

Sippe zugeordnet. Ökologisch ergeben sich zwischen beiden Arten deutliche Unterschiede. *Viola collina* ist in viel stärkerem Maße eine nutzungsfliehende Waldart, die auch verbreitet in standörtlich extremen, primären Felskiefernwäldern und selbst in konsolidierten thermophilen Rauhasgrasfluren anzutreffen ist. Dagegen bevorzugt *Viola hirta* im Untersuchungsgebiet deutlich mesophilere, in der Regel nutzungsgeprägte Vegetationstypen wie lichte, weidebeeinflusste Kiefernwälder und Halbtrockenrasen auf vergleichsweise frischen Standorten. In den standörtlich extremen Kiefernwäldern des Tiroler Inntals wurde fast ausschließlich *Viola collina* angetroffen!

#### ***Scabiosa lucida* / *S. columbaria* / *S. gramuntia***

Im Bereich der Bayerischen Kalkalpen ist *Scabiosa lucida* bis in die Täler herab eindeutig die dominierende Sippe. In tieferen Lagen und thermischen Gunstlagen können bisweilen Übergangsformen zu *Scabiosa columbaria* auftreten, die aber gleichfalls noch *Scabiosa lucida* zugerechnet wurden. Ähnliche Übergangstypen konnten auch in höheren Lagen des Tiroler Inntales und am Südrand des Fernpaßgebietes gefunden werden. In der untersten Talstufe des Oberinntales (bis ca. 800 m) dominiert in Trockenrasen bereits die südalpische *Scabiosa gramuntia* sowie deren Bastarde mit *Scabiosa columbaria*. Reine Formen von *Scabiosa gramuntia* konnten u. a. am Kalvarienberg bei Zirl gefunden werden.

#### ***Thymus polytrichus* / *T. praecox***

Ähnlich wie bei *Scabiosa columbaria* agg. gestaltet sich die räumliche Verbreitung bei *Thymus praecox* agg. Während *Thymus polytrichus* als Hochlagenform in den Bayerischen Alpen bis ins Vorland hinaus eindeutig dominiert, konnte *Thymus praecox* nur einige Male im Raum Garmisch unter Vorbehalt angesprochen werden. Dagegen ist der xerothermophile *Thymus praecox* im Tiroler Inntal eindeutig die dominierende Sippe, während *Thymus polytrichus* hier nur auf kühlfeuchten Sonderstandorten und in höheren Lagen gefunden werden konnte. Im Kontaktbereich beider Sippen gestaltet sich eine eindeutige Zuordnung oftmals ausgesprochen schwierig!

#### ***Hieracium murorum* / *H. bifidum***

Eine sichere Unterscheidung beider Typen war häufig nicht möglich, da in den Aufnahmeblättern oft nur Grundblätter oder kümmernde, nicht voll entwickelte Individuen gefunden wurden. Zudem bestehen zahllose fließende Übergänge zwischen beiden Formen, die auch von Spezialisten oft nicht eindeutig zugeordnet werden können. In den Vegetationstabellen erscheinen beide Arten daher zusammengefaßt als *Hieracium bifidum/murorum*. Eindeutige *bifidum*-Formen wurden insbesondere auf Fels- und Schotterstandorten angetroffen. Im Kon-

taktbereich von *Hieracium bifidum* zu *H. glaucum* oder *H. bupleuroides* wurde öfters auch *Hieracium oxyodon* (- *glaucum* od. *bupleuroides* > *bifidum*) beobachtet (insbesondere Schotterstandorte der Auen!). Aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten einer eindeutigen Erkennbarkeit (schlechter Entwicklungszustand) der Formen in den Aufnahmeblättern wurde auf eine Unterscheidung in den Tabellen auch hier verzichtet. Besonders reiche Formenschwärme aus *Hieracium bifidum*, *H. glaucum* und *H. bupleuroides* sind vor allem in den jungen Entwicklungsstadien alluvialer Kiefernwälder auf Grobschotterterrassen wie etwa im NSG Riedboden bei Scharnitz zu beobachten. Eine eingehende Untersuchung der dort zu beobachtenden Formenvielfalt hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt und sollte einer speziellen systematischen Untersuchung vorbehalten bleiben!

#### ***Hieracium glaucum* / *H. bupleuroides***

Die Unterscheidung beider Sippen bereitete zunächst erhebliche Schwierigkeiten, da die in Florenwerken (z.B. OBERDORFER 1983) angegebenen Merkmale zum Teil unbrauchbar sind bzw. nur Relativ-Merkmale darstellen, ohne daß dies deutlich zum Ausdruck kommt. Erst durch einen Vergleich des eigenen gesammelten Herbarmaterials mit der umfangreichen Belegsammlung der Botanischen Staatssammlung München und nach eingehender Beratung durch Herrn Dr. SCHUHWERK konnte weitgehende Klarheit über die Zugehörigkeit des eigenen Materials geschaffen werden. Dabei stellte sich schließlich heraus, daß es sich beim eigenen Material mit Ausnahme weniger Zweifelsfälle durchweg um *Hieracium glaucum* handelte.

### **3. Grundzüge der Verbreitung und Standortökologie von Schneeheide-Kiefernwäldern in den mittleren Nördlichen Kalkalpen**

#### **3.1 Verbreitung im Untersuchungsgebiet**

Das Untersuchungsgebiet umfaßt die mittleren Nördlichen Kalkalpen auf dem Gebiet Bayerns und der südlich angrenzenden österreichischen Bundesländer Tirol und Salzburg. Während auf der Nordseite des Tiroler Oberinntals zwischen Innsbruck und Landeck Schneeheide-Kiefernwälder großflächig als landschaftsprägender Vegetationstyp auftreten, konzentrieren sich die Vorkommen im Bereich der Bayerischen Alpen im wesentlichen auf zwei Schwerpunktgebiete, die sehr gut anhand der Verbreitung des reliktschen und ausbreitungsuntüchtigen Amethystschwingels nachgezeichnet werden (Abb. 1). Zum einen handelt es sich dabei um das Werdenfelser Land und dessen weiteres Umfeld, insbesondere das obere Isar- und Loisachtal sowie das Walchenseegebiet und zum anderen um das Saalachtal zwischen Bad Reichenhall und Mellecksteinpaß mit den angrenzenden Bereichen der östlichen Chiemgauer und Berchtesgadener Alpen. Zwischen diesen beiden Verbreitungsschwerpunkten

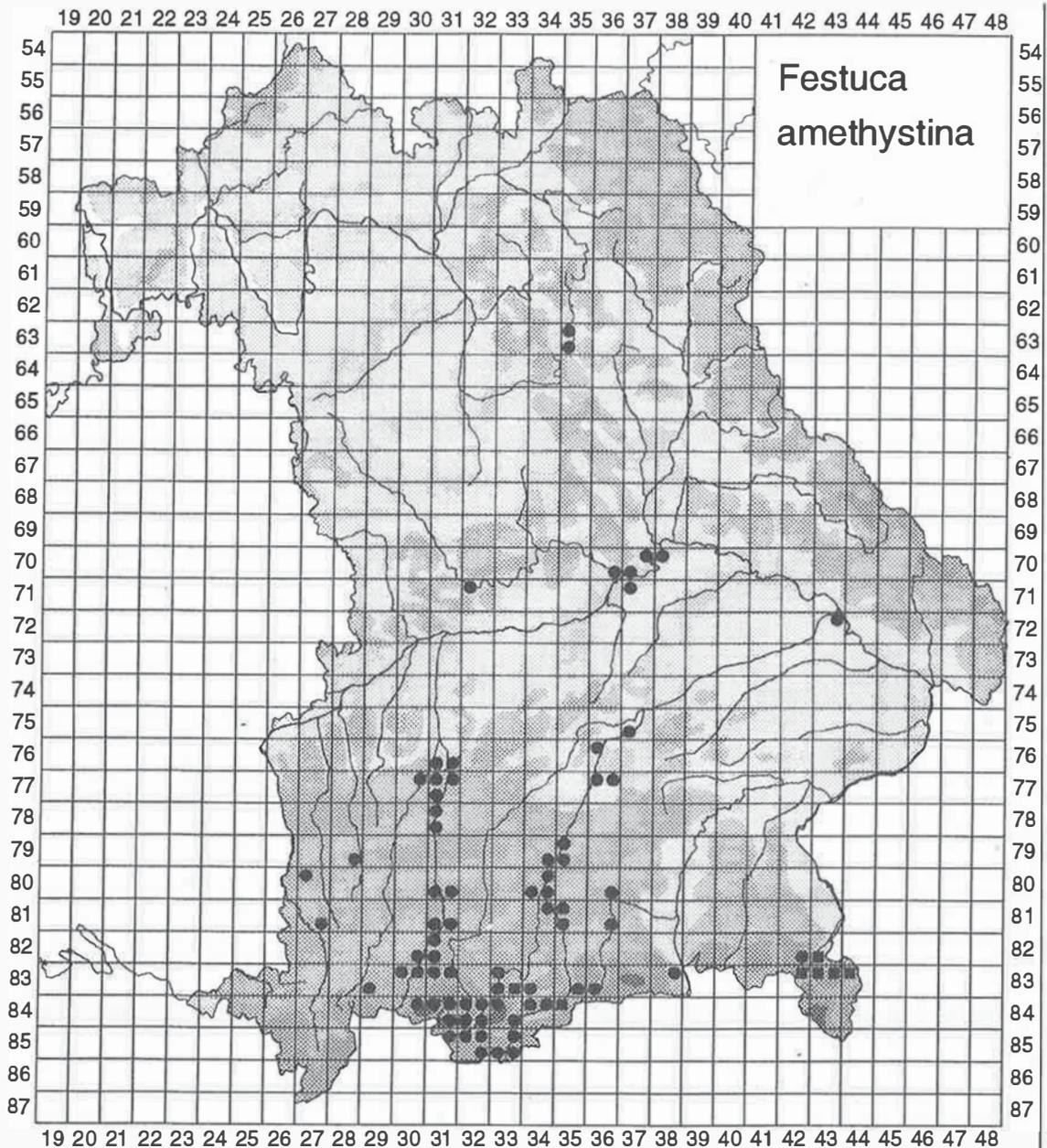
klafft eine breite Lücke, in der allenfalls sehr kleinflächige oder fragmentarisch entwickelte Bestände anzutreffen sind. Ähnliches gilt für das gesamte Allgäu (OBERDORFER 1950, HERTER 1990).

Bedeutende randalpische Bestände gibt es außerhalb Bayerns ferner im Tiroler Lechtal, im Fernpaßgebiet, am Achensee, am Südwestabfall des Kaisergebirges sowie im Anschluß an die bayerischen Vorkommen südlich von Bad Reichenhall im österreichischen Teil des Saalachtales.

Als ausgesprochen extrazonales Phänomen reichen Schneeheide-Kiefernwälder auf den Schotterterrassen von Isar und Lech in teilweise bedeutenden

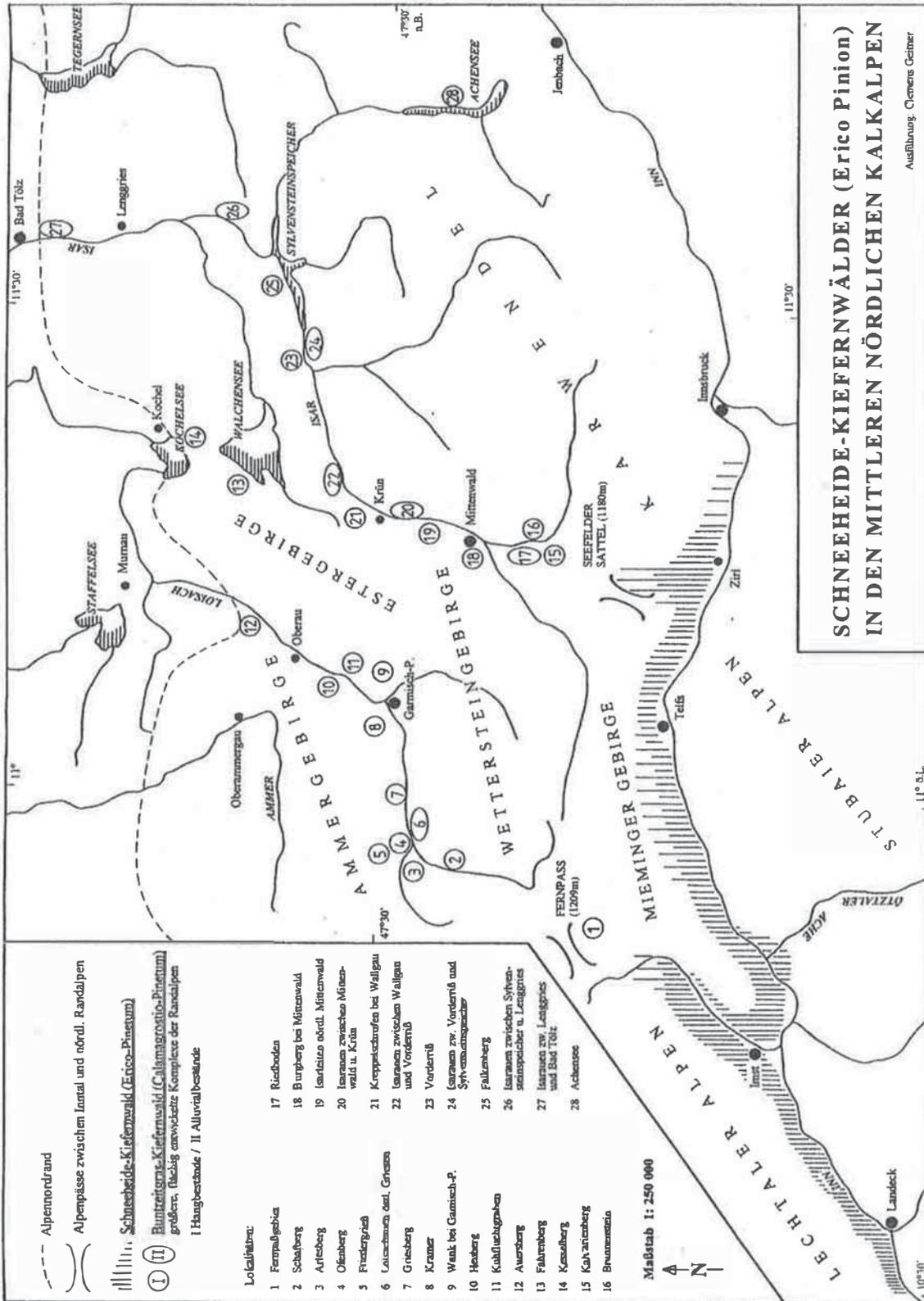
Beständen weit ins Alpenvorland hinaus bis vor die Tore Münchens und Augsburgs (Abb. 1). Die letztgenannten Vorkommen konnten aber im Rahmen der Untersuchungen nur cursorisch gestreift werden. Die Untersuchungsschwerpunkte lagen eindeutig im Werdenfelser Land, im bayerischen Teil des Saalachtales und im Tiroler Oberinntal.

Nördlich der Vorkommen in den Schotterauen des Alpenvorlandes sind Erico-Pinion-Gesellschaften in Bayern nur sehr kleinflächig im südlichen Frankensjura (GAUCKLER 1938) sowie in recht ausgedehnten Beständen auf den Dolomit-Knocks der nördlichen Frankenalb anzutreffen (HOHENESTER



**Abbildung 1**

**Verbreitung des Amethystschwingels (*Festuca amethystina*) in Bayern** (ZENTRALSTELLE FÜR DIE FLORISTISCHE KARTIERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, Datenstand 1994, ergänzt durch aktuelle Neufunde des Autors). - Der Amethystschwingel zeichnet besonders scharf die Verbreitung von Erico-Pinion-Phytözösen in Bayern nach.



