

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 52 (1995)

Artikel: Ein biogeographischer Vergleich von Waldgrenzen der nördlichen, inneren und südlichen Schweizeralpen
Autor: Eggenberg, S.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-318589>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

S. EGGENBERG*

Ein biogeographischer Vergleich von Waldgrenzen der nördlichen, inneren und südlichen Schweizeralpen

1. Einleitung

Die alpine Waldgrenze in den Gebirgen der Erde ist eine der bedeutendsten und auffälligsten pflanzengeographischen Grenzlinien, und schon früh beschäftigten sich Wissenschaftler mit ihrer Beschreibung und suchten nach deren Ursache. Neben den zahlreichen Arbeiten, die nach den Ursachen des Phänomens suchten (z.B. BROCKMANN-JEROSCH 1919, MICHAELIS 1934, DAUBENMIRE 1954, WARDLE 1973, TRANQUILLINI 1976, 1979, HADLEY und SMITH 1987) und damit die Gemeinsamkeiten der Waldgrenzphänomene in den Vordergrund stellen, gibt es auch Untersuchungen, die eher Differenzen zwischen den verschiedenen Waldgrenzsituationen herausstreichen, sei es bezüglich ihrer Artenzusammensetzung und Physiognomie (z.B. ARNO 1984, SCHIECHTL 1967, WARDLE 1974) oder bezüglich ihrer ökologischen Bedingungen (z.B. SCHÖNBERGER 1976, HOLTMEIER 1974, 1981, AULITZKY et al. 1982, ARNO 1984). Es ist auch an vielen Beispielen untersucht worden, welchen Einfluss die verschiedenen Standortstypen auf die Wuchsformen der Baum- und Strauchpopulationen haben (z.B. HOLTMEIER 1981).

Erstaunlicherweise gibt es, zumindest für die Schweizeralpen, keine Übersicht, die die unterschiedlichen Verhältnisse an der Waldgrenze in verschiedenen Klimaregionen darstellt und die Auswirkungen dieser Unterschiede auf die Vegetationszusammensetzung erläutert. Die Frage nach der Natur solcher Waldgrenz-Unterschiede war der Ausgangspunkt für Studien im Rahmen eines Projektes, das die Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Waldgrenze untersucht. Es war zu erwarten, dass sich Änderungen im Allgemeinklima (räumlich oder zeitlich) nicht nur auf die Höhe der Waldgrenze (Waldgrenzschwankungen), sondern auch auf deren Vegetationszusammensetzung auswirken.

* Adresse des Autors: Systematisch-Geobotanisches Institut, Altenbergrain 21, 3013 Bern

2. Untersuchungsgebiet

Die in dieser Arbeit verwendeten Waldgrenzökoton-Punkte sind aus einem Untersuchungsgebiet, das den zentralen Teil der Schweizer Alpen und insbesondere den Transekt von den randlichen Nordalpen über die Inneralpen bis in die randlichen Südalpen umfasst, vom Berner Oberland und den Innerschweizer Voralpen, über die Walliser und Bündner Inneralpen bis in die Tessiner Südalpen. Nach der biogeographischen Einteilung des Alpenraumes von OZENDA (1988: *Abb. 4.14*) werden hiermit vier verschiedene Sektoren abgedeckt: nord-präalpiner Sektor, inneralpiner Sektor, Zwischenalpen-Sektor und insubrisch-piemontesischer Sektor. Nach dem Ariditätsindex von MARTONNE mit den Faktoren P (Jahresniederschlag) und T (Jahres-Mitteltemperatur),

$$i_M = P \text{ (mm)} / T \text{ (}^\circ\text{C.)} + 10$$

kann der inneralpine Sektor in einen extremeren Teil (Index < 50) und einen gemässigeren Teil (Index 50–70) unterteilt werden (L. RICHARD 1985: *Abb. 14.1*). Wenn wir zudem im Zwischenalpen-Sektor einen nordalpinen und südalpinen Teil unterscheiden, so erhalten wir 6 biogeographische Untersektoren mit unterschiedlicher Klimacharakteristik (*Tab. 4*). In der *Abbildung 3* sind die Sektoren des Untersuchungsgebietes eingezeichnet.

	Sektor/Untersektor (Ozenda)	Niederschläge	Bewölkung	Temperatur
1	nördliche Randalpen	++	++	-
2	nördliche Zwischenalpen	++	+	-
3	randliche Inneralpen	-	-	+
4	extreme Inneralpen	--	--	++
5	südliche Zwischenalpen	+	+	+
6	südliche Randalpen	++	-	++

Tabelle 1: Biogeographische Sektoren und Untersektoren mit ihrer Klimacharakteristik.

Der Ausschnitt des Untersuchungsgebietes ist in *Abbildung 1* dargestellt. In 30 Regionen, die ebenfalls in der Karte von *Abbildung 1* eingezeichnet sind, wurden Vegetationsdaten erhoben, die als Grundlage für die Karten der dominanten Vegetation in Nord- bzw. Südhängen dienen. Die 30 Aufnahmeorte wurden gleichmässig über die Sektoren verteilt (*Abb. 3*), in jedem Sektor 5 Probegebiete (Regionen).



Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet umfasst den zentralen Teil der Schweizer Alpen. Als Punkte sind Regionen eingezeichnet und benannt, in denen Vegetationsdaten erhoben wurden.

3. Methoden

Definitionen

So eindrücklich die linienhafte Erscheinung der alpinen Waldgrenze für die flüchtige Betrachtung erscheinen mag, so ist eine genaue Definition von Wald- und Baumgrenze im Gelände für alle Waldgrenzforscher stets mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden gewesen. Die grosse Vielfalt in den Erscheinungsformen, der Verbreitung und der Lage der Grenzen hat zu einer Vielfalt von Begriffen und Definitionen geführt und so zahlreich wie diese Versuche sind, exakte Definitionen zu formulieren, so unterschiedlich sind auch die Definitionen ausgefallen. Denn es muss bereits festgelegt werden: was ist ein Baum?, was ist ein Wald?, wo kann ich eine Grenze ziehen?

Als *Baumgrenze* gilt allgemein die Verbindungslinie der höchststeigenden Vorkommen von Bäumen. Beim Begriff «Baum» wird meist das Kriterium der Baumhöhe hinzugezogen, die je nach den herrschenden Bedingungen und der Höhe der übrigen Vegetation auf 2–5 m festgelegt wird (TRETER 1984, ELLENBERG 1986). Eine Definition, die sich an der gemessenen Wuchshöhe orientiert, ist hingegen für die in dieser Arbeit gewählten Vorgehensweise nur bedingt anwendbar, da nicht im Gelände gearbeitet wurde, sondern mit Hilfe von Karte und Luftbilder (vgl. Kap. «Methoden»). Als Baum wurden Individuen angesprochen, die sich im Luftbild (Stereobild!) noch deutlich von der sie umgebenden Zwergstrauchheide abhoben.

Die *Waldgrenze* kann als die Grenze der höchststeigenden Vorkommen zusammenhängender Waldbestände aufgefasst werden (TRETER 1984, HÜPPE und POTT 1992). Auch hier wurde versucht, mit Massangaben den Begriff «Wald» so exakt als möglich zu definieren. So sollten Baumbestände erst als Wald gelten, wenn sie einen Kronenschluss von 40% aufweisen (HÜPPE und POTT 1992) oder wenn die Entfernung zwischen den einzelnen Bäumen nicht mehr als 25 m ist (MORK und HEIBERG 1937). Doch sind weniger eng gefasste Definitionen, wo noch als Wald aufzufassen ist, was physiognomisch als Wald erscheint (WARDLE 1974, HUSTICH 1979), für die praktische Anwendung oft sinnvoller. Gerade für Luftbildanalysen ist eine flexible Definition wesentlich hilfreicher.

Der Gürtel zwischen der Waldgrenze und der Baumgrenze wird als *Waldgrenz-Ökoton* oder *Baumgrenz-Ökoton* bezeichnet («forest-tundra-ecotone»). Die für die vorliegende Untersuchung verwendeten geographischen Punkte liegen in diesem Ökoton und auch die Pflanzensoziologischen Aufnahmen, die den in der Diskussion verwendeten Vegetationskarten zugrunde liegen, wurden in diesem Übergangsbereich gemacht.

Ermittlung der Waldgrenzhöhe

Um Karten mit Waldgrenzisolinien aus Interpolationen herstellen zu können, musste für eine genügende Anzahl Punkte, verteilt über das Untersuchungsgebiet, die Wald- und Baumgrenze ermittelt werden. Ansichtsmaterial, Feldskizzen aus Geländebegehungen, usw. standen natürlich für 100–200 Punkte nicht zur Verfügung, es musste mit «remote sensing»-Materialien gearbeitet werden. Am einfachsten zugänglich sind die Topographischen Karten der Landestopographie im Massstab 1:25 000, die mit ihren relativ detailliert umgesetzten Waldsignaturen erste Anhaltspunkte für höchststeigende Baumverbände liefern. Doch bewegen sich die gesuchten Baumverbände bezüglich der Signaturen oft gerade zwischen einer flächig grünen einer offenen, mit kleinen Ringen gepunkteten Darstellung. Erst ein Vergleich mit dem Luftbild – und hier genügten durchaus die schwarzweissen Luftbilder der Landestopographie im Massstab etwa 1:30 000 – konnte klären, ob die eine oder andere Signatur einen Baumbestand darstellt, der für unsere Ermittlungen als hochsteigende Waldinsel angesprochen werden kann. Erhielt man über grössere Gebiete (20–50 km²) ähnliche Werte für hochsteigende Waldinseln, so konnte ein auf 50 m genauer Wert für die Meereshöhe der potentiellen Waldgrenze festgelegt werden.

