt vorläufig wenig Vorteile, da bisher nur von der Aufnahmeperiode 1986–1990 alle Baumdaten in diese Struktur übergeführt wurden und somit keine durchgehende Messreihe über mehrere Aufnahmeperioden zustandekommt. Bäume, welche für die Errechnung von Hektarwerten nicht verwendet werden dürfen, da sie mit der üblichen Aufnahmemethode nicht in die Stichprobe fallen, haben negative Baumnummern. Dies ist bei den gebohrten Bäumen der Aufnahme 2000–2002 der Fall.

2.1.7 Beschreibung der Spalteninhalte

Im Folgenden sind die möglichen Spalteninhalte der Bohrkerndaten beschrieben.

Spaltenname [Einheit] <Enthalten in Tabelle>: Beschreibung

aft [–] <pv>: *Auxiliary forest type*; *Aktuelle Waldgesellschaft Mischtyp*: Kodierung gleich wie mft

ag [–] <tv>: *Advance growth*; *Vorwuchs*: 0…weder Überhälter noch Vorwuchs, 1…Überhälter, 2…Vorwuchs

atl [%] <pv>: *Anthropogenic share of dead lying wood*; *Anthropogener Anteil am liegenden Totholz ab 20 cm Durchmesser in %*

ats [%] <pv>: *Anthropogenic share of stumps*; *Anthropogener Anteil (Stöcke) an der Stockmasse ab 20 cm Durchmesser in %*

az [°] <ts>: *Azimuth*; *Richtung vom Probepunkt zum Baum*

bc [–] <ts>: *Bloom color*; *Blühfarbe von Fi/Lä*: Für *Fichte* gilt: 1…Keine Angabe, 2…Rote Blüten bzw. rote, stehende Zapfen, 3…Grüne Blüten bzw. grüne, stehende Zapfen, 4…Grünrote Blüten bzw. grün-rote, stehende Zapfen, 5…Rote, liegende oder hängende Zapfen,

Tabelle 6: *Datenspalten des Datensatzes „variable Standortsinformationen".*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
pv.ex	–	Experiment	Datenquelle
pv.y	Jahr	Observation year	Aufnahmejahr
pv.tr	–	Trakt	Aufnahmetrakt
pv.pt	–	Sample point number	Nummer des Aufnahmepunktes
pv.sa	–	Subarea, Subplot	Unterflächennummer
pv.aft	–	Auxiliary forest type	Aktuelle Waldgesellschaft Mischtyp
pv.atl	%	Anthropogenic share of dead lying wood	Anthropogener Anteil am liegenden Totholz ab 20 cm Durchmesser in %
pv.ats	%	Anthropogenic share of stumps	Anthropogener Anteil (Stöcke) an der Stockmasse ab 20 cm Durchmesser in %
pv.ccc	–	Crown canopy closure	Schlussgrad
pv.cm	–	Care maintenance	Vorschlag von Pflegemaßnahmen
pv.df	–	Fraying damage by deer	Fegeschaden
pv.dh	–	Damage harvest	Fällschaden
pv.dp	–	Damage peeling	Schälschaden
pv.du	%	Drought tree share	Dürrlingsanteil am geschätzten Vorrat im begehbaren Schutzwald außer Ertrag
pv.dv	–	Phase of development	Entwicklungsphase
pv.ew	–	Earthwork	Bodenbewegung
pv.ge	–	Game ecology	Wildökologische Einflussgrößen
pv.hf	cm	Humus f layer	F-Schicht
pv.hh	cm	Humus h layer	H-Schicht
pv.hu	–	Humus type	Humusart
pv.hut	cm	Humus thickness	Humusmächtigkeit
pv.mft	–	Main forest type	Aktuelle Waldgesellschaft Leittyp
pv.mi	–	Forest managment intensiy	Intensität der Waldbewirtschaftung
pv.mx	–	Admixture	Aktuelle Waldgesellschaften-Beimischung
pv.nf	–	Natural forest community	Natürliche Waldgesellschaft
pv.npf	–	Type of nonprofit forest	Art des Holzbodens außer Ertrag
pv.os	–	Ownership	Eigentumsart
pv.sao	–	Old subarea/subplot	Teilflächenherkunft – alte Unterflächennummer
pv.sd	–	Soil depth	Gründigkeit
pv.sf	–	Stand form	Bestandesform
pv.si	m	Site index	Oberhöhe
pv.sn	1/10	Share non wood	Nichtwaldanteil: in Zehntel Flächenanteilen
pv.sr	1/10	Shrub	Sträucher im Bestand
pv.ss	–	Stand stability	Bestandesstabilität
pv.ssy	–	Silvicultural system	Hauptbetriebsart
pv.st	–	Structure	Bestandesstruktur - Aufbau
pv.sw	1/10	Share of wood	Waldanteil
pv.vts	–	Source of vegetation type	Aktuelle Bodenvegetation - Datenquelle
pv.vt	–	Vegetation type	Vegetationstyp
pv.wb	–	Water budget	Wasserhaushalt

Tabelle 7: *Datenspalten des Datensatzes „Baumnummernkonvertierung“.*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
tn.ex	–	Experiment	Datenquelle
tn.y	Jahr	Observation year	Aufnahmejahr
tn.tr	–	Trakt	Aufnahmetrakt
tn.pt	–	Sample point number	Nummer des Aufnahmepunktes
tn.sa	–	Subarea, Subplot	Unterflächennummer
tn.tn	–	Tree number	Baumnummer
tn.tnn	–	New tree number	Baumnummer der ÖWI in diesem Jahr
tn.tno	–	Old tree number	Baumnummer der ÖWI bei letzter Inventur

6…Grüne, liegende oder hängende Zapfen, 7…Grün-rote, liegende oder hängende Zapfen, Für *Lärche* gilt: 1…Keine Angabe, 2…Rote Blüten bzw. rote Zapfen, 3…Grüne Blüten bzw. grüne Zapfen, 4…Grün-rote Blüten bzw. grün-rote Zapfen

bf [–] <ts>: *Brance form*; *Fichtenverzweigungsform*: 1…Kamm- Typ, 2…Kamm- Bürsten-Mischtyp, 3…Bürsten- Typ, 4…Bürsten- Platten- Mischtyp, 5…Platten- Typ, 6…Unbestimmbarer Mischtyp

bo [–] <tv>: *Border*; *Bestandesrand*: Mit Windmantel: 1…Bäume die den unmittelbaren Bestandesrand bilden, 2…Bäume mit einem Abstand vom Bestandesrand (Trauf) bis 25 m, 3…Bäume mit einem Abstand vom Bestandesrand (Trauf) größer als 25 m, Ohne Windmantel: 4 ≙ 1 , 5 ≙ 2, 6 ≙ 3

ccc [–] <pv>: *Crown canopy closure*; *Schlussgrad*: 1…Licht, locker gleichmäßig, 2…Licht, locker lückig, 3…Geschlossen gleichmäßig, 4…Geschlossen lückig, 5…Dicht gleichmäßig, 6…Dicht lückig

cco [–] <tv> *Crown condition*; *Kronenzustand*: 1…keine Verlichtung, 2…schwache Verlichtung, 3…mittlere Verlichtung, 4…starke Verlichtung, 5…Krone abgestorben

ccw [–] <tv>: *Crown condition tree top*; *Kronenzustand Wipfelregion*: *Fichte:* 1…kein bedeutend negativer Unterschied gegenüber der übrigen Krone, 2…beginnende Verlichtung der unteren Wipfelregion, 3…starke Verlichtung der unteren Wipfelregion, 4…untere Wipfelregion kahl, 5…Wipfelregion abgestorben und übrige Krone verlichtet, 6…Wipfel “verbuscht”, 7…Wipfel “spindelig”, 8…Wipfel nadellos oder abgestorben, übrige Krone normal, 9…nicht beurteilbar (wegen Wipfelbruch); *Tanne:* 1…kegelförmige Wipfelregion, ohne abgestorbene Hauptäste 2…kegelförmige Wipfelregion mit abgestorbenen Hauptäste 3…storchennestförmige Wipfelregion ohne abgetorbene Hauptäste 4…storchennestförmige Wipfelregion mit abgetorbenen Hauptäste 5…nicht beurteilbar (wegen Wipfelbruch); *Kiefer:* 1…normal entwickelt, kegelförmig, 2…normal entwickelt, aber auf oberste Quirle beschränkte Entnadelung bs auf einen Nadeljahrgang, Wipfelregion erscheint im Vergleich zur übrigen Krone verlichtet, 3…abgeflachte (schirmförmige) Krone, 4…fahnenförmige Wipfelregion, 5…Wipfelregion abgestorben (und übrige Krone eventuell verlichtet), 6…nicht beurteilbar (wegen Wipfelbruch)

cl [–] <ps>: *Mesoclimate*; *Lokalklima*: 1…durchschnittliches Lokalklima, 2…luftfeuchtes Lokalklima, 3…Kaltseelage, Nur subalpine Stufe: 4…überdurchschnittliche Schneebedeckungsdauer, 5…unterdurchschnittliche Schneebedeckungsdauer

cm [–] <pv>: *Care maintenance*; *Vorschlag von Pflegemaßnahmen*: 0…Keine Pflegemaßnahme; Jungwuchspflege: 1…Kulturpflege, 2…Standraumerweiterung; Durchforstung: 3…Positive Auslese (Auslesedurchforstung), 4…Negative Auslese, 5…Verjüngungshieb, 6…Räumung (Überhälter und Schadbestände), 7…Entrümpelung, 8…Lichtwuchsdurchforstung

cn [–] <i>: *Increment core number*; *Bohrkernnummer*: Eindeutige Nummer wenn von einem Baum mehrere Bohrkerne vorliegen bzw. bei mehreren Messungen an Stammscheiben.

cr [–] <tv>: *Life crown ratio*; *Kronenanteil*: Kronenlänge/Baumhöhe

d [cm] <tv>: *Diameter at breast height*; *Brusthöhendurchmesser*

d03 [cm] <tv>: *Diameter at 0.3*h*; *Stammdurchmesser in 0.3*h*

d03m [–] <tv>: *Measured or calculated*; *d03 gemessen oder berechnet*: 0...gemessen 1...berechnet

da1 [–] <tv>: *Damage 1*; *Schaden 1*: 00...ohne Schädigung, 10...Schädigung durch Fegen und/oder Schlagen, 20...Schädigung durch Schälen (Schälwunden im Schaft und Wurzelbereich), 31...Schädigung durch Fällung und/oder Bringung, 32...Schädigung durch Steinschlag, 33...Zuteilung zu 31 oder 32 nicht möglich, 40...Wipfelbruch mit lebensfähiger Restkrone, 50...Kronenbruch bzw. Wipfelbruch ohne lebensfähige Restkrone, Schaftbruch und Hänger (gebogene Bäume), 60...Ehemaliger Wipfelbruch, Ersatzwipfel, 70...Sonstige Schädigungen, 80...Schädigung durch Harzgewinnung

da2 [–] <tv>: *Damage 2*; *Schaden 2*: Gleiche Codierung wie da1

da3 [–] <tv>: *Damage 3*; *Schaden 3*: Gleiche Codierung wie da1

df [–] <pv>: *Fraying damage by deer*; *Fegeschaden*: 1...keine Fege/Schlagschädigung, 2...Fege/Schlagschädigung

dh [–] <pv>: *Damage harvest*; *Fällschaden*: 0...keine Schädigung durch Fällung, Bringung, Steinschlag, 1...1 Stamm geschädigt, 2...bis zu 1/3 der Stämme der Teilfläche ist geschädigt, 3...1/3 bis 2/3 der Stämme der Teilfläche ist geschädigt, 4...mehr als 2/3 der Stämme der Teilfläche ist geschädigt

dm [m] <tv>: *Measurement height of the DBH*; *Messhöhe des BHD*

di [m] <ts>: *Distance from plot center*; *Entfernung vom Probepunkt zum Baum*

dp [–] <pv>: *Damage peeling*; *Schälschaden*: 0...keine Schädigung durch Schälen, 1...ein Stamm geschält, 2...bis zu 1/3 der Stämme der Teilfläche ist geschält, 3...1/3 bis 2/3 der Stämme der Teilfläche ist geschält, 4...mehr als 2/3 der Stämme der Teilfläche ist geschält

ds [–] <tv>: *Stage of development*; *Wuchsklasse*: 0...Blöße, 1...Bestandeslücke, 2...Jugend I: Bis 1,3 m, 3...Jugend II: Über 1,3 m Höhe; bis 104 mm BHD, 4...Stangenholz: ab 105 bis 204 mm BHD, 5...Baumholz I: ab 205 bis 354 mm BHD, 6...Baumholz II: ab 355 bis 504 mm BHD, 7...Starkholz: ab 505 mm BHD

dt [–] <tv> *Drought tree*; *Dürrling*: 0...kein Dürrling, 1...unbedeutender Dürrling, 2...bedeutender Dürrling

du [%] <pv>: *Drought tree share*; *Dürrlingsanteil am geschätzten Vorrat im begehbaren Schutzwald außer Ertrag*

dv [–] <pv>: *Phase of development*; *Entwicklungsphase*: 1...Jungwuchs- und Initialphase, 2...Übergangsphase, 3...Optimalphase, 4...Terminalphase, 5...Zerfallsphase beginnend, 6...Zerfallsphase fortgeschritten, 7...Verjüngungsphase, 8...Plenterphase, 9...Latsche, Grünerle

ep [–] <ps>: *Exposition*; *Hangneigungsrichtung*: 0...eben, 1...N, 2...NO, 3...O, 4...SO, 5...S, 6...SW, 7...W, 8...NW

ew [–] <pv>: *Earthwork*; *Bodenbewegung*: 0...keine Bodenbewegungen, 1...Rutschungen, 2...Erosionen

ex [–] <i/ps/pv/tn/ts/tv> *Experiment*; *Datenquelle*: i…Österreichische Waldinventur

ft [–] <tv>: *Forked tree*; *Zwiesel*: 0…kein Zwiesel, 1…Zwiesel

gd [–] <ps>: *Growth district*; *Wuchsgebiet*: 1.1…Innenalpen - kontinentale Kernzone, 1.2…Subkontinentale Innenalpen - Westteil, 1.3…Subkontinentale Innenalpen - Ostteil, 2.1…Nördliche Zwischenalpen - Westteil, 2.2…Nördliche Zwischenalpen - Ostteil, 3.1…Östliche Zwischenalpen - Nordteil, 3.2…Östliche Zwischenalpen - Südteil, 3.3…Südliche Zwischenalpen, 4.1…Nördliche Randalpen - Westteil, 4.2…Nördliche Randalpen - Ostteil, 5.1…Niederösterreichischer Alpenostrand (Thermenalpen), 5.2…Bucklige Welt, 5.3…Ost- und Mittelsteirisches Bergland, 5.4…Weststeirisches Bergland, 6.1…Südliche Randgebirge, 6.2…Klagenfurter Becken, 7.1…Nördl. Alpenvorland - Westteil, 7.2…Nördl. Alpenvorland - Ostteil, 8.1…Pannonisches Tief- und Hügelland, 8.2…Subillyrisches Hügel- und Terrassenland, 9.1…Mühlviertel, 9.2…Waldviertel

ge [–] <pv>: *Game ecology*; *Wildökologische Einflussgrößen*: 0…keine Einflussgröße vorhanden, 1…Beweidung, 2…Teilfläche liegt im Wintergatter, 3…Teilfläche unter Zaunschutz

gj [Jahr] <ts>: *Germination year*; *Keimjahr*

gjs [–] <ts>: *Source of gj*; *Quelle des Keimjahres*: 1…Bohrung Mark getroffen, 2…Bohrung Mark fast getroffen, 3…BohrungBHD, 4…Ansprache Altersklasse(20 Jahre), 5…Ansprache Altersstufe(5 Jahre)

gr [–] <ps>: *Growth region*; *Wuchsraum*: 1…Mühl- und Waldviertel, 2…Östliches (pannonisches) Trockengebiet, 3…Nördliches Alpenvorland - Ostteil, 4…Nördliches Alpenvorland - Westteil, 5…Kobernaußerwald, 6…Alpenostrand, 7…Flyschalpen, 8…Westliche Flyschalpen, 9…Nördliche Kalkalpen - Ostteil, 10…Nördliche Kalkalpen - Westteil, 11…Nördliche Zentralalpen - Ostteil, 12…Nördliche Zentralalpen - Westteil, 13…Zentralalpen, 14…Kontinentale Zentralalpen, 15…Südliche Zentralalpen, 16…Klagenfurter Becken, 17…Österreichische Südalpen, 18…Südöstliche Randalpen, 19…Bucklige Welt, 20…Südöstliches Hügel- und Terrassenland, 21…Mittelburgenländisches Bergland

h [m] <tv>: *Height*; *Baumhöhe*

hc [m] <tv>: *Height to the crown base*; *Höhe des Kronenansatzes*

hcm [–] <tv>: *Height to the crown base measured or calculated*; *Kronenansatzhöhe gemessen oder errechnet*: 0…gemessen, 1…berechnet

hf [cm] <pv>: *Humus f layer*; *F-Schicht*:

hh [cm] <pv>: *Humus h layer*; *H-Schicht*:

hm [–] <tv>: *Height measured or calculated*; *Baumhöhe gemessen/errechnet*: 0…gemessen 1…berechnet

hut [cm] <pv>: *Humus thickness*; *Humusmächtigkeit*:

ht [–] <ts>: *Harvest type*; *Nutzungsart*: 0…Natürlicher Abgang, 1…Kahlhieb, Rodung und Trassenaufhieb, 2…Standraumerweiterung und Läuterung, 3…positive Auslese, 4…negative Auslese (Niederdurchforstung), 5…Verjüngungshieb, 6…Räumung, 7…Entrümpelung, 8…Einzelstammentnahme und Kleinflächennutzung (bis 500 m2), 9…Zufallsnutzung

hw [m] <ps>: *Northing*; *Hochwert*

hu [–] <pv>: *Humus type*; *Humusart*: 0…keine Humusform ansprechbar od. nicht vorhanden, 1…Mull- günstige Humusform., 2…moderartiger Mull / mullartiger Moder, 3…Moder, 4…Rohhumus, 5…Hydromorpher Humus, 6…Torf

hyh [jahr] <ts>: *Harvest year high*; *Spätestes Nutzungsjahr*

hyl [Jahr] <ts>: *Harvest year low*; *Frühestes Nutzungsjahr*

ih [m] <i> *Increment height*; *Höhenzuwachs*

ir [cm] <i>: *Increment ringwidth*; *Jahrringbreite*

iy [Jahr] <i>: *Increment Year*; *Jahr in dem der beobachtete Zuwachs erfolgte*

lb [m] <tv>: *Length of the broken stem part*; *Länge des abgebrochenen Stammteils*

mft [–] <pv>: *Main forest type*; *Aktuelle Waldgesellschaft Leittyp*: *Unbestockte Flächen:* 0...kein Leittyp; *Nadelwälder- Leit/Misch-Typen:* 1...Fichtenwälder, 2...Tannenwälder, 3...Kiefernwälder, 4...Lärchenwälder, 5...Zirbenwälder, 6...Nadel- Ausländer, 7...Sonstige Nadelwälder; *Laubwald- Leit/Misch-Typen:* 8...Buchenwälder, 9...Eichenwälder, 10...Hartlaubwälder, 11...Weichlaubwälder, 12...Laub- Ausländer

mi [–] <pv>: *Forest managment intensiy*; *Intensität der Waldbewirtschaftung*: 0...keine Angabe möglich (unbestockt), 1...intensiv, 2...extensiv (naturnah) bewirtschaftet

mt [–] <tv>: *Mistletoe/Adventiv branch*; *Mistel/Wasserreiser Befall*: 1...keine Wasserreiserbildung und kein Mistelbefall, 2...schwache Wasserreiserbildung und kein Mistelbefall, 3...starke Wasserreiserbildung und kein Mistelbefall, 4...keine Wasserreiserbildung und schwacher Mistelbefall, 5...keine Wasserreiserbildung und starker Mistelbefall, 6...schwache Wasserreiserbildung und schwacher Mistelbefall, 7...schwache Wasserreiserbildung und starker Mistelbefall, 8...starke Wasserreiserbildung und schwacher Mistelbefall, 9...starke Wasserreiserbildung und starker Mistelbefall

mx [–] <pv>: *Admixture*; *Aktuelle Waldgesellschaften-Beimischung*: 0...keine Angabe möglich (unbestockt), 1...reine Leit/Mischtypen, 2...Beimischung von Nadel-Lichtbaumarten, 3...Beimischung von Nadel-Schattbaumarten, 4...Beimischung von Hartlaubbaumarten, 5...Beimischung von Weichlaubbaumarten

nf [–] <pv>: *Natural forest community*; *Natürliche Waldgesellschaft*: 01...Lärchen - Zirbenwälder, 02...Lärchenwald, 03...Subalpiner Fichtenwald, 04...Montaner Fichtenwald, 05...Fichten - Tannenwald, 06...Fichten - Tannen - Buchenwald, 07...Buchenwald, 08...Eichen-Hainbuchenwald: (Traubeneichen-Hainbuchenwald, Stieleichen-Hainbuchenwald, Zerreichen-Mischwald), 09...bodensaurer Eichenwald (ohne Hainbuche), 10...thermophiler Eichenwald (Flaumeichenwald), 11...Kiefern-Stieleichenwald, 12...Lindenmischwald, 13...Bergahornwald, 14...Bergahorn - Eschenwald, 15...Schwarzerlen - Eschenwald, 16...Schwarzerlen - Bruchwald, 17...Grauerlenwald, 18...Spirkenwälder (Bergkiefern-, Moorkiefernwald), 19...Latschengebüsche (alpine Latschengebüsche, Latschenmoorwald), 20...Weißkiefern-Birken - Moorwald, 21...Karbonat - Kiefernwald, 22...Silikat - Kiefernwald, 23...Schwarzkiefernwald (Schwarzkiefernwald des Alpenostrandes und südostalpiner Hopfenbuchen- Schwarzkiefernwald), 24...Auwälder, 25...Bacheschenwald, 26...Grünerlengebüsch

nl [–] <tv>: *Needle loss*; *Entnadelungstyp*: 1...keine Entnadelung, 2...Entnadelung von innen nach außen, 3...Entnadelung von außen nach innen, 4...Entnadelung unregelmäßig, 5...Entnadelung auf lokale Bereiche der Krone beschränkt, 6...Es fehlen 1-2 der mittleren Nadeljahrgänge, 7...Verlichtung überwiegend infolge von Seitentriebverlusten

nn [m] <ps>: *Altitude*; *Seehöhe*

np [–] <tv>: *Number of peeling damages*; *Anzahl Schälwunden*

npf [–] <pv>: *Type of nonprofit forest*; *Art des Holzbodens außer Ertrag*: *Flächen, die unmittelbar dem Forstbetrieb dienen:* 11…nichtöffentliche Waldstraßen und deren Bauwerke, 12…ständige Holzlagerplätze, 13…forstliche Sonderkulturen, 14…Wildfütterungen und Wildäcker auf Waldboden, 15…Liefergassen, Schneisen und Wirtschaftsstreifen; *Flächen, die nicht forstlichen Zwecken dienen:* 20…Leitungstrassen, 22…Quellfassungen; *Flächen, die natur- od. naturschutzbedingt der Holzproduktion entzogen sind:* 30…Lawinengänge, Runsen und Rinnen, 31…Urwälder, Wildparks

os [–] <pv>: *Owner ship*; *Eigentumsart*: 1…Kleinwald bis zu 200 ha Katasterwaldfläche, 3…Österreichische Bundesforste AG, 4…Privatwald über 200 bis 1.000 ha Katasterwaldfläche, 5…Privatwald über 1.000 ha Katasterwaldfläche, 6…Wälder von Gebietskörperschaften (Bund, Länder, Gemeinden) über 200 ha Katasterwaldfläche

pt [–] <i/ps/pv/tn/ts/tv>: *Sample point number*; *Nummer des Aufnahmepunktes*: Punkt 0 liegt exakt auf den Traktkoordinaten, Punkt 8 liegt 200 m westlich von Pkt.0, Pkt.16 liegt 200 m westlich und 200 m nördlich von Pkt. 0 und Pkt. 24 liegt 200 m nördlich von Pkt.0.

qc [–] <tv>: *Quality class*; *Schaftgüteklasse*: 0…Probestämme von 50 bis 204 mm BHD, 1…Schaft gerade vollholzig, weitgehend astrein, ohne gesundheitliche oder technische Fehler, 2…astig oder mit geringen Fehlern sonst Schaft wie unter 1, 3…Schaft krumm stark astig oder abholzig sowie Schaft mit schweren gesundheitlichen oder sonstigen technischen Fehlern

re [–] <ps>: *Relief*; *Relief*: 1…Oberhang und Rücken, 2…Mittelhang, 3…Unterhang, 4…Grabeneinhang, 5…Talboden, 6…Ebene, 7…Mulde

rs [–] <tv>: *Rotten stump*; *Stockfäule*: 0…kein Stock vorhanden (deshalb nicht beurteilbar), 1…Stock ist gesund, 2…Stock ist hartfaul oder verfärbt (aber nicht natürliche Kernfarbe), 3…Stock ist weichfaul

rt [–] <tv>: *Recomended treatment*; *Auszeige/Pflegemaßnahmen*: 0…Keine Auszeige / Pflegemaßnahme, 2…Standraumerweiterung (Läuterung bzw. Stammzahlreduktion), 3…Positive Auslese (Auslesedurchforstung), Z-Baumauswahl und Entnahme von Bedrängern, 4…Negative Auslese (vorbereitende Durchforstung), 5…Verjüngungshieb, 6…Räumung, 7…Entrümpelung, 8…Lichtwuchsdurchforstung (Kronenförderung der Hauptwertträger in höherem Alter durch Entfernen von einengenden Nachbarn)

rw [m] <ps>: *Easting*; *Rechtswert*:

sa [–] <i/pv/tn/ts/tv>: *Subarea/Subplot*; *Unterflächennummer*:

sao [–] <pv>: *Old subarea/subplot*; *Teilflächenherkunft-alte Unterflächennummer*

sd [–] <pv>: *Soil depth*; *Gründigkeit*: 1…0 - 30 cm seichtgründig, 2…Über 30 cm mittel- und tiefgründig, 3…Sonstige

sf [–] <pv>: *Stand form*; *Bestandesform*: 1…Gleichförmig, 2…Trupps oder Gruppen, 3…Einzelindividuen

sg [–] <ps>: *Soil group*; *Bodengruppe*: 01…Rohböden und Ranker, 02…Braunerde und Hangkolluvien auf ärmerem Kristallin, 03…Braunerde und Kolluvien auf basenreichem Kristallin und kalkbeeinflusste Braunerde, 04…Semipodsol auf Kristallin, 05…Klimabedingter Podsol, 06…Substratbedingter Podsol, 07…Substratbedingter Podsol Variante mit erhöhter Wasserzufuhr, 08…Leichte Braunerde und podsolige Braunerde auf Lockersedimenten, 09…Bindige Braunerde und Parabraunerde auf Moränen, 10…Braunerde und Parabraunerde auf Löss, 11…Pseudogley auf Flysch Werfener Schichten, Fleckenmergel und anderem tonhältigem, festem Grundgestein, 12…Pseudogley auf Löss, 13…Pseudogley auf sonstigen Lockersedimenten, 14…Hangpseudogley und Hanggley,

15...Alte Verwitterungsdecken, 16...Tschernosem, 17...Rendsina und Rohböden auf Kalk, 18..."Mischböden" aus Rendsina und Terra fusca, 19...Terra fusca und Kalksteinlehm allgemein, 20...Grundwassergley, 21...Schwemmböden und Bachauböden, 22...Fluss- und Stromauböden, 23...Anmoor, 24...Niedermoor, 25...Hochmoor, 26...Kunstböden

si [m] <pv>: *Site index*; *Oberhöhe*

sl [–] <ps>: *Slope*; *Hangneigung*: 00...0 - 5%, 01...6 - 10%, 02...11 - 20%, ..., 09...81 - 90%, 10...91 - 100%, 11...101 - 110%, 12...>110%

sn [1/10] <pv>: *Share non wood*; *Nichtwaldanteil: in Zehntel Flächenanteilen*

sp [–] <ts>: *Species*; *Baumart*: 1.0...Fichte (P. abies), 2.0...Tanne (A. alba), 3.0...Lärche (L. decidua), 4.0...Weißkiefer (P. sylvestris), 5.0...Schwarzkiefer (P. nigra), 6.0...Zirbe (P.cembra), 7.0...Weymouthskiefer, 8.0...Douglasie, 9.0...sonst. Nadelbaumarten, 9.1...andere Fichten, 9.2...andere Tannen, 9.3...andere Kiefern, 9.4...andere Lärchen, 9.5...Spirke, 9.6...Eibe, 10.0...Rotbuche, 11.0...Eichen (-arten), 12.0...Weißbuche, 13.0...Eschen (-arten), 14.0...Ahorn (-arten), 15.0...Ulmen (-arten), 16.0...Edelkastanie, 17.0...Robinie, 18.0...Sorbus-Prunusarten allg., 18.1...Vogelkirsche, 18.2...Elsbeere, 18.3...Eberesche, 20.0...Birken (-arten), 21.0...Schwarzerle, 22.0...Weißerle, 23.0...Linden (-arten), 24.1...Aspe, 24.2...Weiß (od. Silberpappel), 25.0...Schwarzpappel, 26.0...Hybridpappel, 27.0...Baumweide, 31.0...sonst. Hartlaubbaumarten, 31.1...Walnuss, 31.2...Schwarznuss, 31.3...Hopfenbuche, 31.4...Apfel, Birne, 32.0...sonst. Weichlaubbaumart., 33.0...forstl. relevante Sträucher (Grünerle, Latsche)

sr [1/10] <pv>: *Shrub*; *Sträucher im Bestand*: Angabe in Flächen-Zehntelanteilen

ss [–] <pv>: *Stand stability*; *Bestandesstabilität*: 1...Stabil, 2...Stabil - labil, 3...Labil - kritisch, 4...Kritisch - instabil, 5...Latsche, Grünerle

ssy [–] <pv>: *Silvicultural system*; *Hauptbetriebsart*: Vierstellig codiert *ABCD*; A=1...Hochwald, A=2...Ausschlagwald, B=0...Keine Zuordnung möglich, B=1...Land-Ausschlagwald, B=2...Auen-Ausschlagwald, C=1...Wirtschaftswald, C=2...Schutzwald im Ertrag, C=3...Schutzwald außer Ertrag, D=1...Holzboden, D=2...Holzboden außer Ertrag, D=3...Strauchfläche, D=4...unbegehbarer Schutzwald außer Ertrag

st [–] <pv>: *Structure*; *Bestandesstruktur - Aufbau*: 1...Einschichtig, 2...Zweischichtig, 3...Stufig und mehrschichtig

sw [1/10] <pv>: *Share of wood*; *Waldanteil*: Zehntel- Flächenanteile

tc [–] <tv>: *Tree class*; *Baumklasse*: *Einschichtige Bestände:* 11...Vorherrschende Bäume mit kräftig entwickelten Kronen, 12...Herrschende den Hauptbestand bildende Bäume, Krone gut entwickelt, 13...Gering mitherrschende Bäume, Krone schwach entwickelt und eingeengt, 14...Beherrschte Bäume entweder zwischenständig mit nicht überschirmten, einseitig entwickelten oder zusammengedrückten Kronen oder teilweise unterständig mit überschirmten Kronen, 15...Ganz unterständige Bäume, Krone entweder noch lebend, aber absterbend oder bereits abgestorben; *Zweischichtige, stufige und mehrschichtige Bestände: Oberschicht (2/3 - 1/1 der Oberhöhe):* 21...Oberschicht, sehr vital und kräftig, 22...Oberschicht normal, aufsteigende, 23...Zur Oberschicht, kümmernd, absteigend; *Mittelschicht (1/3 - 2/3 der Oberhöhe):* 24...Mittelschicht, sehr vital, aufsteigend, 25...Mittelschicht, normal, aufsteigend, 26...Mittelschicht, kümmernd, absteigend; *Unterschicht (bis 1/3 der Oberhöhe):* 27...Unterschicht, sehr vital, aufsteigend, 28...Unterschicht, normal, aufsteigend, 29...Unterschicht, kümmernd, absteigend

tn [–] <i/tn/ts/tv>: *Tree number*; *Baumnummer*

tnn [–] <tn>: *New tree number*; *Baumnummer der ÖWI im laufenden Jahr*

tno [–] <tn>: *Old tree number*; *Baumnummer der ÖWI bei letzter Inventur*

tr [–] <i/ps/pv/tn/ts/tv> *Trakt*; *Aufnahmetrakt*: 2xxxyyy…Rasternetz der Aufnahme 1977, 3xxxyyy…Rasternetz ab 1981, Aus den Traktnummern kann der Rechts- bzw. Hochwert, bezogen auf M31 des österreichischen Bundesmeldenetzes, für die Probefläche 00 errechnet werden:
1977: rw = (xxx - 1) * 2750 - 297000; hw = (yyy - 1) * 2750 + 5132750
1981: rw = (xxx - 1) * 2750 - 295625; hw = (yyy - 1) * 2750 + 5134125
Die Probefläche 08 liegt 200 m westlich, Probefläche 16 200 m westlich und 200 m nördlich und Probefläche 24 200 m nördlich von Probefläche 00.