1960, HEMP 1995). Außerhalb Bayerns sind Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen nur noch extrem kleinflächig und fragmentarisch auf der südwestlichen Schwäbischen Alb (oberer Donautal, Wutach) und im Bodenseegebiet zu finden (MÜLLER 1980, WITSCHERL 1980, LANG 1973).

### 3.2 Tektonik und exogene Reliefgenese

Das oben geschilderte Verbreitungsbild der Schneeheide-Kiefernwälder im Untersuchungsgebiet wird in hohem Maße bestimmt durch geomorphologische Großstrukturen. Diese üben vor allem auf die Ausgestaltung der lokalen und regionalen klimatischen, aber auch der edaphischen Verhältnisse einen dominanten Einfluß aus. So zeigen die Vorkommen in den Nördlichen Kalkalpen eine m.o.w. enge Bindung an die *Südhanglagen tief eingesenkter, breiter Quertalstrukturen und meridional durchgängiger Talzüge* wie Inn-, Lech-, Loisach-, Isar- und Saalachtal (vgl. Übersichtskarte Werdenfeller Land - Oberinntal). Die Entstehung dieser Strukturen geht letztlich auf spezifische tektonische Prozesse im Rahmen der ostalpiden Orogenese zurück. Die Hauptmasse des Gebirgskörpers im Untersuchungsgebiet wird von der Lechtaldecke und der als Großscholle aufgelagerten Inntaldecke gebildet.

Bezeichnend für den Deckenbau der Nördlichen Kalkalpen ist ein System ost-west-streichender Muldenzüge (Synklinalen) und Aufwölbungen (Antiklinalen), das durch nordwärtsgerichtete Überschiebung und Faltung während der Kreidezeit entstand. Markante Produkte dieses Faltenbaues sind neben dem Oberinntal, das sich exakt an der tektonischen Grenze zwischen den Nördlichen Kalkalpen und dem südlich angrenzenden Ötztalkristallin orientiert, auch die in Ost-West-Richtung verlaufenden Talabschnitte des oberen Isar- und Loisachtals, deren weitläufige, dem Föhnwind zugewandte, nach Norden hin abgeschirmte Südhanglagen heute großflächig Schneeheide-Kiefernwälder tragen.

Die Decken der Nördlichen Kalkalpen zeigen zudem ein jüngerer System von gekreuzten Diagonalzerscherscherungsflächen, das bei der Heraushebung des Alpenkörpers während des Jungtertiärs angelegt wurde. Diese Störungslinien sind südwest-nordost bzw. auch nordwest-südost orientiert und u.a. für die Ausbildung des Loisach-, Isar- und Saalachtals verantwortlich. Aber auch das Tal des Urinns zwischen Imst und Nassereith, das nördlich der Bergsturzmassen des Fernpasses im obersten Loisachtal seine Fortsetzung findet, orientiert sich entlang einer derartigen tektonischen Störungslinie. Das Zusammentreffen von ausgeprägten Südhanglagen des west-östlichen Deckenbaus mit Südwest-Nordost gerichteten Störungslinien, die als ausgesprochene Föhn-schneisen wirken, begünstigt in hohem Maße das Auftreten von Schneeheide-Kiefernwäldern. So zeigen sämtliche größeren Vorkommen in den Hanglagen der Bayerischen Alpen eine enge Bindung an derartige, durch die Tektonik und exogene

Reliefbildung vorgegebenen Situationen. Von übertragender Bedeutung ist dabei zweifelsohne die meridionale Durchlässigkeit dieser Talsysteme für die aus dem zentralalpischen Raum übertretenden Föhnwinde.

Von großer Bedeutung für die Entstehung von Schneeheide-Kiefernwaldstandorten war aber auch das Eiszeitalter. So hat vor allem glaziale Erosion der großen Talgletscher durch starke Übersteilung und intensive Ausräumung von Verwitterungsmaterial zur Entstehung großflächiger edaphischer Extremstandorte beigetragen. Eine sehr enge Bindung an glazial übersteilte und erodierte Prallhänge des Ferneisstroms (Gletscherschliff) zeigen Schneeheide-Kiefernwälder in den Bayerischen Alpen, so z. B. besonders eindrucksvoll im Raum Scharnitz (Foto 2). Produkte intensiver glazialer Erosion sind aber auch die steil aufstrebenden Felshänge der Dolomitmasse auf der Nordseite des Oberinntals, die heute großflächig Schneeheide-Kiefernwälder tragen (Foto 6).

### 3.3 Klima

Schneeheide-Kiefernwälder bilden nirgends in den Alpen die zonale, primär klimabedingte Vegetation. Gleichwohl ist ihr Auftreten nicht nur von edaphischen und mesoklimatischen Faktoren abhängig, sondern wird in hohem Maße von der Ausprägung des Allgemeinklimas beeinflusst. Auffallendstes klimatisches Phänomen innerhalb des Untersuchungsgebietes ist der steile Klimagradient zwischen den subozeanisch getönten, kühl-feuchten nördlichen Randalpen und dem subkontinental getönten, warm-trockenen Tiroler Inntal. Dieses Klimagefälle entspricht dem klassischen zentral-peripheren Formwandel innerhalb des Alpenbogens, wie er bereits von BRAUN-BLANQUET (1961) anhand vieler Beispiele in unübertroffener Weise geschildert wurde.

Als Datengrundlage für die Darstellungen im nachfolgenden wurde vor allem auf die umfangreiche Klima-Monographie Tirols von FLIRI (1975) zurückgegriffen.

#### 3.3.1 Bayerische Alpen

Die Bayerischen Alpen zeichnen sich durch ein kühles, wolken- und niederschlagsreiches Montanklima aus. Selbst auf den Talböden übersteigen die Niederschläge fast überall 1.400 mm pro Jahr, wovon rund zwei Drittel im Sommerhalbjahr während der Vegetationsperiode fallen. Die Jahresmitteltemperaturen liegen auch auf den Talböden überall zwischen 7 und 8°C.

Der randalpische Verbreitungsschwerpunkt der Schneeheide-Kiefernwälder im Werdenfeller Land hebt sich als "relative Trockeninsel" deutlich vom übrigen bayerischen Alpenraum ab, worauf bereits GAMS (1931) hinweist. So liegen die Niederschlagssummen im Mittenwalder und Garmischer

Becken deutlich unter 1.400 mm und erreichen im Raum zwischen Mittenwald und Scharnitz mit 1.323 bzw. 1.253 mm ihr absolutes Minimum im gesamten bayerischen Alpenraum. Im Vergleich zum nur 15 bis 20 km entfernten Alpenrand liegen die Werte hier bereits zu allen Jahreszeiten um rund 15 % niedriger (Tab. 2). Sichtbar wird diese relative Trockeninsel selbst in den kleinmaßstäblichen Karten von BAUMGARTNER et al. (1983). Nach Westen setzt sich das Garmisch-Mittenwalder "Trockengebiet" unter zunächst leichter Abschwächung über das Obere Loisachtal bis ins Ehrwalder Becken auf der Nordseite der Fernpasses fort, wo erneut mit 1.230 mm für randalpische Verhältnisse vergleichsweise wenig Niederschlag fällt (Tab. 1).

Begründet sind die deutlich geringeren Niederschläge in den Beckenlagen des Werdenfeller Landes insbesondere in der stärkeren Abschirmung gegen Norden durch die bis über 2.000 m N. N. aufragenden Gebirgsstöcke des Ammer- und Estergebirges. Dies wird insbesondere auch daran deutlich, daß die Niederschläge in Vorderriß bei gleicher Entfernung zum Alpenrand aber fehlender Abschirmung mit 1.599 mm bereits wieder deutlich über den Werten im Garmisch-Mittenwalder Becken liegen (Tab. 1).

Die Schneeheide-Kiefernwaldvorkommen um Vorderriß sind somit ähnlich wie die am unmittelbaren Alpenrand im Walchenseegebiet besonders humiden Klimabedingungen ausgesetzt.

Der zweite Arealschwerpunkt der Schneeheide-Kiefernwälder in den Bayerischen Alpen im Saalachtal südlich Bad Reichenhall zeichnet sich erst jenseits der deutsch-österreichischen Grenze (Station Unken, Tab. 1), durch leicht unterdurchschnittliche Niederschläge aus, insbesondere wenn man die Sommerniederschläge berücksichtigt. Dagegen werden im vorderen, alpenrandnahen Bereich des Saalachtales (Bad Reichenhall) in Anbetracht der Höhenlage sogar überdurchschnittlich hohe Werte erreicht. Die schwache thermische Begünstigung des Saalachtales im Vergleich zum Werdenfeller Land, die insbesondere anhand der Anzahl der Sommertage zum Ausdruck kommt, ist wohl vor allem auf die wesentlich geringere (um ca. 150 m) Basishöhe der Täler zurückzuführen.

### 3.3.2 Tiroler Oberinntal

Steigt man über Fernpaß oder Seefelder Sattel in die tiefe Furche des Inntals herab, so ändern sich die

**Tabelle 1**

**Klimatische Rahmenbedingungen in den Verbreitungszentren von Schneeheide-Kiefernwäldern im Untersuchungsgebiet (Daten aus FLIRI 1975).**

Ort	N Jahr (mm)	N Sommer (mm)	T Jahr (°C)	T Juli (°C)	Sommertage (Tage > 25°)
<b>Fernpaßgebiet und Werdenfeller Land</b>					
Fernpaß, 1210 m	1.355	498	-	-	-
Ehrwald, 997 m	1.230	517	-	-	-
Griesen, 822 m	1.450	524	-	-	-
Garmisch-Partenkirchen, 706 m	1.357	529	7,9	17,0	29
Oberau, 655 m	1.427	548	-	-	-
Krün, 875 m	1.368	565	-	-	-
Mittenwald, 915 m	1.323	543	7,2	15,6	17
Scharnitz, 960 m	1.253	480	-	-	-
<b>Alpenrand</b>					
Walchensee, 805 m	1.675	638	-	-	-
Vorderriß, 783 m	1.599	609	-	-	-
<b>Saalachtal</b>					
Bad Reichenhall, 466 m	1.630	587	8,4	17,7	39
Unken, 543 m	1.424	529	8,0	17,4	43
<b>Oberinntal</b>					
Innsbruck, 579 m	895	353	8,6	18,5	56
Haiming, 660 m	706	284	-	-	48
Imst, 827 m	741	305	8,0	17,7	46
Zams, 772 m	804	326	9,0	17,9	-
Landeck, 825 m	775	314	8,6	18,0	52

klimatischen Bedingungen auf relativ kurzer Distanz sehr grundlegend. Die Niederschläge sinken zu allen Jahreszeiten bis auf die Hälfte der Durchschnittswerte des bayerischen Alpennordrandes ab (Tab. 2). Derartig niedrige Werte werden im Vorfeld der Alpen erst wieder nördlich von München erreicht. Bereits in Innsbruck liegen die Jahresniederschläge unterhalb 1.000 mm und sinken inntalaufwärts weiter deutlich ab bis auf Werte unter 800 mm (Haiming, Imst, Landeck; Tab. 1).

Der Trockentalcharakter ist im Inntal in erster Linie ein Phänomen der unteren Talstufe bis zu einer Höhe von ca. 1.000 m. Mit zunehmender Meereshöhe nähern sich die hygrischen Bedingungen auf der Nordseite wieder dem Typus des Randalpenklimas an (vgl. Karten von BAUMGARTNER et al. 1983). Die hygrische Grenze zwischen dem stark humiden Randalpenklima und dem trockeneren Zentralalpenklima des Oberinntals fällt in etwa mit der 1.200 mm Isohyete zusammen. Das trockene Zentralalpenklima reicht von Innsbruck innaufwärts bis ins Unterengadin. Nach Norden greift es unter Abschwächung bis an den Fuß des Fernpasses bei Nassereith und der Mieminger Kette aus. Unterhalb Innsbrucks herrscht dagegen bereits wieder der ausgeprägt humide, randalpenische Klimatypus. Der Jahresgang der Niederschläge ähnelt weitgehend dem der Randalpen mit einem ausgeprägten Sommermaximum im Juni, Juli und August. Relative Trockenphasen treten vor allem im Winter, zeitigen Frühjahr und Herbst auf. Im Vergleich zu anderen Trockentälern der Alpen, wie etwa dem südlich der Ötztaler Alpen anschließenden Vintschgau, wo die Niederschläge weithin sogar unter 500 mm sinken, ist der Trockentalcharakter im Oberinntal eher schwach ausgeprägt. Der gegenüber den Randalpen wesentlich trockenere Klimacharakter ist vor allem begründet in der fast völligen, allseitigen Abkammerung der tiefen Talfurche des Inngletschers. Nach Norden hin wird das Gebiet durch die weit über 2.000 m N. N. aufragenden Kalkstöcke der Lechtaler Alpen, des Wettersteinmassivs, der Mieminger Kette und des Karwendels gegenüber feuchten Luftmassen abgeschirmt, während nach Süden hin eine ebensolche Abschirmung durch die Stubaitaler und Ötztaler Alpen erfolgt.

Bei vergleichbarer Meereshöhe liegen auch die Jahresmitteltemperaturen im Oberinntal um rund 1 K höher als in den bayerischen Randalpen (Tab. 1).

Die höheren Durchschnittstemperaturen gegenüber den Randalpen schlagen mit Ausnahme des Winters während aller übrigen Jahreszeiten deutlich zu Buche. Besonders hoch sind die Differenzen allerdings im Frühjahr, insbesondere April, was vor allem darauf zurückzuführen ist, daß die durch Einstrahlung gewonnene Energie infolge der trockeneren Bedingungen in weitaus stärkerem Maße direkt in fühlbare Wärme umgesetzt wird als in den feuchteren Randalpen (FLIRI 1975). Noch deutlicher wird eine thermische Begünstigung des Inntales gegenüber den Randalpen anhand der mittleren Anzahl der Sommertage (Tage mit Maximum über 25° C). Auch die Jahresschwankungen der Lufttemperatur liegen im Inntal um rund 1-3 K über denen der Randalpen, wodurch sich das Inntal durch eine merklich größere thermische Kontinentalität auszeichnet. Die höheren Jahresmitteltemperaturen und der insgesamt höhere Wärmegenuß sind wiederum eine Folge der intensiveren Einstrahlung aufgrund geringerer Bewölkungsgrade sowie der Abschirmung kalter Luftmassen bzw. der trockenadiabatischen Erwärmung zuströmender Luftmassen beim Abstieg in den tiefen Taltrog des Inns (Föhnfekte).