Ermittlung der Baumgrenzhöhe

Analog zum Verfahren der Waldgrenzbestimmung wurde auch die Baumgrenze ermittelt. Erste Anhaltspunkte für hochsteigende Einzelbäume lieferte erneut zuerst die Landeskarte. Im Luftbild wurde das Vorkommen der Bäume bestätigt, und die Umgebung wurde nach noch höher steigenden Bäumen abgesehen. Auf diese Weise konnten nur Individuen berücksichtigt werden, die über eine genügend grosse Wuchshöhe

verfügen, um sich im Stereobild von der übrigen Vegetation abzuheben. Krüppelbäume, die nur knapp über die Zwergstrauchheide ragen, konnten nicht als solche identifiziert werden.

Ausnahmesituationen, die nicht mit den potentiellen Grenzen übereinstimmen

Für eine Reihe von Situationen musste angenommen werden, dass sie sich nur bedingt zur Ermittlung der Wald- bzw. Baumgrenze eignen. Da sich die potentiellen Grenzen an Schwellenwerten des Allgemeinklimas oder zumindest an über grössere Flächen wirkenden klimatischen Bedingungen orientieren, können in Situationen, in denen die klimatischen Bedingungen punktuell abweichen, Bäume höher als in der Umgebung steigen oder eine gewisse Höhe gar nicht erreichen. In noch grösserem Umfang wirken sich starke biotische und abiotische, nichtklimatische Faktoren aus, die den Baumwuchs herabsetzen. Zu der ersten Gruppe von Sondersituationen gehören Felsgrate, Schutzstellen in Felswänden, Kaltluftlöcher, Senken und Rinnen. Zu der zweiten Gruppe gehören z.B. Lawinenbahnen, Windkanäle, Alpwirtschaftsflächen, Sümpfe usw. Es war auch mit der Hilfe von guten Luftbildern nicht immer möglich, solche Sondersituationen von vornherein auszuschliessen. Das Fehlerpotential kann erst durch genügend Beobachtungen über eine grössere Fläche gewissermassen statistisch verringert werden (Ausreisser eliminieren, Werte mitteln).

Ermittlung der klimatischen Werte an den Waldgrenzpunkten

Für die in *Abbildung 2* dargestellten Punkte wurden wie oben beschrieben die Wald- und Baumgrenze ermittelt, und es stellte sich im Rahmen der Untersuchung die Frage, welche klimatischen Gemeinsamkeiten aber v.a. auch, welche klimatischen Unterschiede findet man zwischen Punkten des Berner Oberlandes, des Wallis, des Tessin usw. Es war zu erwarten, dass neben all den Gemeinsamkeiten, die die potentielle Waldgrenze mit sich bringen muss, auch etliche klimatische Differenzen bestehen. Natürlich standen keine jahrzehntelangen Messreihen für 180 Punkte an der Waldgrenze zur Verfügung. Mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS) können bestehende digitale Isolinienkarten interpoliert und mit einem Punkt an beliebiger Stelle durchstochen werden. Der Punkt erhält einen Wert, der aus den ihn umgebenden Isolinien interpoliert wird. Damit hängt die Zuverlässigkeit eines Punktwertes selbstverständlich von der Qualität der Isolinienkarte ab, aber als erste Näherungen können die Karten des Klimaatlas der Schweiz auch für punktuelle Information verwendet werden, zumal die Punktwerte später durch Interpolationen wieder in flächige Information umgesetzt werden und lediglich aus den sich ergebenden Tendenzen interpretiert werden.

Als digitale Klimakarten waren vorhanden:

Jahresniederschlag	Quelle: Atlas der Schweiz (UTTINGER 1965a)
Jahres-Mitteltemperatur	Quelle: Interpolation aus Werten der Messstationen
Schneehöhen im März	Quelle: Klimaatlas der Schweiz (WITTMER 1987)
Niederschlagshäufigkeit (Anzahl Regentage)	Quelle: Atlas der Schweiz (UTTINGER 1965b)

Die auf diese Weise ermittelten Werte konnten im Informationssystem SPANS von einer Punktkarte durch eine lineare Interpolation in Flächenkarten umgesetzt werden

Vorgehen: Potential mapping; Interpolationsmodell 1 (gewichtetes Mittel der Punktwerte); Max. Anzahl Nachbarschaftspunkte = 10; lineare Abnahme der Gewichtung mit der Entfernung vom Punkt.

Ermittlung der Vegetationstypen

Für die biogeographischen Vergleiche wurde nur die Vegetation der Zwergstrauchheide berücksichtigt. An der Waldgrenze stellt diese Heide in den meisten Fällen den Hauptanteil an der potentiell natürlichen Vegetation dar.

Die Ansprache der verschiedenen Vegetationstypen ist durch eine vorgängig ermittelte, detaillierte Klassifikation ermöglicht worden. Es haben sich Vegetationseinheiten als geeignet erwiesen, die zwischen dem recht groben, floristisch orientierten Assoziations-Konzept von BRAUN-BLANQUET (1964) und dem sehr feinen, floristisch und strukturell orientierten Soziations-Konzept von DURIEZ (1925) stehen.

Die verwendeten 28 Heidetypen lassen sich den Assoziationen *Rhododendro-Vaccinietum* (v.a. Nordhänge), *Junipero-Arctostaphyletum* (v.a. Südhänge), *Empetro-Vaccinietum* oder ihren Übergängen zuordnen. In den Südalpen, wo Zwergstrauchheiden über weite Teile fehlen und durch Rasengesellschaften des *Festucion variae* (*Festucetum paniculatae*) ersetzt sind, wurden auch letztere bei den Schätzungen mitberücksichtigt. Die prozentualen Flächenanteile der verschiedenen Typen wurden geschätzt, bezogen auf etwa hektargrosse Einheitsflächen (vgl. HEGG und SCHNEITER 1978). Die Schätzung war relativ einfach, da sich die Heidegesellschaften strukturell und farblich sehr gut gegeneinander abheben.

Anschliessend wurden die Aufnahmegebiete aufgrund des mittleren Vorkommens ihrer Heidegesellschaften bewertet und klassifiziert. Aufnahmegebiete mit ähnlichen Kombinationen von Heidegesellschaften sind sich biogeographisch ähnlich, gehören zu gleichen biogeographischen Region. Die Klassifikation von Gebieten anhand ihrer Pflanzengesellschaften erfolgte analog der Klassifikation von Aufnahmeflächen anhand ihrer Arten. Oft ergibt sich bei synsoziologischen Klassifikationen der Nachteil, dass die Grösse der Aufnahmeeinheit (Probegebiet) stark variieren kann (BROWN et al. 1993). Auch in unserem Fall berechnen sich die Mittelwerte aus einer ungleichen

Anzahl von Einheitsflächen. Aufnahmegebiete, in denen nur sehr wenig Einheitsflächen geschätzt werden konnten, ergaben unzuverlässige Mittelwerte und wurden nicht weiter verwendet. Die Analyse wurde mit einem divisiven Clusterverfahren (JONGMAN et al., 1987) durchgeführt, um von globalen Ähnlichkeiten sukzessive auf immer feinere regionale Unterteilungen zu gelangen. Auf diese Weise lässt sich die Analyse auf eine Gruppen-Anzahl einstellen, die auch kartographisch dargestellt werden kann. Das hier verwendete divisive Klassifikationsverfahren war die *Two-Way Indicator Species Analysis* (HILL 1979), die mit dem Computer-Programm TWINSPAN zur Verfügung steht.

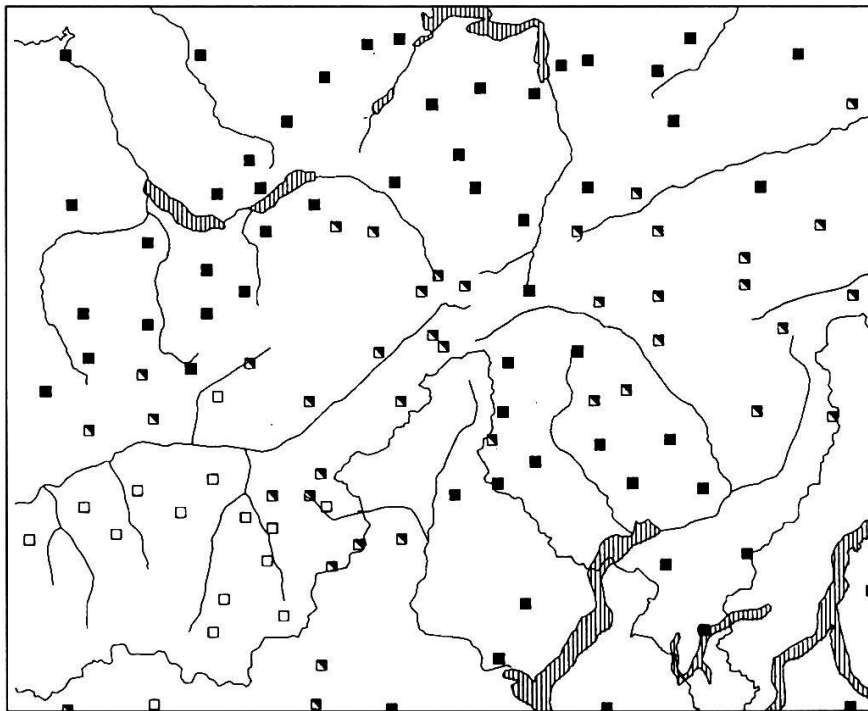


Abbildung 2: Darstellung der Punkte im Untersuchungsgebiet, wo mit Karte und Luftbild die Wald- und Baumgrenze ermittelt wurde. Leere Punkte kennzeichnen eine Waldgrenze von über 2200 m, halbleere Punkte kennzeichnen eine Waldgrenze von 2000–2200 m, ausgefüllte Punkte kennzeichnen eine Waldgrenze unter 2000 m. Weitere Erläuterungen im Text. *Ermittlung der Vegetationstypen*

4. Resultate und Diskussion

4.1 Höhe der Wald- und Baumgrenze

Höhe der Waldgrenze

In *Abbildung 3* ist eine Isolinienkarte mit der Höhe der Waldgrenze dargestellt. Der Verlauf der Isolinien wurde aus einer linearen Interpolation der Waldgrenzhöhen von etwa 180 über das ganze Untersuchungsgebiet verteilten Punkten berechnet. Mit dieser Anzahl von Punkten ist der Verlauf der Isolinien nicht exakt zu bestimmen und entsprechend vorsichtig muss die Isolinienkarte interpretiert werden. Aus dem scheinbar genau berechneten Verlauf der Linien sollten nicht lokale Gegebenheiten herausgelesen werden. Wichtig sind die Muster im gesamten Linienvverlauf.