vt [–] <pv>: *Vegetation type*; *Vegetationstyp*: 01…Schattenkräutertypen, 01.0…Nicht näher bestimmter Schattenkräutertyp, 01.1…Asperula - Sanicula Waldmeister - Sanikel - Typ, 01.2…Pulmonaria-Symphytum-Asarum Üppiger Unterhang - Typ mit Feuchtezeigern, 01.3…Dent.enneaphyllos- Mercurialis Neunblatt Zahnwurz-Bingelkraut - Typ, 02…Mäßig frische Kräutertypen, 02.0…nicht näher bestimmter mäßig frischer Kräutertyp, 02.1…Mercurialis-(Convallaria-Cyclamen) Bingelkraut-(Maiglöckchen-Zyklame)-Typ, 02.2…Primula-Hepatica Primel-Leberblümchen - Typ, 02.3…Hieracium-Melampyrum Habichtskraut-Wachtelweizen - Typ, 02.4…Kalklichtkräuter Kalklichtkräutertyp -Typ, 03…Wärmeliebende Kräutertypen, 03.0…nicht differenziert, 04…Sauerkleetypen, 04.0…Nicht näher bestimmter Sauerkleetyp, 04.1…Oxalis typicum - (Sauerklee-Schattenblümchen-Typ), 04.2…Oxalis - Farne - (Sauerklee-Farn-Typ), 04.3…Oxalis - Cardamine - Sauerklee-Schaumkraut-Typ, 04.4…Oxalis - Galium rotundifolium - (Sauerklee-Rundbl. Labkraut-Typ), 04.5…Oxalis - Homogyne alpina - (Sauerklee-Alpenlattich-Typ), 04.6…Oxalis - Vaccinium myrtillus - (Sauerklee-Heidelbeer-Typ), 04.7…Kräuterreicher Oxalis - (Kräuterreicher Sauerklee-Typ), 04.8…Oxalis - Carex brizoides - (Sauerklee - Seegras-Typ), 05…Üppiger A H D - TYP(Astmoos - Heidelbeer - Drahtschieletyp im engeren Sinn), 05.0…Nicht näher bestimmter üppiger AHD, 06…Niedriger AHD, 06.0…Nicht näher bestimmter niederer AHD, 06.1…Adlerfarn-Heidelbeertyp, 07…Moostyp, 07.0…nicht näher bestimmter Moostyp, 08…Drahtschmieletyp, 08.0…Nicht näher bestimmter Drahtschmieletyp, 09…Heidelbeer - Preiselbeer- Trockentyp (HPT), 09.0…Nicht näher bestimmter HPT-Typ, 10…Besenheidetyp (Calluna-Typ), 10.0…nicht näher bestimmter Calluna-Typ, 11…Torfmoos - Heidelbeer - Drahtschmiele - Typ (THD), 11.0…Nicht näher bestimmter THD, 11.1…Sphagnum Torfmoos - Typ (Torfmoos über wiegt), 12…Vergrasungen, 12.0…Nicht näher bestimmte Vergrasung (Mischvergrasungen), 12.1…Aira flexuosa - (Drahtschmielevergrasung), 12.2…Calamagrostis villosa - (Woll-Reitgrasvergrasung), 12.3…Calamagrostis arundinacea et c.epigeios - (Wald-u.Sandreitgrasvergrasungen), 12.4…Carex brizoides - (Seegrasseggenvergrasung), 12.5…Carex alba - (Weißseggenvergrasung), 12.6…Calamagrostis varia - (Bunt-Reitgras-Vergrasung), 12.7…Carex pilosa - (Wimpernseggen-Vergrasung), 12.8…Andere Vergrasung (Poa pratense, Festuca gigantea, Brachypodium, etc.), 13…Verhagerungstyp, 13.0…Luzula albida - (weißliche Hainsimse Typ), 14…Subalpine Zwergsträucher, 14.0…Unbestimmte subalpine Zwergsträucher, 14.1…Rhododendron - (Alpenrosen-Typ), 14.2…Vaccinium myrtillus- Vacc. uliginosum - (Heidelbeere-Rauschbeere-Beerenheide Typ), 14.3…Calluna - Juniperus nana - (Trockener Zwergstrauchtyp), 14.4…Loiseleuria und andere Polsterpflanzen, Flechten, (Gemsheide, Polsterpflanzen, Flechtentyp), 15…Erika-Typ (Schneeheidetyp), 15.0…unbestimmter Erika Typ, 16…Weidetypen, 16.0…Unbestimmter Weidetyp, 16.1…Nardus stricta - Bürstlingrasen - Typ, 16.2…Lärchwiese, 16.3…Weide mit Hochstaudentyp, Grünerle, 16.4…Wiesen, (wenn kein Nichtwald), 17…Vegetationstypen auf Extremstandorten, 18…Nassgallenvegetation, 18.0…Unbestimmte Nassgallenvegetation, 19…Hochstauden, 19.0…unbestimmte Hochstauden, 19.1…Petasites (Pestwurz) - Typ, 19.2…Adenostyles sp. (Alpendost) - Typ, 19.3…Schlagflora, 19.4…Impatiens (Springkraut) - Typ, 19.5…Nitratflora im Bestand, 20…Auwaldtypen, 20.0…unbestimmte Auwaldtypen, 20.1…Weicher Auwaldtyp, 20.2…Harter Auwaldtyp

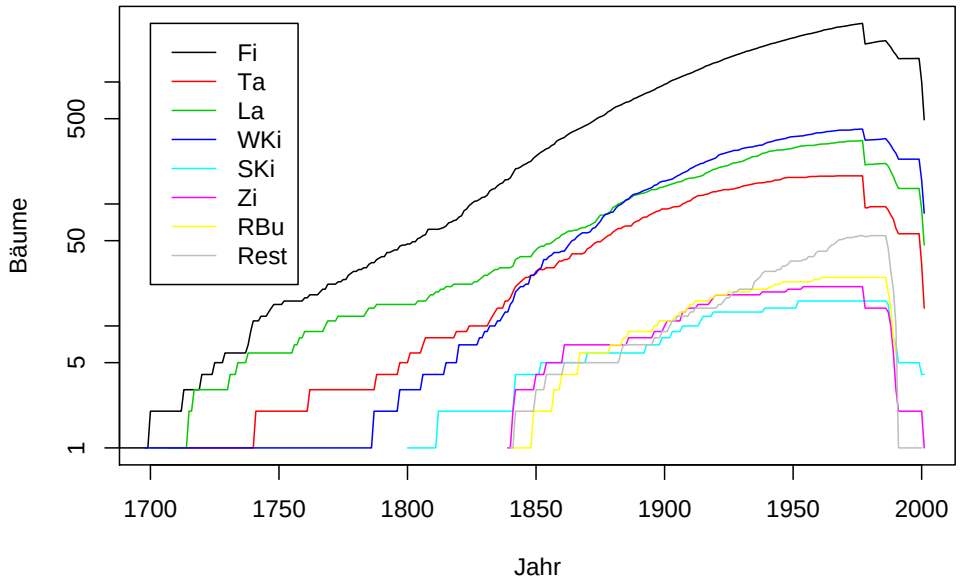


Abbildung 1: *Anzahl der Baumarten, von denen eine Bohrkerninformation im jeweiligen Jahr vorliegt.*
Fi. . . Fichte, Ta. . . Tanne, La. . . Lärche, WKi. . . Weißkiefer, SKi. . . Schwarzkiefer, Zi. . . Zirbe, RBu. . . Rotbuche.

vts [–] <pv>: *Source of vegetation type*; *Aktuelle Bodenvegetation - Datenquelle* 1. . . keine Bodenvegetation - Vegetationstyp außerhalb der Probefläche angesprochen, 2. . . aktuelle Bodenvegetation

wb [–] <pv>: *Water budget*; *Wasserhaushalt*: 1. . . Trocken, 2. . . Mäßig frisch, 3. . . Frisch, 4. . . Sehr frisch, hangsickerfeucht, 5. . . Feucht

y [Jahr] <i/pv/tn/tv> *Observation year*; *Aufnahmejahr*

2.1.8 Datenübersicht

Es liegen insgesamt 4259 Bohrkerne mit 320 065 gemessenen Jahrringen vor. Davon wurden 3208 Fichten mit 230 734 Messungen, 174 Tannen mit 16 366 Messungen, 339 Lärchen mit 29 353 Messungen, 423 Weißkiefern mit 34 757 Messungen, 16 Schwarzkiefern mit 1674 Messungen, 21 Zirben mit 1953 Messungen, 39 Rotbuchen mit 2152 Messungen und 39 sonstige Baumarten mit 3076 Messungen beprobt. In Abbildung 1 ist die Anzahl der vorhandenen Jahrringmessungen für ein bestimmtes Jahr zu sehen. Für Fichte liegen ab 1825 100 Bohrkerne, ab 1874 500 Bohrkerne, ab 1902 1000 Bohrkerne, ab 1940 2000 Bohrkerne, und im Jahr 1977 3024 Bohrkerne vor. Im Jahr 1978 fällt die Anzahl auf 2000 und im Jahr 1990 auf 1500 Bohrkerne. Alle anderen Baumarten haben einen wesentlich geringeren Datenumfang: Weißkiefer n=411, Lärche n=331 und Tanne n=170 Bohrkerne im Jahr 1977.

Die Verteilung der gebohrten Baumarten in Österreich zeigt Abbildung 2. Fichtenbohrkerne wurden beinahe in jedem Wuchsgebiet aufgenommen. Auch von Lärche wird ein weiter Bereich abgedeckt, wobei im Norden (Wald– und Weinviertel) kaum Lärchenbohrkerne geworben wurden. Kiefernbohrkerne dominieren im Grazer Becken und Burgenland und wurden auch im Waldviertel sowie im Klagenfurter Becken zahlreich geworben.

Abbildung 3 zeigt, dass in den Aufnahmeperioden 1986–1990 und 2000–2002 die Aufnahmen im gesamten Staatsgebiet gemacht wurden. Die Daten der Aufnahmen von 1977 liegen westlich

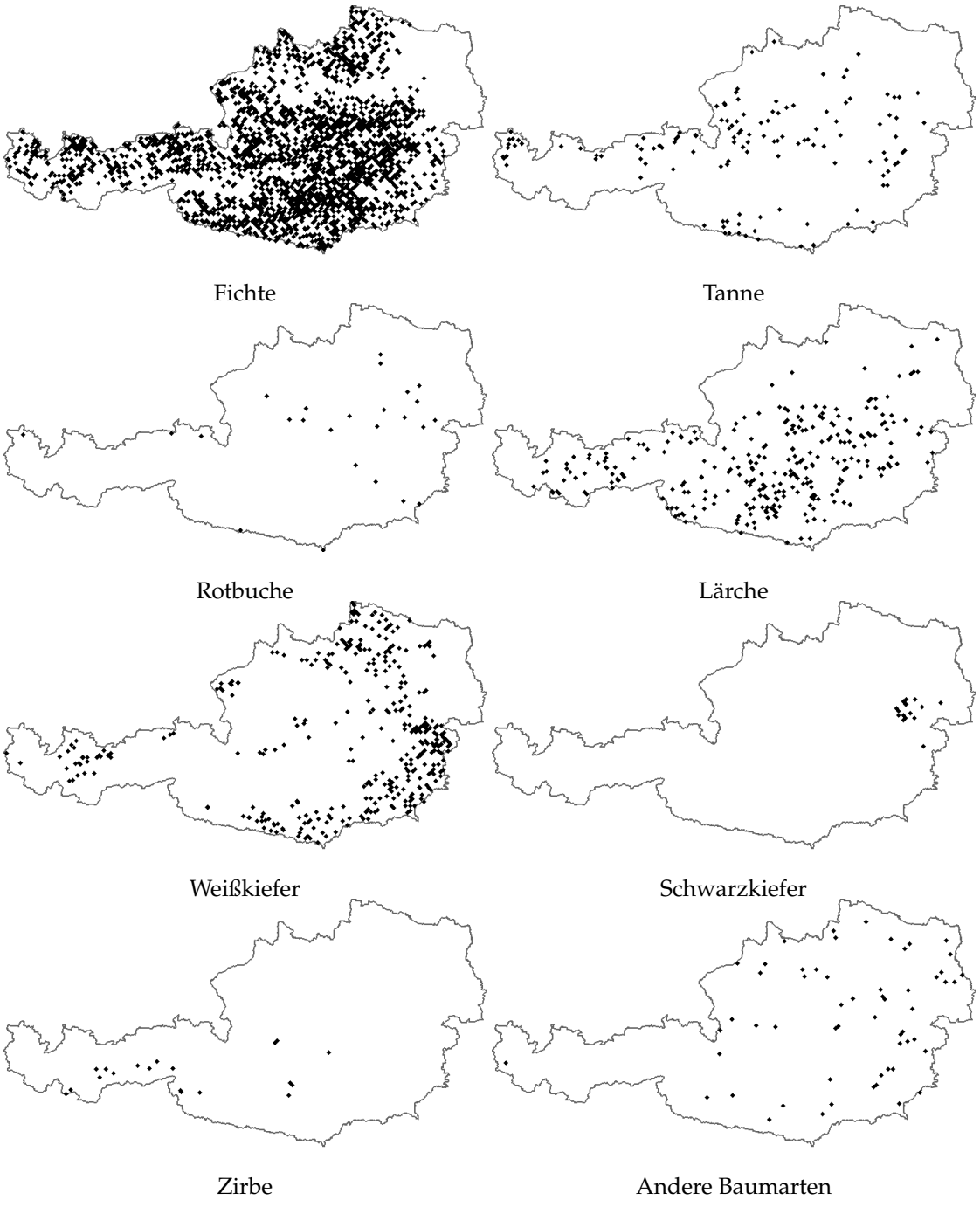
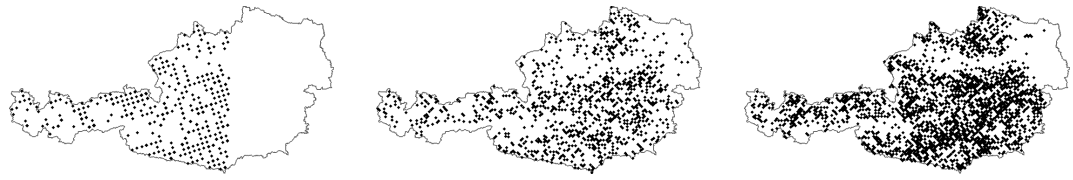
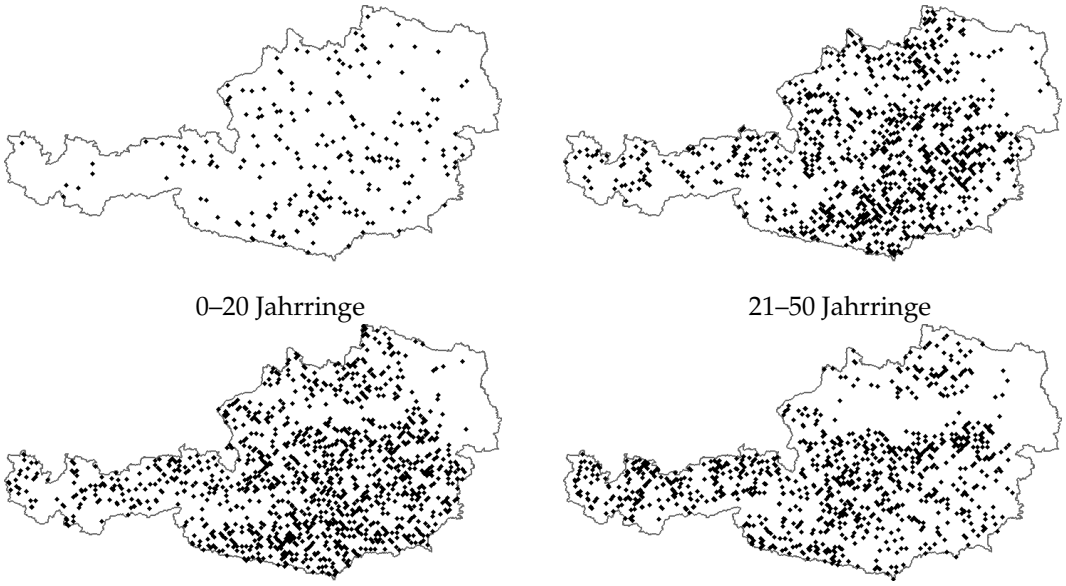


Abbildung 2: *Position der Baumarten, von denen Bohrkerne geworben wurde.*



1977 1986–1990 2000-2002

Abbildung 3: *Verteilung der Probebäume in den einzelnen Aufnahmeperioden.*



0–20 Jahrringe 21–50 Jahrringe

51–90 Jahrringe >90 Jahrringe

Abbildung 4: *Anzahl der Jahrringe des Bohrkerns.*

des 14,7 Breitengrades.

In Abbildung 4 ist die Jahrringanzahl des geworbenen Bohrkerns dargestellt. 236 Bohrkerne haben 0–20 gemessene Jahrringe, 1173 haben 21–50, 1519 haben 51–90 und 1304 Bohrkerne haben mehr als 90 gemessene Jahrringe.

2.2 Klima

Zur Beurteilung des Wettereinflusses auf das Wachstum wurden Wetterdaten gesammelt. Vorhandene Messintervalle sind:

- Stunde
- Tag
- Monat

Aufgenommen wurden:

- Niederschlag
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit

Tabelle 8: *Datenspalten des Datensatzes der Klimamesswerte.*

Kürzel	Name	Inhalt
h.s, t.s, m.s	Source	Datenquelle
h.nr, t.nr, m.nr	Station number	Stationsnummer
h.d, t.d, m.d	Date	Datum
h.i, t.i, m.i	Content of column m	Inhalt der Spalte m
h.m, t.m, m.m	Measured value	Messwert

Tabelle 9: *Datenspalten des Datensatzes der Klimastationen.*

Kürzel	Einheit	Name	Inhalt
s.s	—	Source	Datenquelle
s.nr	—	Station number	Stationsnummer
s.d	—	Date	Datum
s.x	°	Longitude	Längengrad
s.y	°	Latitude	Breitengrad
s.nn	m	Altitude	Seehöhe
s.na	—	Station name	Stationsname

- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Globalstrahlung

2.2.1 Messwerte

Die Datensätze wurden in Stunden- (h.), Tages- (t.) und Monatswerte (m.) aufgeteilt. Der Aufbau der Messwertdatensätze (Stunde, Tag, Monat) ist identisch (Tabelle 8). Der Datensatz besteht aus einer Datenherkunftsangabe, Stationsnummer, dem Aufnahmedatum, einer Angabe über die Art der Messwertes (Temperatur, Niederschlag, etc.) und dem Messwert.

2.2.2 Stationsbeschreibung

Die Spalten der Datentabelle sind in Tabelle 9 aufgezählt. Neben der Datenherkunft, Stationsnummer und dem Datum der Stationseinrichtung, werden die Position (Längen-, Breitengrad und Seehöhe) sowie der Stationsname angegeben. Das Datum ist in jenen Fällen von Bedeutung, in denen eine Station neu errichtet wurde und eine alte Station ablöst. Dabei bleibt die Stationsnummer meist erhalten, die Position kann sich jedoch ändern.

2.2.3 Beschreibung der Spalteninhalte

Spaltenname <Enthalten in Tabelle>: Beschreibung

d <h/t/m/s>: *Date*; *Datum*: Bei Messwerten wird das Messdatum, bei Stationen die Stationserrichtung, angegeben.

i <h/t/m>: *Content of column m*; *Inhalt der Messwertspalte m*: 0…Niederschlagssumme [mm], 1…Niederschlag Minimum [mm/Std], 2…Niederschlag Maximum [mm/Std], 10…Temperatur Mittel [Grad Celsius], 11…Temperatur Minimum [Grad Celsius], 12…Temperatur Maximum [Grad Celsius], 13…Temperatur um 7:00 [Grad Celsius], 14…Temperatur um 14:00 [Grad Celsius], 15…Temperatur um 19:00 [Grad Celsius], 20…Luftfeuchte Mittel [%], 21…Luftfeuchte Minimum [%], 22…Luftfeuchte Maximum

[%], 23...Luftfeuchte um 7:00 [%], 24...Luftfeuchte um 14:00 [%], 25...Luftfeuchte um 19:00 [%], 30...Windgeschwindigkeit Mittel [m/s], 31...Windgeschwindigkeit Minimum [m/s], 32...Windgeschwindigkeit Maximum [m/s], 33...Windgeschwindigkeit um 7:00 [Beaufort], 34...Windgeschwindigkeit um 14:00 [Beaufort], 35...Windgeschwindigkeit um 19:00 [Beaufort], 40...Windrichtung Mittel [0(Keine), 8(O), 16(S), 24(W), 32(N)], 43...Windrichtung um 7:00, 44...Windrichtung um 14:00, 45...Windrichtung um 19:00, 50...Strahlungssumme [J/cm2], 52...Strahlung Maximum [J/cm2], 60...Windrichtung Windstill [%], 61...Windrichtung N [%], 62...Windrichtung NO [%], 63...Windrichtung O [%], 64...Windrichtung SO [%], 65...Windrichtung S [%], 66...Windrichtung SW [%], 67...Windrichtung W [%], 68...Windrichtung NW [%]

m <h/t/m>: *Measured Value*; *Messwert*

na <s>: *Station name*; *Stationsname*

nn <s>: *Altitude*; *Seehöhe*: In Meter.

nr <h/t/m/s>: *Station number*; *Stationsnummer*

s <h/t/m/s>: *Source*; *Datenquelle*: b...BFW (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft), e...ECA&d (European Climate Assessment & Dataset, <http://eca.knmi.nl/>), h...HZB (Hydrographisches Zentralbüro <http://gis.lebensministerium.at/eHYD>), i...HZB mit BFW-Interner ID-Nummerierung, z...ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) mit BFW-Interner ID-Nummerierung

x <s>: *Longitude*; *Längengrad*

y <s>: *Latitude*; *Breitengrad*

2.2.4 Datenübersicht

Die gesammelten Daten stammen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2 246 644 Stundenwerte, 28 575 963 Tageswerte und 944 593 Monatswerte), dem Hydrographisches Zentralbüro (7 920 990 Tageswerte, 864 714 Monatswerte), dem European Climate Assessment (1 315 528 Tageswerte) und dem Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (627 810 Tageswerte).

In Abbildung 5 wurden die Stationen mit stundenweiser Globalstrahlungserfassung gezeigt. Die geographischen Abbildungen im Abschnitt Klima wurden im Längen- Breitengrad System dargestellt. Die höchste Anzahl an Messstationen wurde im Jahre 1986 mit 23 Stationen erreicht. Die meisten Stationen (n=11) befanden sich in der Höhenlage zwischen 300 m und 500 m. Daten lagen für die Jahre 1980-1996 vor. Globalstrahlungsmessstellen mit tageweiser Erfassung wurden in Abbildung 6 dargestellt. 1995 wurden Messwerte von 6 Stationen geliefert. Daten lagen für den Zeitraum 1987-1995 vor.

Luftfeuchtigkeitsmessstellen mit tageweiser Erfassung sind in Abbildung 7 zu sehen. Die meisten Messstellen (n=246) wurden im Jahr 1995 erfasst. Von 1951 bis 1992 lagen von etwa 30 Stationen Messwerte vor. Von 1993 bis 2003 lagen von ca. 200 Stationen Messwerte vor. In der Seehöhenlage 300–500 m und 500–700 m befanden sich jeweils 58 Stationen.

Die Messstellen der Windstärkenmessung, dargestellt in Abbildung 8, waren beinahe mit jenen der Luftfeuchtemessung identisch. So gabt es auch hier von den meisten Stationen (n=243) im Jahr 1995 Messwerte. In der Seehöhenstufe 500–700 m lagen die meisten (n=58) Stationen. Messwerte lagen von 1951 bis 2003 vor, wobei 1993 die Stationsanzahl von etwa 30 auf mehr als 200 zunimmt.

Windrichtungsmessstellen mit tageweiser Erfassung wurden in Abbildung 9 gezeigt. Die meisten Messstellen (n=240) wurden im Jahr 1995 erfasst. Von 1951 bis 1992 lagen von etwa 30 Stationen Messwerte vor, von 1993 bis 2003 von ca. 200 Stationen. In der Seehöhenlage 500–700 m befanden sich 58 Stationen.

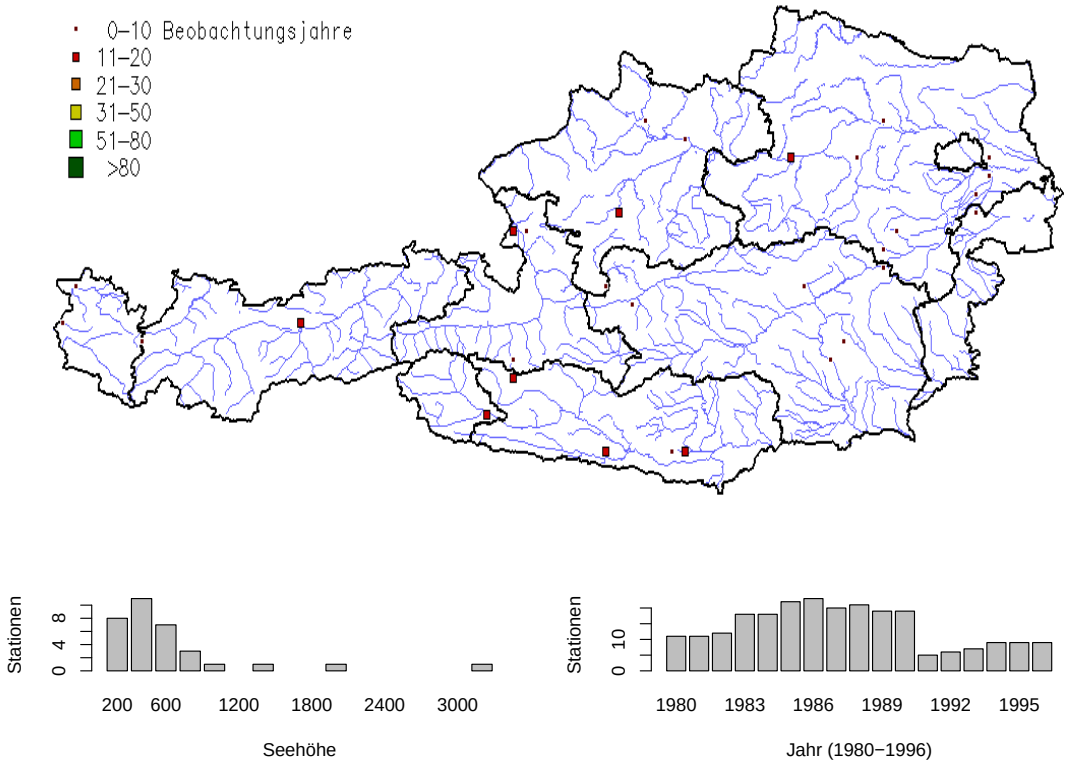


Abbildung 5: *Lage der Globalstrahlungsmessstellen mit Stundenwerten.*

Die Verteilung der Stationen mit Tagestemperaturmessung ist in Abbildung 10 zu sehen. Messungen lagen für den Zeitraum 1855 bis 2004 vor, wobei bis 1950 von nicht mehr als 6 Stationen Messwerte vorlagen. Von 1951 bis 1992 lagen von mindestens 36 Stationen Messwerte vor. Von 1993 bis 2003 waren Aufnahmen von mindestens 176 Stationen vorhanden. In der Höhenstufe 300 m bis 500 m lagen die meisten Stationen (n=59).

In Abbildung 11 wurden Stationen mit Temperaturmessungen auf Monatsbasis dargestellt. Hierbei wurden neben den Stationen, von welchen nur Monatswerte vorliegen, auch Stationen berücksichtigt, die Tageswerte liefern. Damit wurde der Zeitraum 1951 bis 1990 von mindestens 336 Messstellen abgedeckt. Im Jahr 1990 lagen Messwerte von 577 Stationen vor. Ein Rückgang auf 136 Stationen erfolgte 1991. 1992 ging die Stationsanzahl sogar auf 129 Stationen zurück. Der Zeitraum 1993 bis 2003 wurde von mindestens 176 Stationen abgedeckt. In der Höhenstufe 500 m bis 700 m lagen die meisten Stationen (n=155).

Der Niederschlagsdatensatz mit Tagesdaten wurde in Abbildung 12 gezeigt. Der Zeitraum 1876 bis 1970 wurde mit bis zu 6 Stationen abgedeckt. Von 1971 bis 2001 lagen Messungen von mindestens 532 Stationen vor. Die höchste Messstellendichte wurde im Jahr 2000 mit 879 Stationen erreicht. In der Höhenstufe 300 m bis 500 m lagen die meisten Stationen (n=200).

In Abbildung 13 sind Stationen mit Niederschlagsmessungen auf Monatsbasis zu sehen. Hierbei wurden neben den Stationen, von welchen nur Monatswerte vorliegen, auch Stationen berücksichtigt, die Tageswerte liefern. Damit wurde der Zeitraum 1931 bis 1950 von mindestens 459 Messstellen und der Zeitraum 1951 bis 2001 von mindestens 733 Stationen abgedeckt. Im Jahr 1995 lagen Messwerte von 1236 Stationen vor. In der Höhenstufe 100 m bis 300 m lagen die meisten Stationen (n=318).