### 3.3.3 Föhn

Die Schneeheide-Kiefernwälder der Bayerischen Alpen zeigen eine auffallend enge Bindung an die Einrahmungen größerer, meridional durchgängiger Talräume, die über niedrige Paßhöhen einen direkten Anschluß an den zentralalpischen Gebirgsraum besitzen. Die Anbindung der großen Talsysteme von Loisach und Isar im Werdenfelser Land erfolgt über den Fernpaß und das Ehrwalder Becken bzw. den Seefelder Sattel, die des Saalchtales südlich Bad Reichenhall über die niedrige Paßhöhe des Steinpasses bei Melleck. Bezeichnenderweise handelt es sich bei diesen Strukturen durchweg um ausgesprochene Transfluenzpässe, über die sich während der Eiszeiten zentralalpenische Eismassen in den Nordalpenraum ergossen (Abb. 2). In ganz ähnlicher Weise dienen diese Pässe und die daran anschließenden glazial überformten Talsysteme heute als geomorphologisch vorgegebene Leitbahnen beim Übertritt trockenadiabatisch erwärmter Luftmassen, gemeinhin als Föhn bezeichnet, in den Nordalpenraum. Die auffällige Konzentration der randalpenischen Schneeheide-Kiefernwälder auf die oben genannten Talräume

Jahresabschnitt	Alpennordrand	Garmisch-Mittenwald	Oberinntal
N Jahr	100	86	51
N Mai bis Sept.	100	86	49
N Juni bis August	100	89	53
N Sept. bis Nov.	100	83	52
N Dez. bis Febr.	100	87	57
N März bis Mai	100	81	40

Tabelle 2

Prozentuale Niederschlagsverteilung zu verschiedenen Jahreszeiten im Profil Alpenrand - Oberinntal (Daten aus FLIRI 1975)

me ist vornehmlich in deren Funktion als "Föhn-gassen" begründet, was zu einer allgemeinen thermischen Begünstigung insbesondere im Frühjahr und Herbst führt. Von besonderer ökologischer Bedeutung ist dabei vor allem auch die stark austrocknende Wirkung (hohes Sättigungsdefizit, starke Ventilation) des Föhnwindes. Nach Berechnungen von FLIRI (1975) geht beispielsweise in Innsbruck rund ein Drittel der gesamten Jahresverdunstung auf Föhnereignisse zurück, die im Durchschnitt an 50 Tagen im Jahr auftreten.

Anhand der Daten amtlicher Klimastationen läßt sich der Einfluß des Föhns kaum quantifizieren; doch zeugt neben der räumlichen Konzentration von Schneeheide-Kiefernwaldbeständen auf ausgesprochene Föhnprallhänge auch das auffällige Ansteigen der Höhengrenzen zahlreicher wärmebedürftiger Sippen bei ansonsten eher ungünstigen klimatischen Rahmenbedingungen von der großen ökologischen Bedeutung des Föhns. So steigen beispielsweise gerade in der Talenge zwischen Wetterstein- und Karwendelmassiv bei Scharnitz (Scharnitzer Klause), die eine fast düsenartige Verengung für die über den Seefelder Sattel herüberströmenden Föhnwinde darstellt, thermophile Sippen wie *Coronilla emerus* und *Rhamnus saxatilis* bis auf fast 1.200 m N.N. und stoßen damit an die Obergrenze ihrer Verbreitung in den Bayerischen Alpen. Ungewöhnlich hoch geht hier auch *Carex humilis*, die noch in 2.000 m N.N. Höhe bestandsbildend angetroffen werden kann (GÖTZ mündl.).

Eine ähnlich offensichtliche Föhnbegünstigung ist am steilen Südhang des Fahrenbergs an der Westseite des Walchensees zu beobachten. Trotz überdurchschnittlicher Niederschläge (bereits in Urfeld 857 mm am Ufer des Walchensees 1812 mm!) und großem Wolkenreichtum in Folge der alpenrandnahen Lage, Bedingungen also, die für das Auftreten von thermophilen Arten keinesfalls förderlich sind, erreichen hier viele Sippen die Obergrenze ihrer Verbreitung in den Bayerischen Alpen überhaupt; so steigen u.a. *Gladiolus palustris*, *Scorzonera humilis* und *Asperula tinctoria* bis 1.350 m. Durch eine föhnbedingte besondere thermische Begünstigung zeichnen sich auch inselartig aus dem Talzug der Loisach herausragende Berge wie der Ofenberg bei Grießen und der Auersberg zwischen Oberau und Eschenlohe aus. So ist es sicherlich kein Zufall, daß just in diesen beiden Gebieten die einzigen Vorkommen von *Aster amellus* im gesamten bayerischen Alpenraum zu finden sind und sich weitere thermophile Elemente wie z. B. *Dorycnium germanicum* (Ofenberg) und *Coronilla coronata* (Auersberg) in auffälliger Weise häufen. Auf eine generelle thermische Begünstigung des Loisachtals zwischen Farchant und Eschenlohe deutet neben der Föhnhäufigkeitskarte von SÖNNING (1982) (deren Datengrundlage allerdings recht unklar bleibt) auch das inselartige Auftreten der Kiefernmistel (*Viscum laxum*) hin, die als Epiphyt in besonderem Maße dem warmen Föhnwind ausgesetzt ist. Die trichterförmig verbrei-

terte Öffnung des Loisachtals begünstigt offensichtlich ein besonders häufiges divergentes Absinken der warmen Luftmassen bis in Bodennähe, vergleichbar etwa dem berühmten "Innsbrucker Föhn-delta" (GAMS 1931).

Im Bereich des Tiroler Oberinntals sind die Wirkungen des Föhns zunächst weniger augenfällig als in den Randalpen. Dies liegt aber in erster Linie daran, daß Föhnereignisse hier m.o.w. flächenhaft wirksam werden und entscheidend zu einer generellen thermischen Begünstigung gegenüber den Randalpen beitragen. Gleichwohl ist aber auch hier eine deutliche Häufung xero-thermophiler Florenelemente im Bereich ausgesprochener Föhnprallhänge und beckenartiger Talweitungen, die ein divergentes Absinken begünstigen, zu beobachten. Als Beispiele seien hier nur der Raum Landeck mit Vorkommen von *Linum tenuifolium* im Bereich der Stanzer Leithen oder die Steilabfälle des Mieminger Plateaus bei Mötztal mit Vorkommen von *Diplachne serotina* und *Limodorum abortivum* (vgl. WEBER 1981) genannt. In beiden Gebieten sind bezeichnen-

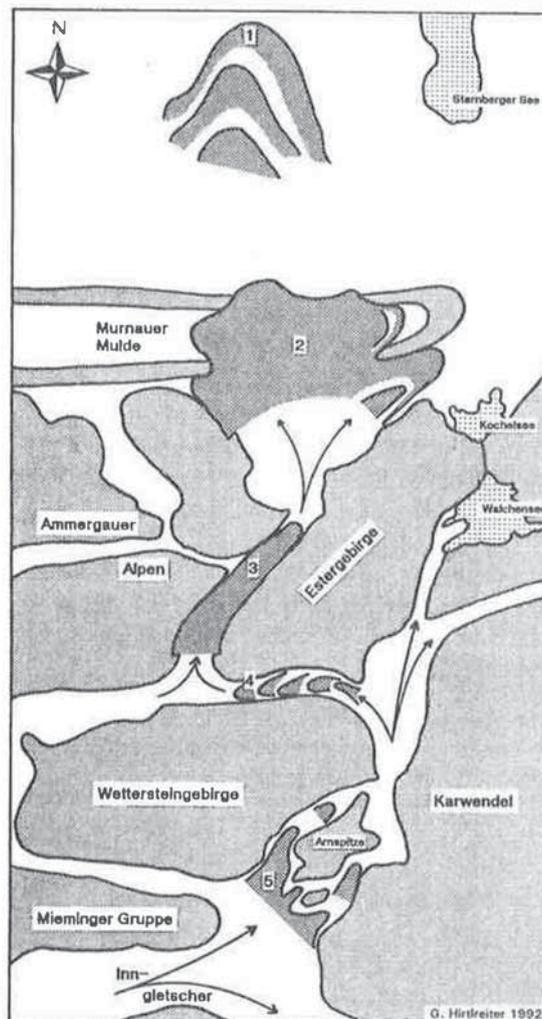


Abbildung 2

Netz des Ferneisgletschers im Werdenfelser Land, nach HIRTLEITER (1992).

derweise bis in Höhen von rund 900 m N.N. kleinflächig auch thermophile Eichenwälder zu finden.

### 3.3.4 Mesoklimatische Bedingungen der Schneeheide-Kiefernwaldstandorte

Schneeheide-Kiefernwälder zeigen, mit Ausnahme der Bestände in Flußauen, eine sehr enge Bindung an sonnseitige Steilhanglagen. Diese Standorte zeichnen sich infolge ihrer Steilheit und geringen Horizontabschattung auch während des Winterhalbjahrs durch einen bemerkenswert hohen Strahlungsgenuß aus. Besonders deutlich wird dies im Spätwinter und Frühjahr, wenn auf den früh ausapernden südseitigen Steilhängen bereits *Carex humilis*, *Sesleria varia* und *Erica herbacea* blühen, während auf den übrigen Hangexpositionen und im flachen Talgrund die Vegetation häufig noch unter einer mächtigen Schneedecke ruht.

Aber selbst während des Hochwinters sind die Südhänge oft wochen- oder sogar monatelang aper. Bereits im März können nach eigenen Messungen in unmittelbarer Bodennähe die Temperaturen Werte von über 30° C erreichen. Verstärkt wird der überproportional hohe Wärmegenuß im Spätwinter und Frühjahr noch durch Föhnwetterlagen, die gerade während dieser Jahreszeit besonders häufig und intensiv auftreten. Die durch den hohen Strahlungsgenuß bedingte allgemeine Schneearmut sowie das frühe und häufige Ausapern haben weitreichende ökologische Konsequenzen: Neben starken Temperaturschwankungen sowohl in Bodennähe als auch im Bereich der Bestandesoberfläche kommt es bereits im Frühjahr zu hohen Evapotranspirationsverlusten und einer raschen Aufzehrung der ohnehin vergleichsweise geringen Winterfeuchtigkeitsreserven aus der Schneeablation. Verstärkt wird diese Austrocknungstendenz während des Spätwinters und Frühjahrs häufig noch durch eine ausgeprägte Niederschlagsdepression während dieser Jahreszeit.

Hohe Sättigungsdefizite der Luft können in Verbindung mit eingeschränkter Wasseraufnahmefähigkeit der Wurzeln infolge noch niedriger Bodentemperaturen oder gar Frostwechsel zwischen Tag und Nacht die Bäume bereits im Frühjahr unter einen erheblichen Trockenstreß setzen, was die robuste Kiefer naturgemäß weniger beeinträchtigt als etwa die Fichte, die als Mischbaumart in Schneeheide-Kiefernwaldbeständen häufig unter Wipfeldürre leidet, insbesondere wenn sie aus dem schützenden Schirm der Kiefern herausgewachsen ist (AICHINGER 1965). Starke Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht begünstigen aber auch die Insolationsverwitterung, insbesondere auf ausgesprochenen Felshängen, denen eine geschlossene Bodenvegetation weitgehend fehlt, wodurch die Instabilität dieser Standorte noch erheblich gesteigert wird.

Allgemeine Schneearmut, frühes und häufiges Ausapern sowie eine reliefbedingt meist schlechte Zu-

gänglichkeit machen Schneeheide-Kiefernwälder zu bevorzugten Wintereinstandsgebieten des Schalenwildes, insbesondere der Gams. Dadurch sind viele Bestände wohl schon von Natur aus einem überproportional hohen Verbißdruck auf Gehölze gerade während des futterarmen Spätwinters ausgesetzt, der angesichts der allgemein überhöhten Schalenwildbestände im Alpenraum heute aber um ein vielfaches verstärkt ausfällt. Der letztlich aus der mesoklimatischen Gunstsituation resultierende hohe spätwinterliche Verbißdruck hat weitreichende ökologische Konsequenzen (vgl. Kap. 9).

Die klimatischen Betrachtungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Schneeheide-Kiefernwälder in den Bayerischen Alpen bzw. im Tiroler Oberinntal existieren unter grundverschiedenen klimatischen Rahmenbedingungen. Während in den Randalpen die Niederschläge selbst in den trockensten Bereichen im Werdenfelser Land 1.200 mm und im Normalfall sogar 1.400 mm deutlich überschreiten, sinken sie im Oberinntal bis auf fast 700 mm ab, erreichen also nurmehr die Hälfte der Werte der randalpischen Stationen. Gleichzeitig liegt auch die Jahresmitteltemperatur bei vergleichbarer Höhenlage um rund 1 K über den Werten der Randalpen.

Die klimatischen Voraussetzungen für ein Auftreten von "Trockenkiefernwäldern" sind im zentralalpischen Oberinntal also wesentlich günstiger, was seine Bestätigung in einem großflächigen, landschaftsprägenden Auftreten auf der gesamten Nordseite des Inntales zwischen Innsbruck und Landeck findet. Dagegen bleiben Schneeheide-Kiefernwälder unter den ausgeprägt humiden Bedingungen der Randalpen auf vergleichsweise bescheidener Fläche eng an verdunstungsintensive thermische Gunststandorte gebunden. Von herausragender Bedeutung ist dabei insbesondere eine überdurchschnittlich starke Föhnbeeinflussung, wie sie vor allem im Bereich der meridional durchlässigen Talräume des oberen Loisach-, Isar- und Saalachtals gewährleistet ist. In den stark abgeschirmten großen Talbecken des Werdenfelser Landes, auf der Nordseite des Fernpasses und im hinteren Saalachtal wird das Auftreten zusätzlich durch für randalpische Verhältnisse leicht unterdurchschnittliche Niederschläge begünstigt.

### 3.4 Geomorphologisch-dynamische Standorttypen

Das Auftreten von Schneeheide-Kiefernwäldern ist stets an Standorte gebunden, deren Böden noch nicht zur vollen Reife gelangt sind. Sie sind damit geradezu Indikatoren für standörtliche Unreife bzw. regelmäßig wiederkehrende natürliche oder anthropozogene Störungen der Boden- und Vegetationsentwicklung. Dies gilt nicht nur für Schneeheide-Kiefernwälder sondern auch für viele andere Kiefernwaldtypen, wie etwa für die Mehrzahl der bodensauren Sandkiefernwälder des Dicrano-Pinion

im diluvialen nordostmitteleuropäischen Flachland (vgl. z. B. FALINSKI et al. 1993).

Unter Zugrundelegung dynamischer Aspekte lassen sich folgende übergeordnete Standorttypen unterscheiden:

- Dauerhaft unreife Standorte in edaphischen und mesoklimatischen Extrempositionen, deren Bodenentwicklung durch latente Hangbildungsprozesse immer wieder gestört wird oder doch sehr stark gehemmt abläuft. Auf derartigen Standorten bilden Schneeheide-Kiefernwälder wenig veränderliche Dauergesellschaften, die innerhalb von m.o.w. stabilen Zonationen zwischen offenen, nicht waldfähigen Rasen-, Schutt- und Felsspaltengesellschaften einerseits und klimaxnahen Schlußwaldgesellschaften andererseits vermitteln.
- Junge, primäre Rohbodenstandorte im Bereich morphodynamischer Aktivitätszonen, die im Rahmen zyklischer oder Event-artiger Akkumulations- und Erosionsprozesse immer wieder neu entstehen. Auf derartigen Standorten bilden Schneeheide-Kiefernwälder ein m.o.w. langlebiges Durchgangsstadium der Vegetationsentwicklung im Rahmen primärer autogener Sukzessionen, das zwischen offenen Pioniergesellschaften und den klimaxnahen Dauergesellschaften vermittelt.
- Sekundärstandorte, deren Potential bereits aktuell klimaxnahe Schlußwaldgesellschaften zuließe. Auf derartigen Sekundärstandorten sind Schneeheide-Kiefernwälder das Ergebnis anthropo-zoogener Standorts- und Vegetationsdegradation. Sie bilden hier zumeist ein Glied im Rahmen sekundärer Sukzessionen, die bei Ausbleiben der degradierenden Einflüsse über kurz oder lang wieder zur ursprünglichen klimaxnahen Waldvegetation zurückführen.