Auffallend am Isolinien-Bild ist die symmetrische Lage bezüglich der Inneralpen, indem die Waldgrenzhöhe, wie das schon oft beschrieben wurde, von beiden Alpenrändern gegen die inneren Ketten zunimmt. Für den Ausschnitt des Untersuchungsgebietes liegt das Maximum im Gebiet des Mattertales mit einer Höhe von über 2250 m und nimmt gegen die Nord- und Südalpen hin rasch ab. Im Norden steigt die Waldgrenze nur in den Talschlüssen der Quertäler über die 2000-m-Linie (Lenk, Gasterntal, Steinberg, Haslital, Gotthard). In stark vom insubrischen Klima geprägten Teilen der Südalpen sinkt die Waldgrenze ebenfalls rasch unter die 2000 m, während in Südalpentälern, die noch inneralpine Klimatendenzen aufweisen (Leventina, Blenio, Mesocco), Wälder noch bis über 2000 m anzutreffen sind. Verglichen mit dem Wallis ist in den Rheintälern das Ansteigen der Waldgrenze weit weniger stark ausgeprägt, zumindest für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Weiter im Osten (Churer Rheintal, Engadin – beide ausserhalb des untersuchten Gebietes) wird der inneralpine Einfluss sich wieder stärker bemerkbar machen. Im östlichen Teil unseres Ausschnittes wurden die höchsten Waldgrenzen im Gebiet der Hochebenen von Piora, Dötra, Blenio, Greina festgestellt.

In den Südalpen sinkt die Waldgrenze kaum unter 1900 m, ebensowenig in den westlichen Nordalpen. Die tiefsten Waldgrenzwerte liegen im östlichen Teil der Nordalpen (Glarner Alpen), wo sie bis unter 1800 m sinken.

Höhe der Baumgrenze

Der Verlauf der Baumgrenz-Isolinien ist in *Abbildung 4* dargestellt. Sie sind mit denselben Punkten und der analogen linearen Interpolation ermittelt worden. Von einigen Ausnahmen abgesehen, ist der Linienvverlauf demjenigen der Waldgrenze sehr ähnlich, was darauf hinweist, dass der Abstand zwischen Wald- und Baumgrenze und damit die vertikale Ausdehnung des Waldgrenz-Ökotoes überall in der gleichen Grössenordnung liegt (ca. 100 m). Ausnahmen finden wir in den randlichen Südalpen, wo der Abfall der Baumgrenze markanter ist als der Abfall der Waldgrenze und sich somit die Ausdehnung des Waldgrenzökotoes verkleinert.

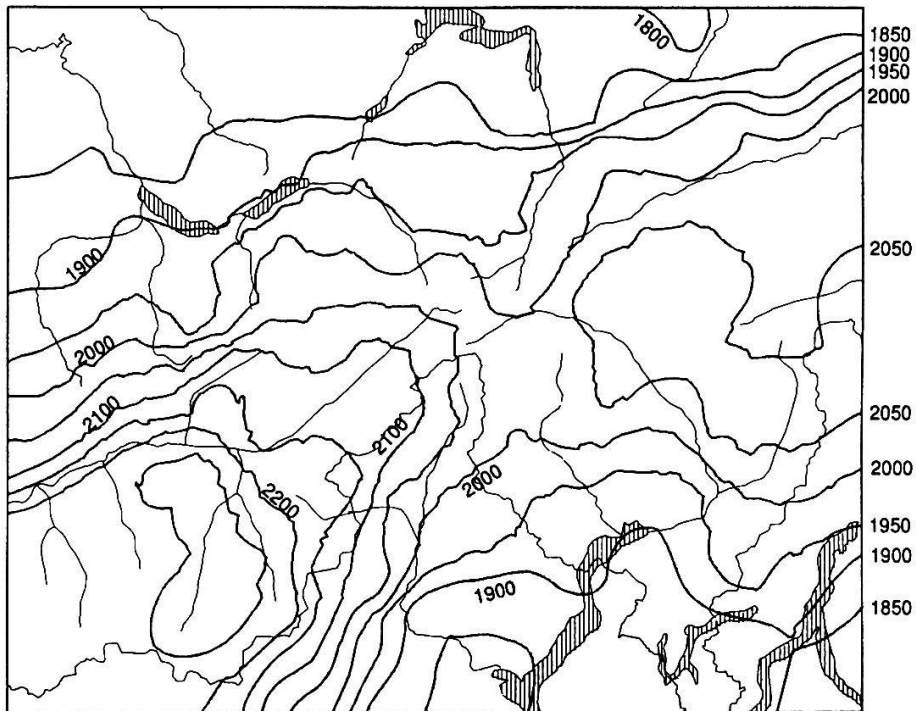


Abbildung 3: Isolinien der Waldgrenzhöhe im Bereich der zentralen Schweizer Alpen. Berechnet aus einer linearen Interpolation von etwa 180 Punkten.

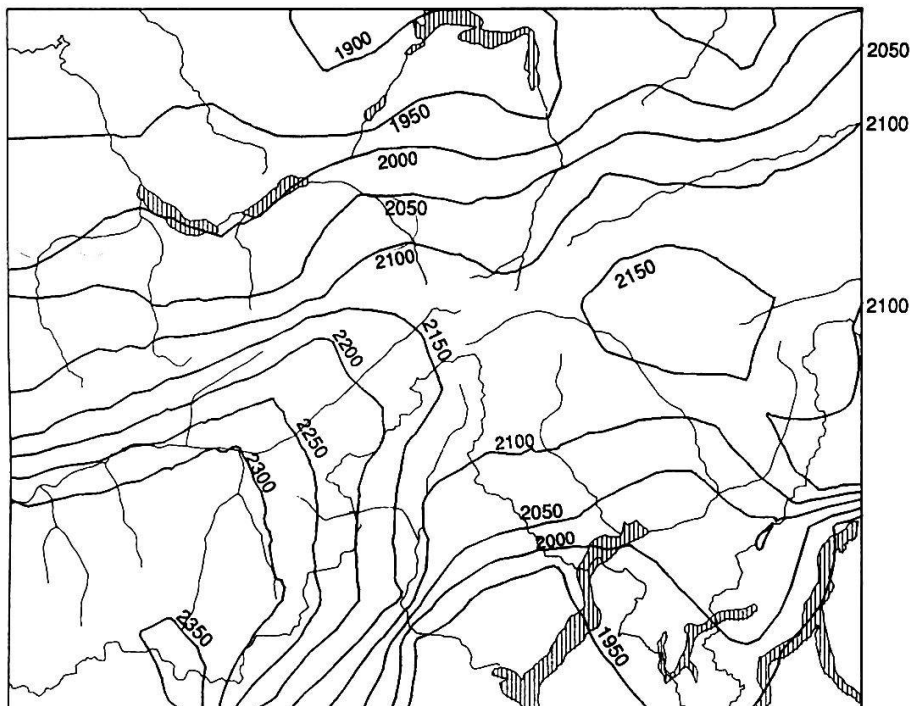


Abbildung 4: Isolinien der Baumgrenzhöhe im Bereich der zentralen Schweizer Alpen. Berechnet aus einer linearen Interpolation von etwa 180 Punkten.

Vergleich mit bisherigen Waldgrenzkarten

Es gibt nur wenig publizierte Waldgrenzkarten für die Schweizer Alpen, und die Karten sind vergleichsweise grob gehalten. Die bekannteste Karte der Waldgrenzhöhen stammt aus der Arbeit von BROCKMANN-JEROSCH (1919), «Baumgrenze und Klimacharakter», der sich auf die Angaben von IMHOF (1900) stützt und nach seinen Beobachtungen und nach weiteren Angaben aus der Literatur ergänzt wurde. In *Abbildung 5* sind die Isolinien für unseren Ausschnitt wiedergegeben. LANDOLT verwendet in den älteren Ausgaben seiner Alpenflora (z.B. LANDOLT 1969) eine vergleichbare Karte, ebenfalls nach den Angaben IMHOFS. In neueren Auflagen hingegen (z.B. LANDOLT 1984) publiziert er an deren Stelle eine stark abgeänderte Karte, die auf seinen eigenen Beobachtungen basiert. Diese bearbeitete Karte ist, reduziert auf unser Untersuchungsgebiet, in *Abbildung 6* dargestellt.