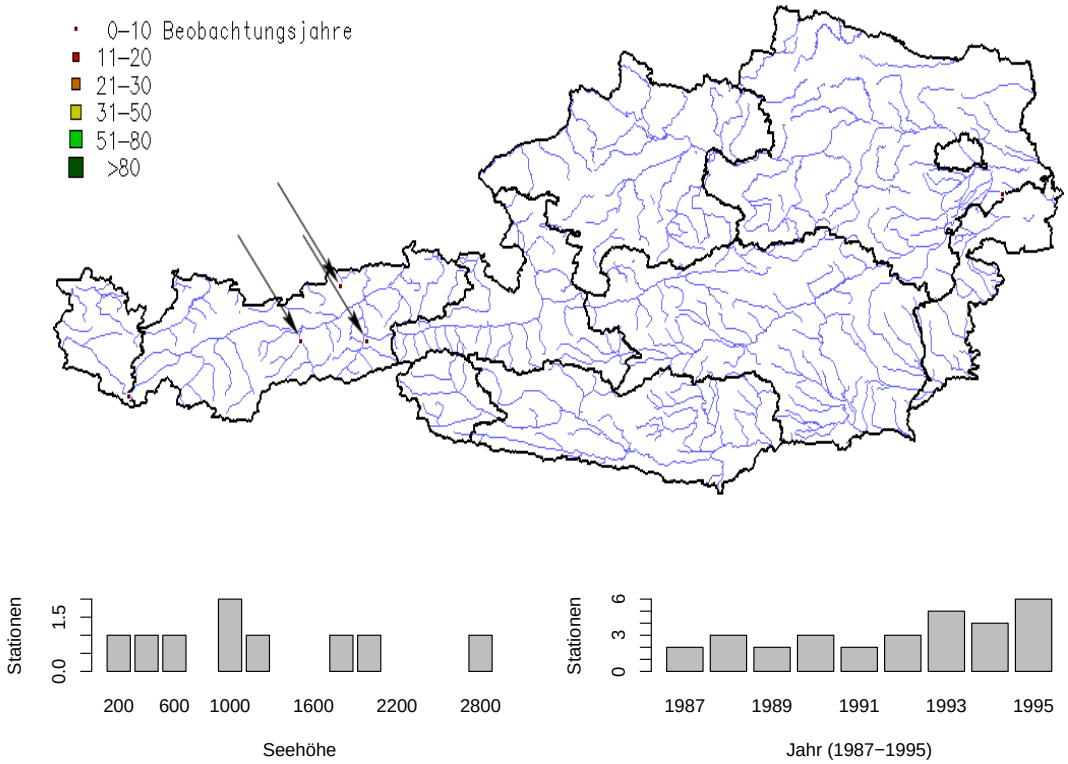


Abbildung 6: *Lage der Globalstrahlungmessstellen mit Tageswerten.*

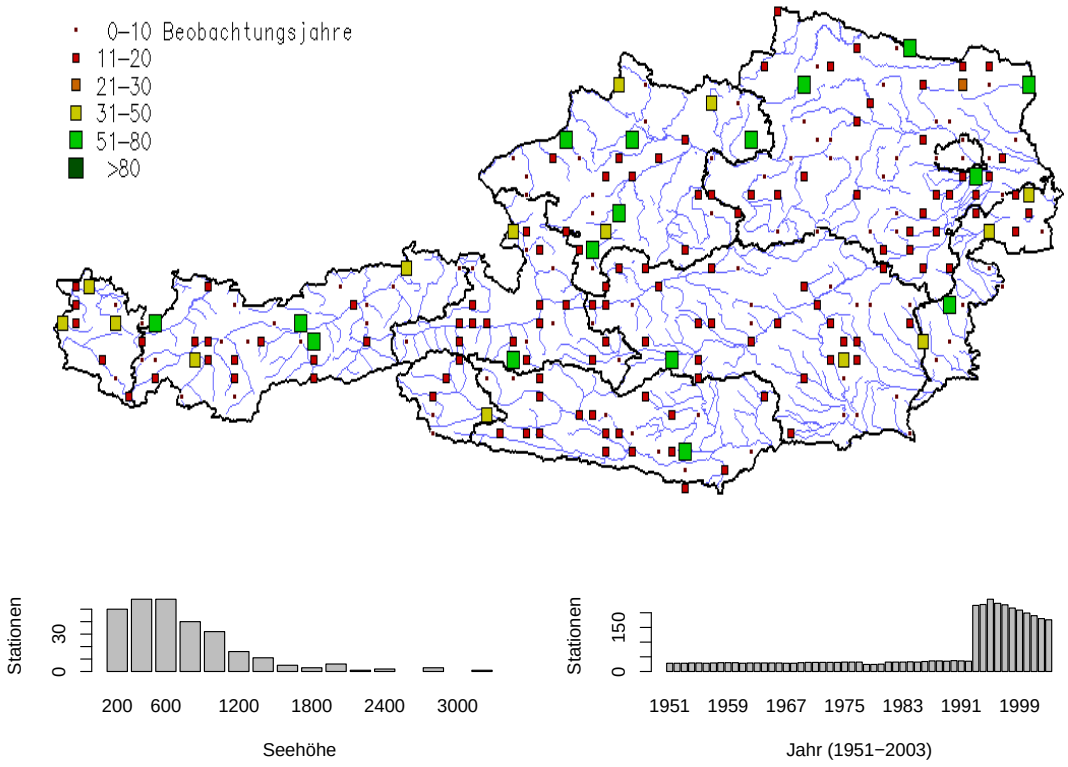


Abbildung 7: *Lage der Messstellen mit Luftfeuchte-Tageswerten.*

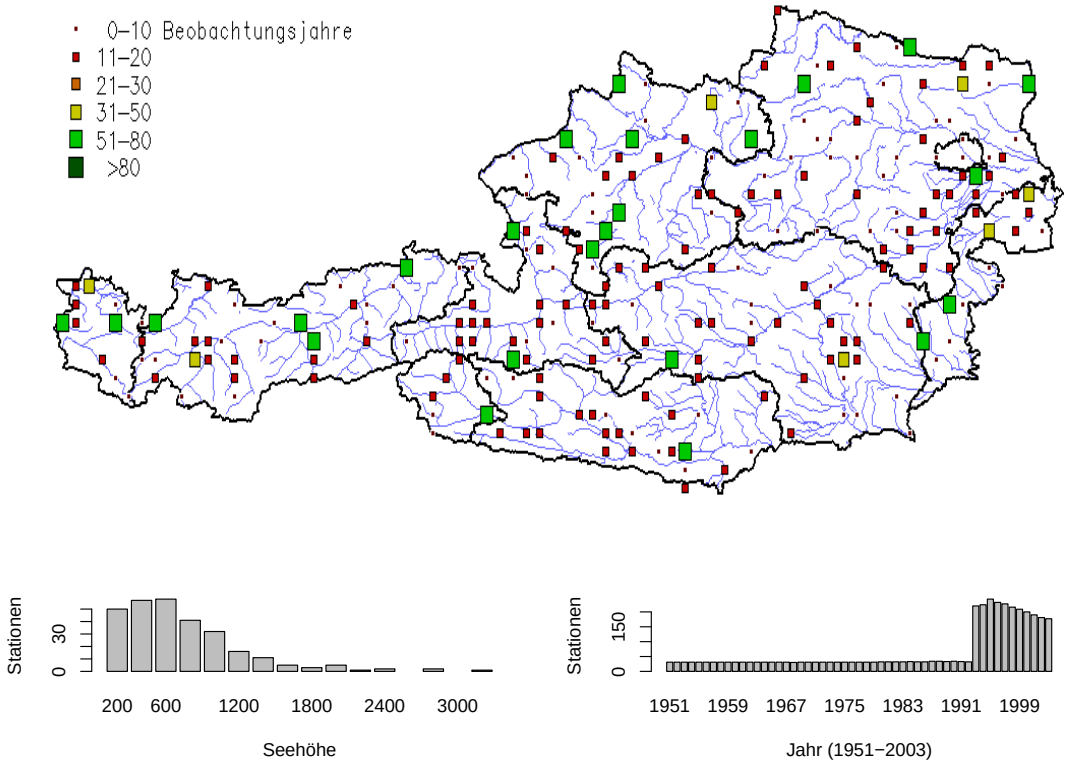


Abbildung 8: *Lage der Windstärkemessstellen mit Tageswerten.*

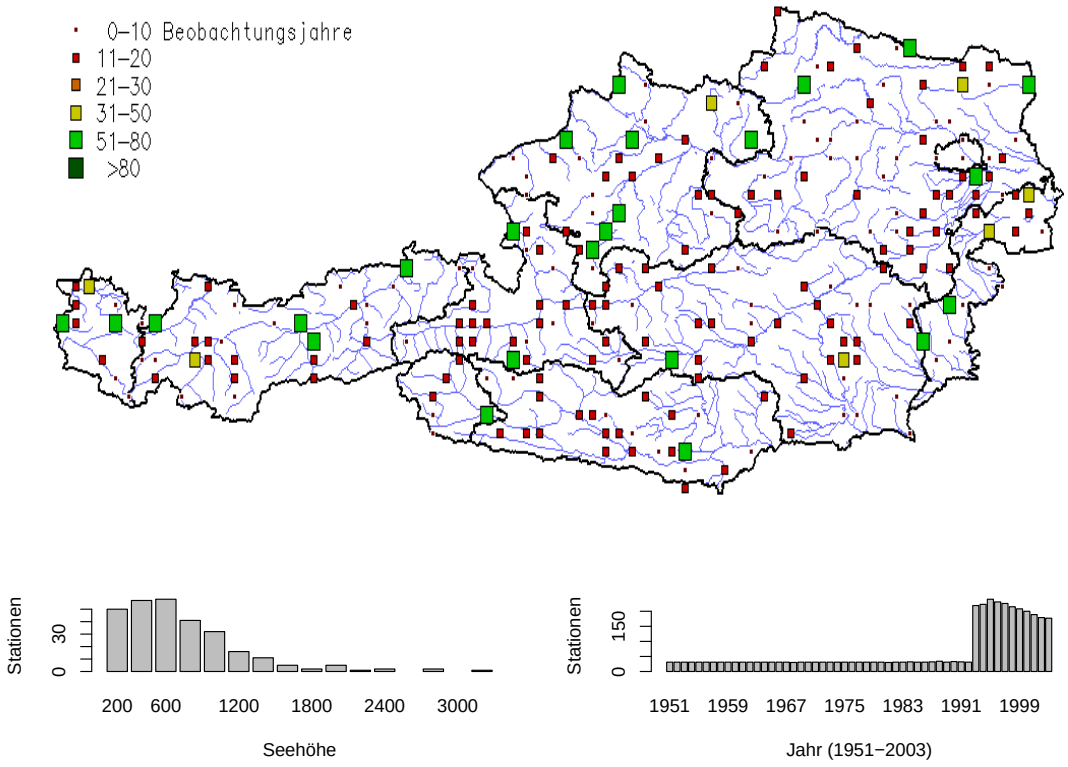


Abbildung 9: *Lage der Windrichtungmessstellen mit Tageswerten.*

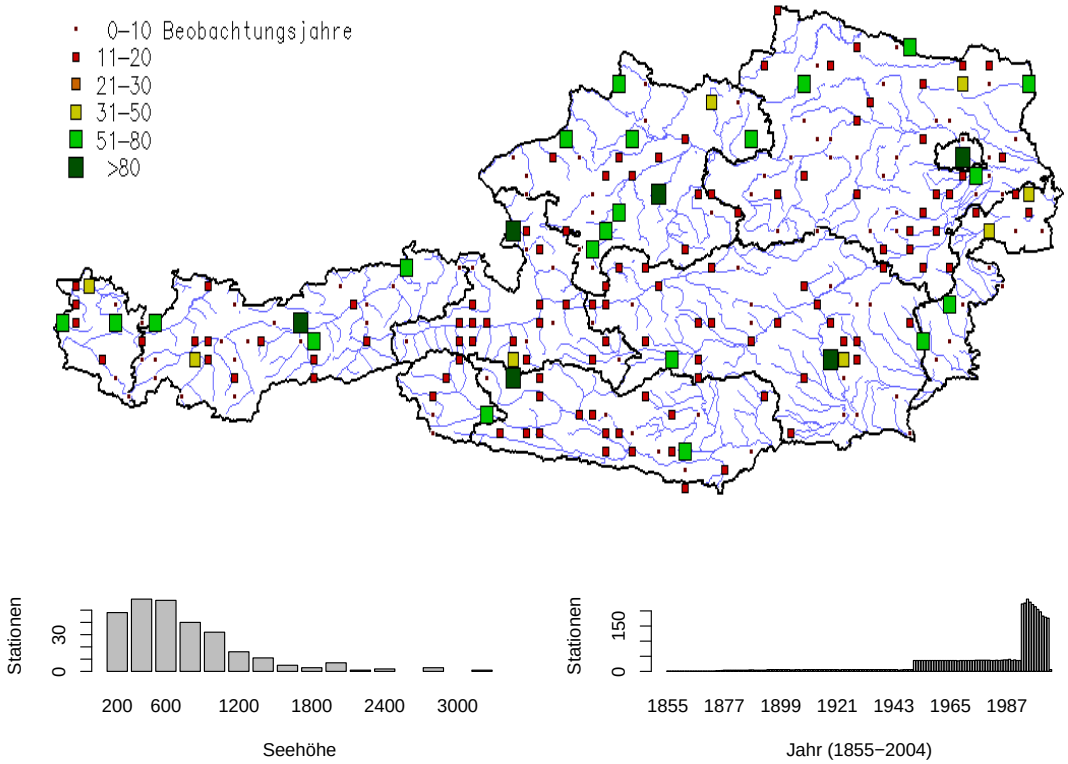


Abbildung 10: *Lage der Temperaturmessstellen mit Tageswerten.*

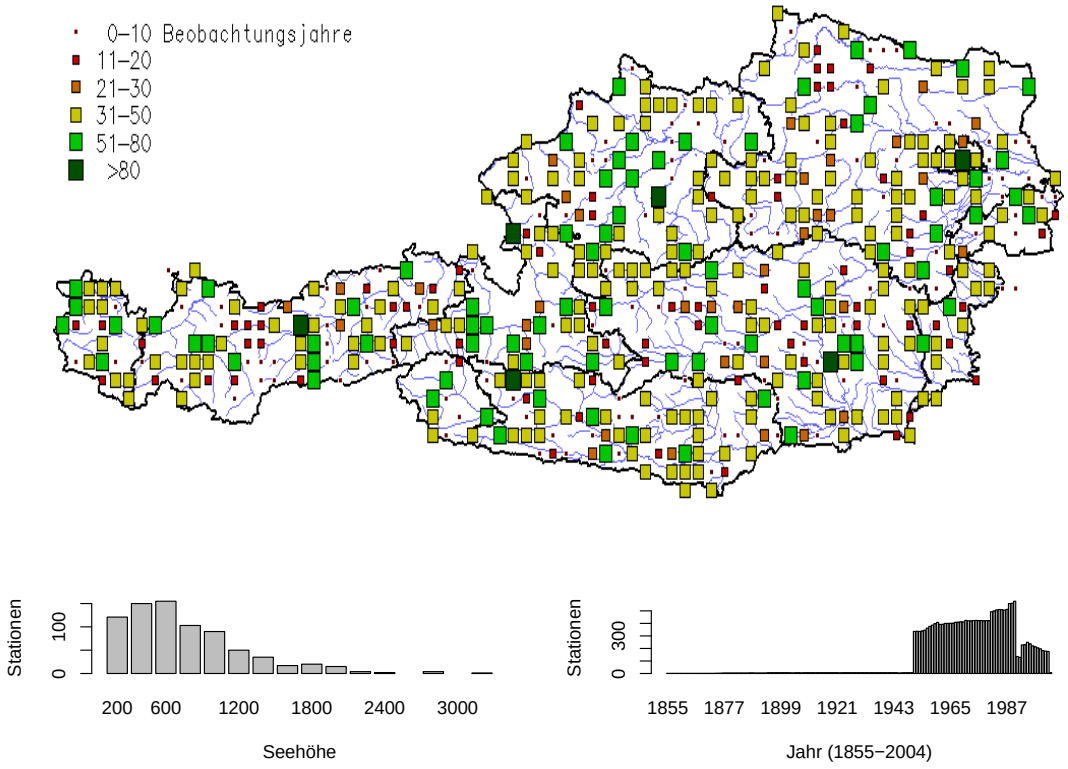


Abbildung 11: *Lage der Temperaturmessstellen mit Monatswerten.*

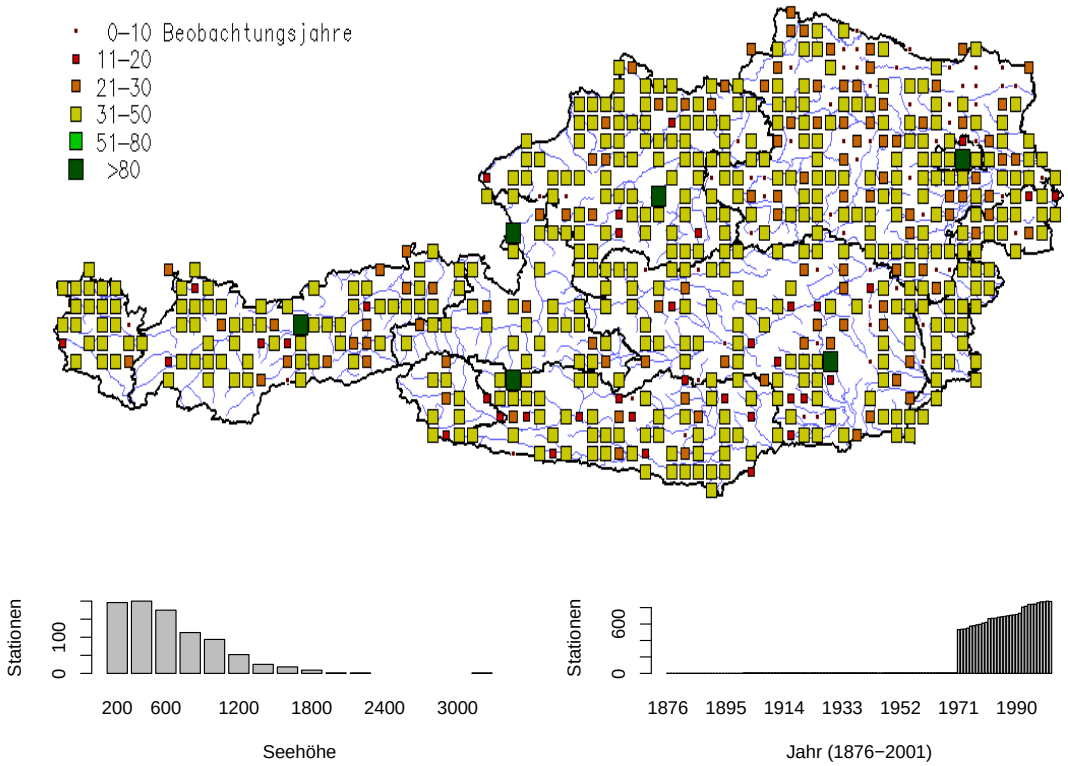


Abbildung 12: *Lage der Niederschlagsmessstellen mit Tageswerten.*

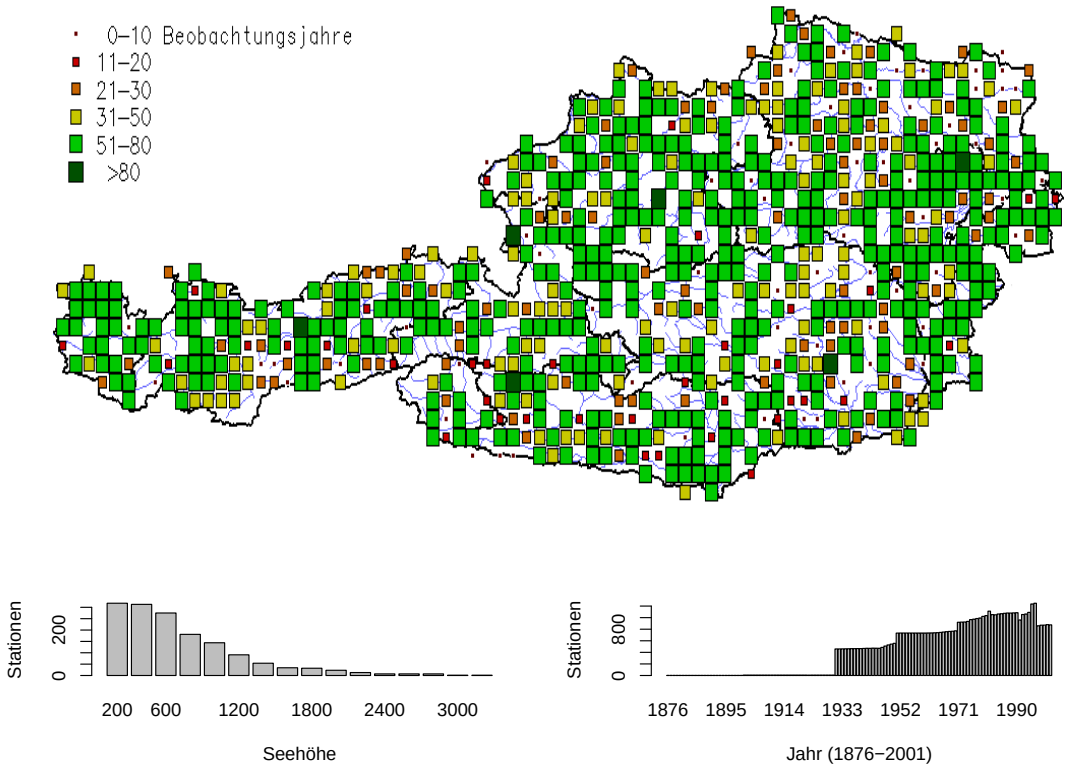


Abbildung 13: *Lage der Niederschlagsmessstellen mit Monatswerten.*

3 Methoden und Ergebnisse

3.1 Klimainterpolation

Um Klimainformationen an jedem beliebigen Ort zur Verfügung zu stellen, können mehrere Wege beschritten werden. Eine der einfachsten Methoden ist jene, die nächstgelegene Klimastation zu suchen und deren Messwerte direkt zu verwenden. Diese Methode ist bei kurzen Distanzen und weiträumig gleichen Klimaparametern durchaus vertretbar. Eine Weiterentwicklung ist von mehreren nahegelegenen Stationen deren Messwerte auf den gesuchten Punkt zu interpolieren. Lehner et al. (2006); Price et al. (2000); Thornton et al. (1997) beschreiben einige dieser Interpolationsverfahren. Price et al. (2000) beschreibt die Methode GIDS, welche mittels multipler linearer Regression einen Gradienten entlang Längengrad, Breitengrad und Seehöhe bestimmt. Dabei werden die Stationen abhängig von ihrer Entfernung zum gesuchten Punkt gewichtet. Diesen Ansatz Klimadaten aus Längengrad, Breitengrad und Seehöhe zu bestimmen verfolgt auch die Methode ANUSPLIN, wobei der Ausgleich der Stationsmesswerte mittels Splinefunktion erfolgt. Ähnlich wird auch bei DayMet vorgegangen, wobei die Messwerte der umliegenden Stationen mittels Gaussfilter über ihren Horizontalabstand gewichtet werden und anschließend um einen Höhentrend bereinigt werden (Thornton et al., 1997). Eine Weiterentwicklung stellen Lehner et al. (2006) vor, welche das Höhenprofil zwischen der Klimastation und dem gesuchten Punkt liegt, zur Interpolation verwenden.

3.1.1 Methoden

Die hier entwickelte Klimainterpolation erfolgt mit Hilfe von Gleichung (1), wobei v der Klimawert an einem vorgegebenen Punkt ist, v_{min} und v_{max} vorgegebene Grenzen sind, die *vi* (Intern berechneter Klimawert) nicht überschreiten darf. *vi* wird bei Verwendung mehrerer Klimastationen (n>1) aus der Seehöhe dieses Punktes (*hp*) und den zu bestimmenden Koeffizienten a und b berechnet (Gleichung 2). Wenn nur eine Station ausgewählt wurde, errechnet sich der Klimawert (*vi*) mit dem Stationsklimawert (*vs*) und einem Vorgabewert für die Abhängigkeit des Klimawertes von der Seehöhe (*bd*). Für die Koeffizientenbestimmung müssen zunächst geeignete Klimastationen ausgewählt werden. Dazu wird die Entfernung (*d*) der Klimastation zum Probepunkt mit Gleichung (3) bestimmt, wobei Δx, Δy die Entfernung in x– und y–Richtung bzw. Δh der Höhenunterschied ist. Um einzelnen Entfernungen eine unterschiedliche Gewichtung zukommen zu lassen, werden diese mit den Koeffizienten (*cx, cy, ch*) multipliziert. Danach werden alle Klimastationen ausgewählt, deren Entfernung *d* kleiner als eine vorgegebenen Entfernung ist bzw. die nächstgelegenen Stationen selektiert, bis eine vorgegebene Mindestanzahl erreicht ist. Die Klimastationen werden abhängig von ihrer Entfernung *d*, gewichtet. Die Gewichtung erfolgt mit Gleichung (4) wobei d_{max} die größte Entfernung ist, welche mit Gleichung (5) bestimmt wird. *n* entspricht der Anzahl der ausgewählten Stationen. Danach wird die mittlere gewichtete Stationshöhe (Gl. 6) und der mittlere Klimamesswert (Gl. 7) berechnet. Der Geradenanstieg b wird mit Gleichung (8) berechnet, wobei b_{min} und b_{max} vorgegebene Grenzen sind, die b nicht überschreiten darf. Das Absolutglied *a* wird mit Gleichung (11) bestimmt.

$$\mathrm{v} = \begin{cases} v_{min} & \text{für vi} \leq v_{min} \\ \mathrm{vi} & \text{für vi} > v_{min} \;\&\; \mathrm{vi} < v_{max} \\ v_{max} & \text{für vi} \geq v_{max} \end{cases} \tag{1}$$

$$\mathrm{vi} = \begin{cases} a + b \cdot \mathrm{hp} & \text{für } n > 1 \\ \mathrm{vs} + \mathrm{bd} \cdot \Delta\mathrm{h} & \text{für } n = 1 \end{cases} \tag{2}$$

$$d = \sqrt{(\Delta x \cdot cx)^2 + (\Delta y \cdot cy)^2 + (\Delta h \cdot ch)^2} \tag{3}$$

$$g = \frac{1}{d} - \frac{1}{d_{max}} \tag{4}$$

$$d_{max} = \sqrt{\max(d)^2 \cdot \frac{n + 0,5}{n}} \tag{5}$$

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(h_i \cdot g_i)}{\sum_{i=1}^{n} g_i} \tag{6}$$

$$\bar{vs} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(vs_i \cdot g_i)}{\sum_{i=1}^{n} g_i} \tag{7}$$

$$b = \begin{cases} b_{min} & \text{für } \frac{sz}{sn} \leq b_{min} \\ \frac{sz}{sn} & \text{für } \frac{sz}{sn} < b_{max} \;\&\; \frac{sz}{sn} > b_{min} \\ b_{max} & \text{für } \frac{sz}{sn} \geq b_{max} \end{cases} \tag{8}$$

$$sz = \sum_{i=1}^{n}((h_i - \bar{h}) \cdot (vs_i - \bar{vs}) \cdot g_i) \tag{9}$$

$$sn = \sum_{i=1}^{n}((h_i - \bar{h})^2 \cdot g_i) \tag{10}$$

$$a = \bar{vs} - b \cdot \bar{h} \tag{11}$$

a…Koeffizient des Absolutglieds, b…Koeffizient des Geradenanstieg, b_{max}…Maximal erlaubter Geradenanstieg b_{min}…Minimal erlaubter Geradenanstieg bd…Vorgegebener Koeffizient für die Abhängigkeit des Klimawertes von der Seehöhe, ch…Gewichtung eines Höhenunterschiedes, cx…Gewichtung einer Entfernung in x–Richtung, cy…Gewichtung einer Entfernung in y–Richtung, d…Entfernung der Klimastation zum Geländepunkt, d_{max}…größte vorgegebene Entfernung, Δh…Höhenunterschied, Δx…Entfernung in x–Richtung, Δy…Entfernung in y–Richtung, g…Gewichtung einer Klimastation, $\bar{h}$…Mittlere gewichtete Stationshöhe, hp…Seehöhe des Geländepunktes, n…Anzahl der ausgewählten Stationen, v…Gesuchter Klimawert an einem Geländepunkt, vi…Intern berechneter Klimawert an einem Geländepunkt, v_{max}…Maximal erlaubter Klimawert, v_{min}…Minimal erlaubter Klimawert, vs…Stationsklimawert, $\bar{vs}$…Mittlerer Klimamesswert,

3.1.2 Ergebnisse

Die Güte dieses Ansatzes wurde geprüft, indem die Messwerte einer Station aus dem Eingangsdatensatz entfernt und genau für diese Station berechnet wurden. Dies wurde für alle Stationen durchgeführt. Die Abweichung der Monatsmitteltemperatur in den einzelnen Jahren ist in Abbildung 14 dargestellt. 50 % der Schätzungen liegen mit ihren Abweichungen im Zeitraum 1874–1950 im Mittel zwischen -0,65 °C und 0,82 °C, 80 % liegen zwischen -1,42 °C und 5,85 °C und 90 % zwischen -2,08 °C und 9,59 °C. Im Zeitraum 1951 bis 2003 liegen 50 % der Abweichungen zwischen -0,34 °C und 0,39 °C, 80 % zwischen -0,84 °C und 0,94 °C und 90 % zwischen -1,21 °C und 1,31 °C. In Abbildung 15 ist die Entwicklung der Monatsmitteltemperaturen aller vorhandenen Messwerte für die einzelnen Jahre dargestellt. Veränderungen der dargestellten Mittelwerte, Mediane, Perzentile und Standardabweichungen zwischen den einzelnen Jahren können durch Klimaschwankungen, Veränderung der verbauten Fläche in der Nähe der Klimastation aber auch durch Hinzukommen oder Wegfallen von Stationen und Messwerten verursacht werden.

Die Abhängigkeit der Temperaturschätzungsabweichung von der Jahreszeit ist in Abbildung 16 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Dezember- und Januarabweichungen etwas größer sind als die der anderen Monate. Das 5 % Perzentil (P5) liegt etwa bei -1,2 °C, P10 bei -0,8 °C, P25 bei -0,3 °C, P75 bei 0,4 °C, P90 bei 0,9 °C und P95 bei 1,2 °C. In Abbildung 17 ist der Temperaturgang in den einzelnen Monaten gezeigt. Dazu wurde das Monatsmittel aus allen vorhandenen Stationen und Aufnahmejahren gebildet.

Die Temperaturstreuung entlang eines Höhengradienten ist in Abbildung 18 dargestellt. In Höhenlagen bis 2400 m liegen 90 % der Abweichungen unter 1 °C. Die Abweichungen in Höhenlagen über 2500 m überschreiten öfter 10 °C. In Abbildung 19 ist die Höhenabhängigkeit der Temperatur illustriert. Die Mittelwerte wurden für 200 m Höhenstufen aus allen Messwerten gebildet.

Für die Validierung der Niederschlagsinterpolation wurden alle Aufnahmen ab 1900 verwendet. Genauso wie bei den Temperaturmessungen wurde jeweils eine Station aus dem Datensatz entfernt und für diese Station Niederschlagswerte interpoliert. In Abbildung 20 ist zu sehen, dass 50 % der Schätzungen bis 1930 innerhalb einer Abweichung von ±25 mm Niederschlag liegen, von 1931 bis 1970 innerhalb ±10–15 mm und ab 1971 innerhalb ±5–10 mm. In Abbildung 21 ist die mittlere Monatsniederschlagssumme aus allen vorhandenen Messwerten eines Jahres dargestellt. Unterschiede zwischen einzelnen Jahren können durch unterschiedliche Niederschlagsmengen und durch Hinzukommen oder Wegfallen von Stationen verursacht werden.

Die Streuung der Niederschlagsinterpolation für einzelne Monate ist in Abbildung 22 zu sehen. In den Sommermonaten sind größere absolute Abweichungen vom Messwert zu beobachten. Ein Grund für diesen Anstieg dürften die höheren Niederschläge in den Sommermonaten sein (Abbildung 23).

In Abbildung 24 sind die Abweichungen in Abhängigkeit von der Höhenstufe dargestellt. Es ist ein Ansteigen der Streuung um den Messwert mit zunehmender Höhe zu beobachten. Diese Zunahme kann einerseits durch die Zunahme der Niederschlagsmenge mit steigender Höhe (Abbildung 25), andererseits mit der niedrigeren Stationsdichte in höheren Lagen (Abbildung 13) erklärt werden. 50 % der Niederschlagsschätzungs-Abweichungen für Höhenlagen bis 600 m liegen unter 10 mm, bis 1200 m unter 15 mm, bis 1800 m unter 20 mm und bis 2800 m unter 25 mm.

3.2 Methode der gleitenden Mittelwertsberechnung

Gleitende Mittelwerte werden verwendet, um kurzfristige Streuungen zu glätten. Dabei wird unterstellt, dass sich die unsystematischen Streuungen durch Mittelbildung gegenseitig aufheben. Die Berechnung des gleitenden Mittelwertes ist eine übliche Methode, bei der der Messwert durch das einfache oder gewichtete Mittel der n umgebenden Messwerte ersetzt wird (Velleman, 1977). Dabei kann der Mittelwert oder der Median zur Mittelbestimmung verwendet werden, wobei der Median robuster gegen Ausreißer ist. Nachteil des Medians ist, dass ein weniger glatter Verlauf entsteht und dass nicht gewichtet werden kann.

Gleitende Mittel können z. B. für Temperaturen oder Niederschläge angewandt werden. Sie können auch verwendet werden, um die mittlere Jahrringbreite zu bestimmen. Dabei soll in der Regel der Alterstrend eliminiert werden. Melvin et al. (2007) verwenden dazu Spline Funktionen. Eine einfache Methode, gleitende Mittelwerte zu bestimmen, ist im folgenden SQL–Befehl gezeigt:

```
select x.year, AVG(y.messung) as moving_average from data x, data y
  where x.year between y.year-2 and y.year+2 group by x.year;
```

Dabei wird der mittlere Messwert aus den Messungen der beiden vorangegangenen und folgenden Jahre berechnet.

Neben der gemessenen Jahrringbreite ist die Relation zu Jahrringbreiten anderer Beobachtungsjahre von Interesse. Wenn die verglichenen Jahrringbreiten zeitlich nahe beieinander liegen, kann in der Regel der Alterstrend vernachlässigt werden und eine Datenglättung kann somit entfallen. Wird z. B. die Jahrringbreite durch jene des Vorjahres dividiert, lässt sich leicht bestimmen, ob es zwischen diesen Jahren eine Zuwachssteigerung oder einen Zuwachsrückgang gab.

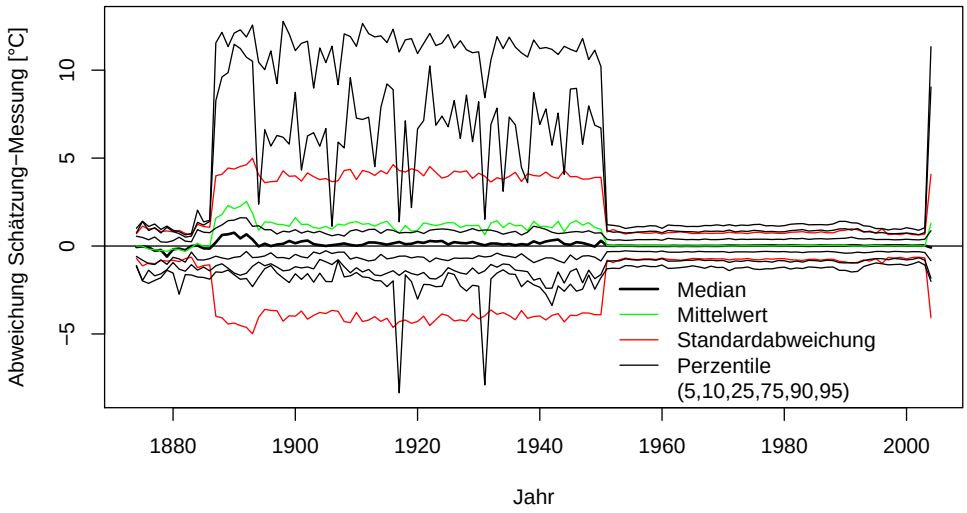


Abbildung 14: *Qualität der Temperaturschätzung in den einzelnen Jahren.*

Für die Jahre 1887 bis 1950 und 2004 lagen nur wenige Messwerte in der Höhenlage über 2000 m vor (Sonnblick, Pascherkofel und Mooserboden). Die berechneten Wettergradienten wurden daher weit über den Parametrisierungsbereich hinaus extrapoliert, was zu den hohen Streuungen in diesen Jahren führte.

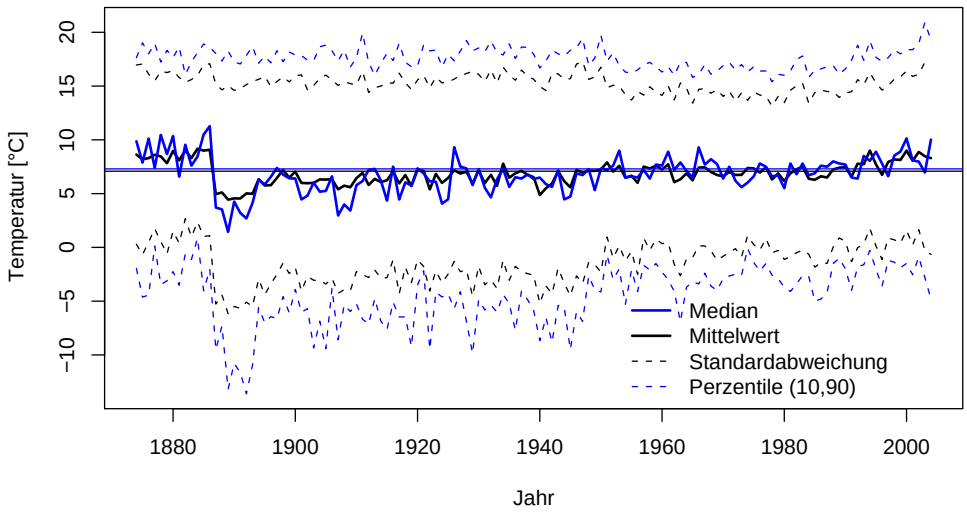


Abbildung 15: *Mittlere Jahrestemperaturen aller Messwerte.*

Mittelwert bzw. Median über alle Jahre ist als durchgezogenen dünne Linie dargestellt.

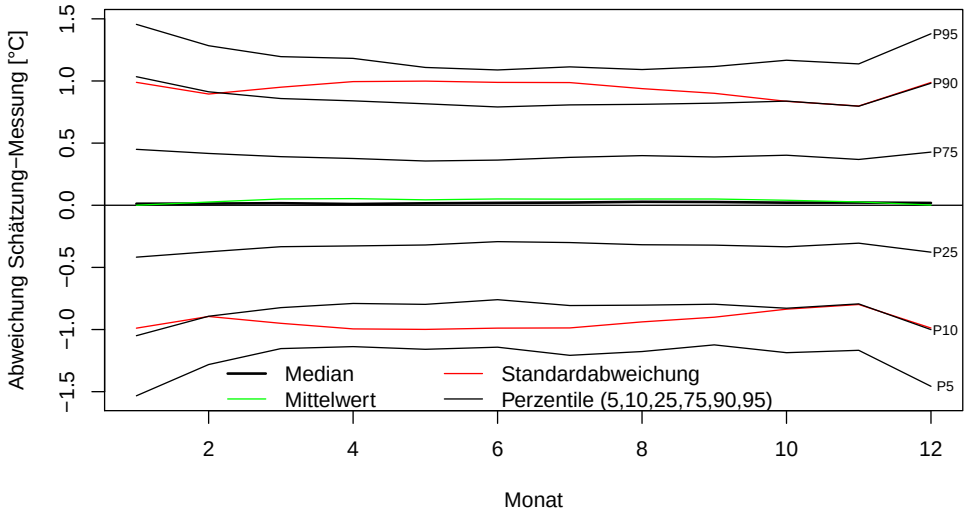


Abbildung 16: *Qualität der Temperaturschätzung in den einzelnen Monaten.*

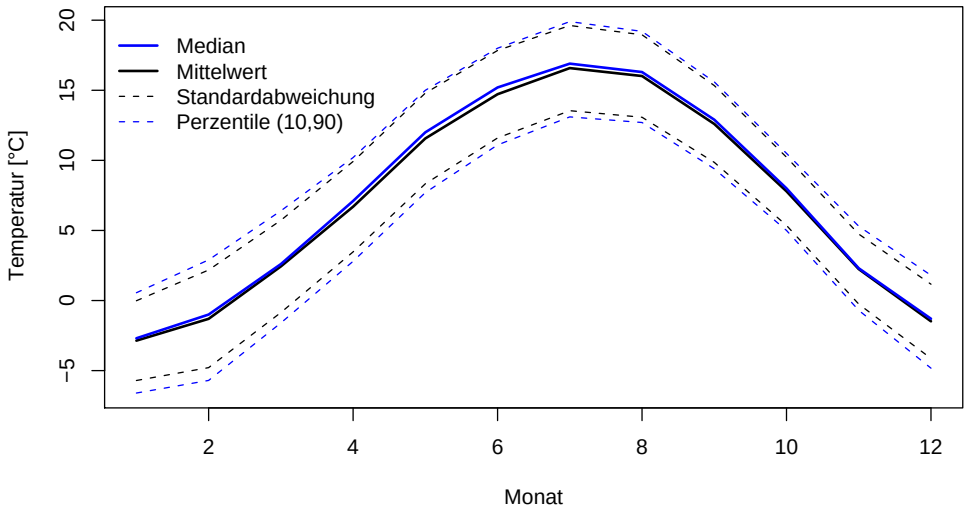


Abbildung 17: *Mittlere Monatstemperaturen aller Messwerte.*

.