#### **3.4.1 Dauerhaft unreife edaphische Extremstandorte**

Beim dauerhaft unreifen Standorttyp handelt es sich im Untersuchungsgebiet um sonnseitige, extrem flachgründige, felsdurchragte Dolomit- und Hartkalksteilhänge, die infolge ihres angespannten Wasserhaushalts die Kiefer und ihre heliophilen Begleiter weitgehend von der Konkurrenz anderer Baumarten befreien (Foto 1). Typische Reliefformen sind glazial übersteilte Prallhänge des Eisstroms (Foto 2) oder die oberen Randzonen steiler Felsabstürze und schluchtartiger Einschnitte. Entscheidend ist in den Randalpen zusätzlich eine deutliche thermische Begünstigung durch starken Föhnwind. Im klimatisch trockeneren Tiroler Oberinntal muß der edaphische Extremcharakter insgesamt deutlich weniger stark ausgeprägt sein als in den feuchteren Randalpen, was sich insbesondere anhand der Mächtigkeit der Feinerdeauflage äußert. Standorte, die bei vergleichbarer Feinerdemächtigkeit in den Randalpen bereits von Bergmischwäldern besetzt

würden, tragen hier immer noch Schneeheide-Kiefernwälder. Typisch für all diese Standorte ist, daß die Bodenentwicklung aufgrund der Feinerdearmut und Trockenheit nicht über ein relativ unreifes Stadium hinauskommt bzw. infolge der Steilheit des Reliefs durch latente Abtragungsprozesse wie Abwitterung, Steinschlag, Abschwemmung, Schutt- und Geröll etc. immer wieder gestört wird (Foto 14).

#### **3.4.2 Morphodynamische Aktivitätszonen**

Die Standorte im Bereich morphodynamischer Aktivitätszonen sind in ihrem Erscheinungsbild und ihrer Genese recht unterschiedlich und bedürfen daher einer weiteren Differenzierung. Im einzelnen lassen sich dabei fünf Grundtypen unterscheiden, die teilweise durch Übergänge miteinander verbunden sind:

- Kiesige Alluvionen der größeren Alpenflüsse
- Dolomitschutfächer und Griese
- Lateralerosionshänge
- Mergelrutschhänge
- Junge Bergsturzmassen

##### **3.4.2.1 Kiesige Alluvionen der Alpenflüsse**

Der Standorttyp der kiesigen Flußalluvionen (Foto 3) zählt im Bereich der Bayerischen Alpen und deren Vorland flächenmäßig zu den bedeutendsten dieses Vegetationstyps überhaupt. Die Hauptvorkommen liegen bzw. lagen am Lech zwischen Weissbach und Augsburg und an der Isar von Scharnitz bis zur Loisacheinmündung bei Wolfratshausen. Kleinere Vorkommen sind ferner an der Loisach bei Grießen, am Unterlauf des Rißbachs und in den Weißbachauen zwischen Rottach-Egern und Kreuth zu finden. Auf den Alluvionen des Inns sind Schneeheide-Kiefernwaldstandorte erst im Oberlaufbereich jenseits der österreichisch-schweizerischen Grenze im Unterengadin vorhanden (ZOLLER 1974). Begründet ist dieses Phänomen in der Tatsache, daß der Inn aufgrund seines überwiegend silikatischen Einzugsgebiets bereits im Bereich des Tiroler Oberinntals vorwiegend Schluff, Sand und Feinkies akkumuliert, wodurch im Gegensatz zu den sehr stark schotterführenden, aber schwebstoffarmen Kalkalpenflüssen Lech und Isar von vornherein keine Schneeheide-Kiefernwaldstandorte entstehen können.

Die Schneeheide-Kiefernwaldstandorte in Auenlage gehen zumeist auf eine natürliche oder anthropogene Eintiefung der Alpenflüsse in ihren eigenen Schotterkörper zurück, wodurch die dabei entstehenden Terrassen aus dem Niveau der regelmäßig überfluteten funktionalen Wildflugaue herausgehoben werden (Foto 4). Seltener bilden sich derartige Standorte aber auch im Rahmen außergewöhnlich starker, Event-artiger Hochwassereinzelergebnisse, deren Aufschüttungshöhen in der Folgezeit nicht mehr erreicht werden.

Durch wasserbauliche Maßnahmen haben die alluvialen Schneeheide-Kiefernwaldstandorte insbesondere seit Beginn des 20. Jahrhunderts eine beträchtliche Flächenausdehnung erfahren; so zum Beispiel in den Weißachauen zwischen Rottach-Egern und Kreuth, wo derartige Standorte wohl überhaupt erst im Rahmen der Regulierungsmaßnahmen zur salinären Holzdrift seit Anfang des 19. Jahrhunderts entstanden (BICHLER 1993). Einen erheblichen Flächenzuwachs auf Kosten der funktionalen Aue haben Schneeheide-Kiefernwaldstandorte aber insbesondere an der Isar zu verzeichnen. Dies belegen u.a. die Luftbildvergleiche von BISSINGER & BOHNERT (1990) für den Raum Krün-Wallgau und von JERZ et al. (1988) für die Pupplinger und Ascholdiger Au auf sehr eindrucksvolle Weise. Auslösende Faktoren für eine verstärkte Eintiefungstendenzen der Isar waren zunächst der Bau des Krüner Wehrs im Jahr 1923 zum Betrieb des Wälchenseekraftwerkes und die damit verbundene Ausleitung weiterer kleinerer Seitenbäche, insbesondere der des Reißbachs im Jahr 1949. Zu einem völligen Versiegen der Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf kam es schließlich durch den Bau des Sylvensteinspeichers und des Tölzer Stausees 1959 bzw. 1961, was an den unterhalb angrenzenden Laufabschnitten zu besonders massiven Eintiefungstendenzen führte (JERZ et al. 1988).

Anders als an der Isar konnten Schneeheide-Kiefernwälder am außeralpischen Lech nach dessen Regulierung in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts keinen Flächenzuwachs verbuchen. Begründet ist dies vor allem darin, daß es am Lech zu keiner schlagartigen Eintiefung kam, und somit durch allmähliche Standortüberlagerung von vornherein mesischere Gesellschaften wie Erlen- und Weidenwälder Fuß fassen konnten. Durch Überstauung gingen am außeralpischen Lech, so etwa im Bereich des heutigen Forggensees, sogar erhebliche Flächen verloren (KARL 1954). Dagegen haben am Oberlauf des Lechs in Tirol Schneeheide-Kiefernwälder durch wasserbauliche Maßnahmen gleichfalls einen deutlichen Flächenzuwachs auf Kosten der Gesellschaften der funktionalen Aue erfahren (MÜLLER & BÜRGER 1990).

Bezeichnend für die Auenstandorte ist ein kleinräumiger Wechsel der Substratverhältnisse, der häufig mit verschiedenen Terrassenniveaus innerhalb der fossilen Aue korrespondiert. Überlagert werden diese primärstandörtlichen Substratunterschiede durch pedogenetische Alterungsprozesse, die ihren sichtbaren Ausdruck im Reifegrad der Böden finden. Häufig sind die Terrassen, auf denen Schneeheide-Kiefernwälder stocken, von tieferen, oft steilwandigen Rinnen durchzogen, die zeitweilig durch Qualm- oder Druckwasser überstaut werden. Bisweilen sind sogar regelrechte Quellaufbrüche zu beobachten, die zumeist von seitlich in die Aue zuströmendem Hangwasser gespeist werden. Insgesamt hat das bewegte fossile Auenrelief auf kleinem Raum eine große standörtliche Vielfalt zur Folge,

die sich in einer außergewöhnlich hohen  $\beta$ -Diversität äußert.

Während früher die Schneeheide-Kiefernwaldstandorte auf den erhöhten Schotterterrassen häufiger auch wieder einer Zerstörung durch Lateralerosion und Flußbettverlagerungen unterlagen (Foto 3), herrscht heute infolge wasserbaulicher Maßnahmen fast überall vollständige Konsolidierung und Formungsruhe. Dies bedeutet, daß in Zukunft in den Auen der Alpenflüsse kaum mehr Standorte entstehen werden, auf denen sich Schneeheide-Kiefernwälder im Rahmen primärer Sukzessionen (Foto 4) regenerieren können. Besonders prekär gestaltet sich in dieser Hinsicht die Situation an den außeralpischen Laufstrecken von Isar und Lech, wo die Morphodynamik praktisch vollständig zum Erliegen gekommen ist.

#### 3.4.2.2 Griesen und Dolomitschuttfächer

Der dynamische Standorttyp der Griesen und Dolomitschuttfächer hat insbesondere am Fuße der steil aufragenden Dolomitberge an der Nordseite des Oberinntals zwischen Mötz und Landeck eine weite, oftmals sogar landschaftsprägende Verbreitung (Foto 6). Weniger häufig und großflächig ist er dagegen in den Bayerischen Alpen anzutreffen. Locus classicus ist hier zweifelsohne das rund 80 ha umfassende Friedergries am Südrand der Ammergauer Berge neben einigen weiteren Vorkommen im vorderen Loisachtal um Oberau und südlich Mittenwald, die gleichfalls kleinflächig Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen tragen. Auf anderen Dolomitschuttfächern und Griesen wie dem weithin berühmten Wimbachgries in den Berchtesgadener Alpen (THIELE 1978) fehlen typisch entwickelte Schneeheide-Kiefernwälder dagegen aus klimatischen Gründen (Nordexposition, große Höhenlage). Im Gegensatz zu den meist steileren Dolomitschuttfächern, wo überwiegend gravitative Massenverlagerungen erfolgen, spielen bei den meist flacheren Griesen fluviale Transportprozesse oft eine dominante oder gar ausschließliche Rolle. Genetisch nehmen die Griesen somit eine Mittelstellung zwischen den Schuttfächern und den fluviatilen Schotterauen ein. Bezeichnend für die Gries- und Dolomitschuttfächerstandorte ist, daß die Vegetations- und Bodenentwicklung durch Überschüttung oder ausgeprägte Pendelbewegungen der Hauptschuttströme immer wieder gestört oder oft sogar auf einen initialen Ausgangszustand zurückgeworfen wird (Foto 5). Anhand historischer Photographien konnte KORTENHAUS (1985) dies für das Friedergries auf sehr eindrucksvolle Art und Weise nachweisen. Der akkumulierte und umgelagerte Verwitterungsschutt stammt zumeist direkt aus den oberhalb angrenzenden Felswänden, wo er sich in Rinnen ansammelt und bei Starkregen oftmals stoßweise abtransportiert wird. Geradezu prädestiniert zur Schuttbildung ist der physikalisch sehr leicht verwitternde Hauptdolomit, der meist zu feinem Grus oder Gries zerfällt (daher z.B. der Name

Friedergries!). Die morphodynamische Aktivität der Gries- und Dolomitschuttfächer wurde im Gegensatz zu den Alluvialstandorten bisher kaum durch den Menschen beeinträchtigt.

#### 3.4.2.3 Lateralerosionshänge

Im Vergleich zu den Auen-, Gries- und Dolomitschuttfächerstandorten besitzen Lateralerosionshänge im Untersuchungsgebiet eine vergleichsweise geringe flächenmäßige Verbreitung. Gleichwohl können sie als Überdauerungszentren von Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen lokal eine große Bedeutung haben. In den Bayerischen Alpen sind größere Reste dieses dynamischen Standorttyps vor allem im Oberen Isartal im Bereich der Rißbachmündung bei Vorderriß erhalten geblieben (Foto 3). Begünstigt wurde die Entstehung von recht ausgedehnten Lateralerosionshängen in diesem Raum infolge der Abdrängung der Isar durch den von Süden einmündenden Rißbach auf die nördliche Talseite. Ein weiteres Beispiel für diesen Standorttyp sind die ausgedehnten südexponierten Erosionshänge im Kuhfluchtgraben bei Farchant, bei deren Entstehung aber zusätzlich eine ausgeprägte Tiefenerosionskomponente eine bedeutende Rolle spielt. Anderorts sind Lateralerosionshänge infolge einer massiven Unterbindung der fluvialen Morphodynamik durch wasserbauliche und infrastrukturelle Maßnahmen, insbesondere im Bereich der größeren Flußtäler als Schneeheide-Kiefernwaldstandorte weitgehend verlorengegangen. Doch zeigen vielerorts fossile morphologische (Prallhang)-Strukturen, wie etwa im Bereich des Ofenbergs bei Griesen oder an der "Eingefallenen Wand" bei Oberau, daß dieser Standorttyp noch in vorindustrieller Zeit wesentlich weiter verbreitet war. Die wenigen verbliebenen Reste dieses Standorttyps (z.B. bei Vorderriß) sind teilweise akut durch Sanierungsmaßnahmen bedroht.

#### 3.4.2.4 Mergelrutschhänge

Mergelrutschhänge nehmen sowohl hinsichtlich ihrer Genese als auch hinsichtlich ihrer Substrat- und Wasserhaushaltseigenschaften eine gewisse Sonderstellung unter den bisher angeführten morphodynamischen Standorttypen ein. In ihrem Auftreten zeigen sie eine enge Bindung an stark übersteilte, sehr feinerdereiche pleistozäne und seltener auch tertiäre Lockersedimente, die sich infolge schlechter Dräeneigenschaften zumindest phasenweise durch eine starke Übersättigung mit Wasser auszeichnen (Foto 7). Begünstigt werden Rutschungen, die sich zu meist als flachgründige Translationsrutschungen, seltener auch als m.o.w. tiefgründige Rotationsrutschungen ereignen, zusätzlich durch das Auftreten wasserstauer Quellhorizonte innerhalb der Lockersedimente. Typische Vorkommen dieses Standorttyps sind beispielsweise vielerorts, wenn auch meist recht kleinflächig, in den jungen, steilen Durchbruchstätern der Alpenvorlandflüsse Wertach

(STROHWASSER 1984), Ammer (WINTERHOLLER 1990/91), Isar und Mangfall (ZÖTTL 1952) anzutreffen. Im Alpenvorland bilden diese Standorte die einzigen natürlichen Vorkommen von Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen außerhalb der Flußauen. In den Bayerischen Alpen sind Mergelrutschhangstandorte vor allem auf intensiv zerschnittenen pleistozänen Talverfüllungen, (Foto 7) wie z. B. im Lainbachtal bei Benediktbeuern (HÖLZEL 1990) sowie im Bereich der aus einem bunten Sammelsurium quartärer Lockersedimente (See- und Schotter, Moränen) aufgebauten Isarleiten zwischen Mittenwald und Krün zu finden. Die undifferenzierte Deutung von Mergelrutschflächen als anthropo-zogene Landschaftsschäden hat dazu geführt, daß auch bei diesem Standorttyp in Folge teilweise sehr aufwendiger wildbachttechnischer und ingenieurbioologischer "Sanierungsmaßnahmen" ein deutlicher Flächenrückgang zu verzeichnen ist. Dabei zeugt gerade das Auftreten von hochspezialisierten, ausbreitungsuntüchtigen, reliktschen Arten wie dem seltenen Kiessteinbrech (*Saxifraga mutata*) (Foto 8), der geradezu als Charakterart für Schneeheide-Kiefernwald-Komplexe auf Mergelrutschstandorten (Foto 9) bezeichnet werden kann, von einer langen, das ganze Holozän währenden Standorttradition. Ein sehr schönes Beispiel hierfür liefern auch die bereits von TROLL (1926) erwähnten, völlig isolierten, kleinflächigen Vorkommen von Schneeheide-Kiefernwäldern auf brüchigen Nagelfluhfelsen und Rutschflächen im Isartal bei Grünwald im Süden von München, die auch heute noch so bemerkenswerte reliktsche Arten wie *Arctostaphylos uva-ursi*, *Daphne cneorum* und *Festuca amethystina* (EWALD mündl.) beherbergen.