Beide Karten (*Abb. 5* und *6*) stellen Isolinien der Waldgrenzhöhen dar, sie sind vergleichbar mit den Interpolationskarten in *Abbildung 3* und *4*. Während die Karte von BROCKMANN einigermaßen mit *Abbildung 3* in Übereinstimmung zu bringen ist, so gleicht LANDOLTS Karte eher der Baumgrenzkarte in *Abbildung 4*. Und auch noch zwischen BROCKMANNs Karte und der hier vorgestellten Waldgrenzkarte bestehen grosse Unterschiede. Mit Ausnahm der extremen Inneralpen (Mattertäler) liegen die Waldgrenzwerte von BROCKMANN durchwegs niedriger, diejenigen von LANDOLT deutlich höher als die hier verwendeten und umgerechneten Höhen. Es zeigt sich erneut, wie stark das Ergebnis der Waldgrenzhöhen-Isolinien nicht nur von der Menge der zur Verfügung stehenden Beobachtungspunkte abhängig ist, sondern auch von der Auffassung und Definition der Waldgrenze bzw. Baumgrenze. So hat LANDOLT, mit seinen sehr hohen Werten, den Baumwuchs als untrügliches Zeichen für potentiellen Waldwuchs aufgefasst, während BROCKMANN (und damit IMHOF) wohl nur effektiv noch vorhandene Waldbestände berücksichtigt und damit den menschlichen Einfluss unterschätzt hat. Auch die hier vorgeschlagene Methode zur Festsetzung der potentiellen Waldgrenze weist sicherlich Mängel auf und ist abhängig von der gewählten Auffassung von der Waldgrenze. Es sind aber in allen Regionen stets wieder die gleichen Kriterien beachtet worden und die simulierten Karten haben somit in sich eine Konsistenz und gehen damit doch über eine gewisse Subjektivität hinaus und sind reproduzierbar.

Während der Interpolation können sich systematische Fehler einschleichen. Eine Fehlerquelle besteht etwa darin, dass lokale Extremwerte von den umliegenden Werten übermässig reduziert werden. Ein Beispiel dafür liefert das Mattertal, wo über eine relativ kleine Region (mit entsprechend wenig Stützpunkten) die Waldgrenze bis auf 2350 m steigt. Sie wird durch die Interpolation von den umliegenden Stützpunkten nach unten gemittelt.

Der allgemeine Verlauf der Linien mit den Gradienten von den Randalpen gegen die Inneralpen, lässt sich in allen Karten gleichermassen feststellen. Mit der Zunahme der Waldgrenzhöhe lassen sich zudem die randlichen und die inneren Teile der Randalpen mehr oder weniger voneinander abgrenzen. In der Literatur (z.B. OZENDA 1988)

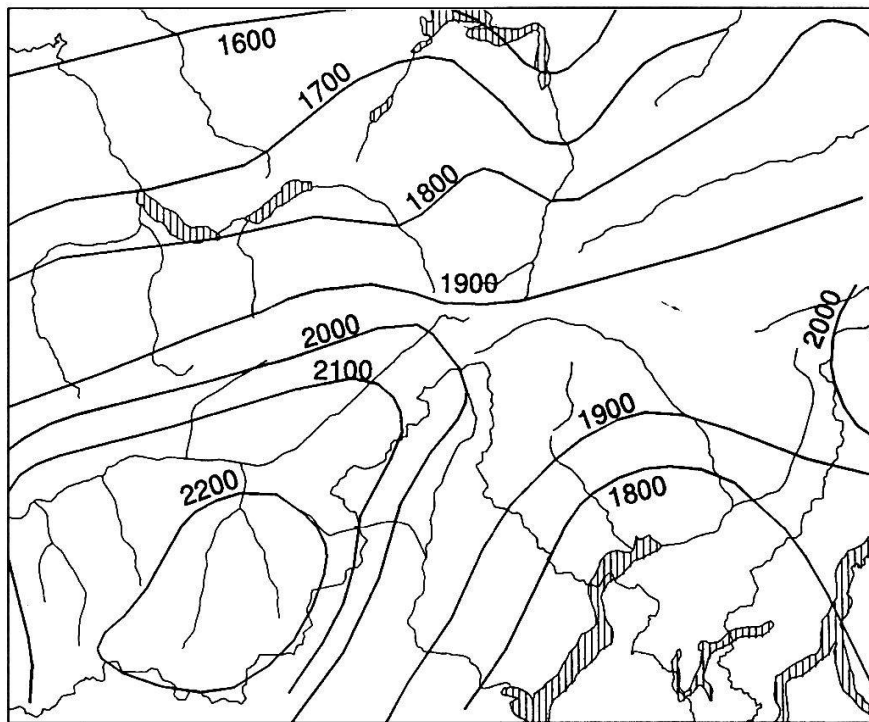


Abbildung 5: Isolinien der Waldgrenzhöhen im Bereich der zentralen Schweizer Alpen nach der Karte von IMHOF (1900) und BROCKMANN-JEROSCH (1919).

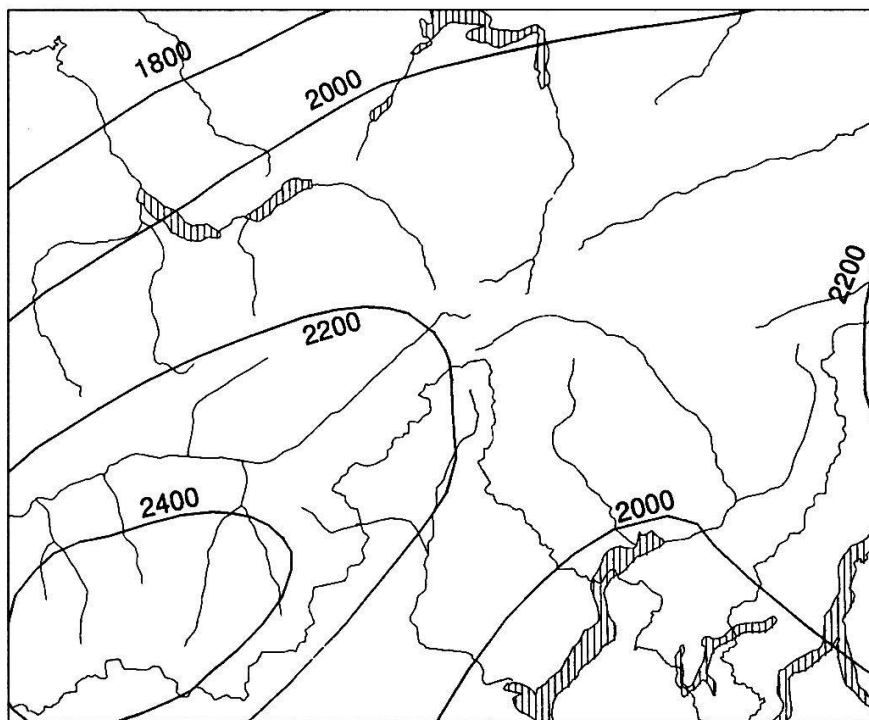


Abbildung 6: Isolinien der Waldgrenzhöhen im Bereich der zentralen Schweizer Alpen nach der Karte von LANDOLT (1984).

wird der innere Teil auch als Zwischenalpen bezeichnet. In diesem Bereich steigt die Waldgrenze in allen Karten um 150–200 m an. Bei der Interpolationskarte von 1950–2100 m, bei Brockmann von 1800–2000 m, bei Landolt von etwa 2050–2200 m. Die tiefsten Werte liegen ebenfalls bei allen Karten im Gebiet der randlichen Nordalpen, während die Grenze in den Südalpen weniger stark abfällt.

4.2 Klassifikation der Waldgrenzen nach Klimaparametern

Temperaturen an der Waldgrenze

Trotz den zahllosen Diskussionen über die Korrelation der Waldgrenze mit der 10-°C-Juliisotherme und der deutlichen und verständlichen Kritik an allzu starker Vereinfachung und Überinterpretation bleibt die Tatsache, dass über grosse Teile der Erde die Waldgrenze mit dieser Isotherme korreliert oder zumindest nicht stark von ihr abweicht (vgl. dazu KÖPPEN 1919, TRETER 1984). Ähnliche, wenn auch weniger ausgeprägte Zusammenhänge ergeben sich zwischen der Jahresmitteltemperatur und der Waldgrenzhöhe. Es kann allgemein gesagt werden, dass die Höhe von Wald- und Baumgrenzhöhe relativ stark von den Temperaturverhältnissen abhängig ist. («timberline is the sharpest temperature-dependent boundary in nature», WARDLE 1974). Umgekehrt ist damit aber auch zu erwarten, dass sich bezüglich der Temperatur wenig Unterschiede zwischen den verschiedenen Waldgrenzstandorten ergeben. In *Abbildung 8* ist aufgrund der Jahresmitteltemperaturen unserer 180 Stützpunkte mit einer Interpolation eine Isolinienkarte simuliert worden. Die Temperaturunterschiede zwischen den Stützpunkten sind erwartungsgemäss minim und auf kleinere Schwankungen im Ausgangsdatensatz zurückzuführen. Nur im Gebiet von Locarno werden sie etwas deutlicher. Möglicherweise ist dort die potentielle Waldgrenzhöhe aufgrund mangelnder Hinweise im Luftbildmaterial zu tief geschätzt worden.

Niederschläge an der Waldgrenze

Wesentlich deutlichere und sinnvollere Muster zeigen die Karten, die mit Niederschlagsparametern erzeugt worden sind. In *Abbildung 9* ist eine simulierte Karte der Jahresniederschläge an der Waldgrenze dargestellt. Sie ist ebenfalls aus der Interpolation von 180 Waldgrenzpunkten entstanden.

Zwischen den Waldgrenzpunkten verschiedener Regionen bestehen grosse Unterschiede. Trockene Waldgrenzen finden wir in den Inneralpen, feuchte Waldgrenzen in den Randalpen. Feuchtigkeitsmaxima finden wir im Gebiet zwischen Lago Maggiore und dem Centovalli für die Südalpen, in den westlichen Glarner Alpen nördlich des Klausenpasses für die Nordalpen. Vergleichsweise trocken sind in den Randalpen das Thunerseegebiet, das Mesocco und das Comerseegebiet. Die extremste Trockenheit finden wir im Gebiet der Vispertäler. Doch die Karte des Jahresniederschlags allein kann die Verteilungsmuster der Vegetationstypen an der Waldgrenze nicht erklären.