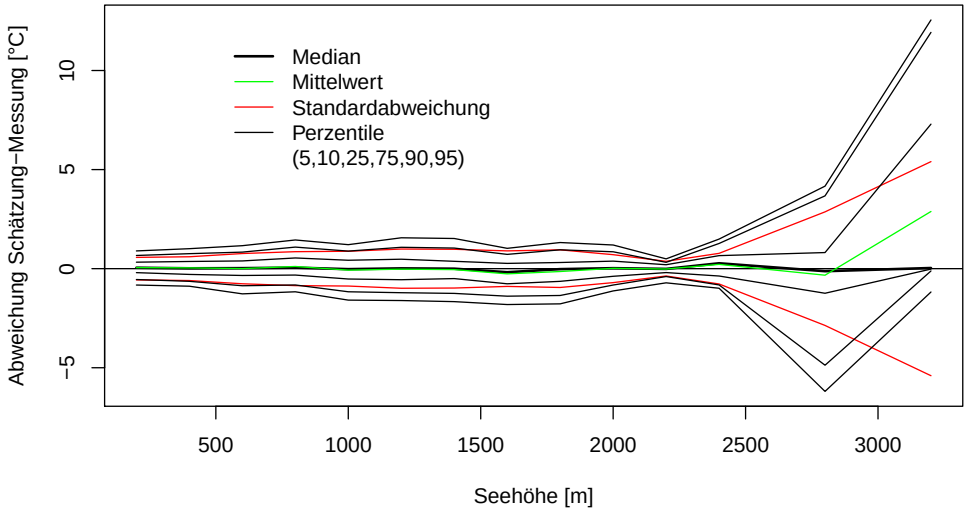


Abbildung 18: *Qualität der Temperaturschätzung für die Höhenstufen.*

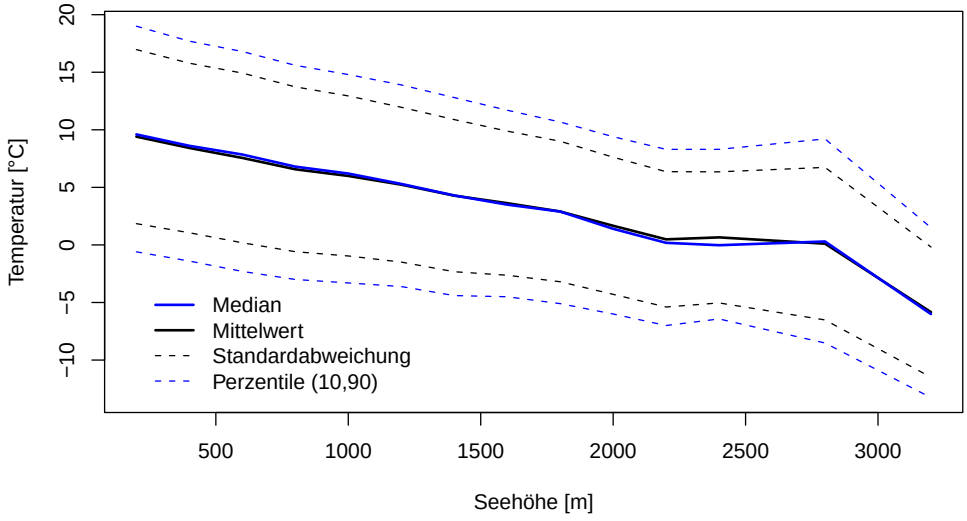


Abbildung 19: *Mittlere Temperatuen in den einzelnen Höhenstufen.*

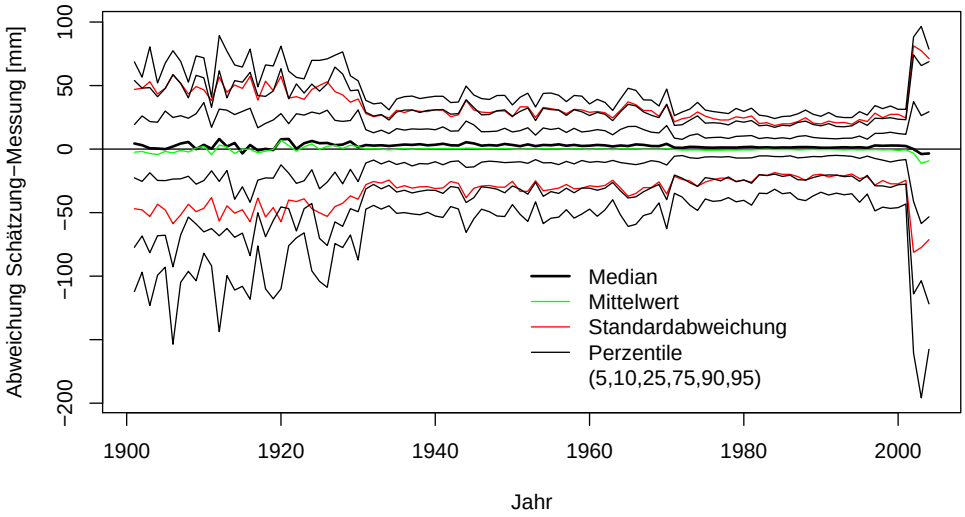


Abbildung 20: *Qualität der Niederschlagsschätzung in den einzelnen Jahren.*

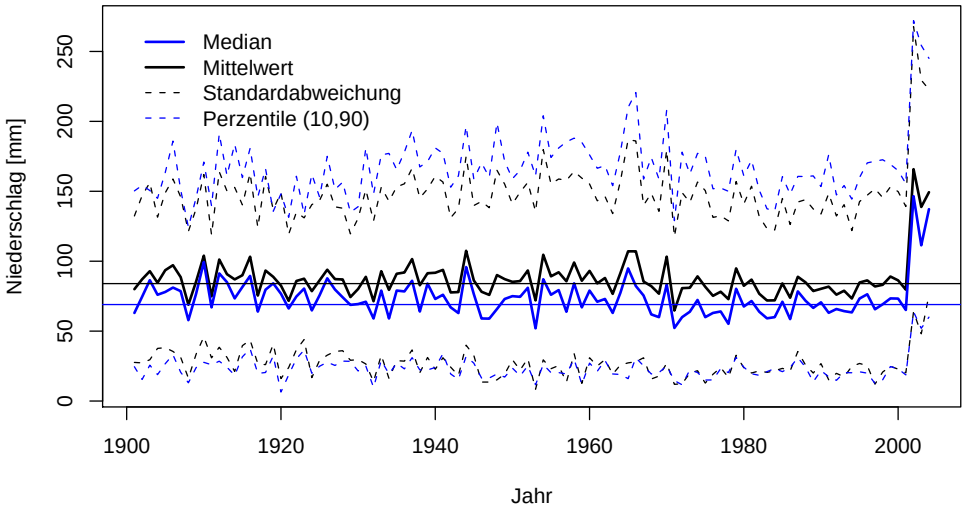


Abbildung 21: *Mittlere Jahresniederschlagsmengen aller Messwerte.*
Mittelwert bzw. Median über alle Jahre ist als durchgezogenen dünne Linie dargestellt.

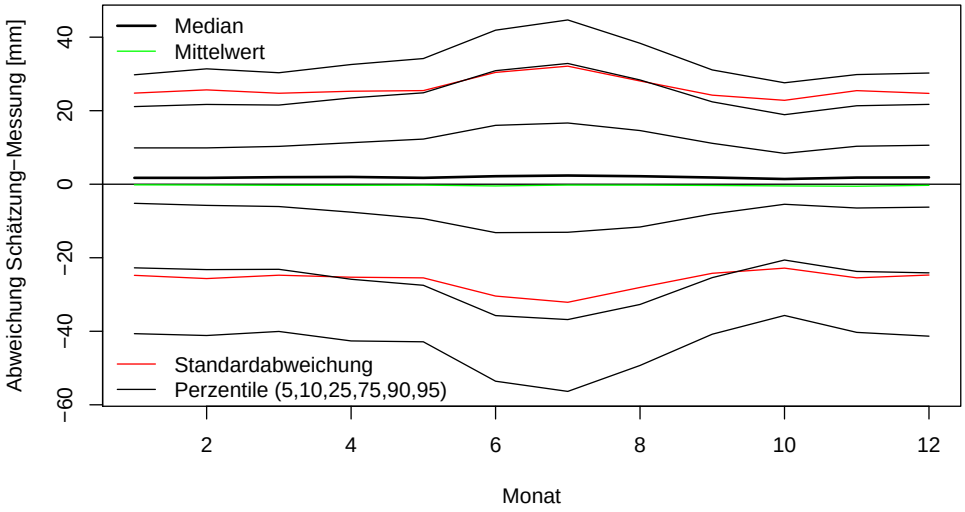


Abbildung 22: *Qualität der Niederschlagsschätzung in den einzelnen Monaten.*

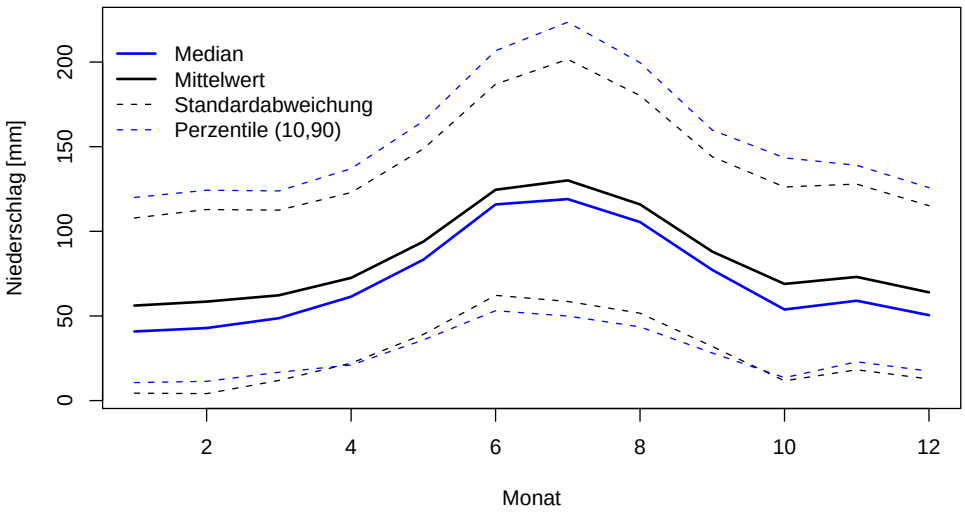


Abbildung 23: *Mittlere Monatsniederschlagsmengen aller Messwerte.*

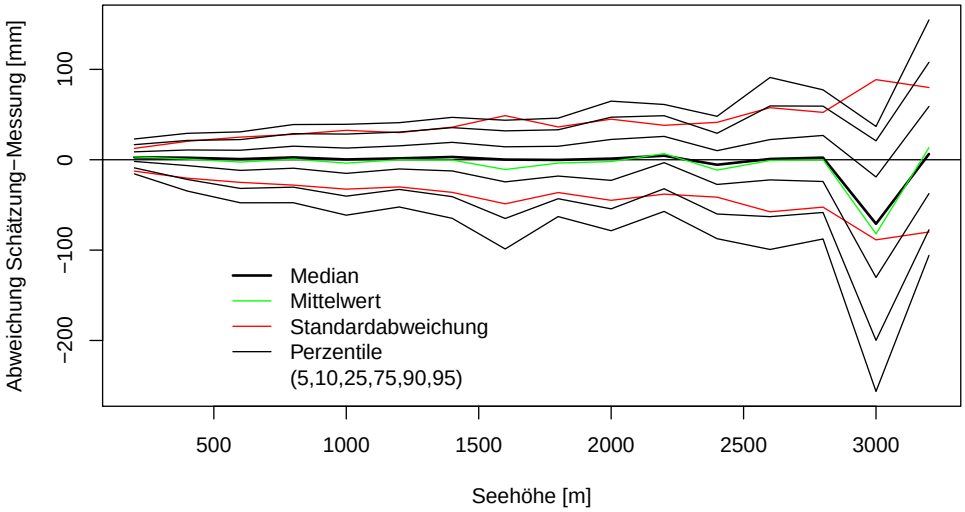


Abbildung 24: *Qualität der Niederschlagsschätzung für die Höhenstufen.*

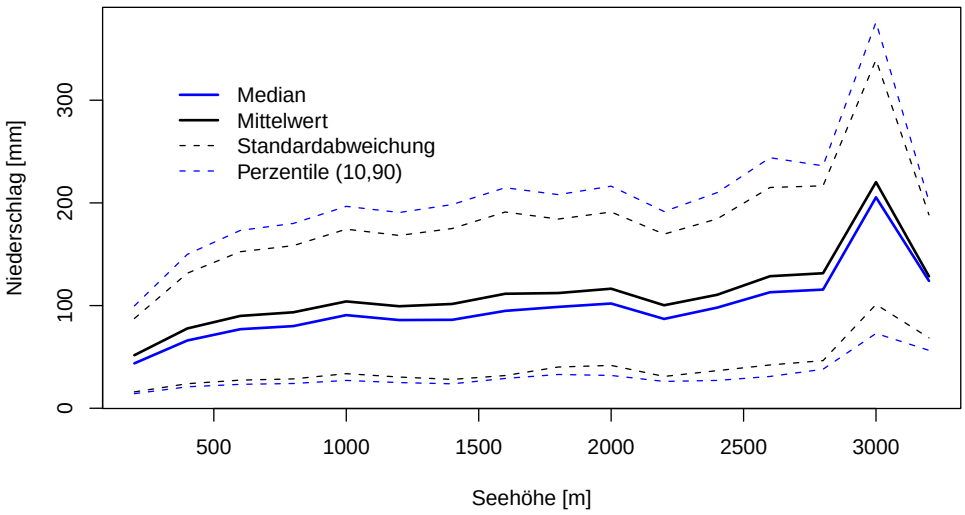


Abbildung 25: *Mittlere Niederschläge in den einzelnen Höhenstufen.*

Um diese Wachstumsschwankungen mittels Klimaschwankungen erklären zu können, ist z B. die Abweichung der Temperatur von der Vorjahrestemperatur heranzuziehen. Durch den kurzen Betrachtungszeitraum von zwei Jahren sind große Schwankungen hinsichtlich der Jahrringbreite und Witterungsunterschiede zu erwarten. Neben dem Vergleich einzelner Jahrringbreiten können auch Mittelwerte über mehrere Jahre mit der Jahrringbreite eines Jahres verglichen werden. Für die Auswahl des Zeitraumes gibt es folgende Möglichkeiten:

- Jahrringe aus davorliegenden Jahren
- Jahrringe aus davor- und danachliegenden Jahren
- Jahrringe aus danachliegenden Jahren

Hierbei kann der Jahrring, mit dem verglichen wird, bei der Mittelwertsbildung verwendet oder auch nicht verwendet werden.

Für die Untersuchung der Jahrringbreiten-Schwankungen in Abhängigkeit von Klimaschwankungen wäre für die Bildung eines Klimamittelwertes ein möglichst langer Zeitraum von Vorteil, um den beträchtlichen Klimaschwankungen einzelner Jahre Rechnung zu tragen. Für die Mittelbildung der Jahrringbreite wäre hingegen ein möglichst kurzer Zeitraum von Vorteil, um altersbedingte Wachstumstrends und Jahrringbreiten-Schwankungen, verursacht durch forstliche Eingriffe, vernachlässigen zu können.

Zur schnellen Berechnung der gleitenden Mittelwerte wurde ein Programm geschrieben, welches es erlaubt, den gleitenden Mittelwert oder den Median für einen beliebigen Zeitraum zu bestimmen.

3.3 Abschätzung des jährlichen BHD-Zuwachses für Bäume deren BHD-Zuwachs nur für einen längeren Zeitraum bekannt ist

3.3.1 Methoden

Bei wiederholten BHD–Messungen kann der jährliche BHD–Zuwachs vereinfacht ermittelt werden, indem der beobachtete BHD–Zuwachs in der Periode durch die Periodenlänge dividiert wird. Diese Vereinfachung kann für viele Fragestellungen ausreichen. Für die Beantwortung der Frage, welchen Einfluss jährliche Klimaschwankungen neben der Konkurrenz– und Standortsituation des Baumes haben, ist diese Vereinfachung nicht ausreichend. Clark et al. (2007) schätzen den individuellen Jahrringzuwachs aus dem Populationsmittel, der individuellen Abweichung eines Baumes und dem Einfluss des Jahres.

In Gleichung (12) ist eine Möglichkeit dargestellt, wie der jährliche BHD-Zuwachs id_j für Bäume, deren BHD-Zuwachs nur für einen längeren Zeitraum $id_{M_0-M_1}$ bekannt ist, bestimmt werden kann. Dabei entspricht M_0 dem Jahr der ersten Messung und M_1 dem der zweiten Messung. Der Faktor r_j wird aus dem Verhältnis der mittleren Jahrringbreite $\overline{ir}_j$ eines Jahres und der mittleren Jahrringbreite $\overline{ir}_{M_0-M_1}$ des betrachteten Zeitraumes bestimmt. $\overline{ir}_j$ und $\overline{ir}_{M_0-M_1}$ können aus Bohrkerndaten bestimmt werden.

$$id_j = \frac{id_{M_0-M_1} \cdot r_j}{M_1 - M_0} \tag{12}$$

$$r_j = \frac{\overline{ir}_j}{\overline{ir}_{M_0-M_1}} \tag{13}$$

3.3.2 Ergebnisse

In Abbildung 26 sind die Jahrringbreiten zweier Bohrkerne nach der beschriebenen Methode ergänzt worden. Dazu wurde die mittlere Jahrringbreite des Baumes für jeweils fünf Jahre bestimmt ($id_{M_0-M_1}$) (rote Linie) und damit der mittlere BHD–Zuwachs, welcher sich aus periodischer BHD–Messung ergeben würde, berechnet. Dies wurde für ca. 3000 Bohrkerne gemacht und

daraus die mittlere Jahrringbreite aller Bohrkerne ($\overline{ir}_{M_0-M_1}$) für diesen Zeitraum bestimmt. Zusätzlich wurde die mittlere Jahrringbreite aller Bohrkerne ($\overline{ir}_j$) für jedes einzelne Jahr bestimmt. Damit kann nach Gleichung (12) die Jahrringbreite einzelner Jahre geschätzt werden (blaue Linie). Ein Vergleich mit den gemessenen Jahrringbreiten (schwarze Linie) zeigt, dass bei manchen Bäumen geringfügige Abweichungen beobachtet werden konnten (Abbildung 26 links). Bei anderen Bäumen wurden in manchen Jahren größere Abweichung festgestellt (Abbildung 26 rechts).

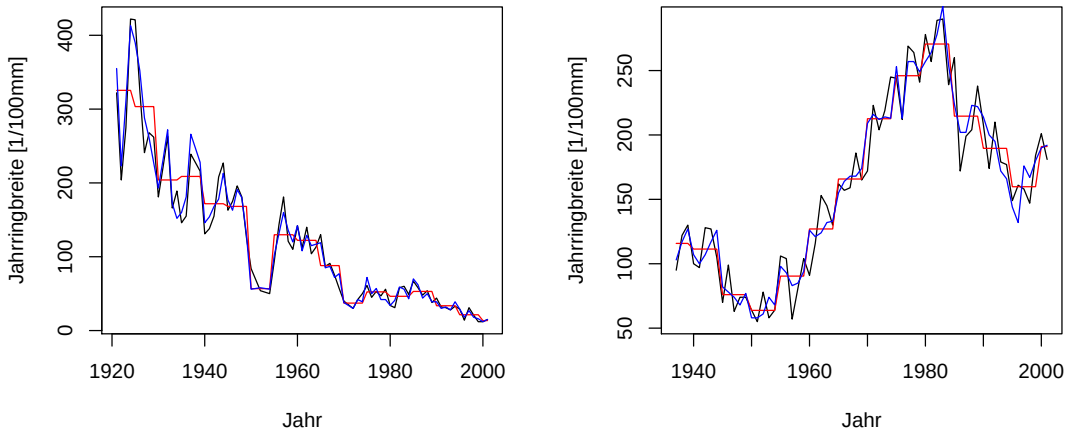


Abbildung 26: *Rekonstruktion der Jahrringbreiten.*
Schwarz…Messung, Blau…Schätzung, Rot…fünfjähriger mittlerer Zuwachs

Bei den bisherigen Untersuchungen wurden alle Bohrkerne zur Abschätzung der Jahreszuwächse eines Baumes verwendet. Bessere Ergebnisse sind zu erwarten, wenn bevorzugt Bohrkerne der selben Höhenstufe bzw. der selben Region zur Rekonstruktion verwendet werden.

3.4 Einfluss von Standorts- und Baummerkmalen auf die Jahrringbreite

Dittmar und Elling (1999) untersuchten die Abhängigkeit der Jahrringbreite von Witterung und Höhenlage bei Fichte und Buche. Dabei zeigten sie, dass Jahrringbreite und Temperatur in den tieferen Lagen negativ und in den Hochlagen positiv korrelieren. Warme Temperaturen brachten demnach Zuwachssteigerungen in den Hochlagen und Zuwachsrückgänge in den Tieflagen. Beim Niederschlag zeigte sich ein umgekehrter Zusammenhang. Hier korrelierte die Jahrringbreite in der Tieflage positiv mit der Niederschlagsmenge und die Hochlage negativ. Eine Zunahme der Niederschlagsmenge führte demnach zu einer Steigerung der Jahrringbreite in der Tieflage und zu einer Reduktion in der Hochlage. Dittmar et al. (2003) untersuchten den Zusammenhang zwischen Temperatur und Jahrringbreite bzw. Niederschlag und Jahrringbreite von Buche einzelner Monate zweier Höhenstufen in Zentraleuropa. Darin wurde gezeigt, dass Hochlagen generell von einer Temperatursteigerung profitierten und die tieferen Lagen von niederen Temperaturen in den Monaten März bis September und höheren Temperaturen in den Monaten Oktober bis Februar. Beim Niederschlag zeigten die tieferen Lagen allgemein Zuwachssteigerungen bei vermehrten Niederschlagsmengen. Frank und Esper (2005) zeigten ebenfalls mit dem Zunehmen der Seehöhe von 1600 m auf 2000 m ein Ansteigen der Korrelation zwischen Jahrringbreite und Juni–August Temperatur von -0,2 auf 0,6. Savva et al. (2006) untersuchten Klimaeinflüsse auf den Zuwachs entlang eines Höhengradienten in der Tatra. Hohe Temperaturen im März führen in der Tieflage zu vermehrten Zuwächsen, in der Hochlage bleiben die Zuwächse

gleich. In den Monaten Juni und Juli bewirken hohe Temperaturen Zuwachssteigerungen in der Hochlage, in der Tieflage bleiben die Zuwächse in etwa gleich.

3.4.1 Methoden

Anhand der Bohrkerndaten, Baum– und Standortsbeschreibung wurden die Einflüsse von Bodenmerkmalen, Seehöhe des Standortes, BHD sowie durchschnittlichem Zuwachs auf die Jahrringbreitenschwankungen untersucht. Zur Unterstützung der Interpretation wurden Temperatur– und Niederschlagsabweichungen vom 30-jährigen Monatsmedian herangezogen.

Es wurde von allen Bohrkernen der gleitende Median aus den vier vorangegangenen und den vier nachfolgenden Jahren berechnet. Die Jahrringbreite des untersuchten Jahres wurde zur Medianbildung nicht herangezogen. Es wurden nur jene Jahrringfolgen verwendet, welche sowohl vier vorangehende, als auch vier nachfolgende Jahrringbreitenmessungen aufwiesen. Der Zeitraum zur mittleren Temperatur– und Niederschlagsbestimmung sollte auf den selben Zeitraum von vier vorangegangenen/nachfolgenden Jahren bezogen werden, um eine Interpretation mit Hilfe der Klimawerte zu erleichtern. Deshalb wurde die selbe Vorgehensweise zunächst zur Bestimmung der Monatsmittelwerte von Temperatur und Niederschlag angewandt. Durch die hohe Schwankung der Klimamonatsmittelwerte zwischen einzelnen Jahren wurde sowohl der Bezugszeitraum auf 15 Jahre vor bzw. nach dem Bezugsjahr erweitert, als auch der Messwert des Bezugsjahres für die Medianbildung herangezogen. Der Median der Klimawerte wurde auch dann bestimmt, wenn der Zeitraum von -15 Jahren bis +15 Jahren nicht komplett mit Messwerten abdeckt war.

Ob es zwischen verschiedenen Bodengruppen in einzelnen Jahren unterschiedliche Zuwachsänderungen gibt, kann durch Berechnen der mittleren Zuwachsänderung je Bodengruppe und Überprüfung der Signifikanz mittels t–Test geprüft werden. In Abbildung 27 sind Zuwachsunterschiede von Fichte im Jahr 1987 zwischen verschiedenen Bodengruppen dargestellt. Der linke graue Balken zeigt den mittleren Jahrringbreitenunterschied für alle Bohrkerne dieses Jahres an. Die Signifikanz dieses Unterschiedes vom mittleren Zuwachs wird durch nachgestellte Sterne beim Wort „Alle“ angezeigt. Die Jahrringbreiten-Abweichung für durchschnittliche Standorte zeigt der mittlere graue Balken an, welcher mit „Normal“ bezeichnet ist. Als durchschnittliche Standorte werden alle Standorte, welche nicht den Bodengruppen 1, 7, 11–14, 17, 18, 20–25 (Kodierung siehe Eintrag sg auf Seite 16) angehören, betrachtet. Für Standorte mit Böden geringer Wasserhaltekapazität (Bodengruppen 1, 17 und 18) zeigt der rechte Balken deren mittlere Abweichung. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen „Normal“ und „Trocken“ werden durch vorangestellte Sterne beim Wort „Trocken“ gekennzeichnet. Im dargestellten Jahr war der Zuwachs signifikant geringer als im Durchschnitt. Trockene Standorte unterschieden sich signifikant von durchschnittlichen Standorten.

Die Abweichung der Temperatur bzw. des Niederschlages vom 30-jährigen Mittel ist in Abbildung 28 dargestellt. Die Temperatur- (rote Linie) und Niederschlagsabweichung (blaue Linie) ist für die Monate September bis Dezember (s, o, n, d) des Vorjahres und Januar bis August (J, F, M, A, M, J, J, A) des untersuchten Jahres dargestellt. Die Abweichungsbeträge können auf der rechten Ordinate abgelesen werden. Im dargestellten Jahr sind die Monate Januar und März um mehr als 3 °C kälter als im Mittel. Im Mai lag die Temperatur um 2,5 °C unter und der Niederschlag 50 mm über dem langjährigen Mittel. Die Klimawerte wurden mit der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Methode auf Punkte, von welchen Bohrkerndaten im entsprechenden Jahr von der jeweiligen Baumart vorhandene waren, interpoliert.

Unterschiede in den Zuwachsabweichungen einzelner Höhenstufen, mit einer Klassenbreite von 200 m, wurden durch Mittelbildung der Abweichung der Höhenstufe und t–Test untersucht. In Abbildung 29 sind die Jahrringbreiten-Abweichungen für unterschiedliche Höhenstufen im Jahr 1987 dargestellt. Die Skala der linken Ordinate zeigt die Abweichungen der Jahrringbreite 1987 vom Jahrringbreitenmedian der vier vorangegangenen sowie der vier folgenden Jahre. Die schwarze Linie zeigt diese Abweichungen für die Höhenstufen 200 m bis 1800 m an. Die Dreiecksgröße signalisiert das Signifikanzniveau der Abweichung vom 8-Jahres-Median. Im Jahr 1987 zeigte nur die Höhenstufen 1200 m einen signifikanten Unterschied.

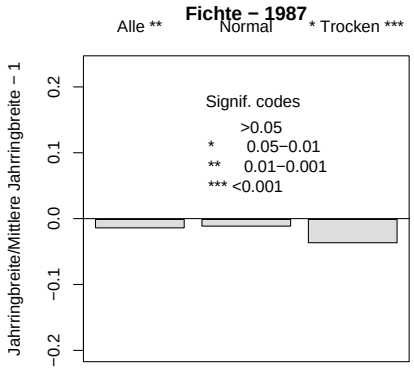


Abbildung 27: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei Fichte im Jahr 1987 auf unterschiedlichen Bodengruppen.*

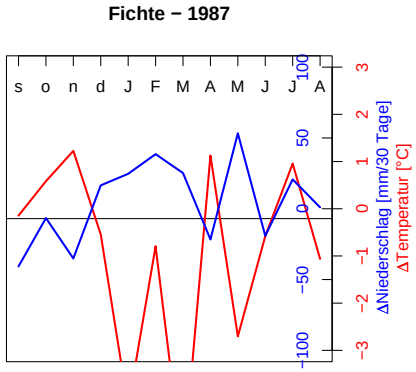


Abbildung 28: *Temperatur– und Niederschlagsabweichungen vom gleitenden Mittel in einzelnen Monaten.*

In Abbildung 30 ist die Jahrringbreiten-Abweichung für Bäume mit unterschiedlicher Zuwachsleistung dargestellt. Die mittlere Jahrringbreite wurde als der Median der 4 vorangegangenen und der 4 nachfolgenden Jahre, ohne der Jahrringbreite des betrachteten Jahres, berechnet. Signifikante Abweichungen werden durch unterschiedliche Größen der Quadrate dargestellt. In diesem Jahr wuchsen langsamwüchsige Bäume (mittlere Jahrringbreite 0–0,05 mm) besser, Bäume mit 0,05–0.25 mm Jahrringbreite schlechter als im Durchschnitt.

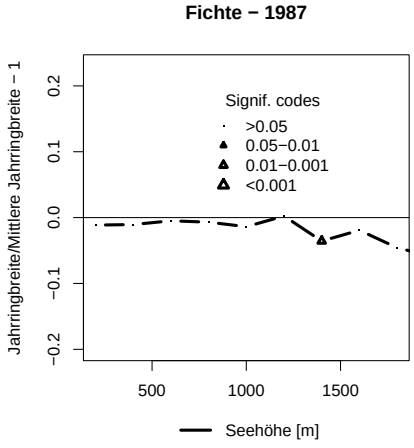


Abbildung 29: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel in unterschiedlichen Seehöhen.*

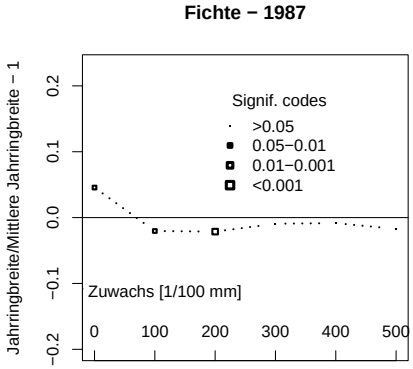


Abbildung 30: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei unterschiedlichen mittleren Zuwachsleistungen.*

In Abbildung 31 ist die Jahrringbreiten-Abweichung für Bäume nach deren BHD-Klasse dargestellt. Der BHD wurde für das entsprechende Jahr aus dem gemessenen BHD der Aufnahme, abzüglich der Summe der doppelten Jahrringbreiten die bis dahin zugewachsen sind, berechnet. Signifikanzen wurden durch unterschiedliche Kreisgrößen dargestellt. In dieser Abbildung hatte die BHD-Klasse 25–35 cm in diesem Jahr einen signifikant kleineren Zuwachs.

In Abbildung 32 sind alle zuvor beschriebenen Informationen (Abbildung 27 bis 31) in einer

Abbildung zusammengefasst.

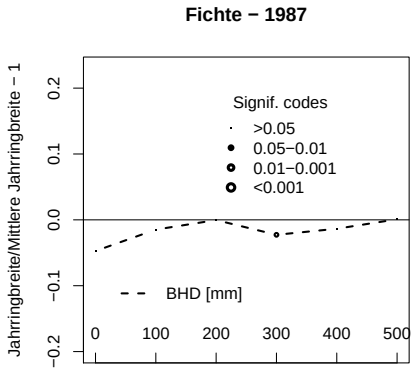


Abbildung 31: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei unterschiedlichem BHD.*

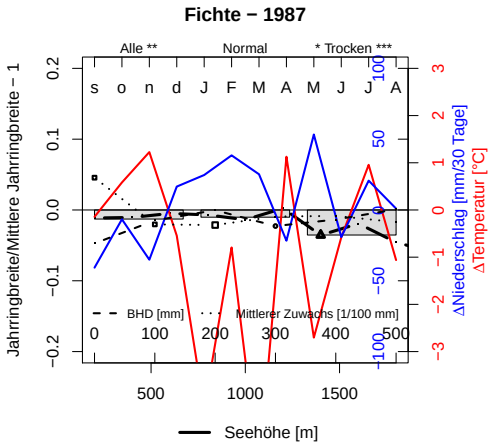


Abbildung 32: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei Fichte im Jahr 1987.*

3.4.2 Ergebnisse

Die Abbildungen 33, 34, 35 und 36 zeigen die Jahrringbreiten-Abweichung von der mittleren Jahrringbreite für Fichte, Kiefer, Lärche und Tanne in den Jahren 1917, 1926, 1948, 1976, 1987 und 1989.

Im Jahre 1917 war es in den Monaten Mai und Juni um ca. 2 °C wärmer als im 30-jährigen Mittel. Die Niederschlagsmenge war zur gleichen Zeit um 60 mm geringer. Unter diesen Bedingungen zeigte die Fichte (Abbildung 33) eine stark von der Höhenlage abhängige Wuchsreaktion. Die Jahrringbreite war in 1800 m Seehöhe um 20 % breiter und in 400 m Seehöhe um 10 % schmäler als im achtjährigen Mittel. Lärche (Abbildung 35) zeigte in diesem Jahr in der Höhenstufe 1800 m einen über 20 % größeren BHD–Zuwachs. Lärchen in 1000 m hatten um 10 % schmälere Jahrringbreiten. Tanne (Abbildung 36), von welcher Bohrkerne in der Höhenlage 600 m – 1200 m vorlagen, zeigte den selben, von der Höhenlage abhängigen Trend. Kiefer (Abbildung 34) hatte in den Höhenstufen 400 m und 600 m signifikant geringere Zuwächse. Bei der Betrachtung des BHD hatten Fichten mit 40 cm BHD einen um 5 % und mit BHD = 50 cm um beinahe 20 % stärkeren Zuwachs. Bei den anderen Baumarten war eine Abhängigkeit vom BHD weniger stark ausgeprägt. Bei Fichte, Kiefer und Lärche war zu beobachten, dass Bäume mit durchschnittlich engen Jahrringbreiten in diesem Jahr etwas über dem Durchschnitt liegende Jahrringbreiten, und Bäume mit durchschnittlich großen Jahrringbreiten etwas unter dem Durchschnitt liegende Jahrringbreiten hatten. Trockene Standorte zeigten bei Fichte, Lärche und Tanne geringere Jahrringbreiten gegenüber durchschnittlichen Standorten, wobei der Unterschied nur bei Fichte signifikant war.

Im Jahre 1926, welches in den Monaten Mai, Juni und Juli kalt und regenreich war, zeigte sich ein nahezu umgekehrter Höhentrend zum Jahr 1917. Hier hatten die Tieflagen aller vier Baumarten überdurchschnittliche Durchmesserzuwächse und die Hochlagen kleiner Jahrringbreiten. Abhängigkeiten von BHD und Zuwachsleistung waren nur schwach ausgeprägt. Auf trockenen Standorten zeigten Fichten signifikant höhere Zuwächse gegenüber jenen auf durchschnittlichen Standorten.