#### 3.4.2.5 Junge (historische) Bergstürze

Als Produkt singulärer geomorphologischer Großereignisse mit hoher Augenblicksleistung nehmen Bergstürze unter den bisher betrachteten morphodynamischen Standorttypen eine absolute Sonderstellung ein. Alpenweit betrachtet bilden Bergstürze aber gleichwohl geradezu klassische Schneeheide-Kiefernwaldstandorte. So stammen bezeichnenderweise viele der ersten Beschreibungen von Schneeheide-Kiefernwäldern aus Bergsturzgebieten wie dem berühmten Pfynwald im Mittleren Wallis (BRAUN-BLANQUET & RICHARD 1949), dem Flimser Bergsturz im Churer Rheintal (BRAUN-BLANQUET 1954) oder dem weitläufigen Bergsturzgelände der Dobratsch in Kärnten (AICHINGER 1933 u. 1951).

Auch das eigentliche Untersuchungsgebiet kann mit zwei sehr spektakulären Bergsturzlandschaften aufwarten. Zum einen handelt es sich dabei um den Tschirgant-Bergsturz am Ausgang des Ötztals im Oberinntal (Foto 6) und zum anderen um den Affrial-Bergsturz im Fernpaßgebiet. Nach neuesten Untersuchungen von PATZELT & POSCHER (1993) handelt es sich beim Tschirgant-Bergsturz, entgegen früherer Ansichten, um einen relativ jungen Berg-

sturz, der erst vor rund 2.900 Jahren niederging, und auch größere Teile der Bergstürze im Fernpaßgebiet sind wohl postglazialen Ursprungs (ABELE 1994). Mit ihrem überaus bewegten Oberflächenrelief, das immer wieder von fast zimmergroßen Felsblöcken durchragt wird (Tomalandschaft), gehören die genannten Bergsturzgelände zu den ästhetisch reizvollsten Schneeheide-Kiefernwaldvorkommen überhaupt (Foto 12). Das großflächige Auftreten von Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen auf Bergstürzen ist nicht nur eine Folge der extremen Substratverhältnisse auf den Bergstürzhügeln (Tomas), sondern ebenso ein Ausdruck standörtlicher Unreife und verweist somit gleichfalls auf deren vergleichsweise geringes Alter.

In den Bayerischen Alpen sind Schneeheide-Kiefernwälder auf Bergsturzstandorten nur sehr kleinflächig in exponierten Bereichen des Eibseebergsturzes anzutreffen, während der größte Teil dieses in Teilen gleichfalls postglazialen Bergsturzes heute bereits von Tannenwäldern (Pyrolo-Abietetum) und Blockfichtenwäldern (Asplenio-Piceetum) eingenommen wird. Das großflächige Auftreten von diesen Gesellschaften im Bereich des Eibseebergsturzes ist also nicht nur eine ausschließliche Frage des größeren Alters, sondern wird wohl vor allem auch durch die höheren Niederschläge im Bereich der Randalpen begünstigt.

### 3.4.3 Anthropo-zoogene Sekundärstandorte

Sekundärbestände auf Standorten, die ursprünglich von Bergmischwäldern besetzt waren, zeigen gleichfalls eine enge Bindung an thermisch begünstigte, sonnseitige Steilhänge. In der Regel stehen sie in direktem Kontakt zu Primärbeständen und sind vielfach als sekundäre, anthropo-zoogene Erweiterung derselben zu betrachten (Foto 24). Die wesentlichen Unterschiede zu den Standorten der Primärbestände sind überwiegend edaphischer Natur. So zeichnen sich die Standorte der Sekundärbestände in der Regel durch

- weniger extreme Substratverhältnisse (größere Gründigkeit, höherer Feinerdreichum),
- fortgeschrittenere Bodenentwicklung und
- geringere Steilheit

aus. Auf der Nordseite des Inntales sind die Voraussetzungen für die Etablierung von Sekundärbeständen quasi flächendeckend gegeben, woraus nicht zuletzt das heutige landschaftsbeherrschende Auftreten resultiert. Dagegen konzentrieren sich in den Randalpen auch Sekundärbestände in auffälliger Weise auf die durch die Naturraumausstattung vorgegebenen Verbreitungsschwerpunkte von Primärbeständen. Begründet ist dieses Phänomen in erster Linie in der Tatsache, daß unter den trockeneren und wärmeren klimatischen Bedingungen des Oberinntals die zonalen Schlußwaldgesellschaften besonders leicht, nachhaltig und großflächig zu Schneeheide-Kiefernwäldern degradiert werden können, während hierfür in den feuchteren Randalpen be-

stimmte Rahmenbedingungen, insbesondere eine deutliche thermische Begünstigung der Standorte, von Nöten sind.

## 3.5 Böden

### 3.5.1 Ausgangssubstrate der Bodenentwicklung und ihre ökologischen Eigenschaften

Dolomitgesteine ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) bilden das klassische Ausgangssubstrat für Schneeheide-Kiefernwälder schlechthin, insbesondere der großflächig im Untersuchungsgebiet dominierende Hauptdolomit. Dies gilt nicht nur für die weitverbreiteten Hangstandorte (Foto 1), sondern ebenso für Alluvialterrassen, Griesse und Schuttfächer, die sich gleichfalls zu einem hohen Anteil oder oft sogar gänzlich aus Hauptdolomit zusammensetzen. Im Vergleich zum Hauptdolomit sind andere Dolomitgesteine im Untersuchungsgebiet nur von lokaler Bedeutung, so z. B. im Inntal bei Zirl (Wettersteindolomit) oder im Raum Bad Reichenhall - Berchtesgaden (Ramsaudolomit). Neben den vorherrschenden Dolomitgesteinen spielt lediglich der Wettersteinkalk, insbesondere im Raum Mittenwald-Scharnitz, noch eine größere Rolle als Schneeheide-Kiefernwaldstandort. Dagegen wird der im Untersuchungsgebiet gleichfalls recht weitverbreitete, dem Hauptdolomit aufliegende Plattenkalk, mit Ausnahme von Bereichen mit ausgeprägter Morphodynamik (z. B. Kuhfluchtgraben), in auffälliger Weise gemieden.

Im Tiroler Inntal haben neben autochthonen Gesteinen und deren Umlagerungen auch spätglaziale äolische Fremddecken flächenmäßig eine große Bedeutung als Schneeheide-Kiefernwaldstandorte, während andere pleistozäne Bildungen im gesamten Untersuchungsgebiet eher eine untergeordnete Rolle spielen.

#### 3.5.1.1 Der Hauptdolomit und das "Dolomitphänomen"

"Die reinen Dolomite verwittern noch schwieriger als Kalk und geben einen sehr steinreichen, erdarmen Boden von geringer Fruchtbarkeit. Vorspringende Felsnasen ragen vielfach völlig unbewachsen hervor." (RAMANN 1911 S. 595, zit. in GAMS 1930).

Auf die eindeutige, auch im überregionalen Maßstab gültige Präferenz von Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen für Dolomitgesteine gegenüber reinen Kalken hat bereits GAMS (1930) hingewiesen. Sie ist wohl hauptsächlich begründet in den vergleichsweise ungünstigen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Dolomits, wodurch die anspruchslose Kiefer und ihre heliophilen Begleiter gegenüber anderen Baumarten im Vergleich zu reinen Kalkstandorten in stärkerem Maße begünstigt werden. Die auffällige standörtliche Ungunst von Dolomitsubstraten ist, wie oben stehendes Zitat beweist, bereits seit den Anfängen der Bodenkunde

in Mitteleuropa wohlbekannt, in ihren Einzelheiten aber bis zum heutigen Tage nicht vollständig geklärt.

### Physikalische Eigenschaften und Wasserhaushalt

Der Hauptdolomit der Nordalpen ist ein sehr sprödes, gegenüber physikalischer Verwitterung extrem anfälliges Gestein, das sich bis in den mikroskopischen Bereich aus unregelmäßigen, mit Kalzit wieder verkitteten Bruchstücken zusammensetzt. Bei der Verwitterung zerfällt es entlang dieser Bruchstellen und bildet den typischen eckigen Dolomitgrus mit Bruchstückgrößen von 0,5 mm bis 8 cm. In Bereichen starker tektonischer Beanspruchung ist die Zertrümmerung besonders intensiv und führt bis zur Entstehung von Dolomitsanden (Dolomitasche). Gegenüber Lösungsverwitterung ist der Dolomit im Vergleich zu reinen Kalken wesentlich resistenter, was u. a. daran deutlich wird, daß kaum Verkarstungserscheinungen auftreten und in der Regel nur in sehr geringem Maße Verlehmungsprodukte freigesetzt werden (PRIESNITZ 1967). Der sehr durchlässige Dolomitgrus besitzt je nach Zertrümmerungsgrad somit kaum eine wasserhaltende Kraft, wodurch insbesondere nach längeren Trockenperioden mit Engpässen bei der Wasserversorgung der Vegetation zu rechnen ist.

Neben sehr reinen Dolomitgesteinen, die bis zu über 99 % aus nahezu reinem  $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$  bestehen, enthält die gesamte Hauptdolomitserie immer wieder Einschaltungen kohlenwasserstoffreicher (bituminöser), tonreicher Karbonate, deren Mächtigkeit sich im Zentimeter- bis Meterbereich bewegt. Diese morphologisch weicherer, tonreicheren Lagen verleihen den aus Hauptdolomit aufgebauten Steilhängen oft eine charakteristische treppenartige Struktur. Lokal können diese tonreichen Lagen bei hangparallelem Schichteinfallen durchaus großflächig an die Oberfläche treten, wie z. B. am Südosthang des Fahrenbergs oberhalb Walchensee. Hinsichtlich Wasserhaushalt und Nährstoffsituation sind sie eindeutig günstiger zu beurteilen als die vorherrschenden reinen, rückstandsarmen Dolomitgesteine.

Die regelmäßige Einschaltung von tonreichen Zwischenlagen und die geringe Verkarstungsfähigkeit bedingen generell, daß die Gesteine des Hauptdolomits, abseits von Störungs- und Klüftzonen, nur in sehr geringem Maße Wasser aufnehmen und speichern können. Die Folge hiervon ist eine ausgeprägte Tendenz zur Oberflächenentwässerung, die sich u. a. im häufigen Auftreten tiefeingeschnittener, steilwandiger Rinnen und Gräben äußert. Besonders stark ausgeprägt ist die oberflächennahe Entwässerung bei hangparallelem Einfallen der Hauptdolomitschichten. Deutlich sichtbar wird dies an Weganschnitten oder Straßenböschungen, wo selbst mehrere Tage nach Niederschlagsereignissen ein intensives Austreten von seichtem und tieferem Interflow aus den Hangschutt- und Zersatzzonen über den anstehenden, als Staukörper fungierenden, hangparallel einfallenden Hauptdolomitschichten zu beob-

achten ist. Die ausgeprägte oberflächennahe Entwässerung bewirkt, daß selbst auf steilen Felsabstürzen mit 50 ° Neigung Kalkquellsümpfe entstehen können, die durch Interflow aus den Hangschutt- und Zersatzzonen oberhalb angrenzender, flacherer Hangpartien gespeist werden. Die hangwärts gerichteten oberflächennahen Sickerwasserströme auf Hauptdolomit sind in hohem Maße (klein-) reliefgesteuert, wodurch relativ frische Partien im Bereich konkaver Hangformen und überdurchschnittlich trockene Standorte im Bereich konvexer Kleinreliefelemente oft einem raschen kleinräumigen Wechsel unterliegen und in ihrem standörtlichen Charakter zusätzlich akzentuiert werden. Aber auch in der floristischen Struktur der auf diesen Dolomitstandorten stockenden Kiefernwälder findet die oberflächennahe Entwässerung ihren deutlichen Niederschlag im verbreiteten und häufigen Auftreten von ausgesprochenen Zeigern für wechselflockene Standortverhältnisse wie *Molinia caerulea* agg., *Galium boreale* und *Festuca amethystina*. Diese Arten fehlen ebenso wie Hangquellsümpfe bezeichnenderweise auf dem leicht verkarstungsfähigen, in die Tiefe entwässernden Wettersteinkalk praktisch vollständig. In niederschlagsarmen Perioden können selbst die Hangquellsümpfe fast vollständig trocken fallen, was am Besten zum Ausdruck kommt im teilweise recht kurios anmutenden Zusammentreffen von ausgesprochen xerophytischen Arten wie dem Berggamander (*Teucrium montanum*) mit Feuchtezeigern wie der Sumpf-Gladiole (*Gladiolus palustris*). Aufgrund ihrer spezifischen Drainageeigenschaften haben Dolomitstandorte unter den stark humiden Klimabedingungen der Randalpen im Vergleich zu reinen Hartkalken einen wesentlich unausgeglicheneren Wasserhaushalt, der sowohl zum Trockenem wie auch zum Feuchten hin einer wesentlich stärkeren zeitlichen und räumlichen Schwankungsbreite unterliegt.

Der Wasserhaushalt der Dolomitstandorte wird wesentlich bestimmt durch die Entfestigungstiefe und den Zersetzungsgrad des Ausgangssubstrats. Dabei gilt es folgende Formen zu unterscheiden:

- autochthon anstehender Dolomitfels
- autochthoner grusiger Dolomitzersatz
- umgelagerter spätglazialer oder auch holozäner Dolomithangschutt

Die Abfolge dieser Erscheinungsformen ist überwiegend reliefgesteuert und entspricht in der Regel zugleich einer zunehmenden Standortgunst in puncto Wasserhaushalt. Bei entsprechend grober Substrattextur können aber auch noch m. o. w. mächtige Hangschuttdecken in Unterhanglage ausgesprochene Trockenstandorte darstellen; dies gilt insbesondere für jüngere holozäne Bildungen.

### Chemische Eigenschaften

Ähnlich ungünstig für den Pflanzenwuchs wie viele physikalische Eigenheiten sind die chemischen Eigenschaften des Dolomits, wobei insbesondere extrem hohe Mg-Gehalte bei gleichzeitig geringen K-

und P-Gehalten zu wachstumshemmenden Engpässen bei der Nährstoffversorgung führen können (z. B. KRAPPENBAUER 1969). Nach stichprobenartigen eigenen Analysen bestehen die Dolomitgesteine im Untersuchungsgebiet etwa zu gleichen Teilen aus Ca- und Mg-Karbonaten, wobei Ca-Karbonate im Verhältnis von ca. 55/45 % leicht überwiegen. Der hohe Gehalt an Mg wird vielfach als die Hauptursache für das bereits von GAMS (1930) beschriebene "Dolomitphänomen" angesehen, welches auf die Beobachtung zurückgeht, daß sich Dolomit- und reine Kalkstandorte in ihrem Florenbestand deutlich und in markanter Weise unterscheiden. Derartige Dolomitphänomene lassen sich verbreitet auch in Schneeheide-Kiefernwäldern und anderen Pflanzengesellschaften (z. B. EGGENSBERGER 1993) im Untersuchungsgebiet beobachten, wobei aber zunächst offen bleiben muß, ob letztlich eher Unterschiede in der physikalischen Beschaffenheit oder aber im Chemismus der Gesteine hierfür von ausschlaggebender Bedeutung sind. Angesichts der flächenmäßigen Überrepräsentanz von Dolomitgesteinen im Untersuchungsgebiet muß vor allzu weitreichenden Interpretationen und Verallgemeinerungen aber eher gewarnt werden. So zeigt z. B. *Festuca amethystina* im Untersuchungsgebiet eine ausschließliche Bindung an stark dolomithaltige Substrate und könnte somit wie bei GAMS (1930) als klassische Dolomitpflanze bezeichnet werden. Im überregionalen Vergleich zeigt sich aber, daß es sich hierbei eher um ein regionales Phänomen handelt, da die Art z. B. in der Nordschweiz und auf der Schwäbischen Alb bevorzugt auf kalkhaltigen Mergelgesteinen des Tertiärs bzw. Juras auftritt (ZOLLER 1951, REHDER 1962, WITSCHERL 1989).