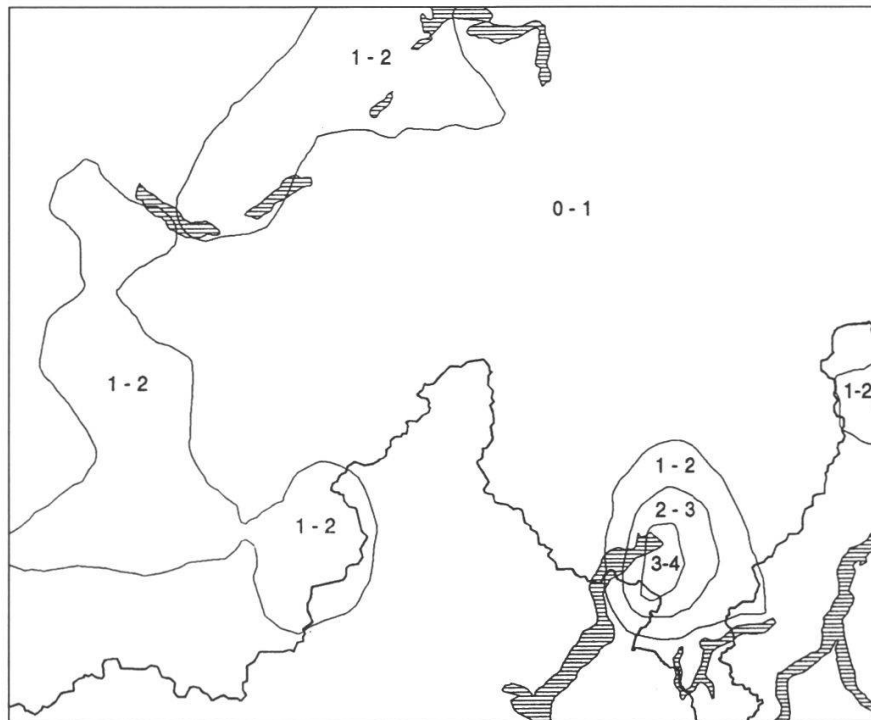


Abbildung 7: Simulierte Jahresmitteltemperatur an der Waldgrenze, berechnet aus einer linearen Interpolation von etwa 180 Punkten an der Waldgrenze, die Temperaturdaten aus dem Verschnitt mit digitalen Temperaturkarten erhalten haben. Die fast fehlenden Gradienten und der eher zufällige Linienverlauf der wenigen Isolinien zeigen, dass zwischen Waldgrenzstandorten wenig Unterschiede bezüglich der Temperatur existieren.

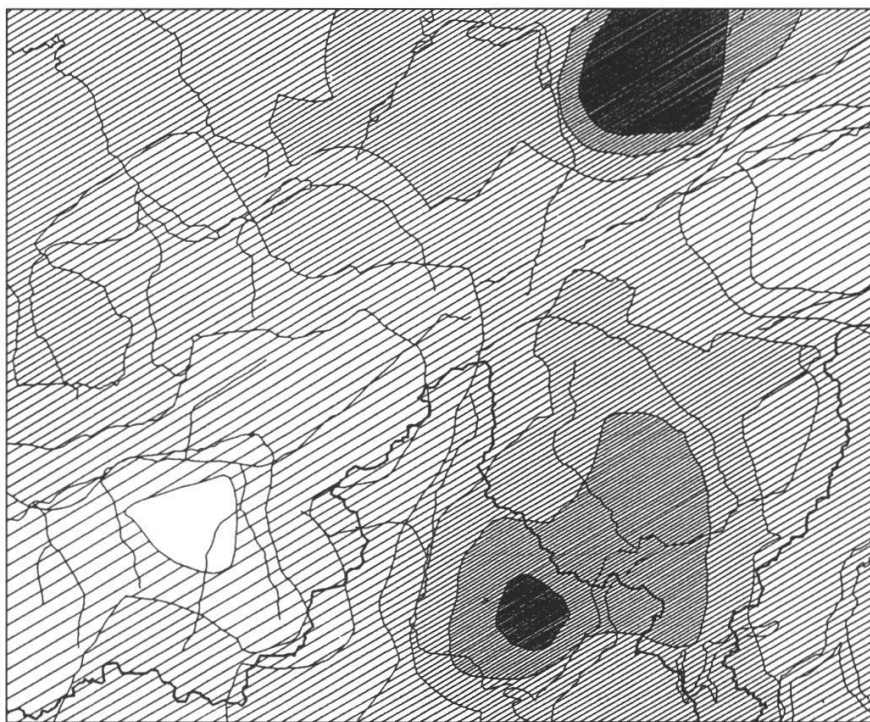


Abbildung 8: Simulierte Karte der Jahresniederschläge an der Waldgrenze, berechnet aus einer linearen Interpolation von etwa 180 Punkten an der Waldgrenze, die Niederschlagsdaten aus dem Verschnitt mit digitalen Temperaturkarten erhalten haben.

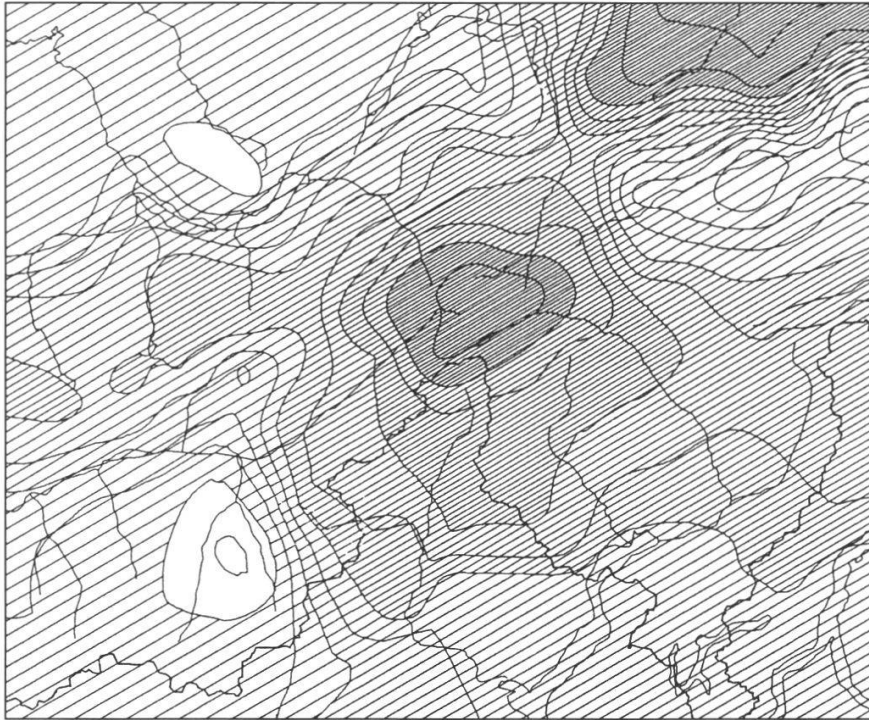


Abbildung 9: Schneehöhen im März an der Waldgrenze, berechnet aus einer linearen Interpolation von etwa 180 Punkten an der Waldgrenze, die Schneehöhendaten aus dem Verschnitt mit Schneehöhenkarten erhalten haben.

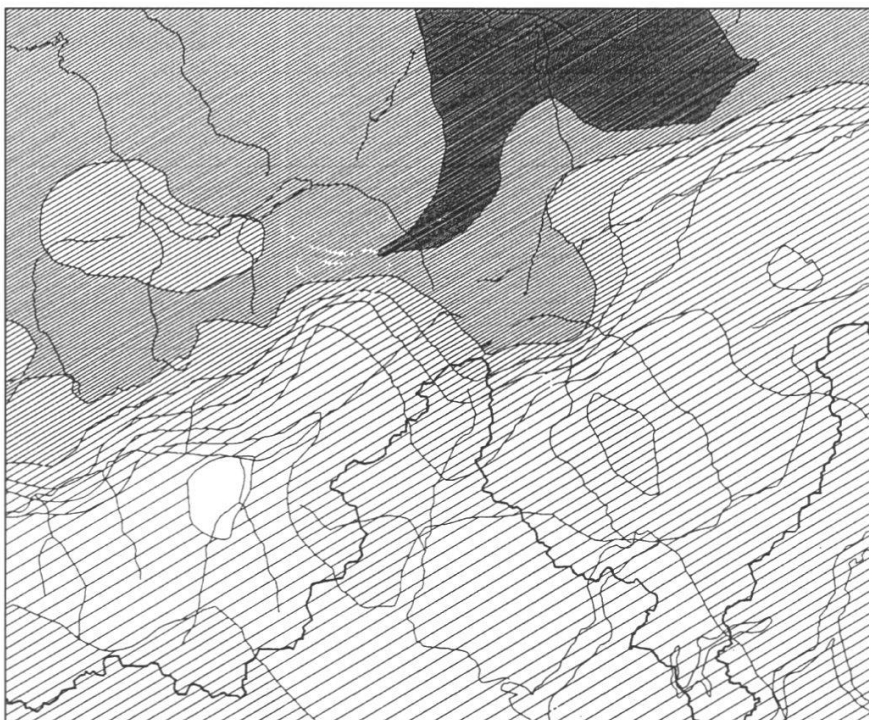


Abbildung 10: Anzahl Regentage an der Waldgrenze, berechnet aus einer linearen Interpolation von etwa 180 Punkten an der Waldgrenze, die Daten aus dem Verschnitt mit einer digitalen Regentagekarte erhalten haben.