Im Jahr 1948, welches im April und Mai warm und trocken und im Juni und Juli kalt und feucht war, zeigten alle Baumarten einen Zuwachsrückgang, wobei die Tieflage etwas weniger stark betroffen war. Kiefer zeigte in diesem Jahr kleinere Zuwachsrückgänge als die anderen drei Baumarten.

Das Jahr 1976 war im Juni niederschlagsarm und warm und im August kalt. Alle Baumarten und Höhenstufen zeigten ein vermindertes Wachstum, wobei Kiefer den stärksten Zuwachsrückgang hatte. Bei Fichte und Tanne waren die höher gelegenen und bei Lärche die tiefer gelegenen Bäume weniger stark betroffen. Starke Kiefern zeigten einen stärkeren Jahrringbreitenrückgang als schwache. Fichte und Tanne hatten auf trockenen Standorten signifikant geringere Zuwächse gegenüber durchschnittlichen Standorten.

Das Jahr 1987 hatte sehr niedere Temperaturen im Januar, März und Mai. Fichte hatte annähernd durchschnittliches Wachstum. Bei Kiefer war ein Rückgang der Jahrringbreite mit zunehmender Wuchsleistung zu beobachten. Lärche zeigte überdurchschnittlich breite Jahrringe, wobei schnell wachsende weniger starke Zuwachssteigerungen zeigten. Mit Zunahme des BHD war eine Zunahme der positiven Jahrringbreiten-Abweichung zu beobachten. Tanne zeigte annähernd durchschnittliche Zuwachsleistungen.

Im Jahr 1989 war es im März und April wärmer, im Juni kälter und im Juli gab es überdurchschnittliche hohe Niederschläge. Alle vier Baumarten zeigten bis 1500 m Höhe breitere, darüberliegende Höhenlagen schmälere Jahrringe. Auf trockenen Standorten zeigte Fichte größere und Kiefer kleinere Zuwächse gegenüber durchschnittlichen Standorten.

Neben den dargestellten Zusammenhängen von Boden, Seehöhe, durchschnittlichem Zuwachs und BHD könnten weitere Faktoren, wie z. B. Bekronungsgrad oder Bestandesdichte, untersucht werden. Dabei ist zu beachten, dass einige Faktoren nur für einen begrenzten Zeitraum sinnvoll einsetzbar sind (z. B. kann eine einmalige Kronenlängenerhebung nicht beliebig lang als annähernd gleich bleibend angenommen werden). Auch der Unterschied der Jahrringbreite kann auf andere Referenzen (z. B. nur das vorherige Jahr) bezogen werden bzw. es kann statt des Medians auch der Mittelwert bestimmt werden. Für die Bestimmung der Temperatur- und Niederschlagsabweichungen kann ebenfalls ein beliebiger Referenzzeitraum verwendet werden.

Ein kurzer Referenzzeitraum zur Bestimmung der durchschnittlichen Jahrringbreite ist geeignet, um Einflüsse von Alterswachstumstrends oder Zuwachsreaktionen auf Durchforstungen gering zu halten. Ein langer Referenzzeitraum hingegen verringert ein starkes Schwanken der Referenzjahrringbreite zwischen einzelnen Jahren.

Insgesamt lassen sich die Beobachtungen von Dittmar und Elling (1999); Dittmar et al. (2003); Frank und Esper (2005), dass eine kurzfristige Erhöhung der Temperatur zu Zuwachssteigerungen in den Hochlagen und Zuwachsrückgängen in den Tieflagen führt, sowie eine Erhöhung der Niederschlagsmenge zu Zuwachssteigerungen in den Tieflagen führt, bestätigen. Anscheinend ist für Hochlagen überwiegend die niedere Temperatur, und für Tieflagen die Wasserversorgung zuwachslimitierend.

3.5 Zusammenhang zwischen Wuchsgebieten und Jahrringbreitenmustern der Fichtenbohrkerne

Regionale Unterschiede von Weiserjahren in Zentraleuropa werden von Neuwirth et al. (2007) in neun Regionen zusammengefasst, wobei innerhalb dieser Regionen zwischen Höhenstufen unterschieden wird. Regionale Unterschiede hinsichtlich Temperatur und Niederschlag sollen die Unterschiede bei den Weiserjahren hervorrufen. Mäkinen et al. (2002) berichten, dass sich einzelne Regionen in Deutschland, Norwegen und Finnland entlang eines Nord– Südgradienten hinsichtlich dekadialer Wachstumstrends deutlich unterscheiden. Innerhalb ihrer ausgeschiedenen Regionen sind diese dekadialen Wachstumstrends unabhängig von Seehöhe oder Breitengrad. Zuwachsschwankungen einzelner Jahre konnten hingegen über alle Regionen beobachtet werden, was sie darauf schließen lässt, dass einzelne wachstumsbestimmende Faktoren das gesamte untersuchte Gebiet beeinflussen.

Kilian et al. (1994) teilen Österreich in 22 Wuchsgebiete ein, welche nach forstökologischen Gesichtspunkten zusammengefasste Großlandschaften mit weitgehend einheitlichem Klimacharakter und einheitlichen geomorphologischen Grundeinheiten darstellen. Hier wird untersucht, ob einzelne Wuchsgebiete alleine durch das Muster ihrer Jahrringbreiten unterscheidbar sind und ob Gruppierungen einzelner Bäume aufgrund der vorliegenden Jahrringbreitenmessungen

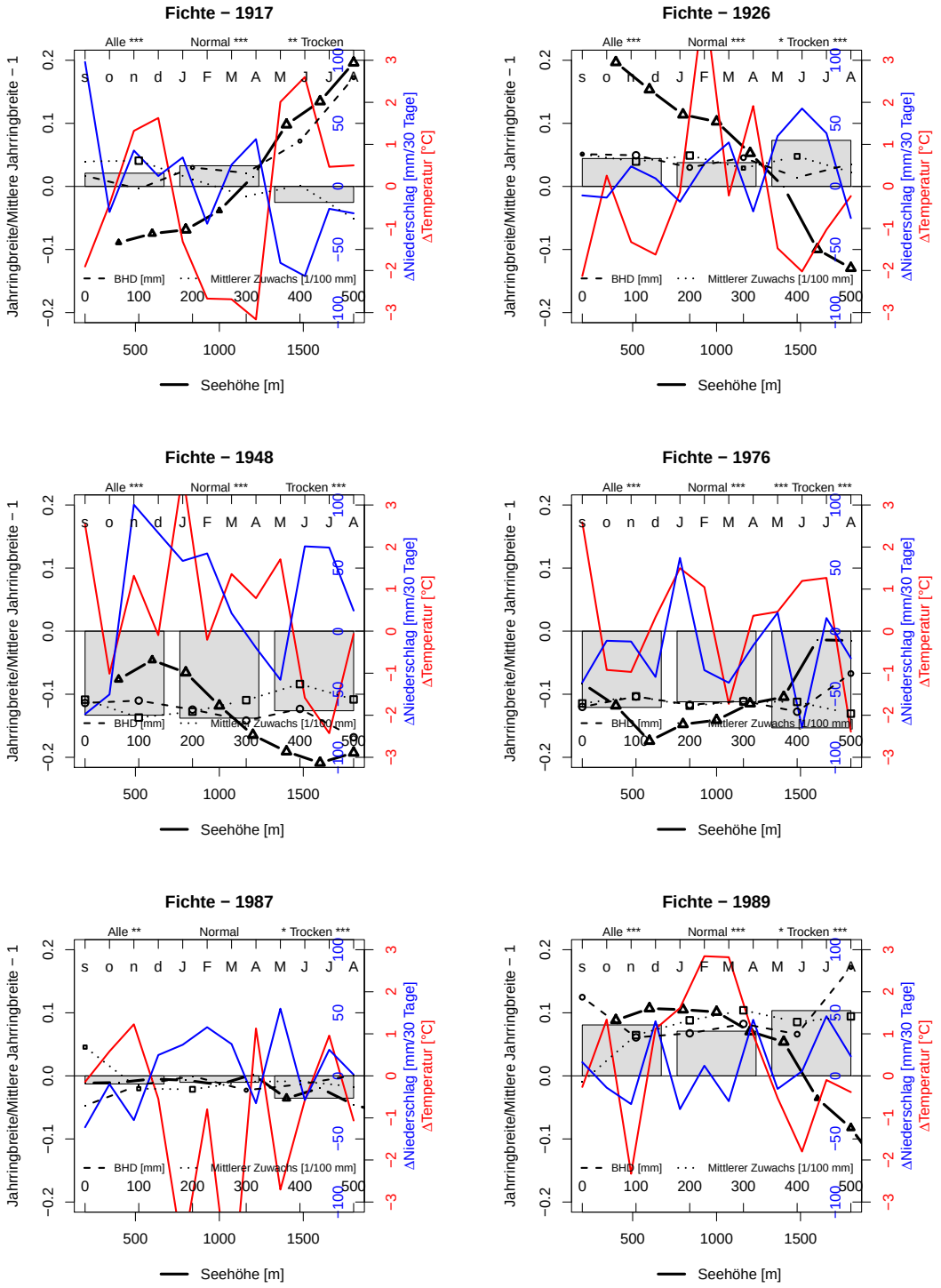


Abbildung 33: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei Fichte in einzelnen Jahren.*

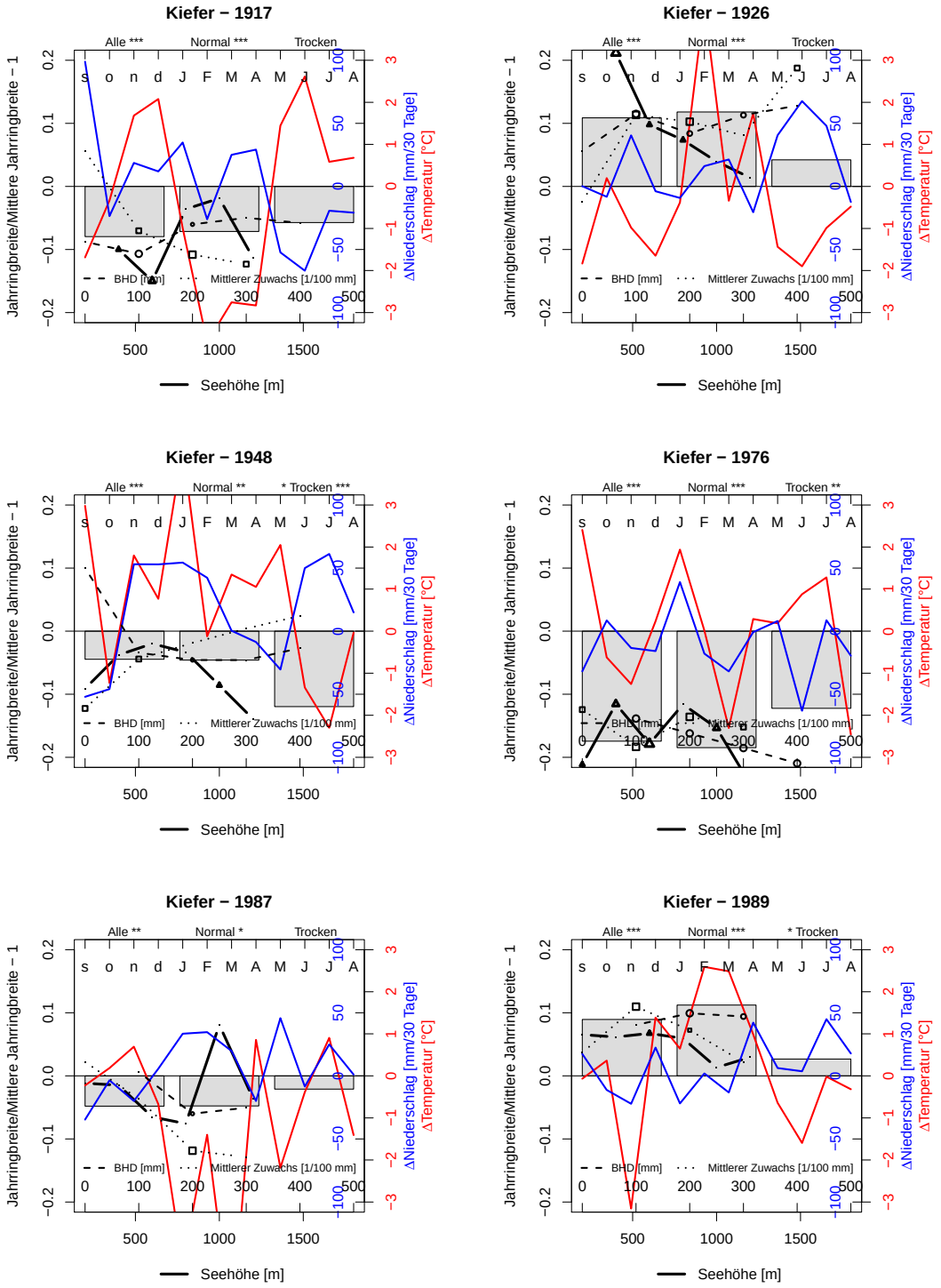


Abbildung 34: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei Weißkiefer in einzelnen Jahren.*

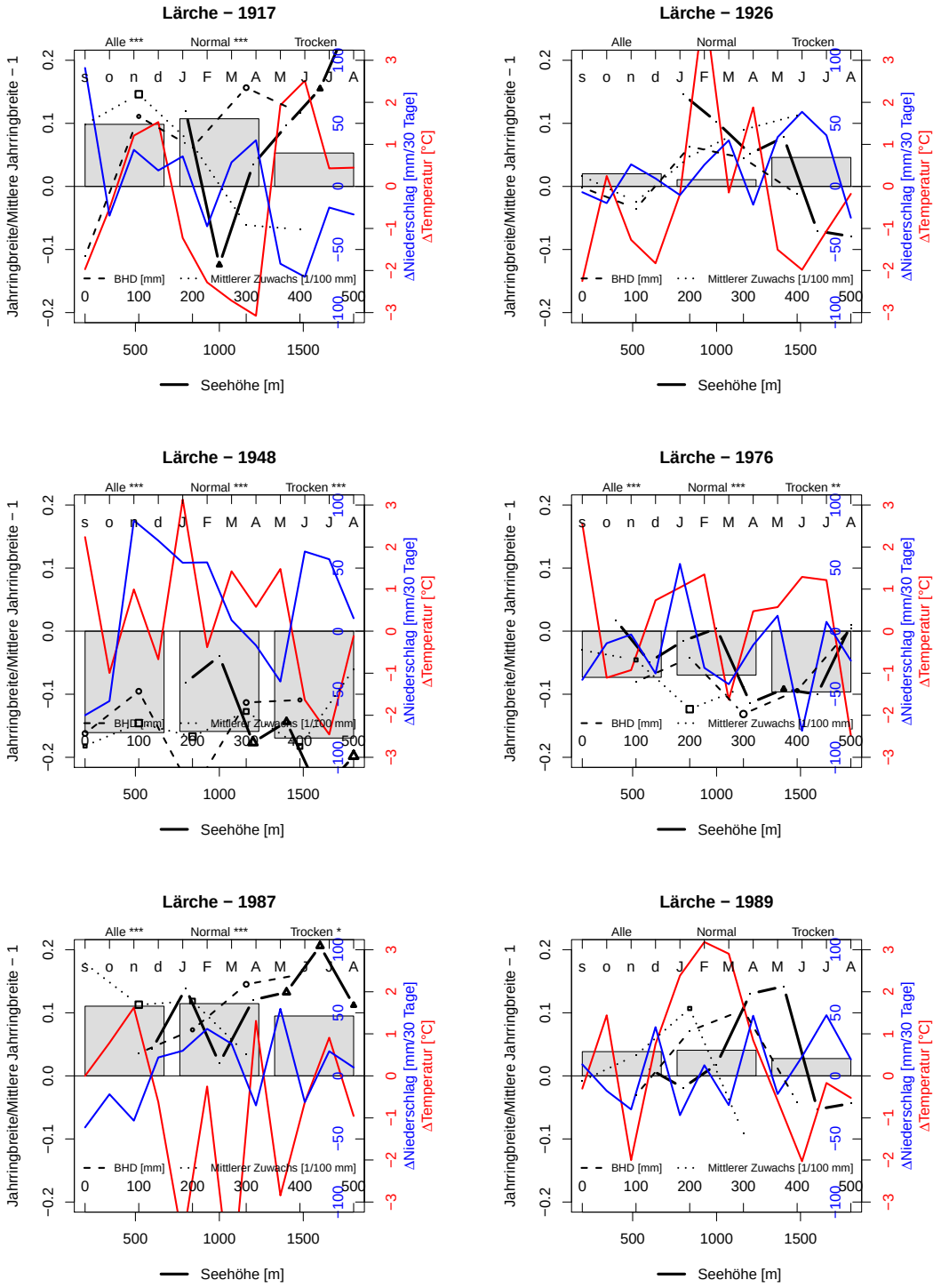


Abbildung 35: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei Lärche in einzelnen Jahren.*

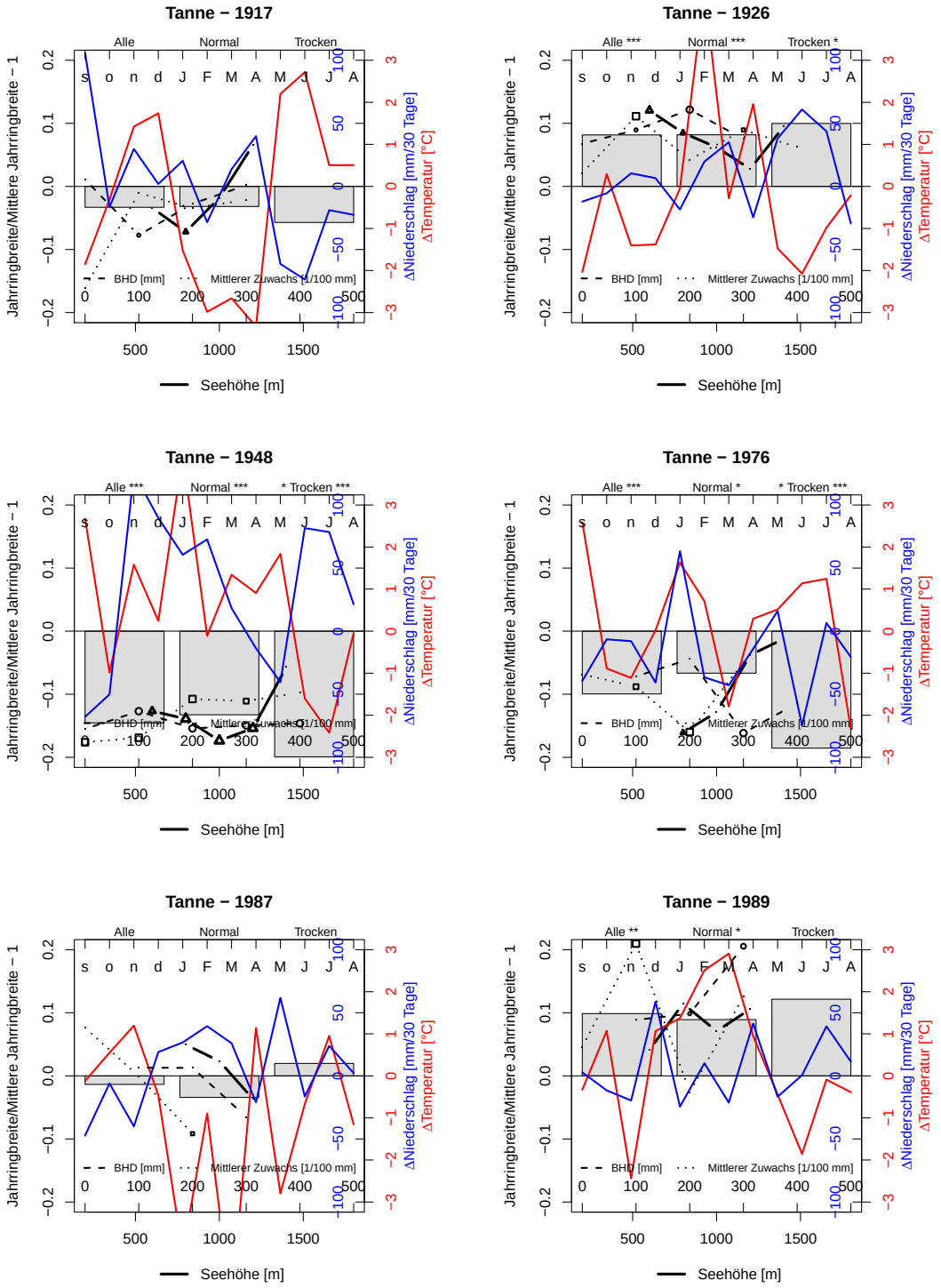


Abbildung 36: *Jahrringbreiten-Abweichungen vom gleitenden Mittel bei Tanne in einzelnen Jahren.*

auch räumlich zusammenhängende Regionen ergeben.

Im ersten Schritt wird überprüft, wie viele Bäume je Wuchsgebiet beobachtet wurden. In Abbildung 37 ist die Anzahl der beprobten Fichten in den einzelnen Wuchsgebieten je Aufnahmeperiode dargestellt. Von den Wuchsgebieten 1.1, 5.1, 5.2, 5.4, 6.2, 7.2, 8.1 und 8.2 sind weniger als 100 und von den Wuchsgebieten 1.3, 3.2, 4.1, 4.2 mehr als 300 Bohrkerne vorhanden.

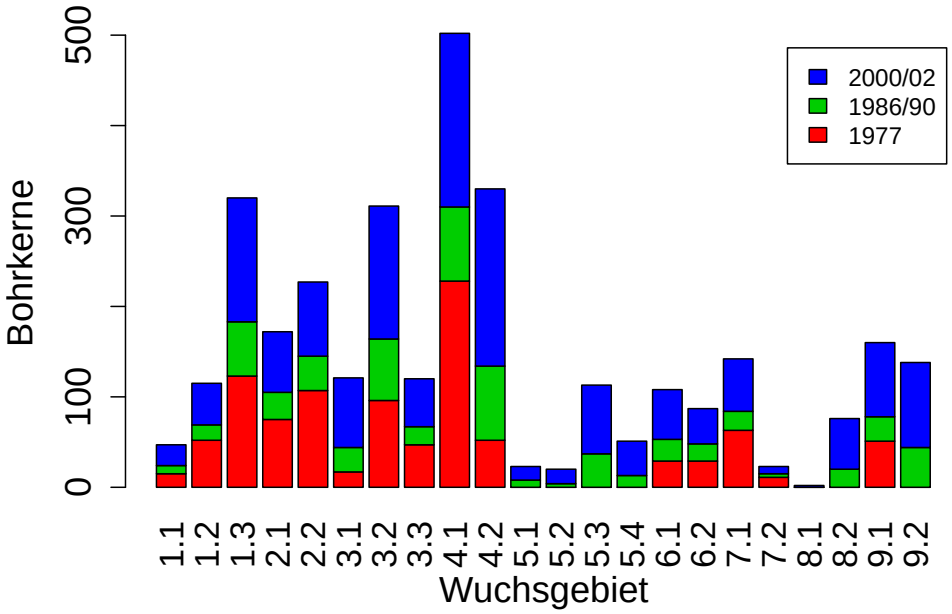


Abbildung 37: *Anzahl der beprobten Fichten je Wuchsgebiet.*

Bei der Untersuchung werden Jahrringbreiten einzelner Jahre verwendet. Es ist daher die Anzahl der gemessenen Jahrringbreiten einzelner Jahre entscheidender als die Anzahl an Bäumen bzw. Bohrkernen. Die Anzahl der gemessenen Jahrringe je Bohrkern reicht von 2 bis 347 und beträgt im Median 63. Es liegen nicht von jedem Bohrkern zu jedem Zeitpunkt Jahrringbreitenmessungen vor. Damit liegt die Anzahl der verwendbaren Bäume in einzelnen Jahren in der Regel unter der Anzahl der beprobten Bäume. Die Anzahl der auswertbaren Jahrringbreiten je Jahr nimmt in den Perioden, wo Bohrkerne geworben wurden, zu (Abbildung 38). Im Jahr 1977 wird ein Maximum von 3008 Jahrringbreiten erreicht. Bis zum Jahr 1950 verringert sich diese Anzahl auf 2273 Jahrringbreiten, 1925 auf 1561 Jahrringbreiten und 1900 auf 930 Jahrringbreiten.

Um den Einfluss von Alterstrend (Bräker, 1981), Standort und Bestandesdichte auf die absolute Jahrringbreite zu verringern, wurde ein Index (IDX) aus dem Verhältnis zwischen der diesjährigen Jahrringbreite und jener des Vorjahres mit Gleichung (14) berechnet, wobei ir die Jahrringbreite bezeichnet. Werte von IDX liegen zwischen -1 und +1. Wenn der Jahrring des Vorjahres breiter ist als jener des untersuchten Jahres, nimmt IDX Werte kleiner 0 an. Wenn beide Jahrringe gleich groß sind, gilt IDX=0 und wenn der derzeitige Jahrring breiter ist als der Vorjahresjahrring ist IDX größer als 0. Abbildung 39 zeigt, dass die Verteilung der berechneten Indices aller Fichten für den Zeitraum 1900 bis 2000 annähernd symmetrisch ist. Die meisten IDX liegen nahe 0, welches durch annähernd gleichweite Jahrringbreiten von aufeinanderfolgenden Jahrringen bedingt wird. Mehr als 50 % der Beobachtungen liegen zwischen -0,15 und 0,15 (Jahrringbreitenschwankungen unter 15 %). Der Mittelwert beträgt -0,00633 und ist signifikant (p = 0,001 %) von 0 verschieden. Die mittlere jährliche Jahrringbreitenabnahme von 0,6 % kann durch einen Alterstrend verursacht sein.

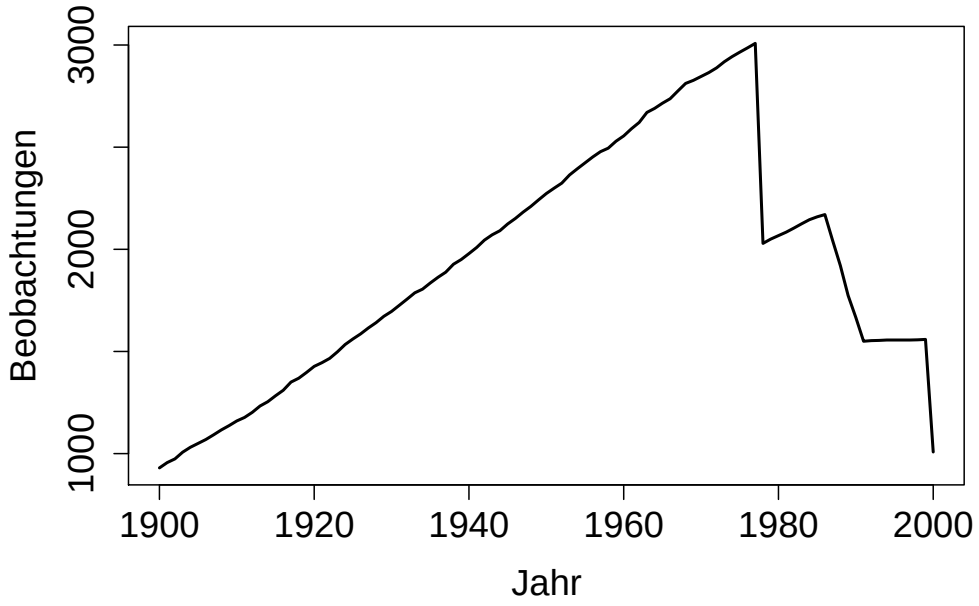


Abbildung 38: *Anzahl der gemessenen Jahrringbreiten von Fichte in den einzelnen Jahren.*

$$\text{IDX}_{Jahr} = \begin{cases} 0 & ir_{Jahr} = 0 \ \cap \ ir_{Jahr-1} = 0 \\ \frac{ir_{Jahr}}{ir_{Jahr-1}} - 1 & ir_{Jahr} \leq ir_{Jahr-1} \\ 1 - \frac{ir_{Jahr-1}}{ir_{Jahr}} & ir_{Jahr} > ir_{Jahr-1} \end{cases} \tag{14}$$

Im Zeitraum 1900–2000 gab es Jahre mit starken Zuwachssteigerungen und andere mit starken Zuwachsrückgängen gegenüber dem Vorjahr. Abbildung 40 zeigt den mittleren Index der Jahre 1900 bis 2000. Die niedrigsten Werte wurden 1976 (-0,17), 1948 (-0,15) und 1984 (-0,14) und die höchsten Werte 1997 (0,17), 1977 (0,15) und 1955 (0,12) beobachtet. Diese Extreme folgen meist aufeinander. Auf hohe Indices eines Jahres folgen meist kleine Indices (1949, 1955, 1977) und auf niedere Indices folgen hohen Indices (1954, 1976, 1984, 1986). 1948 bildet hier eine Ausnahme, da es eine starke Jahrringbreitenabnahme zeigt, obwohl die Vorgängerjahre 1944 bis 1947 bereits kleine Jahrringrückläufigkeiten anzeigen. Im Zeitraum 1986 bis 1996 zeigen 10 von 11 Jahren einen kleiner werdenden Jahrring. Diesen langen Zeitraum, von kleiner werdenden Jahrringen, beendete das Jahr 1997, welches die größte Jahrringbreitensteigerung des gesamten Beobachtungszeitraumes zeigt.

Wenige stark abweichende Bäume können den mittleren Index eines Jahres gravierend beeinflussen. Um zu zeigen, wie groß der Anteil der Bäume mit Zuwachssteigerung in einzelnen Jahren ist, wird der Anteil der Bäume mit positivem Index bestimmt. In Abbildung 41 ist dieser Prozentsatz dargestellt. Das Muster ist jenem in Abbildung 40 sehr ähnlich. Hier wird allerdings gezeigt, wie viele Bäume einen Zuwachsrückgang bzw. eine Zuwachssteigerung in diesem Jahr hatten. Es ist zu sehen, dass in den extremsten Jahren 1976, 1984 und 1948 etwa 75 % einen Wachstumsrückgang und 1955, 1977 und 1997 75 % der Bäume eine Wachstumssteigerung zeigten.