Eine direkte schädigende oder gar toxische Wirkung hoher Mg-Konzentrationen auf bestimmte Pflanzen ist bisher nur sehr selten überzeugend nachgewiesen worden, wobei die Ergebnisse im Einzelfall oft sehr widersprüchlich sind (KINTZEL 1982). Dies gilt nicht nur für Dolomit, sondern selbst für ultrabasische, extrem Mg-reiche Serpentinegesteine, wo wohl vor allem auch die allgemeine Nährstoffarmut, starker Ca-Mangel und hohe Schwermetallkonzentrationen neben dem einseitigen Ionenmilieu zur Ausbildung einer sehr spezifischen Serpentinflora führen (KINTZEL 1982).

Für Dolomitgesteine liegen in diesem Zusammenhang bisher nur sehr wenige Untersuchungen vor. Nach experimentellen Versuchen von COOPER & ETHRINGTON (1974) an Trockenrasenpflanzen wird *Helianthemum nummularium* auf Dolomit stark, *Koeleria pyramidata* und *Plantago media* leicht geschädigt, womit die Autoren den Ausfall dieser Arten auf Dolomit in Süd-Wales erklären. Hierzu gilt allerdings anzumerken, daß bei den durchgeführten Versuchen eine Schädigung von *Helianthemum nummularium* erst bei Ca/Mg-Verhältnissen von 40/60, bei *Plantago media* und *Koeleria pyramidata* sogar erst bei solchen von 10/90 auftraten, Werten also, wie sie auf dem triassischen

Hauptdolomit (im Untersuchungsgebiet 45/55) in der Regel nicht erreicht werden. Anhand eigener Geländebeobachtungen können diese Befunde in keinsten Weise bestätigt werden. Vielmehr kommen die erwähnten Arten im Untersuchungsgebiet in Halbtrockenrasen auch weit verbreitet auf reinen Dolomitstandorten vor. Anhand dieses Beispiels wird nochmals deutlich, daß es sich bei Dolomitphänomenen häufig um lokale und regionale Erscheinungen handelt, aus denen keine allgemeingültigen oder gar weitreichende physiologische Schlußfolgerungen gezogen werden dürfen.

Noch weniger als eine direkte Schädigung von Pflanzen durch hohe Mg-Konzentrationen am natürlichen Standort ist bisher eine physiologische Förderung dolomitsteter Arten durch hohe Mg-Gehalte bewiesen. So keimen und gedeihen "Dolomitpflanzen" bei Reinkultur auf reinen, Mg-armen Kalksubstraten teilweise besser als auf Dolomit selbst (ELLENBERG 1986).

Wesentlich bedeutungsvoller als eine direkte Schädigung erscheint der indirekte Einfluß hoher Mg-Konzentrationen auf die *Ionenbalance*, insbesondere auf die Verfügbarkeit des in Dolomitböden in der Regel im Minimum auftretenden Kaliums. So bedingen die überreichlich in der Bodenlösung angebotenen Mg-Ionen aufgrund ihrer antagonistischen Wirkung eine Verschärfung des ohnehin bestehenden Kaliummangels (GLATZEL 1968, KRAPPENBAUER 1969, GIGON 1971). Die Aufnahme des überwiegend an Tonmineralen gebundenen Kaliums wird zusätzlich erschwert durch zeitweise Austrocknung, wodurch Kalium sehr stark fixiert wird.

Hauptursache für die schwache Ausstattung mit Kalium und Phosphor ist neben geringer absoluter Gehalte insbesondere die, im Vergleich zu reinen Kalken schwerere Löslichkeit des Dolomits, die eine nur sehr zögerliche Freisetzung von Verlehmungsprodukten nach sich zieht. Die Phosphor- und Spurenelementversorgung (Fe und Mn) wird gleichfalls durch den Karbonatreichtum und hohe pH-Werte erheblich beeinträchtigt, da diese Elemente überwiegend in schwer löslicher Form, z. B. als Calcium-Phosphate, vorliegen (KINTZEL 1982).

Mangelsituationen bei der Versorgung mit K, P, Mn, Fe und auch Bor (BOSCH 1986) sind von vielen Autoren bei Kiefern und Fichten auf südexponierten, feinerdearmen Dolomitböden immer wieder beschrieben worden (GLATZEL 1968, KRAPPENBAUER 1969, ZECH 1968 u. 1970, KREUTZER 1970, LIU et al. 1991). Mit zunehmender Humusakkumulation und der Freisetzung von Verlehmungsprodukten verringert sich diese Nährstoffmangelsituation aber auch auf Dolomit deutlich.

Die sich floristisch und vegetationskundlich deutlich manifestierenden ökologischen Unterschiede zwischen Dolomit- und reinen Kalksubstraten, die in der Vergangenheit Anlaß zu weitreichenden Spekulationen und Mutmaßungen gaben, lassen sich

somit weitgehend auf die im Grunde recht simple Kernaussage reduzieren, daß Dolomite im Durchschnitt trockenere und vor allem deutlich nährstoffärmere Substrate darstellen. Das gehäufte Auftreten reliktsicher, konkurrenzschwacher Arten ist somit nicht Folge einer spezifischen physiologischen Adaption oder gar einer direkten Abhängigkeit der entsprechenden Sippen von hohen Mg-Konzentrationen, sondern letztlich wohl vor allem Ausdruck einer Verdrängung auf den standörtlich extremeren und damit konkurrenzärmeren Dolomitstandort. Insgesamt bedarf das "Dolomitphänomen" aber sicher weiterer Klärung, wobei insbesondere experimentelle Ansätze neue Erkenntnisse liefern könnten.

Auch die auffällige Konzentration der Schneeheide-Kiefernwälder auf Dolomitsubstrate ist auf der Ebene der Pflanzengesellschaft letztlich eine Folge der Verdrängung auf einen konkurrenzärmeren Extremstandort durch konkurrenzkräftigere Waldgesellschaften, wie bei der nachfolgenden Besprechung des Wettersteinkalks deutlich zum Ausdruck kommen wird.

### 3.5.1.2 Der Wettersteinkalk

Auf Wettersteinkalk zeigen Schneeheide-Kiefernwälder eine sehr enge Bindung an extrem steile, flachgründige Felsschrofen und rohe Schuttstandorte, auf denen oft der blanke anstehende Kalkfels noch flächenhaft zu Tage tritt (Foto 2 und 14). Etwas weniger extreme Standorte werden im Unterschied zum Hauptdolomit dagegen bereits von Bergmischwäldern eingenommen. Bei vergleichbarer pedogenetischer Reife und Gründigkeit zeichnen sich Wettersteinkalksubstrate im Vergleich zum Hauptdolomit also offensichtlich durch wesentlich günstigere Wuchsbedingungen aus.

Dies kommt nicht nur anhand der auffälligen Abdrängung von Schneeheide-Kiefernwäldern auf die edaphisch extremsten Reliefpositionen zum Ausdruck, sondern auch anhand der floristischen Struktur der Bestände. So treten in ausgesprochenen Felskiefernwäldern auf Wettersteinkalk bereits vergleichsweise anspruchsvolle Arten wie *Valeriana tripteris*, *Rubus saxatilis* und *Mercurialis perennis* auf, die auf Hauptdolomit erst auf mesischeren Standorten mit fortgeschrittener, relativ reifer Bodenentwicklung zu finden sind, extremeren standörtlichen Ausbildungen dagegen vollständig fehlen. Dies ist wohl insbesondere darin begründet, daß aus dem leichter löslichen Wettersteinkalk bereits in initialen Phasen der Bodenentwicklung in wesentlich stärkerem Maße Nährelemente freigesetzt werden als aus dem gegenüber chemischer Verwitterung wesentlich resistenteren Hauptdolomit. Auf einen relativ größeren Nährstoffreichtum von Wettersteinkalkstandorten in frühen Phasen der Bodenentwicklung deutet auch die ausgesprochen hohe biologische Aktivität in den Felshumusböden hin. Trotz extremer Feinerdearmut findet man selbst auf blan-

kem anstehenden Fels sehr günstige, tiefschwarze Humusformen, deren lockere, feine Krümelstruktur von einer sehr intensiven biologischen Fraß- und Wühlätigkeit zeugt.

Auch in hydrologischer Hinsicht sind Wettersteinkalkstandorte in der Regel als für das Baumwachstum günstiger zu beurteilen. Die im Vergleich zum Hauptdolomit stark ausgeprägte Verkarstungsfähigkeit des Wettersteinkalks begünstigt die Entstehung zahlreicher tiefreichender Karren, Spalten und Klüfte. Gerade die Baumarten vermögen durch ein tiefes Absenken ihrer Wurzeln sich dieses Kluftwasser zu Nutze zu machen. Im Gegensatz dazu stehen den Bäumen auf dem vorwiegend oberflächennah entwässernden, kaum verkarstenden Hauptdolomit in wesentlich geringerem Umfang tiefreichende Kluftwasserreserven zur Verfügung. Bezeichnenderweise konzentrieren sich Schneeheide-Kiefernwälder daher auch in sehr starkem Maße auf massiv entwickelte, spalten- und kluftarme Partien innerhalb der Wettersteinkalkserie, da stärker klüftige Bereiche bereits zu günstigen Bedingungen aufweisen und die Existenz von Schlußbaumarten des Bergmischwaldes zulassen. Ein vergleichbares Alternieren von xerophytischen Kiefern- und Eichenwäldern je nach Klüftigkeit der anstehenden Kalkfelsen beobachtete MÜLLER(1980) im Bereich des oberen Donautals auf der Schwäbischen Alb.

Deutliche floristische Unterschiede zwischen Hauptdolomit und reinen Hartkalken wie dem Wettersteinkalk, die früher häufig als "Dolomitphänomene" interpretiert wurden, gehen wohl eindeutig auf deren sehr stark voneinander abweichende physikalische Eigenschaften zurück. So sind typische Felspaltenvereine der Ordnung *Potentilletalia caulescentis* auf dem kompakten Wettersteinkalk großflächiger und in wesentlich reinerer und floristisch reichhaltigerer Form entwickelt, als auf dem scherbzig zerfallenden Hauptdolomit. Dieser bietet selbst in extremen Steillagen bereits Rasenpflanzen relativ günstige Existenzbedingungen, während die Felspaltenarten durch die permanente Abwitterung deutlich beeinträchtigt werden bzw. dem Konkurrenzdruck der Rasenpflanzen unterliegen. Dies führt beispielsweise dazu, daß der Spalierstrauch *Rhamnus pumila* auf Hauptdolomit fast vollständig fehlt, während andererseits die auf Wettersteinkalk recht seltene rasenbildende "Dolomitpflanze" (GAMS 1930) *Carex mucronata* hier oft faziesbildend in den Vordergrund tritt.

### 3.5.1.3 Äolische Fremddecken

Äolische Fremddecken haben im gesamten Tiroler Inntal zwischen Zirl und Landeck eine weite Verbreitung. Besonders großflächig und mächtig sind sie im Talabschnitt zwischen Zirl und Telfs entwickelt. In flacheren Akkumulationsbereichen liegen sie nicht selten als fast steinfreie, mehrere Dezimeter mächtige, gelb-braune Lößdecken vor,

wesentlich häufiger sind sie aber an der Basis oder sogar gänzlich mit dem steinigen Zersatz des anstehenden Dolomit intensiv solifluidar verwürgt und durchmischt (Foto 13). Die weite Verbreitung und erhebliche Mächtigkeit dieser Decken unter Schneeheide-Kiefernwäldern, die bis in Höhen von 1.400 m N. N. reicht und selbst sehr steile Reliefbereiche erfaßt, überraschte zunächst, doch zeigte sich beim Literaturstudium, daß lößartige Bildungen auch in anderen inneralpischen Trockentälern wie dem Wallis oder dem Aostatal eine große Bedeutung erlangen (z.B. BRAUN-BLANQUET 1961). Die äolische Genese dieser Fremddecken konnten für das Inntal im Bereich Seefeld-Leutasch erstmals SCHÖNHALS & POETSCH (1976) mit Hilfe von Korngrößen- und Schwermineralanalysen auf überzeugende Weise darlegen.

Im Gegensatz zum Tiroler Inntal spielen äolische Fremddecken in den Bayerischen Alpen generell eine wesentlich geringere, und wenn, dann häufig kaum sicher erkennbare Rolle. An den untersuchten Profilen und Aufschlüssen sowie bei zahlreichen Schürfungen und Bohrstockeinschlägen konnten silikatische Deckschichten unter Schneeheide-Kiefernwäldern in den Randalpen nie mit Sicherheit nachgewiesen werden. Zwar kann die Beteiligung gerade äolischer Stäube nicht vollkommen ausgeschlossen werden, ist aber, wenn überhaupt gegeben, derart gering, daß sie nicht oder nur höchst spekulativ diagnostizierbar wird.

Die von HANTSCH & PFIRRMANN (1990) getroffenen Verallgemeinerungen bezüglich der weiten Verbreitung glazärer oder äolischer silikatischer Deckschichten in den Bayerischen Alpen sind für die untersuchten randalpinen Schneeheide-Kiefernwaldstandorte in dieser Form sicher nicht haltbar.

Der im Inntal akkumulierte Löß besteht entsprechend dem überwiegend zentralalpischen Einzugsgebiet des Inngletschers zu einem sehr hohen Anteil aus silikatischem Material. Durch die Verwürgung mit Dolomitschutt entstehen Mischsubstrate, die potentiell kaum mehr einer Rendzina-Terra fusca sondern eher einer Pararendzina-Parabraunerde-Dynamik unterliegen (vgl. REHFUESS 1990). Der edaphische Extremcharakter vieler Schneeheide-Kiefernwald-Standorte im Inntal wird durch die starke Beteiligung von äolischem Material in hohem Maße abgemildert. Dies gilt insbesondere für den Wasserhaushalt der Standorte, auf den die schluffig-feinsandigen Lößbeimischungen einen sehr positiven Einfluß ausüben. Aber auch nährstoffökologisch sind die äolischen Fremddecken aufgrund ihrer erheblichen Silikatanteile hinsichtlich der Versorgung mit Kalium, Phosphor, Eisen und Mangan wesentlich günstiger zu beurteilen als etwa reine Dolomitstandorte. Die relativ günstigen Wasserhaushaltseigenschaften des lößhaltigen Substrats werden aber offenbar mehr als überkompensiert durch die im Vergleich zu den Randalpen wesentlich

geringeren Niederschläge und das verdunstungsintensivere Allgemeinklima im Tiroler Oberinntal.