Bei der Karte, in der die Schneedecke im Monat März dargestellt wird (*Abb. 9*), erhalten wir eine Verteilung, die in groben Zügen den Gradienten der Jahresmitteltemperatur ähnelt, die aber doch einige Unterschiede aufweist. Das «Südalpen-Maximum» hat sich nach Norden, ins Gotthardgebiet verschoben. Von hohen Schneefallmengen sind auch das Oberwallis und das Nordtessin sowie die inneren Teile der nordalpinen Quertäler betroffen.

In *Abbildung 10* ist eine weitere Niederschlagskarte dargestellt, die eine von den vorherigen Karten recht unterschiedliche Aufteilung des Untersuchungsgebietes aufweist. In dieser Karte sind Gebiete mit gleicher Anzahl Regentage an der Waldgrenze dargestellt, erneut rekonstruiert aus dem Verschnitt von 180 Waldgrenzpunkten mit einer digitalen Regentagekarte (UTTINGER 1965a). Erst durch diese Karte kann den speziellen Niederschlagsverhältnissen der insubrisch geprägten Südalpen Rechnung getragen werden. Obschon sehr hohe Jahresniederschlags-Summen in den Südalpen gemessen werden, wohl die höchsten innerhalb des Untersuchungsgebietes überhaupt, fällt der Niederschlag auch an der Waldgrenze an relativ wenigen Regentagen in Form von Starkniederschlägen. Mit den Unterschieden in der Anzahl Regentage sind indirekt auch die Unterschiede in der Globalstrahlung angenähert, und die Südalpen weisen, im Gegensatz zu den Nordalpen, wesentlich höhere Strahlungsmengen auf.

Kombinieren wir die Karte der Niederschlagsmenge mit unserer Karte der Niederschlagshäufigkeit (Anzahl Regentage), so erhalten wir eine Klassifikation von Waldgrenzregionen in 7 Gruppen. Die Verteilung der Gruppen, wie sie sich durch den Kartenverschnitt präsentiert (*Abb. 11*), stimmt recht gut mit den von OZENDA (1988) postulierten biogeographischen Regionen überein. Es scheint, dass die Niederschlagshäufigkeit und die Niederschlagsmenge an der Waldgrenze einen recht hohen Erklärungswert besitzen.

4.3 Klassifikation der Waldgrenzen nach Vegetationstypen

Biogeographische Klassifikation

Eine divisive Klassifikation mit dem Computer-Programm TWINSPAN (HILL 1979) wurde für die Nordhänge mit 26 Probegebieten, für die Südhänge mit 23 Probegebieten durchgeführt. Ein Vorteil des TWINSPAN(= *Two-Way Indicator Species Analysis*)-Verfahrens besteht in der Möglichkeit, die Aufteilung des gesamten Untersuchungsgebietes in Teilgebiete mitverfolgen zu können und dass Zeigergesellschaften für die Teilung angegeben werden. Das Teilungsverfahren für die Nordhangvegetation der 26 Probegebiete ist in *Abbildung 12* dargestellt.

Die hier entstandenen Gruppen sind, wie aus der *Abbildung 12* hervorgeht, geographisch interpretiert worden und stimmen gut mit den Sektoren von OZENDA (1988) überein. In *Tabelle 1* ist die Aufteilung in die biogeographischen Regionen tabellarisch zusammengefasst.

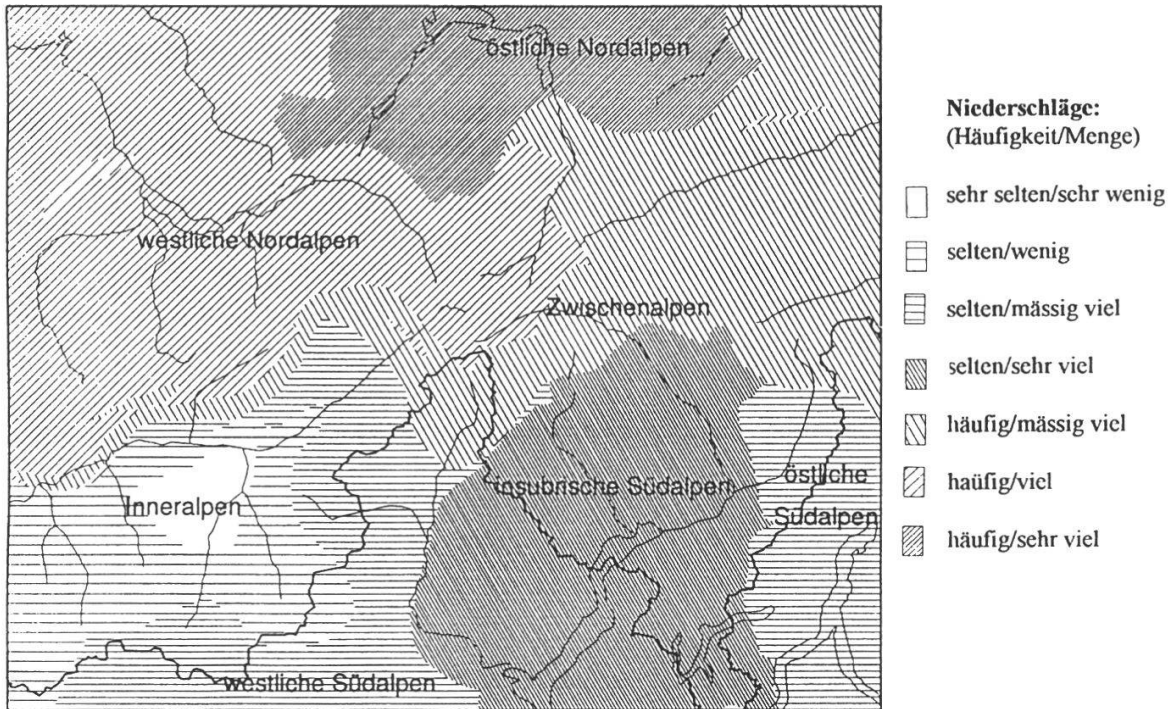


Abbildung 11: Kartenverschnitt aus einer Karte der Niederschlagssummen und einer Karte der Niederschlagshäufigkeit an der Waldgrenze. (matrix overlay im Informationssystem SPANS). Die simulierte Karte zeigt ungefähr eine Gebietsaufteilung, wie sie auch durch die Einteilung in Klimaregionen erfolgen würde.

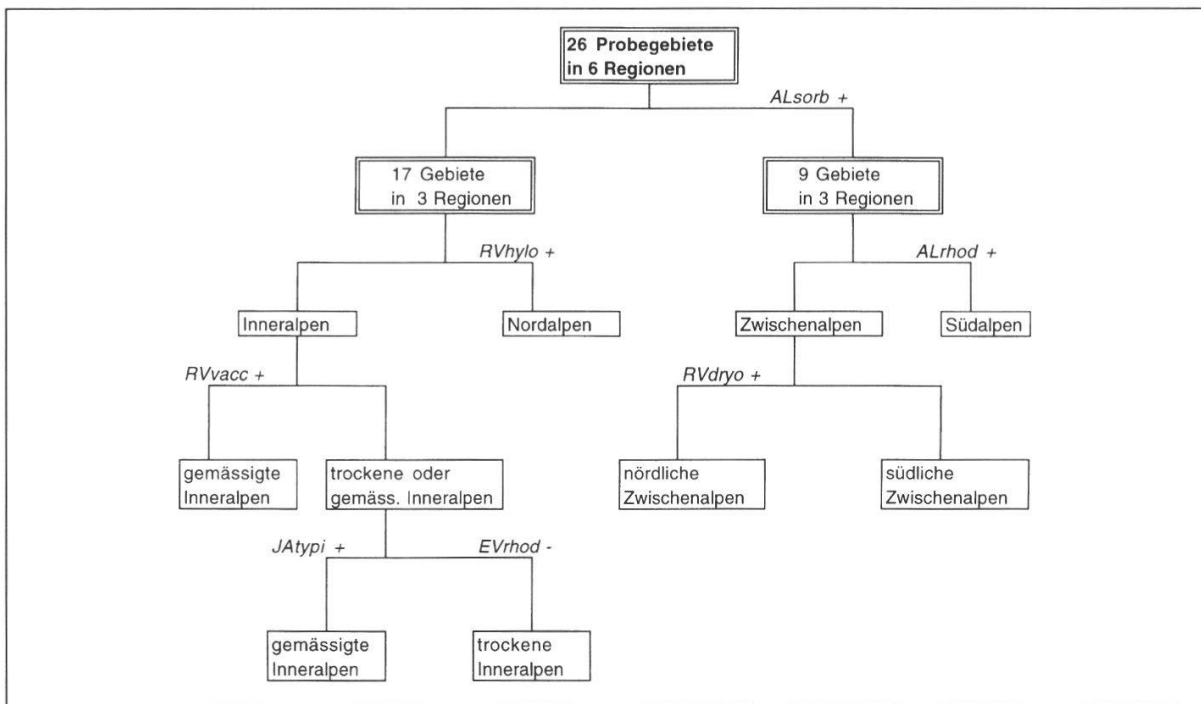


Abbildung 12: Verlauf des divisiven Teilungsverfahrens nach einer TWINSPAN-Analyse der Nordhangvegetation von 26 Untersuchungsstellen. Zu jeder Verzweigung sind die differenzierenden Vegetationstypen als Kürzel angegeben (vgl. voller Name in Tab. 2). Zu den jeweiligen Endpunkten, den Gruppen ist zudem eine geographische Interpretation angefügt.