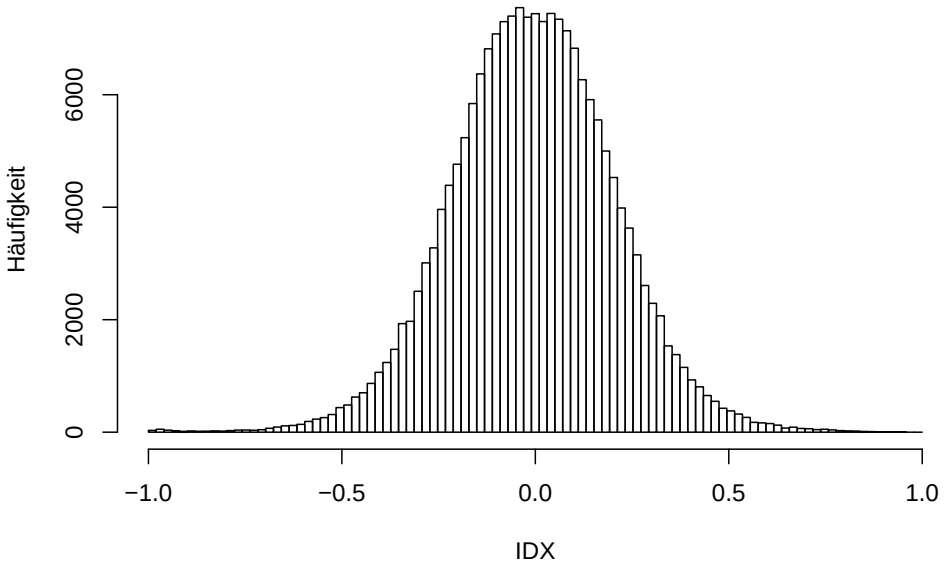


Abbildung 39: *Verteilung der Jahrringindices.*

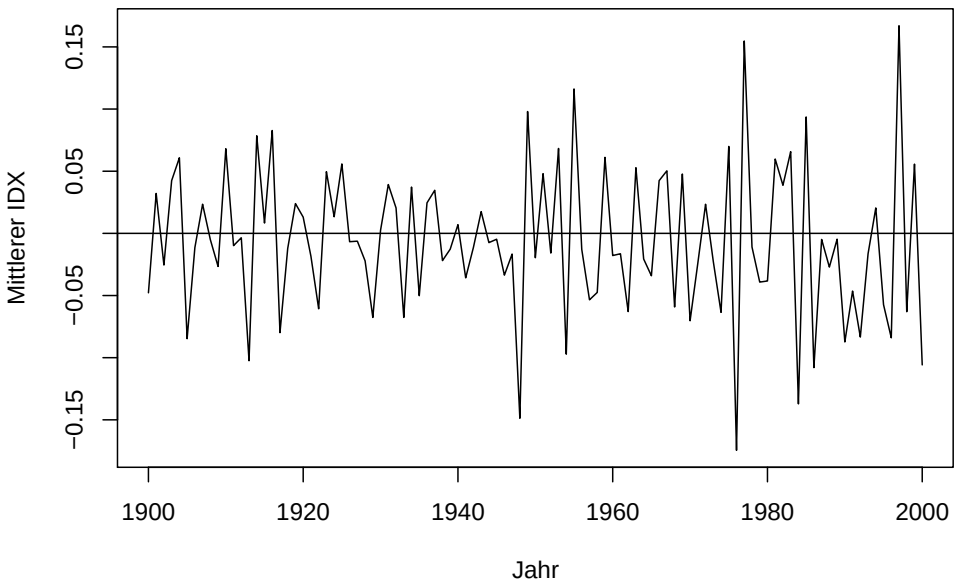


Abbildung 40: *Mittlere Jahrringindices der Fichtenbohrkerne für den Zeitraum 1900–2000.*

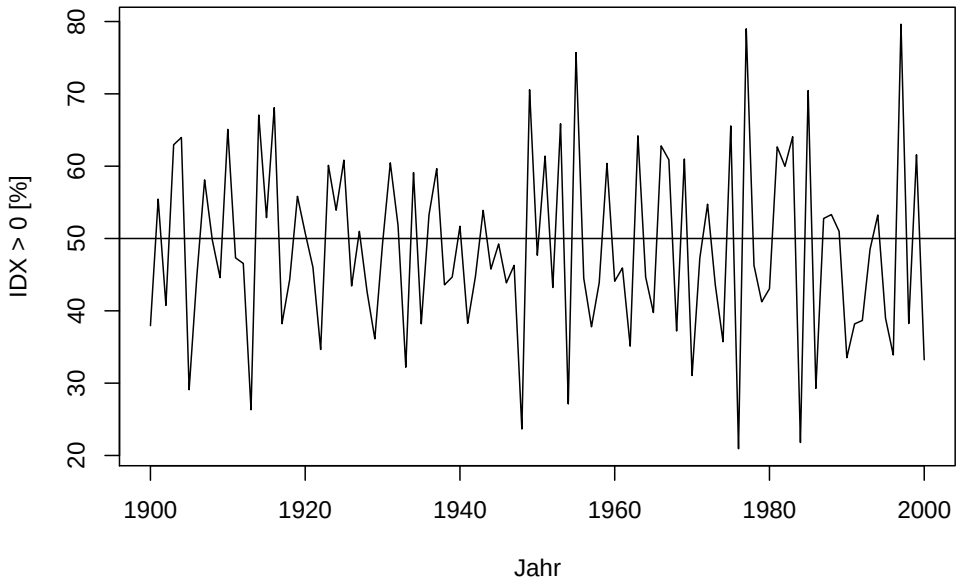


Abbildung 41: *Anteile an positiven Jahrringindices.*

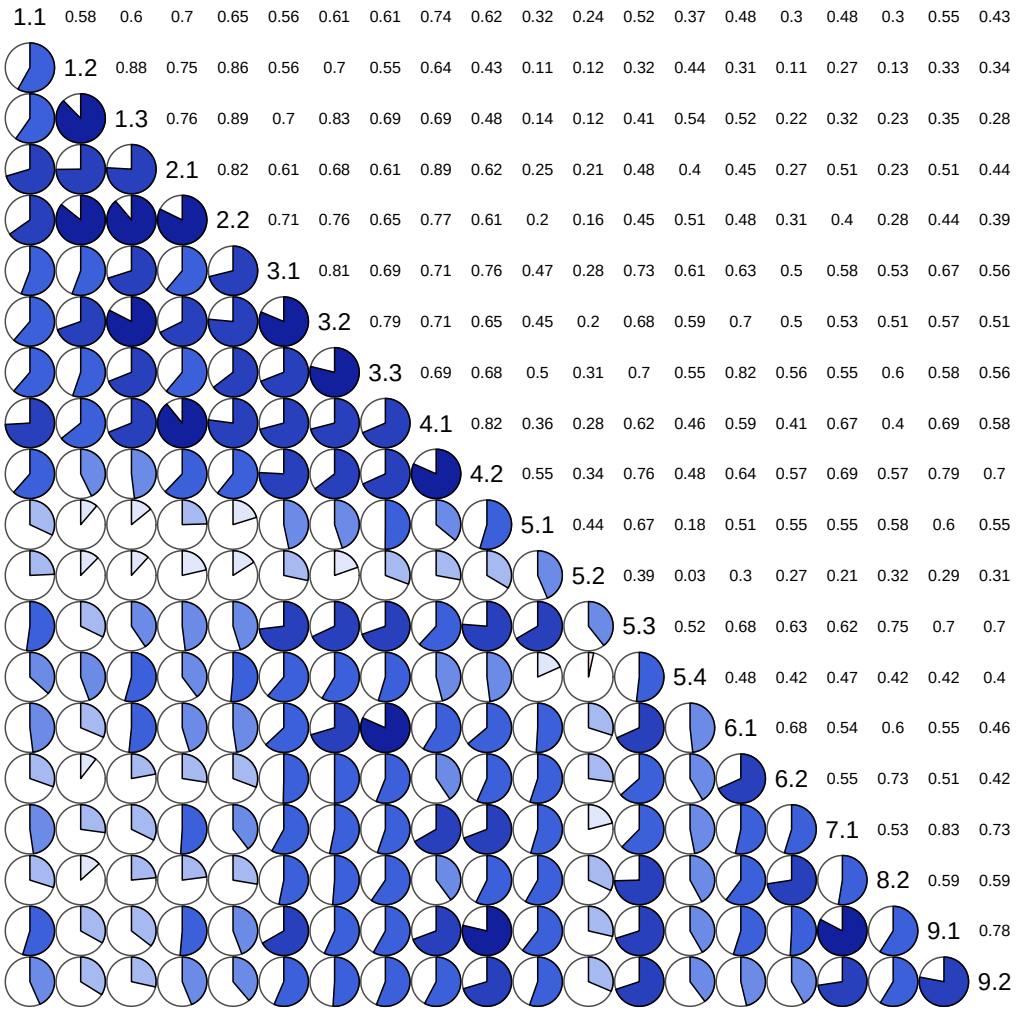


Abbildung 42: *Korrelation der mittleren Jahrringindices zwischen den einzelnen Wuchsgebieten*
Rechts oben…Korrelation zwischen zwei Wuchsgebieten (z. B. beträgt die Korrelation zwischen Wuchsgebiet 1.1 und 1.2 r = 0,58), Diagonale von links oben nach rechts unten…Wuchsgebietsnummer, links unten…graphische Korrelationsdarstellung (bei r = 1 ist die Fläche dunkelblau gefüllt, bei r = 0,5 ist die Hälfte gefüllt und bei r = 0 ist sie garnicht gefüllt.)

3.5.1 Korrelationen zwischen mittleren Wuchsgebietsindices

Wird für jedes Jahr und jedes Wuchsgebiet der mittlere IDX bestimmt, kann eine Korrelation dieser Indices zwischen den Wuchsgebieten bestimmt werden. Ähnliche Wuchsgebiete werden positive und unähnliche negative Korrelationen zeigen. Es wurde für alle 22 Wuchsgebiete der mittlere Index berechnet und danach die Korrelation dieses Mittelwertes zwischen den Wuchsgebieten bestimmt. In Abbildung 42 ist die Korrelation zwischen den einzelnen Wuchsgebieten dargestellt, wobei die Gebiete 7.2 und 8.1 weggelassen wurden, da sie den Zeitraum 1900-2000 nicht vollständig mit Daten abdecken konnten. Es gibt nur positive Korrelationen zwischen den einzelnen Wuchsgebieten. Besonders hohe Korrelationen ($r \geq 0{,}88$) bestehen zwischen den Wuchsgebieten 1.2 & 1.3, 1.3 & 2.2 und 2.1 & 4.1. Hohe Korrelationen bestehen zwischen den Wuchsgebieten 1.x, 2.x und 4.x. Die Region 3.x zeigt zu den angrenzenden Wuchsgebieten 1.3 und 6.1 sowie 4.x einen hohen Korrelationskoeffizienten. Die Region 9.x zeigen zum Wuchsgebiet 7.1 eine hohe Korrelation. Die Beckenlagen 6.2 und 8.2 zeigen ein ähnliches Muster. Eine sehr geringe Korrelation besteht zwischen den Gebieten 5.2 und 5.4.

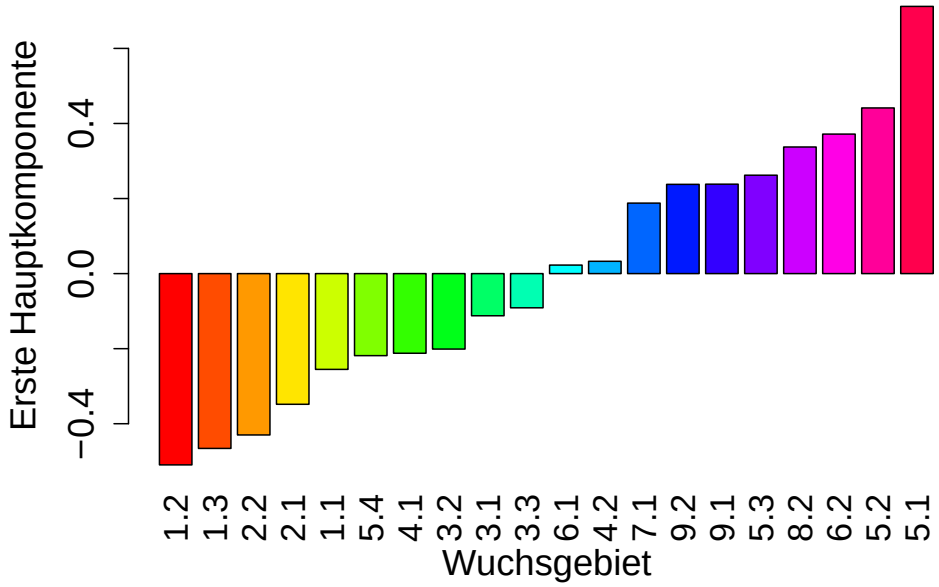


Abbildung 43: *Wuchsgebiete entlang der ersten Hauptkomponente der mittleren Indices der Jahre 1900–2000.*

3.5.2 Hauptkomponentenanalyse der mittleren Wuchsgebietsindices

Mit den Jahresmittelwerten der Indices je Wuchsgebiet kann neben einer Korrelationsanalyse auch eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt werden. Dabei werden die einzelnen Jahre als Achsen betrachtet, welche so transformiert werden, dass auf der ersten Achse die größtmögliche Variation, welche durch Lineartransformation erreicht werden kann, zu liegen kommt. Auf der nächsten Achse kommt die nächstgrößtmögliche Variation usw. zu liegen. Demnach liegen die einzelnen Wuchsgebiete auf der ersten Hauptkomponente (erste Achse) am weitesten voneinander entfernt, da dieser die größte Variation aufweist. In Abbildung 43 sind die Wuchsgebiete entlang der ersten Hauptkomponente, welche aus den mittleren Indices je Wuchsgebiet der Jahre 1900–2000 bestimmt wurde, aufgetragen. Die Regionen 1.2 (Subkontinentale Inneralpen - Westteil) und 5.1 (Niederösterreichischer Alpenostrand), welche räumlich weit auseinander liegen, sind an den beiden Enden der ersten Hauptkomponente platziert. Die Anordnung erfolgt über die westlichen alpinen Regionen 1.x und 2.x, übergehend auf Region 4.x, 3.x und 6.1. Danach folgt die Böhmische Masse 9.x und 7.1 an welche die östlichen Alpenausläufer und die Beckenlagen anschließen.

3.5.3 Clusteranalyse der mittleren Wuchsgebietsindices

Savva et al. (2006) verwendeten die Clusteranalyse, um Bäume aufgrund ihrer Jahrringmuster zu gruppieren. Dabei wurde festgestellt, dass die Gruppenbildung nach Höhenklassen erfolgte. Garcia-Gonzalez (2008) beschäftigte sich damit, welches Distanzmaß zu einer optimalen Gruppierung führt. In der vorliegenden Arbeit wurde die Entfernungsmatrix mittels Manhattandistanz berechnet, welche von Garcia-Gonzalez (2008) nicht untersucht wurde, um Unterschiede in einzelnen Jahren zu betonen. Die Jahrringindices wurden für die einzelnen Jahre nicht standardisiert, um homogene Jahre mit kleinen Streuungen nicht überzubewerten. Neben unterschiedlichen Möglichkeiten der Distanzbestimmung zwischen den einzelnen Gruppen gibt es das divisive und das agglomerative Verfahren, um einzelne Gruppen zu bilden oder zu trennen. Des

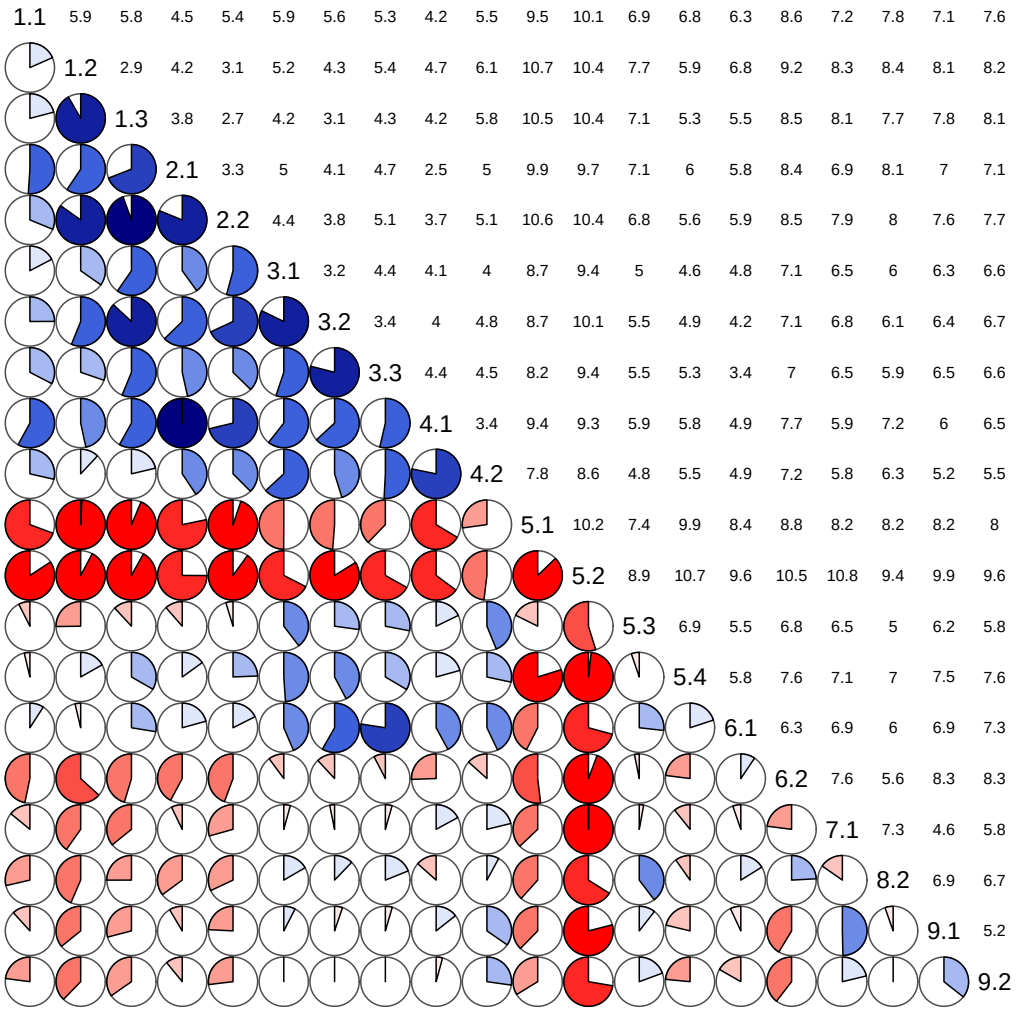


Abbildung 44: *Entfernungsmatrix für Clusteranalyse*

Rechts oben ist die Entfernung zwischen zwei Wuchsgebieten angegeben (z. B. beträgt diese zwischen Wuchsgebiet 1.1 und 1.2 dist=5,9). Die Diagonale von links oben nach rechts unten zeigt die Wuchsgebietsnummer. Links unten ist die Entfernung graphisch dargestellt, wobei Gebiete mit geringem Abstand dunkelblau und jene mit großem Abstand dunkelrot dargestellt sind.

weiteren kann auch aus mehreren Methoden (z. B. single linkage, complete linkage, weighted average linkage, Ward's method) gewählt werden, welche die Entfernungen zwischen den gebildeten Gruppen unterschiedlich berechnen.

Mit der Entfernungsmatrix (Abbildung 44), berechnet aus der Manhattandistanz der Indexmittelwerte der Jahre 1900–2000 je Wuchsgebiet, wurden die Gruppen agglomerativ mittels AGNES (AGglomerative NESting, Abbildung 45) und divisiv mittels DIANA (DIvisive ANAlysis, Abbildung 46) gebildet, wobei als Methode „Ward" gewählt wurde, da diese möglichst geringe Streuungen innerhalb der Gruppe erwarten lässt.

Sehr nahe beieinander liegen die Regionen 2.1 und 4.1, mit einer Entfernung von 2,5, und die Regionen 1.3 und 2.2, mit einer Entfernung von 2,7. Eine Entfernung von 2,5 bedeutet in diesem Fall, dass die Summe der absoluten Abweichung der mittleren Indices über den Zeitraum 1900–2000 2,5 beträgt, was einer jährlichen Abweichung der Indices von etwas weniger als 0,025 bzw. einer relativen Jahrringbreitenabweichung von 2,5 % entspricht. Diese beiden Regionen grenzen auch räumlich direkt aneinander. Diese kurze Entfernung zwischen den beiden Regionen ist so-

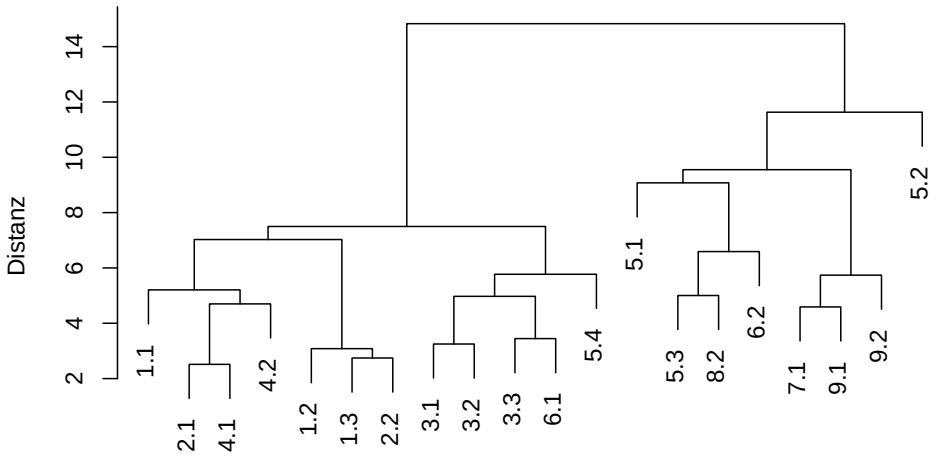


Abbildung 45: *Clusterung mittels AGNES-Algorithmus.*

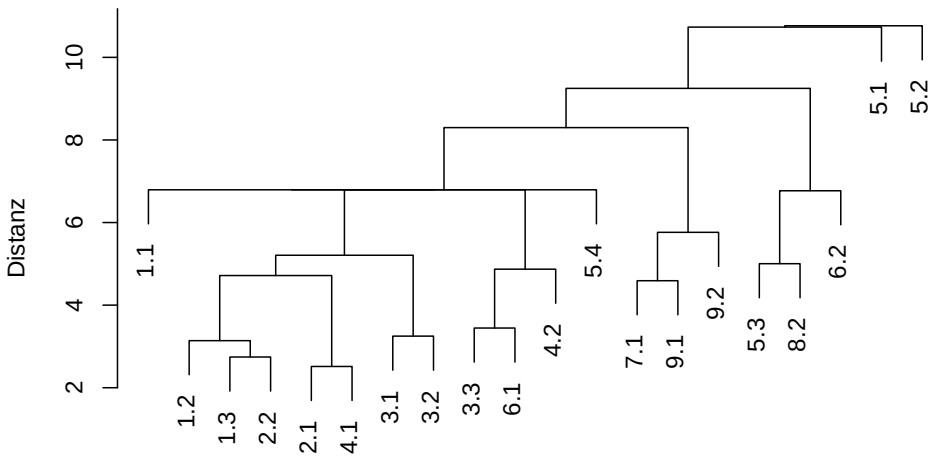


Abbildung 46: *Clusterung mittels DIANA-Algorithmus.*

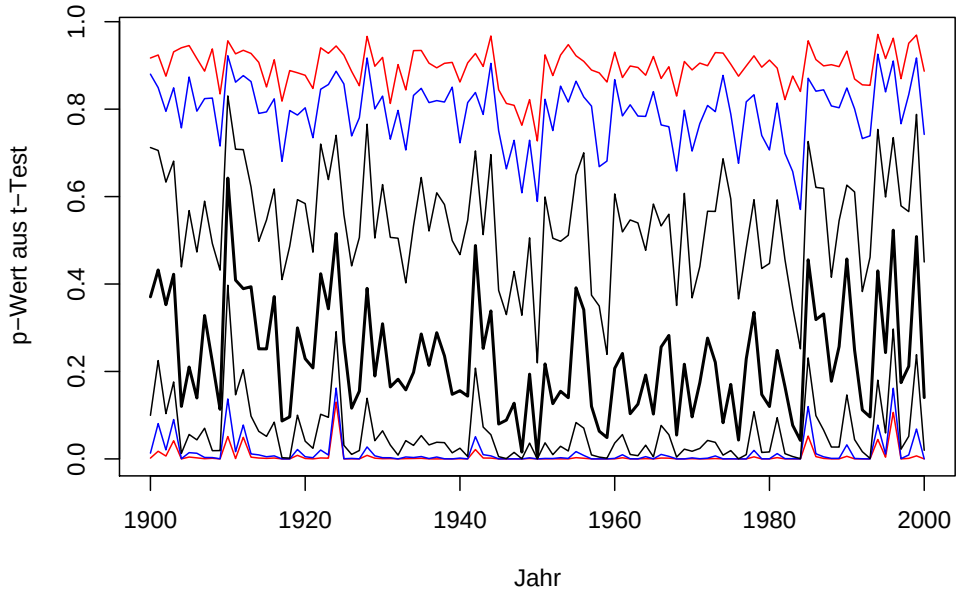


Abbildung 47: *Verteilung der Signifikanzniveaus von Mittelwertsvergleichen mittels t-Test in den Jahren 1900–2000.*
Median. . . schwarz stark, P25 und P75. . . schwarz dünn, P10 und P90. . . blau, P5 und P95. . . rot

wohl beim divisiven als auch beim agglomerativen Clusterverfahren zu erkennen, da bei der divisiven Methode diese Gruppe als letztes getrennt und bei der agglomerativen Methode als erstes zusammengefasst wird. Die Regionen 5.1 und 5.2 haben recht große Entfernungen zu den anderen Regionen und auch dies ist bei beiden Clusterverfahren zu erkennen, da diese Regionen als erste von den anderen getrennt werden bzw. als letzte mit den anderen zusammengefasst werden. Sehr homogene Gruppen bilden die Regionen (1.2 & 1.3 & 2.2); (2.1 & 4.1); (3.1 & 3.2); (3.3 & 6.1); (7.1 & 9.1 & 9.2) und (5.2 & 8.2 & 6.2). Diese Gruppen entstehen sowohl agglomerativ als auch divisiv.

3.5.4 t-Test zwischen den Wuchsgebieten

In den vorigen Abschnitten wurden Indexmittelwerte einzelner Jahre zwischen Wuchsgebieten verglichen. Die Streuung der Indices der einzelnen Bäume innerhalb eines Wuchsgebietes wurde dabei eliminiert. In diesem Abschnitt sollen nun die Mittelwertsunterschiede der Indices jedes Wuchsgebietes in jedem einzelnen Jahr von 1900–2000 auf deren Signifikanz mittels t-Test geprüft werden. Es wurden also $\frac{22\times21}{2} \times 101 = 23\,331$ t-Tests durchgeführt und deren Signifikanzniveau in einer Matrix festgehalten. Durch Berechnen des Medians und der Perzentile 5 %, 10 %, 25 %, 75 %, 90 % und 95 % der Signifikanzniveaus für die einzelnen Jahre kann abgeschätzt werden, wie viel Information diese Jahre bei der Trennung von Wuchsräumen enthalten (Abbildung 47). Jahre mit guter Trennkraft haben niedere p-Werte. Die Jahre 1948, 1950, 1959, 1976 und 1984, mit einem Median des p-Wertes < 0.05, sind besonders gut geeignet, um zwischen den einzelnen Wuchsgebieten zu unterscheiden.

In Abbildung 48 ist die Verteilung sowie der Median der t-Test Signifikanzen zwischen den einzelnen Wuchsgebieten dargestellt. Bei der Verteilung der t-Werte wurden diese aufsteigend sortiert und anschließend gezeichnet. Es ist zu sehen, dass es immer Jahre gibt, deren Mittelwert signifikant zwischen zwei Wuchsgebieten verschieden ist. Zwischen manchen Gebieten gibt es sehr wenige Jahre mit signifikanter Trennung. Dies ist durch ein frühes Ansteigen der Kurve,

wie z. B. zwischen Region 7.1 und 8.1, zu erkennen. Andere Regionen zeigen viele Jahre mit signifikanten Mittelwertsunterschieden. Dies ist durch ein spätes Ansteigen der Kurven, wie z. B. zwischen Region 1.3 und 4.2, zu erkennen. Das Signifikanzniveau hängt vom Abstand des mittleren Jahrringindex zwischen zwei Regionen, der Streuung innerhalb der Regionen und vom Stichprobenumfang ab. Regionen mit wenig beprobten Bäumen erreichen daher signifikante Unterschiede selten (z. B. Wuchsgebiet 8.1).

3.5.5 Diskriminanzanalyse

Die Diskriminanzanalyse versucht, einen Baum aufgrund seines Jahrringmusters einem bestimmten Wuchsgebiet zuzuordnen. Die Qualität der Zuordnung hängt dabei von der Verschiedenheit der einzelnen Wuchsgebiete ab. Nahe beieinander liegende Wuchsgebiete werden ähnliche Jahrringmuster zeigen, was eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Wuchsgebiet erschwert. Die Diskriminanzanalyse wurde mit den folgenden Methoden durchgeführt.

- Linear Discriminant Analysis (LDA)
- Localized Linear Discriminant Analysis (LocLDA)
- Flexible Discriminant Analysis (FDA)
- Mixture Discriminant Analysis (MDA)
- k-Nearest Neighbour Classification (KNN)
- Learning Vector Quantization (LVQ)

Die lineare Diskriminanzanalyse nach Fisher (1936) unterteilt den Merkmalsraum linear und setzt die Grenzen derart, dass die Anzahl der richtig klassifizierten maximiert wird. Der lineare Ansatz wird bei bei der Localized Linear Discriminant Analysis (Tutz und Binder, 2005) beibehalten, allerdings wird nicht der gesamte Datenraum verwendet, sondern nur ein Ausschnitt. Bei der Flexible Discriminant Analysis (Hastie et al., 1994) können die Grenzen zwischen den Gruppen auch nichtlinear sein und die Mixture Discriminant Analysis (Hastie und Tibshirani, 1996) ist in der Lage, nichtlineare Grenzen zwischen den einzelnen Gruppen zu ziehen wobei die einzelnen Klassen verschiedene Verteilungen haben können. Bei der k-Nearest Neighbour Classification (Cover und Hart, 1967) wird die Klassenzuordnung aufgrund der Klasse der n nächsten Nachbarn durchgeführt. In dieser Arbeit wurden die nächsten drei Nachbarn herangezogen. Die Learning Vector Quantization (Ripley, 1996) ist ein auf neuronalen Netzen basierende Klassifikationsmethode.

Bei der Parametrisierung wurde der Baum, welcher mit einer der Methoden klassifiziert werden sollte, aus dem Datensatz entfernt. Danach wurden jene Jahre ausgewählt, in denen dieser Baum einen Index hatte. Alle Bäume, welche diesen Zeitraum nicht zur Gänze abdecken konnten, wurden vom Parametrisierungsdatensatz entfernt. Danach wurde überprüft, ob es zumindest einen Baum mit dem gleichen Wuchsgebiet des zu Klassifizierenden gibt, um überhaupt die Möglichkeit zu haben, diesen Baum richtig zu klassifizieren. Nach der Parametrisierung wurde untersucht, in welches Wuchsgebiet der am Beginn weggelassene Baum klassifiziert wurde. Diese Vorgehensweise wurde für alle 3208 Fichten durchgeführt. In Abbildung 49 ist dargestellt, welcher Klasse Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels LDA zugeordnet werden. So wurden beispielsweise 19 % der Bäume aus Region 1.1 wieder in die Region 1.1 klassifiziert. In die nördlich angrenzende Region 2.1 werden 17 %, nach 2.2 und 1.3 13 %, nach 4.1 11 %, nach 4.2 und 3.2 9 %, nach 3.3 und 9.1 4 %, nach 1.2 2 % und in die Regionen 3.1, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 8.1, 8.2 und 9.2 wurden 0 % klassifiziert. Es ist zu sehen, dass die Fehlklassifikationen auf die umliegenden Wuchsgebiete konzentriert sind. Auffällig ist auch, dass sehr viele Fehlklassifikationen in die Wuchsgebiete 4.1 und 4.2 erfolgen. Zum einen sind diese Gebiete sehr groß, zum anderen liegen sie zentral und damit recht nahe bei den anderen Gebieten.

In Abbildung 50 wurde der Frage nachgegangen, woher die Bäume kommen, die in eine bestimmte Wuchsregion mittels LDA klassifiziert wurden. Hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie

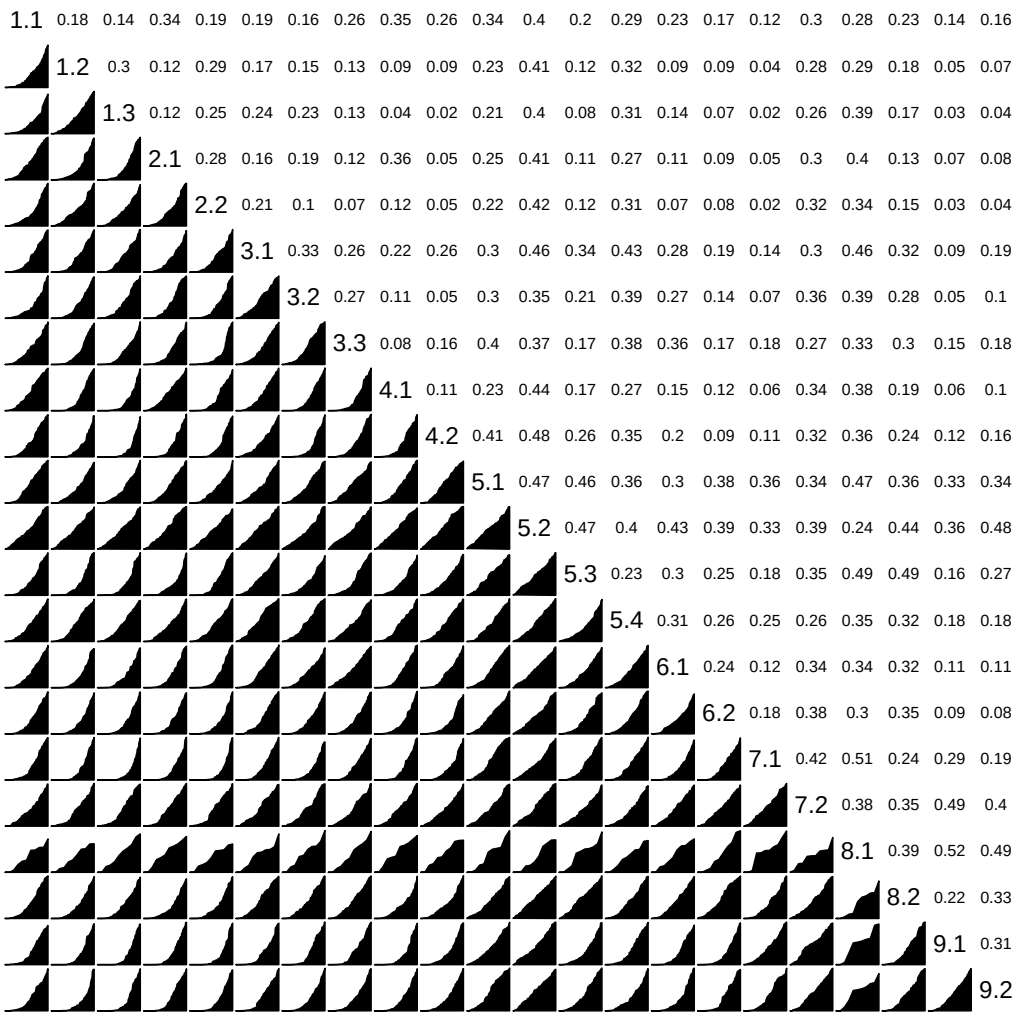
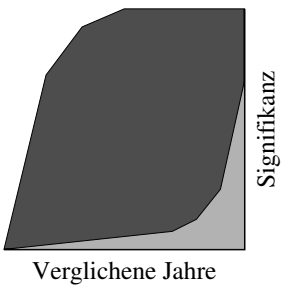


Abbildung 48: *Verteilung der Signifikanzniveaus von Mittelwertsvergleichen mittels t-Test zwischen den einzelnen Wuchsgebieten.*

Rechts oben sind die Mediane des Signifikanzniveaus zwischen den einzelnen Wuchsgebieten dargestellt. Auf der Diagonale von links oben nach rechts unten wurde die Wuchsgebietsnummer eingetragen. Links unten sind die sortierten Signifikanzniveaus der t-Tests zwischen den einzelnen Wuchsräumen der Jahre 1900–2000 aufgetragen. Jahre mit hohem Signifikanzniveau ergeben weiße, Jahre mit geringem Signifikanzniveau schwarze Flächen.
Im rechts dargestellten Beispiel zeigt die hellgraue Fläche eine typische Signifikanzverteilung für Wuchsgebiete mit ähnlichen Mustern und die dunkelgraue Fläche eine Signifikanzverteilung für unähnliche Wuchsgebiete.



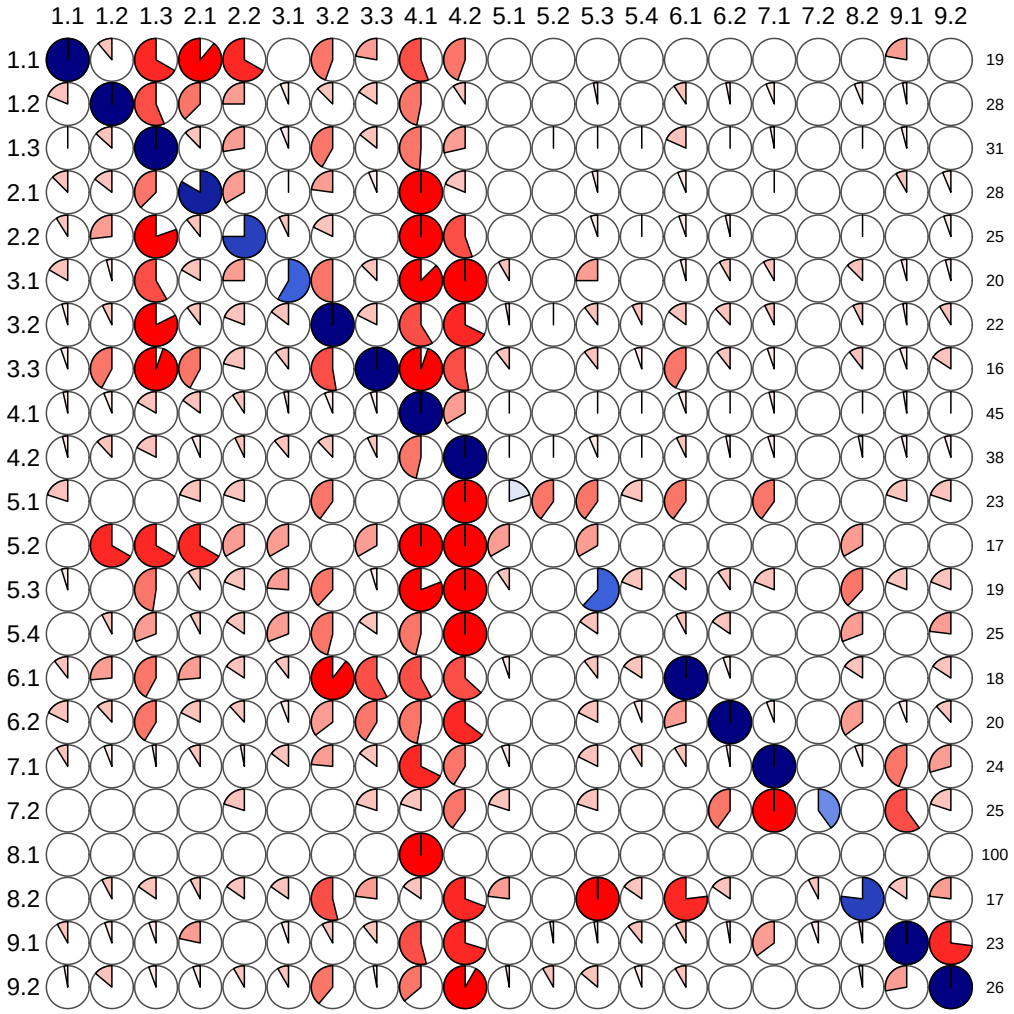


Abbildung 49: *Wuchsgebiet, in das Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels linearer Diskriminanzanalyse klassifiziert werden.*

Die linke Spalte gibt das tatsächliche Herkunftswuchsgebiet an. In der anschließenden Zeile ist mit Tortengraphiken dargestellt, in welche Wuchsgebiete diese Bäume klassifiziert wurden. Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation in ein anderes Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent der beobachteten Bäume ein voll gefüllter Kreis angibt.

in Abbildung 49. Die meisten Bäume, welche in ein Gebiet klassifiziert wurden, kommen auch aus diesem Gebiet bzw. aus den Wuchsgebieten der näheren Umgebung. So kommen 15 % der Bäume die nach Region 1.1 klassifiziert wurden aus Region 1.1, 13 % kommen aus Region 4.1, 10 % aus 1.2 und 2.1, 8 % aus 2.2 und 4.2, 6 % aus 3.1, 5 % aus 3.2, 6.2, 7.1 und 9.1, 3 % aus 6.1, 2 % aus 1.3, 3.3, 5.1, 5.3 und 9.2 und kein Baum stammt aus Region 5.2, 5.4, 7.2, 8.1 und 8.2.