#### 3.5.1.4 Pleistozäne Lockersedimente

Weitere pleistozäne Bildungen spielen als Schneeheide-Kiefernstandort im Untersuchungsgebiet flächenmäßig nur eine untergeordnete Rolle. Neben durch Calcit verfestigten Schottern und Moränenablagerungen (Nagelfluh) und pleistozänen Talverfüllungen (z. B. Lainbachtal) handelt es sich dabei im Raum Mittenwald-Krün teilweise auch um Seekreide. Alle diese Substrate spielen nur im Bereich junger, stark übersteilter Durchbruchstäler, Lateralerosions- und Rutschhänge eine Rolle als Schneeheide-Kiefernwaldstandorte und unterliegen meist auch noch rezent einer m.o.w. starken morphodynamischen Überformung (Foto 7). Neben den in der Regel eindeutig dominierenden Kalken und Dolomiten enthalten die pleistozänen Lockersedimente oft auch höhere Anteile an zentralalpischem (Gneis, Glimmerschiefer) oder randalpinem Silikatmaterial (Flysch). Bezeichnend ist für die meisten Substrate ein relativ hoher Feinerdegehalt, der zunächst recht günstige Wasserhaushaltseigenschaften erwarten läßt. Doch handelt es sich aufgrund der oft extrem starken Verdichtung und Kohärenz der Lockersedimente (Eisauflast, Verkittung durch Karbonat) trotz des Feinerdereichtums zumeist um physiologisch sehr flachgründige Standorte, die einem starken Wechsel zwischen oberflächlicher Vernässung und Austrocknung unterliegen (HÖLZEL 1990). Bei Austrocknung kommt es infolge der hohen Gehalte an feinem carbonatischem Gesteinsabrieb zu einer regelrechten "Zementierung" des Substrats, das sich dann oft nur unter Einsatz eines Hammers herauslösen läßt, während es andererseits in Phasen besonders starker Durchfeuchtung eine breiartige, zähflüssige Konsistenz annehmen kann. Die Entfestigungszone der dichtlagernden Lockersedimente beträgt oft nur wenige Dezimeter, wodurch insbesondere der Wurzelraum der Gehölze erheblich eingeschränkt wird. Dementsprechend kommt die zeitweilige scharfe Austrocknung der Standorte vor allem anhand der Gehölzschichten zum Ausdruck, weniger dagegen anhand der naturgemäß weniger tief wurzelnden Bodenvegetation, die oft bereits vergleichsweise mesophile Züge trägt (Foto 9). In besonders niederschlagsreichen, alpenrandnahen Lagen, wie etwa dem Lainbachtal bei Benediktbeuern, kann dies soweit führen, daß sich unter einer edaphischen Trockenheit anzeigenden Baum- und Strauchschicht in der Feldschicht eine ausgesprochen mesophile Artenkombination einstellt, der zahlreiche ansonsten weitverbreitete xerothermophile Elemente wie z. B. *Carex humilis* fast vollständig fehlen, während andererseits frischebedürftige Mesophyten und Laubwaldarten stark in den Vordergrund treten (HÖLZEL 1990). Mit fortschreitender Entfestigung des Substrats und Bodenentwicklung verlieren derartige Standorte vergleichsweise rasch ihren edaphi-

schen Extremcharakter, und die Erico-Pinion-Gesellschaften müssen Bergmischwäldern Platz machen. Die dauerhafte Existenz von Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen auf derartigen pleistozänen Lockersediment-Standorten ist daher in besonders hohem Maße abhängig von einer regelmäßigen Störung der Bodenentwicklung durch morphodynamische Prozesse.

### 3.5.2 Bodentypen

#### 3.5.2.1 Allgemeiner Überblick

Unter Schneeheide-Kiefernwäldern sind fast durchweg rendzinoide Böden anzutreffen. Das Spektrum der Bodenbildungen reicht dabei von Rendzina-Vorstufen wie Carbonat-Festgesteins- und -Lockersyrosem über Mullartige Rendzinen, Typische Rendzinen bis hin zu m.o.w. stark verlehnten Rendzinen und seltener auch Parabraunerde- und Terra-fusca-Vorstufen. Ebenso vielfältig ist auch die Ausprägung der Humusformen; sie reicht von Mull über Mull-Moder bis hin zu m.o.w. mächtigem, vielfach saurem Trockenmoder. Dagegen sind Rohhumus oder tangelartige Humusformen im engeren Sinne nur ausnahmsweise zu finden.

Die Vielfalt der Bodentypen und Humusformen spiegelt die ebenso große Vielfalt der standörtlichen Ausbildungen der Schneeheide-Kiefernwälder wider. Neben den primärstandörtlichen Ausgangsbedingungen kommen anhand der zeitlich gesteuerten Bodenbildung insbesondere auch der Reifegrad der gleichfalls zeitlich gesteuerten Vegetationsentwicklung besonders deutlich zum Ausdruck. Der Reifegrad der Bodenentwicklung läßt daher wichtige Rückschlüsse auf die dynamische Stellung und den Natürlichkeitsgrad der einzelnen Vegetationseinheiten zu.

Alle rendzinoiden Böden unter Schneeheide-Kiefernwäldern zeichnen sich in der Regel bis in den Oberboden durch großen Skelettreichtum sowie hohe pH-Werte und Carbonatgehalte aus. Der Humusgehalt im Oberboden schwankt in sehr weiten Bereichen. Er steigt, ausgehend von den noch extrem humusarmen Syrosem, mit zunehmender Dauer der Bodenentwicklung deutlich an, erreicht bei der Mullartigen Rendzina oft bereits sein Maximum und geht mit zunehmendem Verlehmungsgrad über die Mull-Rendzina bis hin zur Lehmrendzina wieder deutlich zurück. Die Bodenentwicklung führt auf sehr reinen Kalken langfristig (Jahrtausende) in Richtung Terra-fusca (vgl. BIERMAYER & REHFUESS 1985), auf Mischsubstraten mit erhöhtem Silikatgehalt dagegen über eutrophe Braunerden weiter zur Parabraunerde (vgl. REHFUESS 1990).

Mit zunehmender Humusakkumulation, Entcarbonatisierung und Verlehmung verbessern sich die Nährstoff- und Wasserhaushaltseigenschaften der Rendzinen deutlich, und die Standorte verlieren allmählich ihren edaphischen Extremcharakter. Der natürliche Herrschaftsbereich der konkurrenzschwachen Schneeheide-Kiefernwald-Phytozönosen

konzentriert sich dementsprechend auf die jungen, unreifen Rendzina-Entwicklungsstufen, die insbesondere aufgrund ihres angespannten Wasserhaushalts anspruchsvolleren Waldgesellschaften noch keine oder nur eingeschränkte Existenzmöglichkeiten bieten. Reife Rendzinen oder gar Vorstufen zur Terra fusca- und Parabraunerde-Entwicklung sind dagegen in der Regel nur unter ausgesprochenen Sekundärbeständen zu finden. Die m.o.w. enge Bindung an unreife Böden bedingt, daß Schneeheide-Kiefernwälder sich nur auf Standorten dauerhaft zu halten vermögen, die einer regelmäßigen latenten oder Event-artigen Störung der Bodenentwicklung durch Erosions- und Akkumulationsprozesse unterliegen oder auf denen die Bodenentwicklung aufgrund der extremen primärstandörtlichen Ausgangssituation sehr verzögert abläuft und nie über ein relativ unreifes Stadium hinauskommt.

Von ausschlaggebender ökologischer Bedeutung für das Auftreten von Schneeheide-Kiefernwäldern ist zweifelsohne der angespannte Wasserhaushalt der Standorte. Dieser wird aber nicht nur durch den Reifegrad der Böden bestimmt, sondern in ebenso entscheidendem Maße durch die Textur des Ausgangssubstrats, die Reliefposition im Gelände und insbesondere auch durch klimatische Faktoren. Eine alleinige Berücksichtigung der Bodenentwicklung reicht daher zur standörtlichen Charakterisierung von Schneeheide-Kiefernwäldern keinesfalls aus; sie erhält vielmehr erst bei Einbeziehung weiterer den Wasserhaushalt elementar beeinflussender Standortfaktoren wie Allgemein- und Mesoklima, Exposition und Reliefposition etc. eine wirklich indikatorische Bedeutung.

Bei der Auswahl der Bodenprofile wurden schwerpunktmäßig "kritische" Bestände berücksichtigt, bei denen die standörtliche Extremsituation auf den ersten Blick nicht oder nur sehr bedingt zu erkennen war. Auf eine eingehende Analyse von Profilen, bei denen sich bereits auf den ersten Blick eindeutig und zweifelsfrei der edaphische Extremcharakter ablesen läßt (z.B. Syrosem, Protorendzinen), wurde dagegen weitgehend verzichtet, da hiervon kein wesentlicher Erkenntniszuwachs zu erwarten war.

#### 3.5.2.2 Die Böden der Hangstandorte im Tiroler Oberinntal

Die Bodenentwicklung unter Schneeheide-Kiefernwäldern im Oberinntal geht auch bei einer stärkeren Beteiligung von eingemischtem Löß im Ausgangssubstrat fast nirgends über das Stadium einer Pararendzina wesentlich hinaus (Foto 13). Die Prozesse der Carbonatauswaschung, Verlehmung und Verbraunung sind trotz recht hoher silikatischer Anteile meist nur wenig weit vorangeschritten. Neben anthropogen induzierten Erosionsprozessen, die zum Verlust bereits stärker verlehnter Oberböden führten, ist hierfür wohl vor allem auch der relativ trockene Klimacharakter des Tiroler Oberinntals von ausschlaggebender Bedeutung. Auf vergleich-

**Tabelle 3**

**Profil 1:** Analytische Kennzeichnung einer Moder-Pararendzina unter *Erico-Pinetum globularietosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	2 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	7 cm	-	-	-	6,7	6,3	38,6	1,21	31,9
Oh	5 cm	-	67,0	-	7,1	6,7	34,3	1,20	28,7
Ah	0-11 cm	53	12,5	49	7,9	7,5	7,24	0,391	18,5
(Ah)ICv	11-21cm	56	5,6	64	8,2	7,6	2,78	0,193	14,4
II ICv	21-35cm	63	5,4	43	8,4	7,8	-	-	-
ICcv	35-50cm	79	3,9	42	8,5	7,9	-	0,289	-
III ICn	50-70cm	84	1,9	38	8,5	7,7	-	0,105	-

**Tabelle 4**

**Profil 2:** Analytische Kennzeichnung einer Moder-Pararendzina unter *Erico-Pinetum typicum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	3-2 cm	-	-	-	-	5,0	46,2	1,41	32,8
Of	5 cm	-	-	-	5,1	4,8	45,9	1,58	28,9
Oh1	5-3 cm	-	65,0	-	5,1	4,7	32,4	1,16	27,9
Oh2	3 cm	47	56,9	15	6,1	5,7	28,7	1,06	27,1
(Ah)ICv	0-35 cm	74	8,9	44	8,2	7,7	4,12	0,275	15,0
II ICcv	35-60cm	93	5,2	59	8,3	7,9	-	0,168	-

**Tabelle 5**

**Profil 3:** Analytische Kennzeichnung einer Moder-Braunerde-Pararendzina unter *Erico-Pinetum pyroletosum*

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	2-1 cm	-	-	-	5,4	4,8	44,3	1,05	42,3
Of/Oh	5-4 cm	-	-	-	5,2	4,4	30,6	0,958	31,9
Ah	0-12 cm	48	18,1	9,5	7,4	7,1	9,26	0,522	17,7
BvAh	12-34cm	60	9,3	14	7,8	7,4	5,05	0,267	18,9
BvICv1	34-58cm	48	3,0	16	8,1	7,7	-	0,086	-
BvICv2	58-82cm	66	1,1	59	8,3	7,7	-	0,086	-
II ICv	0,82-1m	48	1,0	72	8,4	7,7	-	0,056	-

baren Mischsubstraten (Würmmoräne) sind beispielsweise im sehr niederschlagsreichen südlichen Alpenvorland bereits durchweg Parabraunerden anzutreffen. Neben Pararendzinen, die großflächig auf "normalen" Hangstandorten mit Lößbeimischung unter Schneeheide-Kiefernwäldern eindeutig dominieren, sind im Oberinntal auf jüngeren holozänen Bildungen, wie z. B. Dolomitschuttfächern, auch Rendzinen anzutreffen.

Auffälligstes Merkmal der Böden unter Schneeheide-Kiefernwäldern im Tiroler Inntal ist deren ausgeprägte Tendenz zur Ausbildung mächtiger, biologisch inaktiver Trockenmoderauflagen mit oft stark hervortretenden, lockeren Of-Lagen (Foto 13). Im Vergleich zu den humideren Randalpen ist die Bildung von Trockenmoder unter Schneeheide-Kiefernwäldern im Inntal praktisch flächendeckend

ausgeprägt. Hierfür sind u. a. folgende Faktoren von ausschlaggebender Bedeutung:

- dominantes Auftreten ungünstiger, schwer zersetzlicher und nährstoffarmer Schneeheide-, Kiefern- und Moosstreu,
- starke Hemmung der biologischen Aktivität durch häufige scharfe Austrocknung des Oberbodens infolge des trockeneren und wärmeren Klimas,
- Verlust oder Degradation der Ah-Horizonte durch historische Nutzungen wie Streurechen und/oder intensive Waldweide, Kahlschlagwirtschaft etc. (Nährstoffverarmung, insbesondere Stickstoff).

Die Trockenmoderauflagen erreichen teilweise eine Mächtigkeit von über 15 cm. Die Übergänge zwischen den einzelnen Lagen und auch zum Ah sind

meist äußert unscharf. Selbst lockere Of-Lagen weisen nicht selten humose Mineralbodenkrümel auf, was darauf hindeutet, daß zumindest phasenweise eine stärkere biologische Aktivität herrscht. In der Auflage ist ein Großteil der Stickstoff- und organischen Kohlenstoffvorräte gespeichert.

Die C/N-Verhältnisse liegen, wie für Moderhumusformen typisch, zwischen 28 und 32 (Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5). In Verbindung mit häufiger Austrocknung der Auflagen herrschen somit für die Stickstoffmineralisation sehr ungünstige Bedingungen. Im Vergleich zu randalpischen Rendzinen sind die Humusgehalte im Ah oft erstaunlich gering.

Dies ist wohl vor allem auf frühere standortdegradierende Nutzungen zurückzuführen, wobei insbesondere das im Inntal weit verbreitete Abplaggen der Schneeheide zum teilweisen oder gar vollständigen Verlust des Ah-Horizontes geführt hat. An der Grenze zwischen Auflage und Mineralboden ausgebildete "stone lines" zeugen oft davon, daß nach dem Abplaggen auch ein verstärkter Böschungsabtrag einsetzte.

Die Mineralböden sind bis in den Oberboden sehr carbonatreich und reagieren noch durchweg alkalisch. Zwischen Mineralboden und Auflage besteht oft innerhalb eines Zentimeters ein scharfer Sprung des pH-Werts von über 7 auf unter 5 (Profil 2, Tab 4; Profil 3, Tab. 5). Unter dem Einfluß regelmäßiger Übersättigung oder stärkerer Einwehung von carbonatischen Stäuben reagieren aber selbst mächtige Auflagen allenfalls schwach sauer (Profil 1, Tab. 3).

Angesichts der Tiefgründigkeit und des relativen Feinerdereichtums der im Tiroler Inntal näher analysierten Pararendzina-Profile ist ein ausgesprochener standörtlicher Extremcharakter, insbesondere im Vergleich zu randalpischen Standorten, auf den ersten Blick oft kaum zu erkennen. Doch werden die günstigeren Wasserhaushaltseigenschaften des Substrats, in dem die Pararendzinen entwickelt sind, offenbar mehr als überkompensiert durch die im Vergleich zu den Randalpen wesentlich geringeren Niederschläge und das verdunstungsintensivere Allgemein- und Lokalklima. So waren die im September 1992 ergrabenen Profile 1 und 2 bis an die Profilsbasis staubtrocken; lediglich Profil 3 in den niederschlagsreicheren und kühleren Hochlagen wies im Unterboden noch eine gewisse Restfeuchte auf.