Verfolgen wir das Teilungsverfahren, so ist zu Beginn das Vorhandensein bzw. das Fehlen von Grünerlengebüsch in Nordhängen das wichtigste differenzierende Merkmal. Es zeigt die Ähnlichkeit der Orte des südlichen Tessins und der hauptkammnahen Zwischenalpen. Weiter stellen die nördlichen Randalpen mit der Dominanz moosreicher Alpenrosenbestände (*RVhylo*) eine relativ eigenständige Region dar. Die Inneralpen sind durch das Fehlen von frischliebenden Alpenrosenheiden gut von den übrigen Regionen abgetrennt; es bestehen aber innerhalb der Inneralpen auch grosse Unterschiede: Echte Wacholderheiden tauchen nur in den Nordhängen der extremen Inneralpen auf, während sich die gemässigten Inneralpen durch starke Vorkommen von Krähenbeerenheiden (*EVrhod*) und nardusreichen Alpenrosenheiden (*RVnard*) auszeichnen. Mit dem Vorkommen von Wacholderheiden und einem hohen Anteil von wacholderreichen Alpenrosenheiden (*RVjuni*) bilden die extremen Inneralpen den trockenliebendsten Zwergstrauchheidegürtel. Dagegen finden wir die am meisten Feuchtigkeit verlangenden Gesellschaften an Waldgrenzen der nördlichen Zwischenalpen. Grünerlengebüsch und Hochstauden, hochstaudenreiche Alpenrosenheiden (*RVdryo*) prägen hier das Vegetationsbild.

Die Ergebnisse der Analyse der Südhangvegetation sind in *Tabelle 4* zusammengefasst (das Teilungsverfahren ist nicht im Detail aufgeführt). Die Untersuchungsorte werden interessanterweise nicht in jedem Fall denselben Gruppen zugeordnet, die von der Nordhangvegetation gebildet wurden. Gute Übereinstimmungen zwischen der Nordhang- und der Südhanganalyse finden sich in den extremen Regionen, den extremen Inneralpen zum Beispiel, oder den südlichen Randalpen. Die Orte der nördlichen Randalpen hingegen vermischen sich teilweise mit Orten aus den Zwischenalpen, und damit lässt sich die Region der nördlichen Randalpen kaum von den Zwischenalpen abgrenzen. In beiden Regionen sind die trockenheitsliebenden, echten Wacholderheiden kaum vertreten und ersetzen diese durch die gemässigte *Calluna vulgaris*-Heide (*JAcall*). Allerdings tritt mit der Annäherung an die Inneralpen die *Vaccinium Juniperus*-Heide (*JAvacc*) hinzu, die schliesslich die *Calluna vulgaris*-Heide ersetzt. In den Anteilen dieser beiden zuletzt genannten Gesellschaften finden wir die einzigen systematischen Unterschiede, die die Nordalpen etwas von den Zwischenalpen abtrennen. Die südlichen Randalpen fallen, mit ihren dominierenden Goldschwingelrasen (*FVpani*), deutlich von den übrigen Regionen ab. Ebenso die Orte der Passgebiete in den Inneralpen (Simplon - si, Wasenalp - wa, Meidpass -bt), die über grosse Flächen von flechtenreichen Krähenbeerenheiden (*EVcetr*) bedeckt sind.

Biogeographische Ähnlichkeiten weisen uns auf ökologische Zusammenhänge hin, werfen neue ökologische Fragen auf. Auch dazu dient die kartographische Darstellung. Hier wäre die Ähnlichkeit zwischen den nördlichen Zwischenalpen und den südlichen Randalpen ein Beispiel. Beide Regionen haben günstige Bedingungen zur Ausbildung von Grünerlenbeständen. Die grossflächige Verbreitung der Dominanz von wacholderreichen Alpenrosenheiden in den Südhängen der Zwischenalpen und den Nordhängen der Inneralpen weist auf eine grosse ökologische Potenz dieses Heidetyps hin. Wenn wir zusätzlich berücksichtigen, dass *RVcall*, *RVjuni* und *JAvacc* floristisch und wohl auch ökologisch einander nahestehen (Übergangsgesellschaften zwischen

Alpenrosen- und Wacholderheiden), so werden in den Südhängen die weitaus grössten Teile des Untersuchungsgebietes von diesen Heiden bedeckt. Die Südalpen zeigen eine nach Süden zunehmende Tendenz zur «Vergrasung» der Heiden. Die Zwergsträucher mischen sich mit Borstgrasrasen, wird von diesem und von *Festuca paniculata*-Grasland schliesslich abgelöst (Abb. 14).

5. Schlussfolgerungen

Die untersuchten Orte an der Waldgrenze lassen sich nach ihren klimatischen und vegetationskundlichen Merkmalen klassifizieren. In beiden Klassifikationen sind biogeographische Regionen entstanden, die mit den Sektoren von OZENDA (1988) gut übereinstimmen. Zur Erklärung der Verteilung von dominanten Zwergstrauchheide-Typen sind die Klimaparameter Niederschlagshäufigkeit und Niederschlagsmenge besonders geeignet. Die Temperaturunterschiede zwischen den Untersuchungsorten hingegen sind, wenn überhaupt vorhanden, sehr klein und stimmen in keiner Weise mit den Verteilungsmustern von Vegetationstypen überein.

Es lassen sich über die biogeographischen Regionen allgemeine Trends in der Zusammensetzung der Zwergstrauchheide an der Waldgrenze zusammenfassen:

Der grösste Teil der Nordalpen zeigt relativ einheitliche, durch ausgiebige Niederschläge gekennzeichnete Verhältnisse an der Waldgrenze. In der Heidevegetation dominiert die Alpenrosenheide (*RVhylo*, *RVcall*). Die Waldgrenzen in den östlichen Teilen der Nordalpen sind gekennzeichnet durch häufige und ergiebige Niederschläge und lange Ausaperungszeit, was sich durch das Auftreten besonders feuchtigkeitsliebender Heidegesellschaften in den Nordhängen bemerkbar macht (vgl. *RVdryo* in Abb. 13), die sich mit ausgedehnten Hochstaudenfluren und Grünerlengebüschen vermischen. Ähnliche Verhältnisse sind erneut an den Nordhängen der insubrischen Südalpen anzutreffen, so dass an der Waldgrenze eine «Grünerlen-Disjunktion» festzustellen ist.

Es wurden anhand der Felddaten noch weitere Ähnlichkeiten zwischen der Vegetation der inneren Nordalpen und derjenigen der Südalpen gefunden (starkes Auftreten von Grünerlengebüschen an der nordexponierten Waldgrenze, *Polygonum bistorta*, *Molinia caerulea* und *Majanthemum bifolium* in den Zwergstrauchheiden, starkes Auftreten von *Calluna vulgaris* in den Südhängen usw.), die diese Disjunktion bestätigen. Möglicherweise waren auch in den Südalpen weite Teile von *Calluna*-reichen Heiden überzogen und damit war die Vegetation auch in den Südhängen den übrigen ozeanischen Gebieten ähnlicher. Die heute hier dominierende hochwüchsige Horstgrasvegetation (*Festuca paniculata*-Gesellschaft) ist vermutlich durch jahrhundertelange menschliche Nutzung künstlich ausgedehnt worden, konnte sich, und das scheint speziell stark für die äussersten Ketten der Südalpen zu gelten, sehr dauerhaft behaupten, auch Jahrzehnte nach Aufgabe der menschlichen Nutzung.

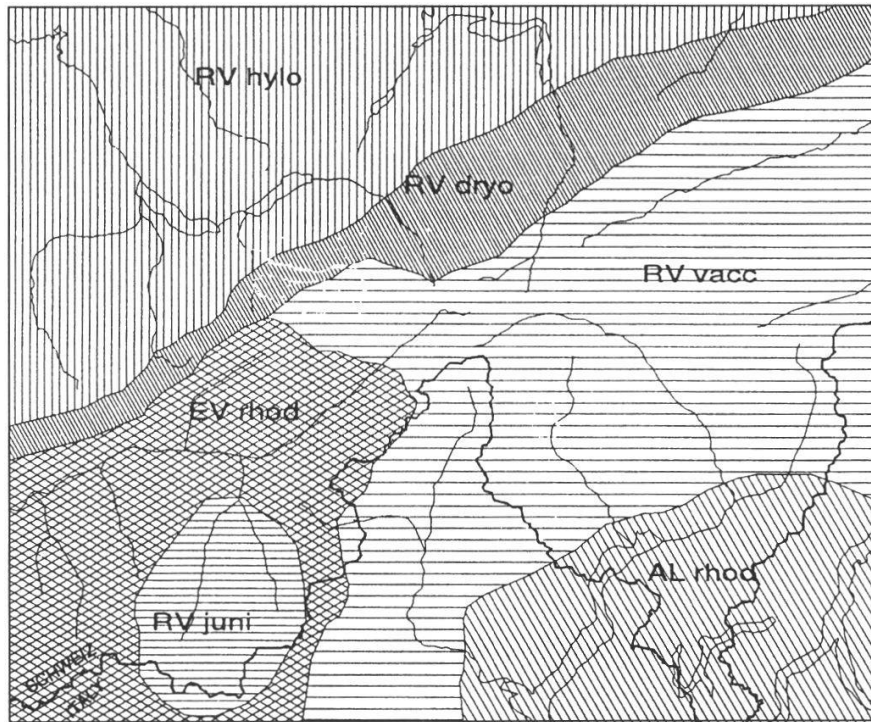


Abbildung 13: Biogeographische Aufteilung des Untersuchungsgebietes anhand der Nordhangvegetation im Baumgrenzökoton von 26 Probestreitungen (die Einteilung gilt nur für Gebiete mit silikantischer Geologie).