In den Abbildungen 51, 52, 53, 54 und 55 wird gezeigt, wie hoch der Anteil der richtig klasifizierten Bäume nach den Methoden LocLDA, FDA, MDA, KNN und LVQ ist. Ein Vergleich mit den Ergebnissen von LDA in Abbildung 49 zeigt große Ähnlichkeiten zwischen den einzelnen Methoden. Sehr hohe Ähnlichkeit besteht zwischen LDA und FDA. Hohe Ähnlichkeit besteht zwischen den Ergebnissen von LDA und LocLDA sowie zwischen FDA und LocLDA. Die höchste Trefferquote hat LocLDA mit 26,7 % richtig Klassifizierte. LDA und FDA haben 26,4 %, MDA 24,0 %, LVQ 22,1 % und KNN3 hat 17,6 % richtig Klassifizierte. Das Standarddiskriminanzverfahren LDA erzielt in dieser Untersuchung, verglichen mit den anderen hier verwendeten Methoden, vergleichbare oder sogar bessere Ergebnisse.

In Abbildung 56 ist dargestellt, wie hoch der Anteil der richtig klassifizierten Bäume in den einzelnen Wuchsgebieten ist. So ist der Anteil der richtig klassifizierten Bäume der Region 9.2 26,1 % bei LDA, 27,5 % bei LocLDA, 26,1 % bei FDA, 24,6 % bei MDA, 18,8 % bei KNN3 und 18,1 % bei LVQ. Der letzte Balken (rnd) gibt an, wie hoch das Trefferprozent bei einem Zufallsschätzer im Schnitt sein würde. In diesem Fall würde der Zufallsschätzer 5,8 % der Bäume von Region 9.2 richtig klassifizieren. Der Zufallsschätzer erhält exakt die selben Informationen wie die anderen Methoden (z. B. LDA, LocLDA). Der Anteil der zu klassifizierenden Baumart am Parametrisierungsdatensatz entspricht der Wahrscheinlichkeit mit der ein Zufallschätzer, welcher den Anteil des Parametrisierungsdatensatzes wiedergibt, diesen Baum im Schnitt richtig zuordnen würde. Ein Beispiel soll diese Vorgehensweise verdeutlichen: Es wird ein Baum aus der Region 4.1 ausgewählt, dessen Index für den Zeitraum 1927–1977 vorliegt. Neben dem ausgewählten Baum decken weitere 1614 Bäume diesen Zeitraum mit Index-Daten ab. Diese 1614 Bäume werden von den Diskriminanzmethoden zum Parametrisieren verwendet, um anschließend den einen Baum aus Region 4.1 einem Wuchsgebiet zuzuordnen. Die selben Möglichkeiten soll auch der Zufallsschätzer bekommen, jedoch ohne die Jahrringindexdaten zu verwenden. Von den 1614 Bäumen stammen 309 aus der Region 4.1. Damit errechnet sich eine Zufallstrefferwahrscheinlichkeit für den ausgewählten Baum von 309/1614, wenn der Zufallsschätzer die Anteile der Wuchsgebiete am Parametrisierungsdatensatz reproduziert.

Um zu zeigen, um wie viel besser die Diskriminanzmethoden gegenüber einem Zufallschätzer arbeiten, wurde der Zufallstrefferanteil herausgerechnet. Um weiterhin 100 % bei einem perfekten Modell, welches alle Bäume dem richtigen Wuchsgebiet zuordnet, zu ermöglichen, konnte nicht einfach der Zufallstrefferanteil vom Modelltrefferanteil abgezogen werden. Es wurde daher die Anzahl der durch das Modell richtig klassifizierten um die Anzahl der Zufallstreffer reduziert und anschließend durch die Gesamtanzahl, vermindert um die Zufallstreffer, dividiert. Ein Modell, welches schlechter als ein Zufallsschätzer wäre, würde einen Wert kleiner 0 % erreichen. Modelle mit 0 % wären so gut wie ein Zufallsschätzer und Modelle welche dem Zufallsschätzer überlegen sind, würden Werte größer 0 % erreichen. 100 % würden von einem Modell erreicht, welches alle Klassifikationen richtig durchführt. In Abbildung 57 ist dargestellt, wie viel Prozent über den Anteil der Zufallstreffer hinaus richtig klassifiziert wurden. Danach schafft locLDA 19,9 %, LDA und FDA 19,6 % MDA 16,9 %, LVQ 14,9 % und KNN3 10,0 %. Die besten Ergebnisse werden in Region 4.1 und 4.2, mit etwas 30 %, und die schlechtesten Ergebnisse in 5.2, 5.4 und 8.1, mit 0 % und weniger richtigen, erzielt.

Im nächsten Schritt wurde versucht, die 22 Wuchsgebiete so zusammenzufassen, dass möglichst homogene Gruppen gebildet werden. Beim Zusammenfassen soll nicht nur darauf geachtet werden, dass die Anzahl der Treffer durch das Zusammenfassen gesteigert wird. Es soll vielmehr die über den Zufallstreffer hinausgehende Anzahl erhöht werden. Es gibt eine hohe Anzahl von möglichen Kombinationen beim Zusammenfassen der 22 Wuchsgebiete zu größeren Gruppen. Wenn nach dem Zusammenfassen zwei Gruppen entstehen sollen, berechnet sich die Anzahl der möglichen Kombinationen (K) mit Gleichung (15), wobei N die Anzahl der Wuchsgebiete ist. Danach ergeben sich 4 194 302 Kombinationsmöglichkeiten bei der Bildung von zwei Gruppen.

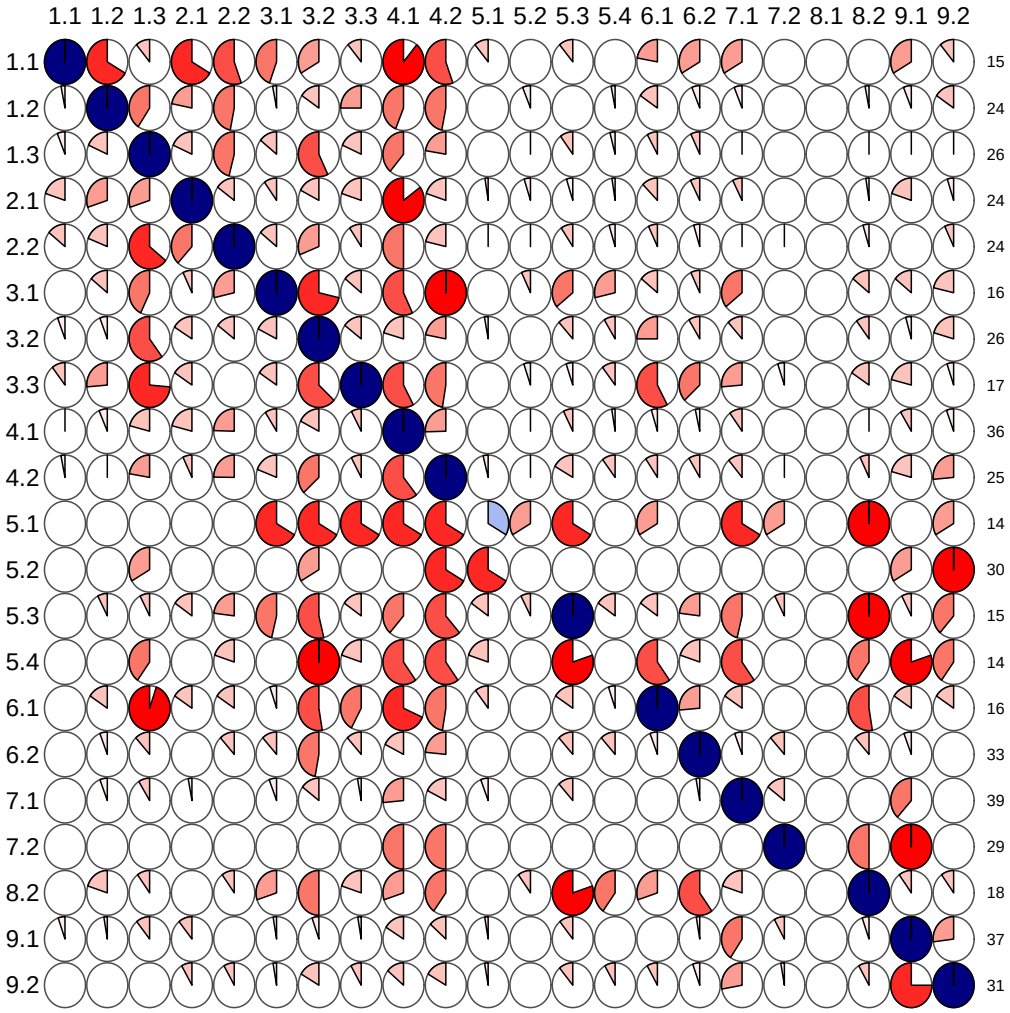


Abbildung 50: *Wuchsgebiet, aus dem Bäume einer mittels linearer Diskriminanzanalyse durchgeführten Klassifizierung stammen.*

Die linke Spalte zeigt das Wuchsgebiet wohin Bäume klassifiziert wurden, und die anschließende Zeile den Prozentsatz des tatsächlichen Herkunftsgebietes.
Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation von einem anderen Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent ein voll gefüllter Kreis angibt.

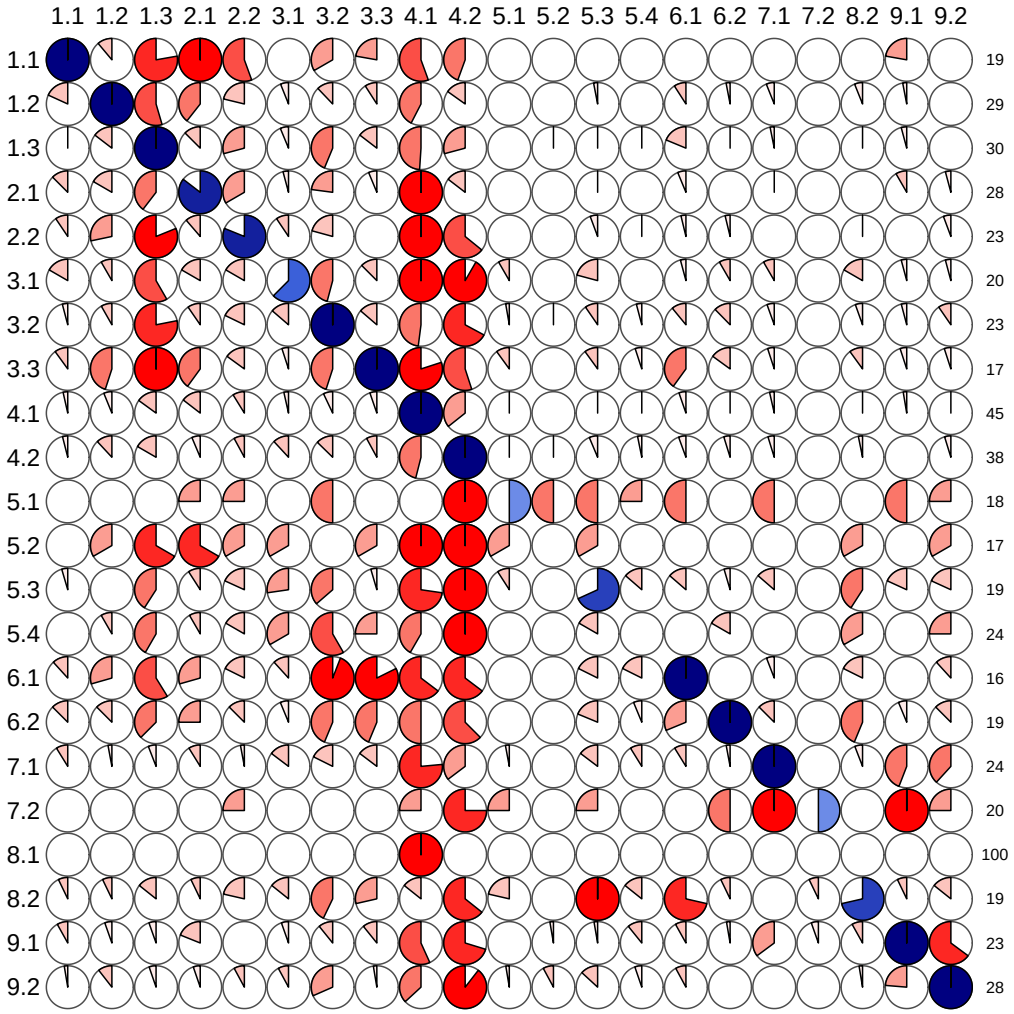


Abbildung 51: *Wuchsgebiet, in das Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels lokaler linearer Diskriminanzanalyse klassifiziert wurden.*

Die linke Spalte gibt das tatsächliche Herkunftswuchsgebiet an. In der anschließenden Zeile ist mit Tortengraphiken dargestellt, in welche Wuchsgebiete diese Bäume klassifiziert wurden. Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation in ein anderes Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent der beobachteten Bäume ein voll gefüllter Kreis angibt.

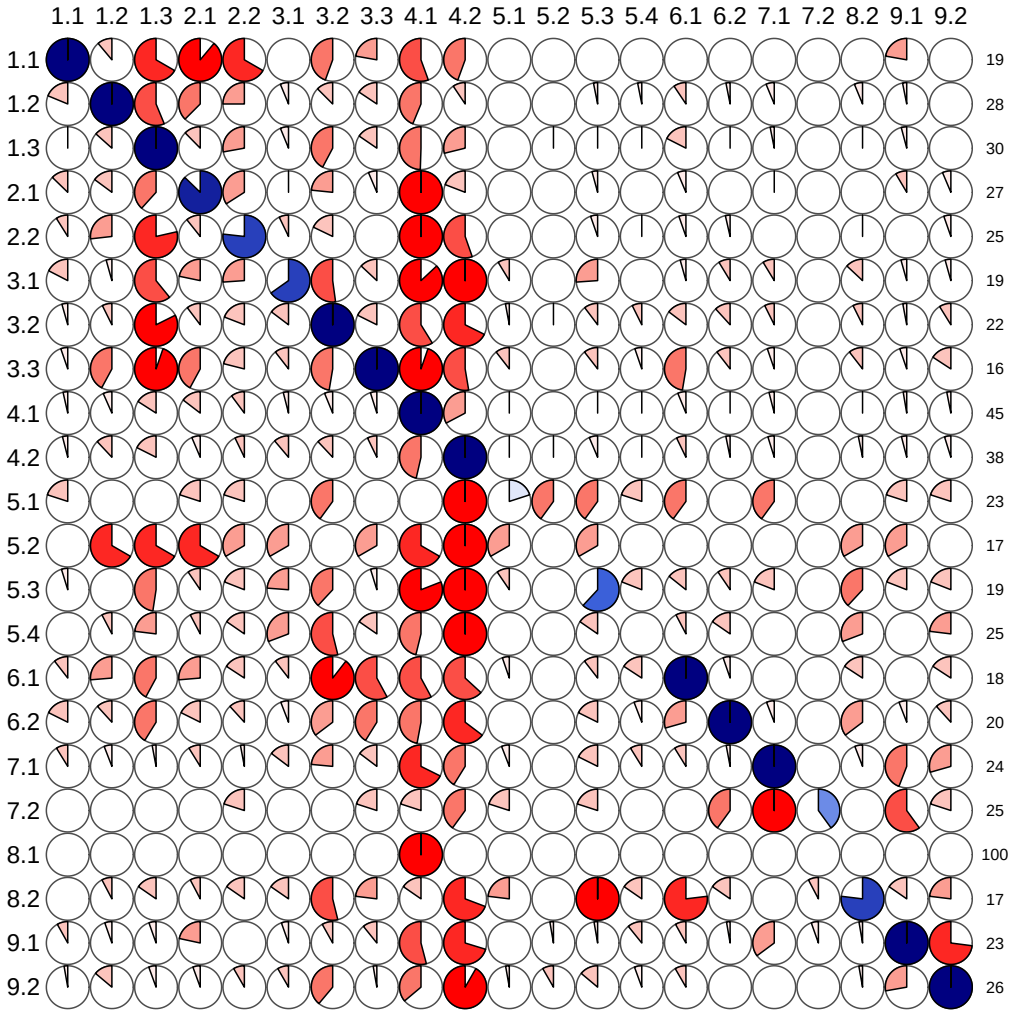


Abbildung 52: *Wuchsgebiet, in das Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels flexibler Diskriminanzanalyse klassifiziert wurden.*

Die linke Spalte gibt das tatsächliche Herkunftswuchsgebiet an. In der anschließenden Zeile ist mit Tortengraphiken dargestellt, in welche Wuchsgebiete diese Bäume klassifiziert wurden. Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation in ein anderes Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent der beobachteten Bäume ein voll gefüllter Kreis angibt.

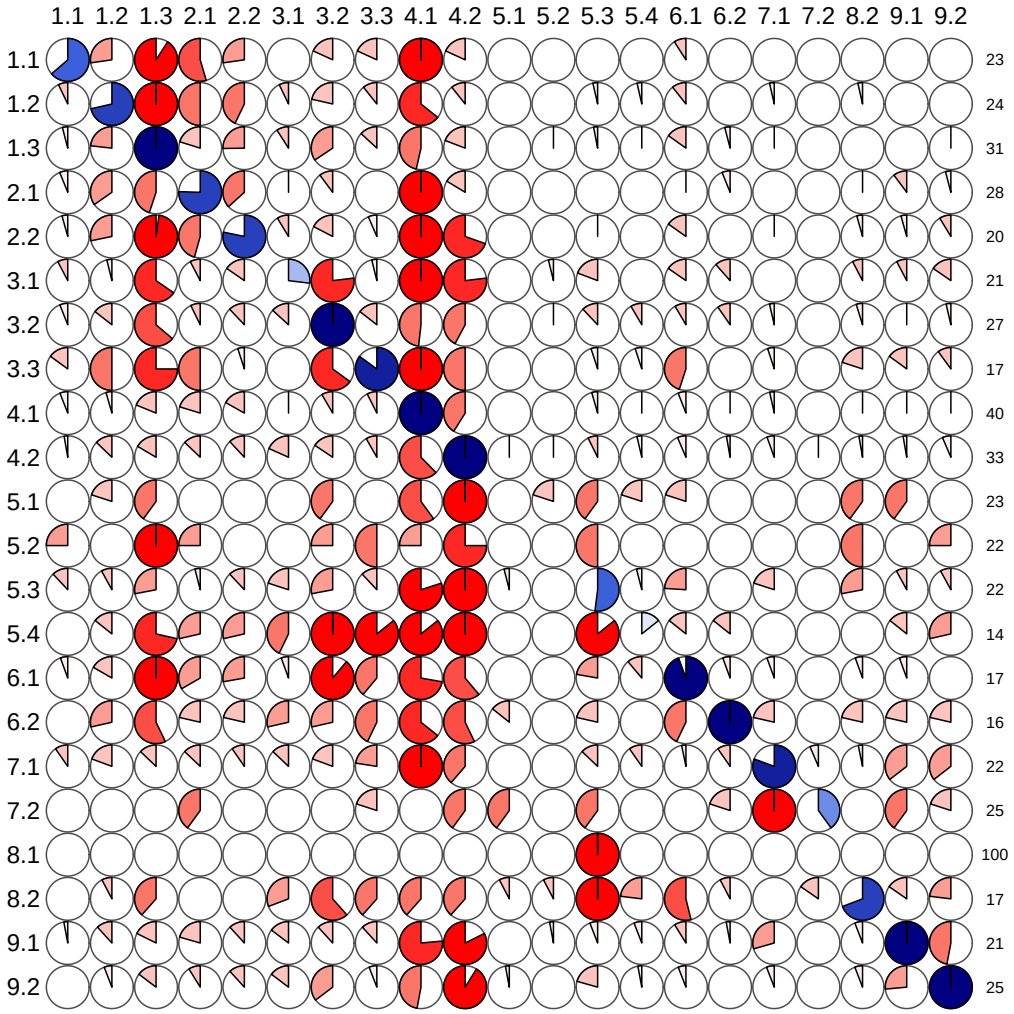


Abbildung 53: *Wuchsgebiet, in das Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels gemischter Diskriminanzanalyse klassifiziert wurden.*

Die linke Spalte gibt das tatsächliche Herkunftswuchsgebiet an. In der anschließenden Zeile ist mit Tortengraphiken dargestellt, in welche Wuchsgebiete diese Bäume klassifiziert wurden. Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation in ein anderes Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent der beobachteten Bäume ein voll gefüllter Kreis angibt.

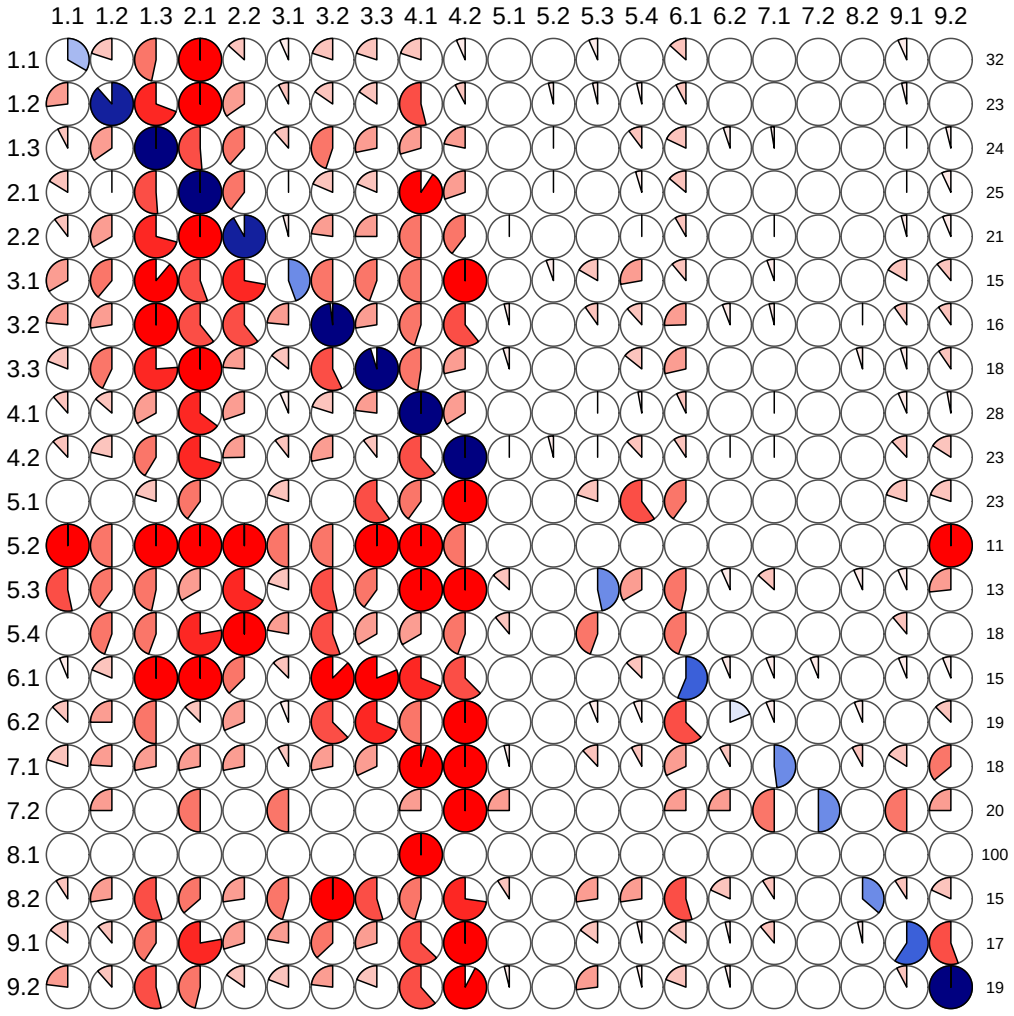


Abbildung 54: *Wuchsgebiet, in das Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels drei nähesten Nachbar Klassifizierung klassifiziert wurden.*

Die linke Spalte gibt das tatsächliche Herkunftswuchsgebiet an. In der anschließenden Zeile ist mit Tortengraphiken dargestellt, in welche Wuchsgebiete diese Bäume klassifiziert wurden. Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation in ein anderes Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent der beobachteten Bäume ein voll gefüllter Kreis angibt.

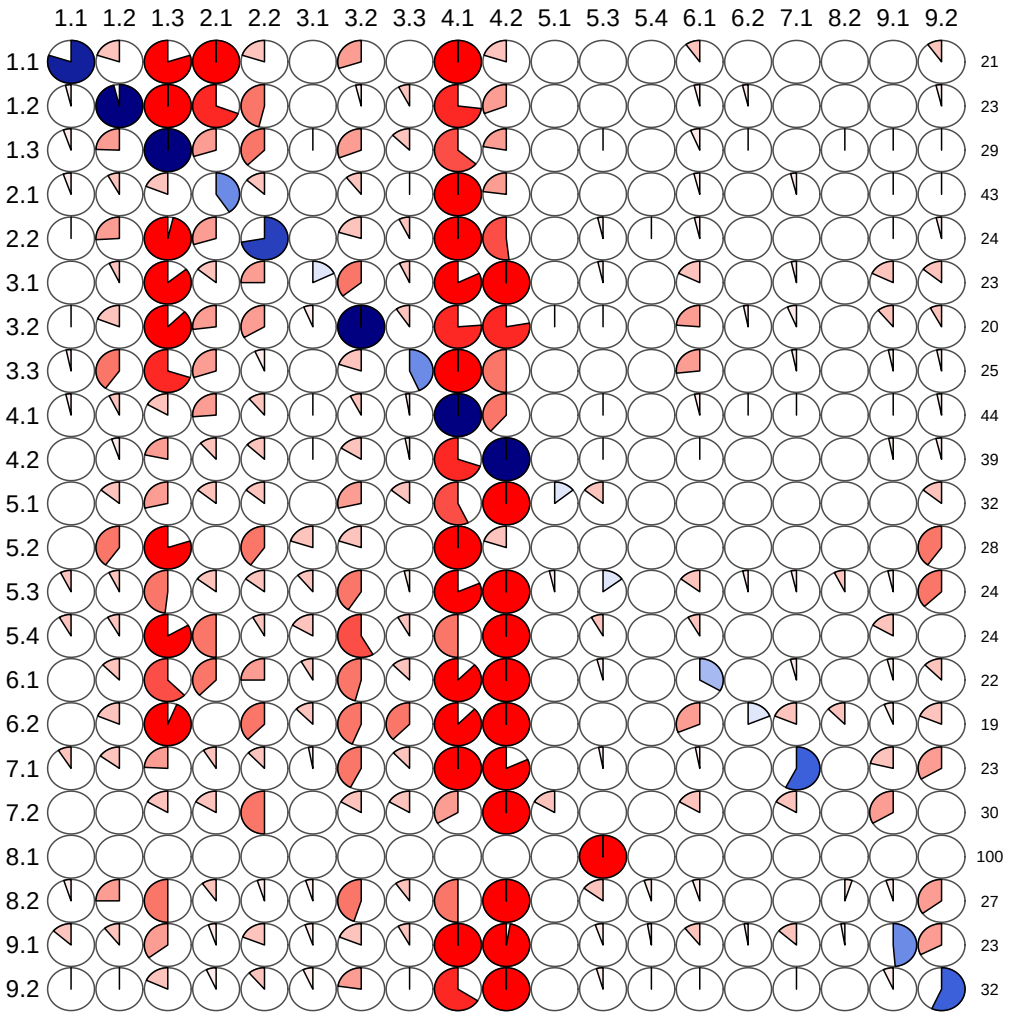


Abbildung 55: *Wuchsgebiet, in das Bäume eines bekannten Wuchsgebietes mittels lernender Vektorenquatisierung klassifiziert wurden.*

Die linke Spalte gibt das tatsächliche Herkunftswuchsgebiet an. In der anschließenden Zeile ist mit Tortengraphiken dargestellt, in welche Wuchsgebiete diese Bäume klassifiziert wurden. Blaue Farben signalisieren, dass es sich hierbei um richtig zugeordnete Bäume handelt, rote Farben zeigen eine Klassifikation in ein anderes Wuchsgebiet an. In der rechten Spalte ist dargestellt, wie viel Prozent der beobachteten Bäume ein voll gefüllter Kreis angibt.

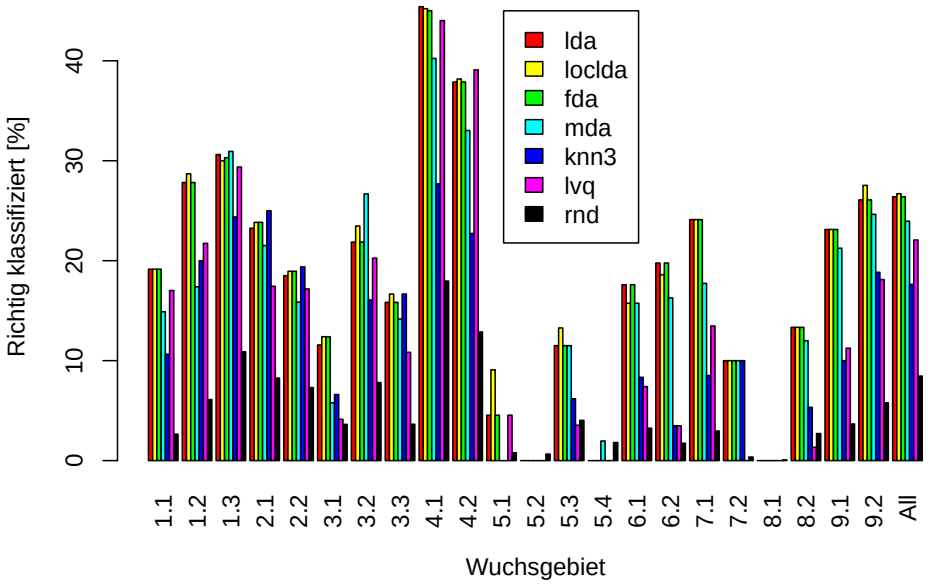


Abbildung 56: *Anteile der richtig klassifizierten Bäume in den einzelnen Wuchsgebieten mit unterschiedlichen Klassifizierungsmethoden.*

LDA…Linear Discriminant Analysis, LocLDA…Localized Linear Discriminant Analysis, FDA…Flexible Discriminant Analysis, MDA…Mixture Discriminant Analysis, KNN…k-Nearest Neighbour Classification, LVQ…Learning Vector Quantization.

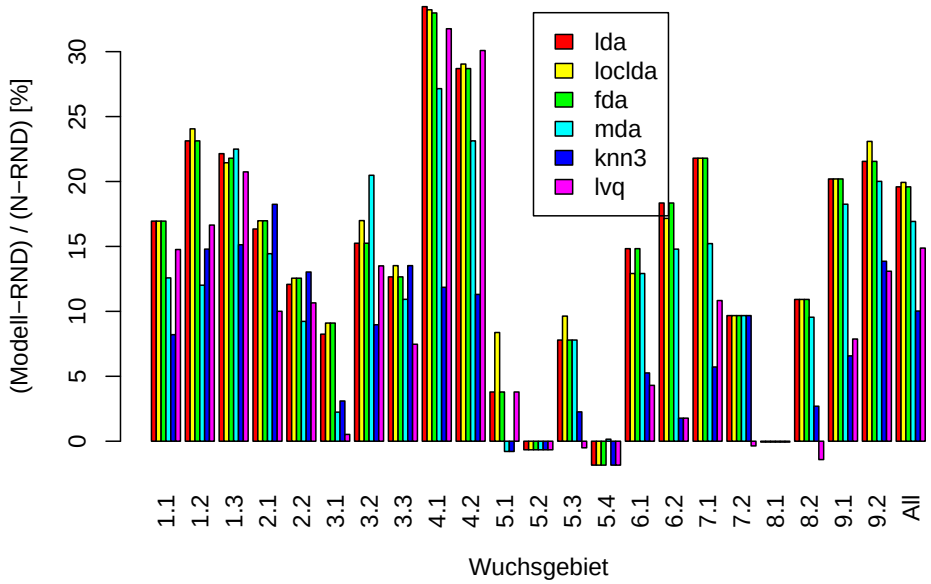


Abbildung 57: *Anteile der richtig klassifizierten Bäume in den einzelnen Wuchsgebieten, wobei der Anteil der Zufallstreffer herausgerechnet wurde.*

LDA…Linear Discriminant Analysis, LocLDA…Localized Linear Discriminant Analysis, FDA…Flexible Discriminant Analysis, MDA…Mixture Discriminant Analysis, KNN…k-Nearest Neighbour Classification, LVQ…Learning Vector Quantization.