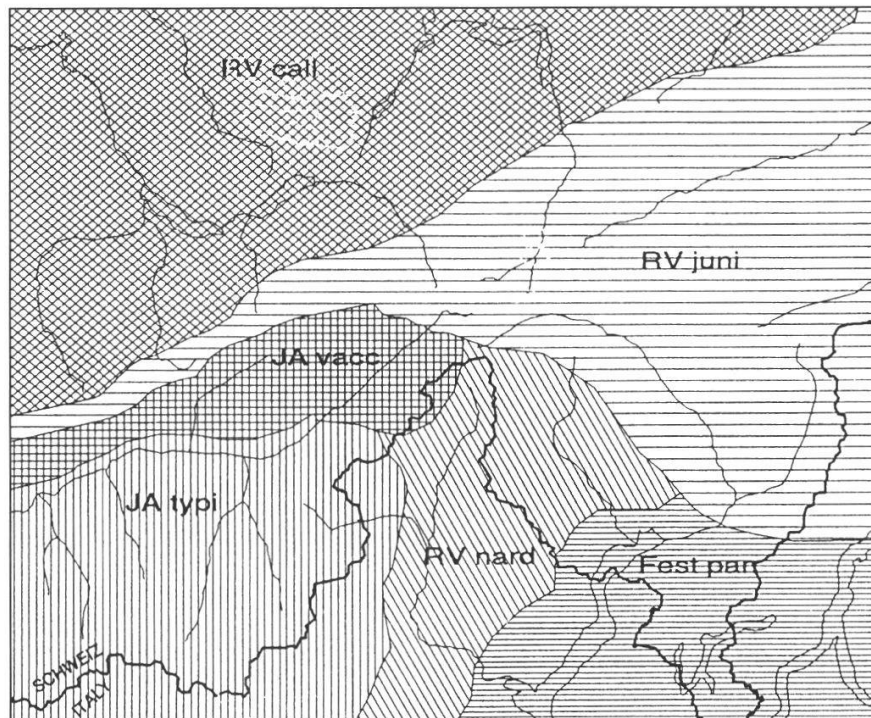


Abbildung 14: Biogeographische Aufteilung aufgrund von Südhangvegetation des Baumgrenzökotons von 23 Probestreitungen (die Einteilung gilt nur für Gebiete mit silikantischer Geologie).

Die Zwischenalpen, zu denen auch das Oberrheintal zu zählen ist, sind durch Übergangsvarianten zwischen Alpenrosen- und Wacholderheiden ausgezeichnet. In den Inneralpen können biogeographisch zwei Typen unterschieden werden: im gemässigeren, äusseren Typus treffen wir Krähenbeerenheiden (*EVrhod*) und heidekrautreiche Wacholderheiden (*JAvacc*) an, während im trockenen, inneren Teil echte Wacholderheiden vorherrschen (*JAtypi*).

Grundsätzlich ist die Alpenrosenheide der meist verbreitete Vegetationstyp an der Waldgrenze. In ihrer Zusammensetzung sind sie aber sehr stark vom Wechsel des Allgemeinklimas geprägt, wie die Übereinstimmung mit den biogeographischen Regionen belegt. Die Wacholderheide ist für unseren Alpenraum eine Sondergesellschaft in klimatisch speziell geprägten Gegenden. Sie ist mit Sicherheit am Rande ihres natürlichen Verbreitungsareals.

Die Karten über die Verhältnisse an der Waldgrenze liefern eine Übersicht für Biogeographen, Pflanzensoziologen wie auch für Forstingenieure, die genau in dem untersuchten Gürtel ihre kritischen Aufforstungsgebiete wiederfinden. Es lässt sich die zu erwartende, die wahrscheinlichste Heidegesellschaft herauslesen, wie sie über grössere Gebiete in den ungestörten, flachen Hängen auf silikatischer Unterlage zu finden ist.

Literatur

- ARNO, S.F. (1984): Timberline, Mountain and Arctic Forest Frontiers. The Mountaineers, Seattle, 304 S.
- AULITZKY, H./TURNER, H./MAYER, H. (1982): Bioklimatische Grundlagen einer standortsgemässen Bewirtschaftung des subalpinen Lärchen-Arvenwaldes. *Mitt. Eidg. Anst. f.d. forstl. Vers.wesen* 58/4, 325–580.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): *Pflanzensoziologie*. 3rd. ed. 865 p. Wien, New York.
- BROCKMANN-JEROSCH, H. (1919): Baumgrenze und Klimacharakter. *Beiträge zur geobotan. Landesaufn.* 6, 254 S.
- BROWN, A./HORSFIELD, D./THOMPSON, D.B.A., 1993: A new biogeographical classification of the Scottish Uplands. I. Descriptions of vegetation blocks and their spatial variation. *Journ. Ecol.* 81, 207–230.
- DAUBENMIRE, R. (1954): Alpine timberlines in the Americas and their interpretation. *Butler Univers. Botan. Studies* 11: 119–136.
- DU RIETZ, E.G. (1925): Zur Kenntnis der flechtenreichen Zwergstrauchheiden im kontinentalen Südnorwegen. *Svenske Växtsoc. Sällsk. Handl.* 4, 3–80.
- ELLENBERG, H. (1986): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. 4. Aufl., Stuttgart, 989 S.
- HARDLEY, J.L./SMITH, W.K. (1983): Wind effects on needles of timberline conifers: seasonal influence on mortality. *Ecology* 67, 12–19.
- HEGG, O./SCHNEITER, R. (1978): Vegetationskarte der Bachalp ob Grindelwald. *Mitt. Naturf. Ges. Bern, Neue Folge* 35, 55–67.
- HILL, M.O. (1979): TWINSPAN – A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-Way Table by Classification of the Individuals and Attributes. Cornell University, Ithaca, N.Y.
- HOLTMEIER, F.K. (1974): Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenze in vergleichender Sicht. *Erdwiss. Forschung* 8, Wiesbaden.
- HOLTMEIER, F.K. (1981): What does the term «Krummholz» really mean? Observations with special regard to the Alps and the Colorado Front Range. *Mountain Res. and Development* 1/3–4, 253–260.

- HÜPPE, J./POTT, R. (1992): Vegetationskundliche und pollenanalytische Studien zur oberen Waldgrenze im Fimbertal (Silvretta). *Zeitschr. der Univ. Hannover* 1/92, 49–76.
- HUSTICH, I. (1979): Ecological concepts and biogeographical zonation in the North: the need for a generally accepted terminology. *Holarctic Ecol.* 2, 208–217.
- IMHOF, E. (1900): Die Waldgrenze in der Schweiz. *Gerland's Beitr. zur Geophysik* 4/3.
- JONGMAN, R.G.H./TER BRAAK, C.J.F./VAN TONGEREN, D.F.R. (1987): *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Pudoc, Wageningen.
- KÖPPEN, W. (1919): Baumgrenze und Lufttemperatur. *Petermanns Geogr. Mitt.* 65, 201–203.
- LANDOLT, E. (1969): *Unsere Alpenflora*, 4. Aufl., Zürich. 223 S.
- LANDOLT, E. (1984): *Unsere Alpenflora*, 5. Aufl., Zürich. 320 S.
- MICHAELIS, P. (1934): Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze IV, V. *Jahrbuch für wissenschaftl. Botanik* 80, 169–247, 337–362.
- MORK, E./HEIBERG, H. (1937): Om vegetatsjonen i Hirkjölens forsøksområde. *Medd. Norske Skogforsøksv.* 5, 617–668.
- NEGRE, R. (1950): Contribution à l'étude phytosociologique de l'Oisans: La Haute vallée du Vénéon. *Phyton* 2: 23–50.
- OZENDA, P. (1988): *Die Vegetation der Alpen*. 354 S., Stuttgart.
- RICHARD, L. (1985): Contribution à l'étude bioclimatique de l'arc alpin. *Doc. Cart. Ecol.* 28, 33–64.
- SCHIECHTL, H.M. (1967): Die Physiognomie der potentiellen natürlichen Waldgrenze und Folgerungen für die Praxis der Aufforstung der subalpinen Stufe. *Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien* 75, 5–55.
- SCHÖNENBERGER, W. (1976): Über den Erfolg einer Hochlagenaufforstung auf verschiedenen Standortstypen. *Verh. Ges. f. Ökol. Wien*, 55–60.
- TRANQUILLINI, W. (1976): Water relations and alpine timberline. *Ecol. studies* 19, 473–491.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline: Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps*. Springer, New York.
- TRETER, U. (1984): *Die Baumgrenzen Skandinaviens*. *Wiss. Paperbacks Geographie*, Steiner, Wiesbaden, 111 S.
- UTTINGER, H. (1965a): Karte der mittleren jährlichen Niederschlagsmengen in cm. Periode 1901–1940. Aus: *ATLAS DER SCHWEIZ*, Blatt 12, Eidgenössische Landestopographie, Bern.
- UTTINGER, H. (1965b): Karte der Niederschlagshäufigkeit. Periode 1901–1960. Aus: *ATLAS DER SCHWEIZ*, Blatt 12, Eidgenössische Landestopographie, Bern.
- WARDLE, P. (1973): New Zealand timberlines. *Arct. Alp. Res.* 5, 127–135.
- WARDLE, P. (1974): Alpine Timberlines. In J.D. Ives und R. Barry (Hrsg.): *Arctic and Alpine Environments*, Methuen, London, 371–402.
- WITTMER, U. (1987): Schneehöhen im schweizerischen Voralpen- und Alpenraum für den Monat März. Aus: *Klimaatlas der Schweiz*, herausgegeben von der Schw. Meteorol. Anst. Kümmerly & Frey, Bern.