Bei drei Gruppen steigert sich diese Anzahl auf 8 388 540 Kombinationen, bei vier Gruppen auf 12 581 919, bei fünf Gruppen auf 16 768 500 und bei sechs Gruppen auf 20 918 660 Kombinationsmöglichkeiten.

$$K = \sum_{x=0}^{N-2} \frac{\prod_{y=N-x}^{N}(y)}{\prod_{z=1}^{1+x}(z)} \tag{15}$$

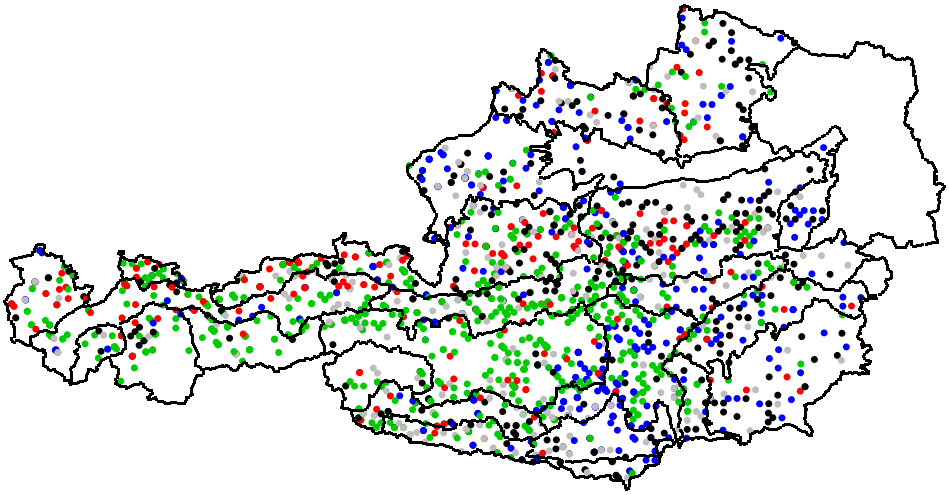
Beim Bilden von sechs Gruppen ergibt sich beim Zusammenfassen von (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 4.1); (1.3, 3.2, 3.3, 6.1); (3.1, 4.2, 5.1, 5.2); (7.1, 7.2, 9.1, 9.2); (5.3, 5.4) und (6.2, 8.1, 82) ein Maximum an überzufällig richtig Klassifizierten. Nach dieser Zusammenfassung erreicht die LDA 47,5 % richtig Klassifizierte, die Zufallstreffer steigen gleichzeitig auf 25,5 %, was insgesamt 100*(47,5-25,5)/(100-25,5) = 29,5 % an überzufällig richtig Klassifizierten ergibt.

3.5.6 Clusteranalyse zur selbständigen Gruppierung einzelner Bäume

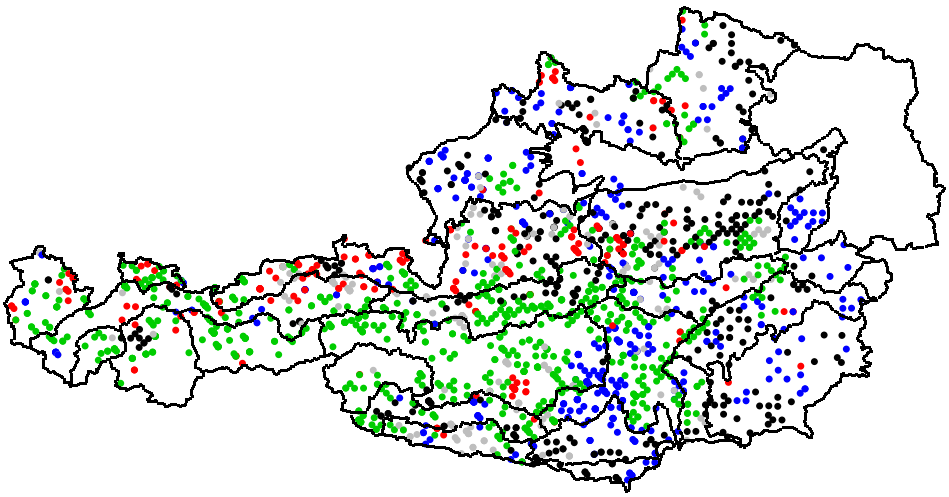
Die Clusterverfahren bilden, wie in Abschnitt 3.5.3 beschrieben, aus Mustern Gruppen. In diesem Abschnitt werden die Jahrringindices einzelner Bäume verwendet um Gruppen zu finden. Zur Clusterbildung wurden die Methoden AGNES (AGglomerative NESting) (Ward, 1963), PAM (Partitioning Around Medoids) (Kaufmann und Rousseeuw, 1987), K-Means (Hartigan und Wong, 1979) und die Hauptkomponentenanalyse (Pearson, 1901; Hotelling, 1933) verwendet. Beim Verfahren AGNES wurde zur Bestimmung des Abstands zweier Elemente die Manhattan-Metrik verwendet und die Abstandsverteilungen in den einzelnen Jahren nicht normalisiert. Die Abstände zwischen den Clustern wurde nach dem Verfahren von Ward bestimmt, wobei die Zunahme der Varianz beim Vereinigen von zwei Gruppen minimal gehalten wird. Auch bei PAM wurden die Abstände aus nicht normalisierten Jahrringindices über die Manhattan-Metrik bestimmt. Bei der K-Means Methde wurde der Algorithmus nach Hartigan-Wong verwendet. Dabei werden zufällig K-Zentren verteilt und diese anschließend so verschoben, dass die Summe der Entfernungsquadrate zum nächstgelegenen Zentrum minimiert wird. Da die anfängliche Zufallsverteilung der Zentren einen Einfluss auf das Endergebnis hat, wurde das beste Endergebnis von 100 Zufallsstarts als Lösung betrachtet.

Um Cluster bilden zu können, müssen die zu gruppierenden Bäume in allen Jahren, welche zur Clusterbildung verwendet werden, einen Indexwert besitzen. So konnten für die Periode 1940–1959 1979 Bäume, 1960–1979 1611 Bäume, 1980–1999 1416 Bäume, 1945–1977 2124 Bäume und 1965–1977 2715 Bäume zur Clusterbildung verwendet werden. In Abbildung 58 ist oben eine räumliche Verteilung der durch ein Clusterverfahren gefundenen Gruppen dargestellt. Obwohl bei der Clusterung die räumliche Information nicht verwendet wird, sind Gruppen zu erkennen. Diese Gruppen zeigen Überschneidungen mit anderen und sind nicht scharf abgegrenzt. Um die Streuung ein wenig zu reduzieren, wurde eine Nachklassifikation mittels k-Nearest Neighbour durchgeführt. Hier wurden die zwei räumlich nächsten Nachbarn eines Baumes betrachtet. Wenn beide Nachbarbäume einer anderen Gruppe angehören, wird der Baum dieser Gruppe zugeordnet. Dadurch werden Regionen, welche von einer Clustergruppe dominiert werden, optisch hervorgehoben.

In den Abbildungen 59, 60 und 61 sind die mit AGNES gebildeten Cluster für die Jahre 1940–1959, 1960–1979 und 1980–1999 dargestellt. Auf der linken Seite ist ein hierarchisches Clusterdiagramm zu sehen. Darin ist die Ähnlichkeit der einzelnen Bohrkerne dargestellt. Linien, welche schon sehr früh zusammengefasst werden, stellen Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern dar, jene, die weit oben zusammengefasst werden, sind Bohrkerngruppen mit stärker voneinander abweichenden Jahrringmustern. Wie viele Großgruppen gebildet werden, kann vom Anwender festgelegt werden. In diesem Fall wurden die Bäume zu etwa 4–5 Gruppen zusammengefasst. Diese Gruppen sind auf der linken Seite mit einem farbigen Rechteck markiert und auf der rechten Seite mit gleichfarbigen Punkten dargestellt. Die drei Verteilungen in den drei Perioden zeigen Unterschiede aber auch Gemeinsamkeiten. So wird in allen drei Perioden eine Zentralalpine Gruppe (grün) ausgeschieden, welche sich in den Jahren 1960–1979 und 1980–1999 überwiegend südlich der Flüsse Inn, Salzach und Enns und nördlich des Klagenfurter Beckens befindet. In der



Vor der räumlichen Glättung



Nach der räumlichen Glättung

Abbildung 58: *Glättung der Ergebnisse der Clusteranalyse mittels k-Nearest Neighbour Klassifikation (k=3).*
Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern wurden zu Gruppen zusammengefasst und mit gleicher Farbe dargestellt.

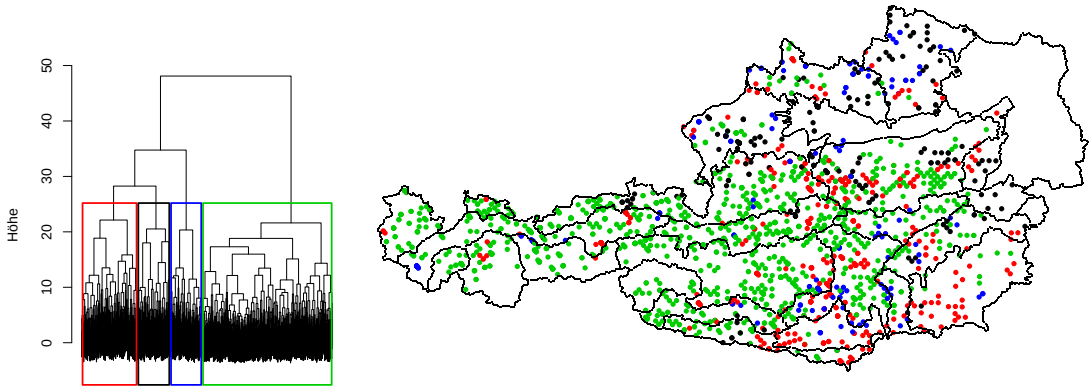


Abbildung 59: *Clusterbildung mit der Methode AGNES für den Zeitraum 1940–1959.*

Auf der linken Seite ist ein hierarchisches Clusterdiagramm zu sehen. Darin ist die Ähnlichkeit der einzelnen Bohrkerne dargestellt. Linien, welche schon sehr früh zusammengefasst werden, stellen Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern dar, jene, die weit oben zusammengefasst werden, sind Bohrkerngruppen mit stärker voneinander abweichenden Jahrringmustern. Die gebildeten Gruppen sind auf der linken Seite mit einem farbigen Rechteck markiert und auf der rechten Seite mit gleichfarbigen Punkten geographisch dargestellt.

Periode 1940–1959 erstreckt sich diese Region auch in weiter nördlich gelegene Gebiete. Die tieferen Lagen werden durch die Gruppen, welche blau und schwarz markiert sind, repräsentiert. Im nördlichen Teil überwiegt die schwarz markierte Gruppe und im südlichen Teil die blaue. Den Übergang zwischen Zentralalpin und niederen Lagen bildet die rot markierte Gruppe. In den Baumdiagrammen lässt sich auch erkennen, wie ähnlich die Großgruppen zueinander sind. So bildet im Zeitraum 1940–1959 die zentralalpine Gruppe (grün) einen von den anderen weit entfernten Cluster. Die Rot und schwarz markierten Gruppen sind am ähnlichsten. In der Periode 1960–1979 sind die grün und rot markierte Gruppe (Zentralalpin und Übergang) sowie die schwarze und blaue Gruppe (Tiefere Gebiete im Norden und Süden) nahe verwandt.

Abbildung 62 zeigt die Gruppierungen für einen relativ langen Zeitraum (1945–1977) mit verhältnismäßig vielen Bäumen (n=2124), welche den gesamten Zeitraum mit Daten abdecken. Hier wurden fünf Gruppen ausgeschieden, wobei die Gruppen mit grüner, roter und grauer Farbe relativ ähnlich sind und den höhergelegenen Bereich abdecken. Der zentralalpine Bereich wurde grün, der nordwestliche Teil rot und der östliche Teil grau markiert. Die tieferen Lagen sind deutlich von den Hochlagen getrennt und die beiden Gruppen (schwarz, blau) unterscheiden sich deutlich. Auch bei der räumlichen Darstellung zeigen sich deutliche Gruppierungen.

Abbildung 63 zeigt die Gruppierungen für einen kurzen Zeitraum (1965–1977), jedoch mit vielen Bäumen (n=2715). Hier wurden 4 Großgruppen gebildet. Die Zentralalpen sind grün markiert. Daran vorgelagert findet sich die rotmarkierte Gruppe, welche zur blaumarkierten überleitet. Von diesen 3 Gruppen unterscheidet sich die blaue deutlich, welche die Tieflagen kennzeichnet.

Dass nicht nur der Beobachtungszeitraum, sondern auch die Clustermethode einen Einfluss auf das Gruppierungsergebnis hat, ist in Abbildung 64 zu sehen, wo vier unterschiedliche Clustermethoden für den Beobachtungszeitraum 1945–1977 angewandt wurden. AGNES unterteil in Zentralalpin (grün), nordwestlich Voralpin (rot), östlich Voralpin (blau), Übergangsbereich zwischen rot und blau (grau) und Tieflagen (schwarz). Die K-Means Methode unterteilt in Zentralalpin (grün), nordwestlich Voralpin (rot), östlich Voralpin (grau), südliche Tieflagen (blau), nördliche Tieflagen (schwarz) und einen Übergang zwischen Nord- Südtieflagen (magenta). Die Methode PAM unterteilt in Zentralalpin (grün), nordwestlich Voralpin (rot), östlich Voralpin (blau) und in Tieflagen (schwarz und grau). Bei der Hauptkomponentenanalyse werden keine Gruppen gebildet. Der wesentliche Informationsgehalt multidimensionaler Datensätze wird auf die vorderen Dimensionen transformiert, wobei die erste Hauptkomponente die meiste Information

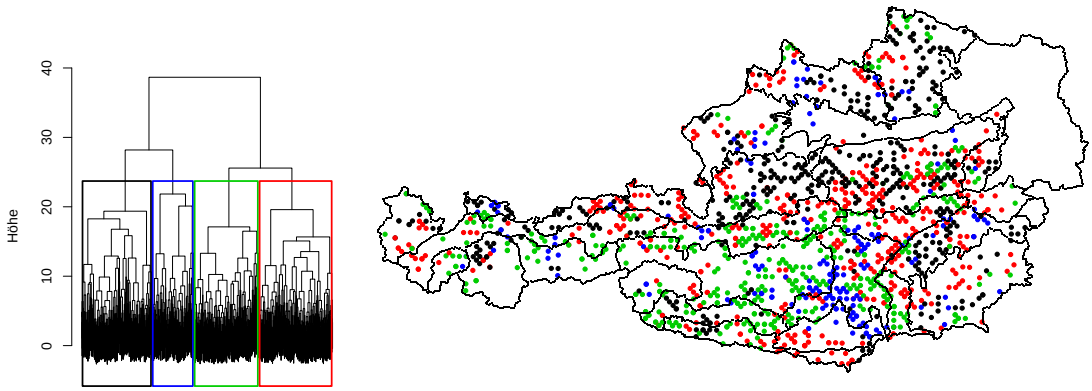


Abbildung 60: *Clusterbildung mit der Methode AGNES für den Zeitraum 1960–1979.*

Auf der linken Seite ist ein hierarchisches Clusterdiagramm zu sehen. Darin ist die Ähnlichkeit der einzelnen Bohrkerne dargestellt. Linien, welche schon sehr früh zusammengefasst werden, stellen Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern dar, jene, die weit oben zusammengefasst werden, sind Bohrkerngruppen mit stärker voneinander abweichenden Jahrringmustern. Die gebildeten Gruppen sind auf der linken Seite mit einem farbigen Rechteck markiert und auf der rechten Seite mit gleichfarbigen Punkten geographisch dargestellt.

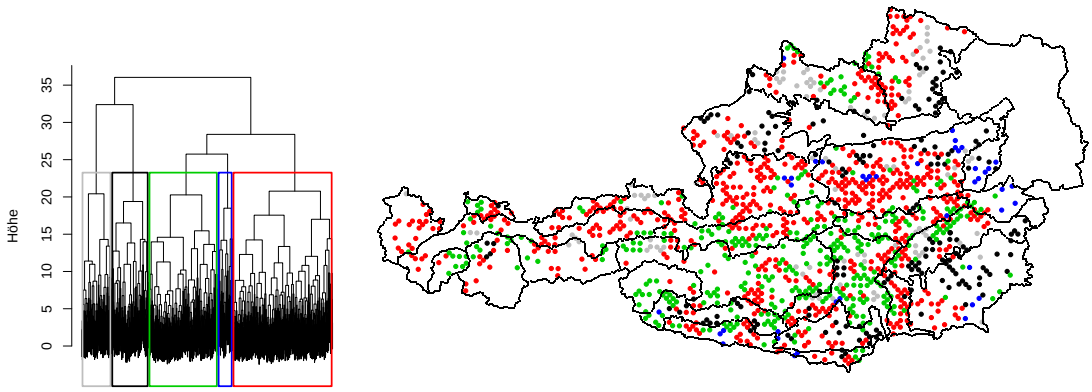


Abbildung 61: *Clusterbildung mit der Methode AGNES für den Zeitraum 1980–1999.*

Auf der linken Seite ist ein hierarchisches Clusterdiagramm zu sehen. Darin ist die Ähnlichkeit der einzelnen Bohrkerne dargestellt. Linien, welche schon sehr früh zusammengefasst werden, stellen Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern dar, jene, die weit oben zusammengefasst werden, sind Bohrkerngruppen mit stärker voneinander abweichenden Jahrringmustern. Die gebildeten Gruppen sind auf der linken Seite mit einem farbigen Rechteck markiert und auf der rechten Seite mit gleichfarbigen Punkten geographisch dargestellt.

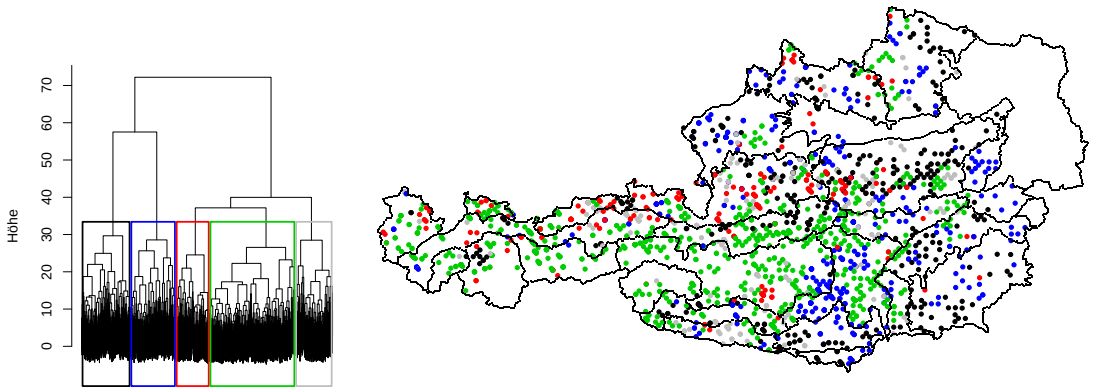


Abbildung 62: *Clusterbildung mit der Methode AGNES für den Zeitraum 1944–1977.*

Auf der linken Seite ist ein hierarchisches Clusterdiagramm zu sehen. Darin ist die Ähnlichkeit der einzelnen Bohrkerne dargestellt. Linien, welche schon sehr früh zusammengefasst werden, stellen Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern dar, jene, die weit oben zusammengefasst werden, sind Bohrkerngruppen mit stärker voneinander abweichenden Jahrringmustern. Die gebildeten Gruppen sind auf der linken Seite mit einem farbigen Rechteck markiert und auf der rechten Seite mit gleichfarbigen Punkten geographisch dargestellt.

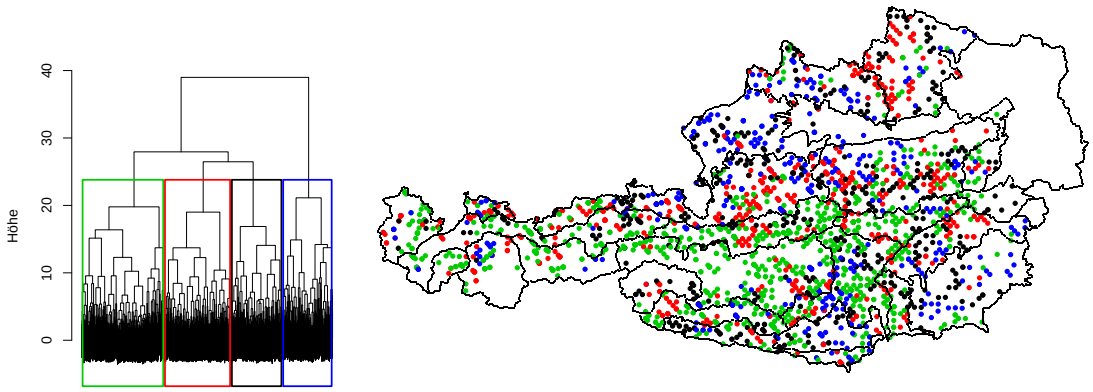


Abbildung 63: *Clusterbildung mit der Methode AGNES für den Zeitraum 1965–1977.*

Auf der linken Seite ist ein hierarchisches Clusterdiagramm zu sehen. Darin ist die Ähnlichkeit der einzelnen Bohrkerne dargestellt. Linien, welche schon sehr früh zusammengefasst werden, stellen Bohrkerne mit ähnlichen Jahrringmustern dar, jene, die weit oben zusammengefasst werden, sind Bohrkerngruppen mit stärker voneinander abweichenden Jahrringmustern. Die gebildeten Gruppen sind auf der linken Seite mit einem farbigen Rechteck markiert und auf der rechten Seite mit gleichfarbigen Punkten geographisch dargestellt.

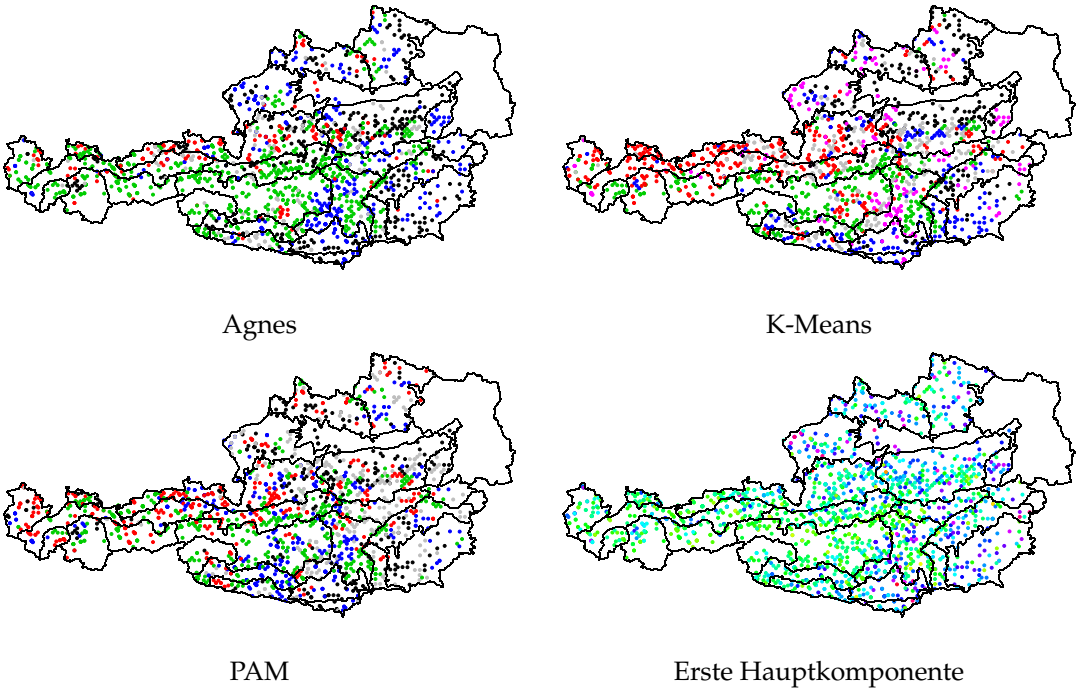


Abbildung 64: *Clusterbildung mit der Methode Agnes (Aaglomerative Nesting), K-Means (Gruppierung um Mittelwerte), PAM (Partitioning Around Medoids) und erster Hauptkomponente einer Hauptkomponentenanalyse für den Zeitraum 1944–1977.*

trägt. Bäume, welche ähnliche Jahrringmuster zeigen, liegen auf der ersten Hauptkomponente nahe beieinander. Bäume mit stark abweichenden Jahrringmustern liegen weit entfernt. Bei der Gruppierung entlang der ersten Hauptkomponente wurden die Farben entsprechend dem Wert der Hauptkomponente vergeben. Es zeigt sich eine Gruppierung von den zentralalpinen Lagen über die Mittellagen hin zu den Tieflagen.

Die Methoden K-Means und PAM verwenden einen ähnlichen Gruppenbildungsalgorithmus und auch die gefundenen Gruppen sind vergleichbar. Die Gruppierung nach Agnes erfolgt ohne Gruppierung um Zentren, dennoch sind die gebildeten Gruppen jenen von K-Means und PAM ähnlich. Selbst eine Gruppierung entlang der ersten Hauptkomponente liefert einen Gradienten von den Zentralalpinen Hochlagen hin zu den Tieflagen. Ein wesentliches Kriterium zur Gruppenbildung stellt somit die Seehöhe dar. Auch bei Savva et al. (2006) waren die Clustergruppen entlang eines Höhengradienten angeordnet. Neben der Seehöhe werden Unterteilungen aufgrund der Jahrringmuster auch zwischen Ost und West sowie zwischen Süd und Nord vorgenommen.

4 Zusammenfassung

Daten

Im Rahmen der Österreichischen Waldinventur wurden in den Jahren 1977, 1986-1990 und 2000-2002 mehr als 4000 Bohrkerne mit insgesamt 320 000 Jahrringen geworben. Die Daten dieser Aufnahmen wurden vereinheitlicht, umstrukturiert, zusammengefasst, beschrieben und dargestellt. Da die Witterung einen Einfluss auf die Jahrringbreite hat, wurden auch die Klimadaten verarbeitet.

Klimainterpolation

Es wurde eine Methode entwickelt, welche es erlaubt, Klimawerte auf beliebigen Orten zu errechnen. Dazu wurden die nächstgelegenen Klimastationen ausgewählt und mit deren Messwerten ein abstandsgewichteter Höhengradient bestimmt. Mit dem abstandsgewichteten Messwertmittel und dem Höhengradienten kann ein Klimawert für einen beliebigen Ort bestimmt werden. Die Güte dieser Interpolation wurde durch Weglassen jeweils einer Station und Anwendung der Klimainterpolationsmethode exakt für diesen Punkt mit anschließender Untersuchung der Abweichungen überprüft. 50 % der Monatsmitteltemperatur-Abweichungen für den Zeitraum 1951 bis 2003 hatten eine Abweichung von maximal -0,34 °C und 0,39 °C. 50 % der errechneten Monatsmittelniederschläge wichen für den Zeitraum 1971 bis 2003 maximal um 10 mm vom beobachteten Messwert ab.

Abschätzung des jährlichen BHD-Zuwachses

Zur Entwicklung klimasensitiver Wachstumsmodelle sind Zuwachsdaten mit einer jährlichen Auflösung hilfreich. Da aus Inventuren ermittelte Zuwächse meist für einen Zeitraum von mehreren Jahren gelten, wurde eine Methode entwickelt, um die Information des mehrjährigen Zuwachses auf jährliche Zuwächse aufzuteilen. Dazu werden die Schwankungen der Jahrringbreite einzelner Jahre, welche anhand der Bohrkerndaten quantifizierbar sind, auf die Inventurzuwächse übertragen. Um diese Jahrringbreiten für einen großen Datensatz in kurzer Zeit zu bestimmen, wurde eine Routine zur Errechnung gleitender Mittelwerte erstellt.

Einfluss von Standorts- und Baummerkmalen auf die Jahrringbreite

Wie sich Witterungsschwankungen auf die Jahrringbreite auswirken, hängt von der Witterung und von Standorts- und Baummerkmalen ab. Unterschiede der Jahrringbreite wurden in Abhängigkeit von Seehöhe, Bodendurchlässigkeit, Zuwachsleistung und BHD ausgewertet. Den größten Einfluss auf die Jahrringbreite zeigte die Seehöhe. Ein besonders deutlicher Zusammenhang mit der Seehöhe wurde in den Jahren 1917 und 1926 bei Fichte, Kiefer, Lärche und Tanne beobachtet. 1917 zeigten die Tieflagen um 10 % schmälere, die Hochlagen um 20 % breitere Jahrringe als das gleitende Mittel der Jahrringbreite. Auslöser für diesen Trend dürften die überdurchschnittlich warmen und trockenen Monate Mai und Juni gewesen sein. Im Jahr 1926 hingegen zeigten die Tieflagen um 20 % breitere und die Hochlagen um 15 % schmälere Jahrringe. Verursacht wurde dieser Trend anscheinend durch die kühlen und feuchten Monate Mai, Juni und Juli. In den Jahren 1948 und 1976 zeigten alle Höhenstufen Zuwachseinbußen. 1948 waren die Tieflangen, 1976 die Hochlagen weniger stark betroffen. 1989 zeigten Bäume bis 1500 m Zuwachssteigerungen um 10 %. Bäume in 1800 m hatten Zuwachseinbußen um 10 %.

Zusammenhang zwischen Wuchsgebieten und Jahrringbreitenmustern

Wuchsgebiete sind Großlandschaften, welche durch ein einheitliches Klima und einheitliche geomorphologische Grundeinheiten charakterisiert sind. Es wurde untersucht, ob sich diese auch aufgrund von einheitlichen Jahrringmustern zusammenfassen bzw. unterscheiden lassen.

Es wurden zunächst Unterschiede zwischen Wuchsgebietmittelwerten für einzelne Jahre untersucht. Ähnliche Muster wurden innerhalb der Wuchsgebiete (1) Inneralpin und nördlich Zwischenalpin, (2) östliche und südliche Zwischenalpen, (3) nördliche Randalpen und (4) nördliches Alpenvorland und Mühl- und Waldviertel gefunden. Wenn zwischen den Wuchsgebieten Unterschiede in den Jahrringmustern bestehen und sich die Jahrringmuster innerhalb eines Wuchsgebietes ähneln, sollte es möglich sein, einen Baum aufgrund seiner Jahrringfolge einem bestimmten Wuchsgebiet zuzuordnen. Diese Zuordnung erfolgte mittels Diskriminanzanalyse. Der größte Anteil von richtig zugeordneten Bäumen wurde im Wuchsgebiet nördliche Randalpen–Westteil mit 45 % erreicht. Weitere 18 % aus diesem Gebiet wurden in das Nachbargebiet nördliche Randalpen–Ostteil klassifiziert. Insgesamt zeigte sich, dass der Trefferanteil der in das richtige Wuchsgebiet klassifizierten Bäume meist zwischen 20 % bis 30 % liegt. Die meisten Fehlzuordnungen erfolgten in unmittelbar angrenzende Regionen. Im letzten Schritt wurde versucht, anhand der Jahrringmuster der einzelnen Bäume, Regionen mittels Clusterbildung zu finden. Dabei wurden je nach Methode und untersuchtem Zeitraum 4 bis 5 annähernd einheitliche Regionen gefunden. Diese Regionen decken sich in etwa mit Zentralalpin, Randalpin, südliches Alpenvorland und nördliches Alpenvorland.

Literatur

Bräker, O. U., 1981. Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt 142.

Clark, J. S., Wolosin, M., Dietze, M., Ibáñez, I., LaDeau, S., Welsh, M., Kloeppel, B., 2007. Tree growth inference and prediction from diameter censuses and ring widths. Ecological Applications 17 (7), 1942–1953.

Cover, T., Hart, P., 1967. Nearest neighbor pattern classification. Information Theory, IEEE Transactions on 13 (1), 21–27.

Dittmar, C., Elling, W., 1999. Jahrringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhenlage. European Journal of Forest Research 118 (1), 251–270.

Dittmar, C., Zech, W., Elling, W., 2003. Growth variations of Common beech (Fagus sylvatica L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. Forest Ecology and Management 173 (1-3), 63–78.

Fisher, R. A., 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. Annals Eugen. 7, 179–188.

Frank, D., Esper, J., 2005. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps. Dendrochronologia 22 (2), 107–121.

Garcia-Gonzalez, I., 2008. Comparison of different distance measures for cluster analysis of tree-ring series. Tree-Ring Research 64 (1), 27–37.

Hartigan, J. A., Wong, M. A., 1979. A K-Means clustering algorithm. Applied Statistics 28, 100–108.

Hastie, T., Tibshirani, R., 1996. Discriminant analysis by Gaussian mixtures. Journal of the Royal Statistical Society Series B 58, 158–176.

Hastie, T., Tibshirani, R., Buja, A., 1994. Flexible Discriminant Analysis by optimal scoring. Journal of the American Statistical Association 89 (428), 1255–1270.

Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. Journal of Educational Psychology 24 (7), 498–520.

Kaufmann, L., Rousseeuw, P. J., 1987. Clustering by means of medoids. In: Dodge, Y. (Ed.), Statistical data analysis based on the L1 norm. Elsevier, 405–416.

Kilian, W., Müller, F., Starlinger, F., 1994. Die Forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA Berichte 82. Forstliche Bundesversuchsanstalt.

Lehner, B., Umlauf, G., Hamann, B., Ustin, S., 2006. Topographic distance functions for interpolation of meteorological data. In: Hagen, H., Kerren, A., Dannenmann, P. (Eds.), GI Lecture notes in informatics, visualization of large and unstructured data sets, 119–131.

Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H.-P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H., Spiecker, H., 2002. Radial growth variation of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. Forest Ecology and Management 171 (3), 243–259.

Melvin, T. M., Briffa, K. R., Nicolussi, K., Grabner, M., 2007. Time-varying-response smoothing. Dendrochronologia 25 (1), 65–69.

Neuwirth, B., Schweingruber, F. H., Winiger, M., 2007. Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. Dendrochronologia 24 (2-3), 79–89.

Pearson, K., 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. Philosophical Magazine 2 (6), 559–572.

Price, D. T., McKenney, D. W., Nalder, I. A., Hutchinson, M. F., Kesteven, J. L., 2000. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. Agricultural and Forest Meteorology 101 (2-3), 81–94.

Ripley, S., 1996. Pattern Recognition and Neural Networks. Cambridge: University Press.

Savva, Y., Oleksyn, J., Reich, P., Tjoelker, M., Vaganov, E., Modrzynski, J., 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. Trees - Structure and Function 20 (6), 735–746.

Thornton, P. E., Running, S. W., White, M. A., 1997. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. Journal of Hydrology 190 (3-4), 214–251.

Tutz, G., Binder, H., 2005. Localized classification. Statistics and Computing 15 (3), 155–166.

Velleman, P. F., 1977. Robust nonlinear data smoothers: Definitions and recommendations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 74 (2), 434–436.

Ward, J. H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58 (301), 236–244.

Autor: DI. Dr. Georg Kindermann, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Institut für Waldwachstum und Waldbau, Seckendorff-Gudent-Weg 8, A-1131 Wien, georg.kindermann@bfw.gv.at