Bei Profil 1 und 2 ist der derzeitige standörtliche Extremcharakter wohl vor allem auch auf eine nachhaltige Degradation durch Nutzungen in der Vergangenheit zurückzuführen, die sich insbesondere in einer deutlichen Schädigung des Humuspotentials niederschlagen. Dies hat neben einer Verschlechterung der Wasserhaushaltseigenschaften insbesondere auch zu einer Verschärfung des ausgeprägten Stickstoffmangels (ungünstige Humusformen) beigetragen. Auch die Versorgung mit K, P und Spurenelementen dürfte trotz recht hoher silikatischer Anteile im Substrat infolge fehlender Verleh-

mung sowie hoher Carbonatgehalte und pH-Werte gleichfalls noch in hohem Maße beeinträchtigt sein.

Wesentlich günstiger hinsichtlich Wasserhaushalt und Nährstoffversorgung ist dagegen Profil 3 (Tab. 5) aus den höheren Lagen des Inntals zu beurteilen, das sich bereits durch eine recht tiefreichende Verlehmung auszeichnet. Von einem standörtlichen Extremcharakter kann bei dieser Braunerde-Pararendzina nicht mehr die Rede sein; es handelt sich vielmehr eindeutig um einen Sekundärstandort, der potentiell bereits heute anspruchsvollere Waldgesellschaften tragen könnte. Dagegen ist bei den Profilen 1 und 2 erst bei einer deutlichen Regeneration des Humuspotentials und fortschreitender Verlehmung mit einer Verbesserung des Standortpotentials zu rechnen. Bei einem Ausbleiben von Störungen (z. B. Kahlschlag) erscheint dies mittelfristig durchaus möglich.

### 3.5.2.3 Die Böden der Hangstandorte in den Bayerischen Alpen

Im Gegensatz zum Tiroler Oberinntal spielen silikatische Fremddecken in den steilen Hanglagen der Bayrischen Randalpen keine oder eine nicht erkennbare Rolle. Stattdessen bilden fast ausschließlich anstehender Hauptdolomit und seltener auch Wettersteinkalk sowie deren Zerfalls- und Umlagerungsprodukte das Ausgangssubstrat für die Bodenentwicklung. Aufgrund des sehr reinen carbonatischen Ausgangssubstrats haben wir es hier nicht mehr mit Pararendzinen sondern durchweg mit Rendzinen zu tun. Die Rendzinen haben im Vergleich zu den Inntaler Pararendzinen mit Ausnahme initialer Bildungen im Durchschnitt beträchtlich höhere Humusgehalte im mineralischen Oberboden, während gleichzeitig die Tendenz zur Ausbildung von mächtigen Trockenmoderauflagen wesentlich schwächer ausgeprägt ist. Statt Moder dominieren eindeutig Mull oder Mullmoder, und selbst reine Moderformen erreichen nie die Mächtigkeit wie im Tiroler Inntal. Dies ist insbesondere auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Dominanz leichter zersetzlicher Gräserstreu mit hoher ober- und unterirdischer Biomasse bei der Humusbildung,
- kühleres und vor allem niederschlagsreicheres Allgemeinklima mit geringerer Häufigkeit und Intensität von Austrocknungsphasen, die zu einem fast völligen Aussetzen der biologischen Aktivität im Oberboden führen,
- schwächere bzw. weniger nachhaltige anthropozogene Standortdegradation in der Vergangenheit,
- sehr effektiver Abtragungsschutz durch Ausbildung von dichtem Wurzelfilz und Streufilzdecken,
- größere Bedeutung schneedynamischer Prozesse, die der Auflagenbildung entgegenwirken.

Aufgrund der geringen Tendenz zur Ausbildung von sauren Auflagen treten Säurezeiger in den Hangla-

Tabelle 6

Profil 4: Analytische Kennzeichnung eines Felshumusboden unter *Calamagrostio-Pinetum primuletosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	1,5-0 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	8-0 cm	-	-	-	7,3	7,0	39,0	1,39	28,2
Oh1	4-3 cm	-	59,4	-	7,4	7,0	32,4	1,48	21,9
Oh2	20-10cm	40	43,0	40	7,4	7,2	22,0	1,26	17,4
(Ah)mCn	0-25cm	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 7

Profil 5: Analytische Kennzeichnung einer Mullartigen/Mullrendzina unter *Calamagrostio-Pinetum teucrietosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	2 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	1-0,5 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Ah	0-15 cm	56	36,6	30	7,4	7,4	19,1	1,24	15,4
Ah mCv	15-35cm	(40)	7,1	75	7,8	7,3	3,75	0,31	11,9
mCv	35-55cm	(36)	4,0	90	7,9	7,4	-	0,07	-

Tabelle 8

Profil 6: Analytische Kennzeichnung einer Mullrendzina unter *Calamagrostio-Pinetum teucrietosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	2-0,5 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	1-0 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Ah	0-15 cm	66	16,0	76	7,7	7,4	10,1	0,71	14,3
Ah ICv	15-35cm	89	1,1	94	8,0	7,5	1,65	0,14	11,5
II ICv	35-60cm	75	2,8	96	8,1	7,4	-	0,11	-

gen der Randalpen im Vergleich zum Inntal wesentlich schwächer oder gar nicht in Erscheinung. Dagegen begünstigen die feuchteren Klimabedingungen, der generelle Humusreichtum und die höhere biologische Aktivität die Stickstoffmineralisation, was u. a. im häufigeren Auftreten recht anspruchsvoller Mullbodenpflanzen zum Ausdruck kommt.

Dagegen dürfte es aufgrund der extrem hohen Carbonatgehalte und pH-Werte bei gleichzeitig geringer Freisetzung von Verlehmungsprodukten im Vergleich zu den primär silikatreicheren Pararendzinen des Inntals noch zu stärkeren Engpässen bei der Versorgung mit P, K und Spurenelementen kommen. Mit fortschreitender Humusakkumulation, Entkarbonatisierung und der Anreicherung von Verlehmungsprodukten wird diese Mangelsituation in ihrer extremen Ausprägung aber deutlich gemildert. Die Wasserhaushaltseigenschaften der Rendzinen verbessern sich mit zunehmender Gründigkeit und

stärkerem Zersetzungsgrad des Ausgangssubstrats und sind damit überwiegend reliefgesteuert.

Das Spektrum der in den Hanglagen der Bayerischen Alpen näher untersuchten Böden (Profil 4 - 8) reicht von einem extrem flachgründigen Felshumusboden (Tab. 6) auf anstehendem Wettersteinkalk über Mull-Rendzinen (Tab. 7, Tab. 8, Tab. 9) verschiedener Gründigkeit bis hin zu einer Terra fusca-Rendzina (Tab. 10). Durch einen erkennbaren standörtlichen Extremcharakter zeichnen sich unter diesen Böden nur die Profile 4, 5 und 6 aus. Dieser ist vor allem begründet im angespannten Wasserhaushalt, der vornehmlich aus der Flachgründigkeit und Steilheit der entsprechenden Standorte resultiert.

Die Stickstoffversorgung dieser Böden ist infolge der dominierenden Mull- und Mullmoder-Humusformen wesentlich günstiger zu beurteilen als bei Profil 1 und 2 im Oberinntal, dürfte aber gleichfalls

Tabelle 9

Profil 7: Analytische Kennzeichnung einer Mullrendzina unter *Calamagrostio-Pinetum knautietosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	3-2 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	4-2 cm	-	73,1	-	6,2	5,9	37,7	1,64	23,1
Ah	0-18 cm	54	24,6	37	7,6	7,2	12,7	0,88	14,5
AhBv	18-30cm	43	3,8	91	8,1	7,4	-	0,14	-
IIBv ICv	30-45cm	55	0,7	94	8,5	7,7	-	0,073	-
ICv	45-80cm	69	0,7	96	8,5	7,6	-	0,069	-

Tabelle 10

Profil 8: Analytische Kennzeichnung einer Moder -Terra fusca-Rendzina unter *Calamagrostio-Pinetum knautietosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pHWert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	7-4 cm	-	-	-	-	-	-	-	-
Of	2 cm	-	-	-	4,6	4,0	46,6	1,81	25,8
Oh	6-4 cm	-	66,6	-	4,5	3,8	34,8	1,49	23,4
Ah	0-16 cm	1	15,8	4,9	7,3	6,8	7,95	0,621	12,8
TAh	16-34cm	32	8,7	39	8,0	7,4	3,84	0,347	11,0
TIcV1	34-48cm	64+X	1,3	78	8,2	7,5	-	0,184	-
II(T)ICv2	48-62cm	66+X	0	83	8,3	7,5	-	0,128	-
ICv	62-92cm	85+X	0	89	8,3	7,6	-	0,108	-

häufiger durch Austrocknung beeinträchtigt werden. Hinsichtlich der Versorgung mit P, K und Spurenelementen ist insbesondere bei den Profilen 4 und 6 aufgrund sehr schwacher Verlehmung und extrem hoher Carbonatgehalte bis in den Oberboden noch mit stärkeren wachstumsrelevanten Engpässen zu rechnen.

Dagegen ist weder bei Profil 7 und noch bei Profil 8 ein standörtlicher Extremcharakter hinsichtlich Wasserhaushalt und Nährstoffversorgung gegeben. Vielmehr handelt es sich dabei sogar um vergleichsweise tiefgründige und reife Böden mit günstigen chemischen Eigenschaften, die potentiell zweifelsfrei Bergmischwälder tragen könnten. Dies ergibt sich vor allem aus dem Vergleich mit benachbarten Bergmischwaldbeständen, die teilweise sogar auf weniger günstigen Böden stocken.

Vergleicht man die eigenen analysierten Profile mit Profilen anderer Autoren von Dolomitstandorten in den Bayerischen Alpen (BIERMAYER 1981, MISHRA 1982, BOCHTER 1984, BOSCH 1986), die unter Bergmischwäldern aufgenommen wurden, so fällt auf, daß bodentypologische Unterschiede zwischen Bergmischwäldern und Schneeheide-Kiefernwäldern oft nur in erstaunlich geringem Maße bestehen. Dies ist wohl vor allem darauf zurückzuführen, daß der entscheidende ökologische Faktor für das Auftreten von Schneeheide-Kiefernwäldern der angespannte Wasserhaushalt der Standorte ist; dieser wird aber nicht nur durch den Bodentyp, sondern

in hohem Maße auch durch die Geländemorphologie und klimatische Faktoren (z. B. Exposition, Föhneinfluß) bestimmt! Bodenchemische Faktoren scheinen demgegenüber eher von sekundärer Bedeutung zu sein bzw. erst in Verbindung mit einem angespannten Wasserhaushalt an Bedeutung zu gewinnen, da Bodenprofile, die hinsichtlich Reife und Gründigkeit den eigenen von mutmaßlich primären Schneeheide-Kiefernwaldbeständen weitgehend entsprechen, beispielsweise in Nordexposition bereits durchweg Bergmischwälder tragen.

#### 3.5.2.4 Die Böden der Auenstandorte in den Bayerischen Alpen

Die Böden der alluvialen Schneeheide-Kiefernwälder unterliegen rezent in aller Regel nicht mehr der spezifischen, durch regelmäßige Überflutung, Sedimentation, Organismenaustausch etc. geprägten Auendynamik. Es handelt sich vielmehr lediglich um ehemalige, "fossile" Auenstandorte, die rezent zumeist von einer rein terrestrischen Dynamik beherrscht werden. Folgerichtig ist es durchaus mißverständlich, in diesem Zusammenhang auenspezifische Termini bei der Bezeichnung entsprechender Böden zu benutzen (z. B. SEIBERT 1958), insbesondere, wenn damit mehr als eine geographische Lagebeziehung zum Ausdruck gebracht werden soll.

Gemäß des kalkalpischen Einzugsgebiets von Lech, Loisach und Isar bilden Kalke und Dolomite der

**Tabelle 11**

**Profil 9:** Analytische Kennzeichnung einer Borowina unter *Calamagrostio-Pinetum thesietosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	3-1 cm	-	-	-	6,6	6,2	38,6	1,25	30,8
Of	3-2 cm	-	-	-	6,8	6,3	39,4	1,31	30,1
Oh	1 cm	-	37,3	-	7,4	7,0	24,8	0,93	26,7
Ah	0-18 cm	1	12,0	79	7,8	7,4	6,77	0,42	16,2
IIAh ICv	18-30cm	65 + X	1,5	94	8,3	7,7	-	0,13	-
ICv	30-55cm	65 + X	0,8	99	8,8	7,9	-	0,07	-

**Tabelle 12**

**Profil 10:** Analytische Kennzeichnung einer Moder-Borowina unter *Calamagrostio-Pinetum vacciniotosum*.

Horizont	Mächt./ Tiefe	Skelett (Gew.%)	Humus (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	Corg (Gew.%)	N (Gew.%)	C/N
L	3-1 cm	-	-	-	5,4	4,8	47,5	1,31	36,2
Of	5-2 cm	-	-	-	5,3	4,8	45,9	1,53	30,1
Oh	4-0 cm	-	64,3	-	6,6	6,2	31,7	1,45	21,9
Ah	0-8 cm	82	27,8	42	7,5	7,3	15,0	0,87	17,2
ICv	8-55 cm	83+X	0,9	99	8,5	7,7	-	0,09	-

alpiden Trias und des Jura auch in den Auen meist über 90% des Sedimentbestandes, wobei der Hauptdolomit aufgrund seiner weiten Verbreitung und der ausgeprägten Tendenz zur Schuttbildung in der Regel deutlich dominiert. Selbst an den Laufabschnitten im Alpenvorland übersteigt der Anteil an Quarziten und Sandsteinen aus Flysch und Molasse sowie zentralalpischer kristalliner Erratiker kaum 10-12 % (JERZ et al. 1988). Dementsprechend finden sich bodentypologisch wieder durchweg Böden der Rendzina-Entwicklungsserie.

Bei den Schneeheide-Kiefernwaldstandorten der Auen handelt es sich in erster Linie um feinerdearme, stark schotterige oder kiesige Ablagerungen, die keine oder nur eine geringmächtige (Fein-) Sandüberlagerung aufweisen. Auf tiefgründig-feinerdereichen, schluffig-sandigen Ablagerungen vermögen sich Schneeheide-Kiefernwald-Phytözosen dagegen meist erst bei stärkerer menschlicher Einflußnahme zu etablieren. Ohne degradierenden menschlichen Einfluß bleiben diese Substrate auch bei Fossilierung der Aue noch von mesischen Dauergesellschaften wie Lavendelweidengebüschen und Grauerlenwäldern besetzt, die dann meist direkt von klimaxnahen Gesellschaften wie z. B. Ahorn-Eschenwäldern abgebaut werden.

Da viele der alluvialen Schneeheide-Kiefernwaldstandorte erst im Verlauf dieses Jahrhunderts entstanden sind (siehe Kap. 3.4.2.1), findet man auf vergleichsweise großer Fläche sehr junge Initialstadien der Bodenentwicklung, wie Kalk-Lockersyrosem (Kalk-Rambla) und Protorendzinen (Protobo-

rowina) (Foto 4). Etwas weiter fortgeschritten ist die Bodenentwicklung nur, wenn eine sandige Überlagerung vorliegt, was aber gerade bei den sehr jungen Terrassen recht selten der Fall ist, da die zumeist anthropogen induzierten Flußeintiefungen in der Regel sehr rasch erfolgen.

Die Bodenentwicklung auf den jungen Schotterterrassen geht in der Regel bisher kaum über eine schwache, oberflächliche Humusakkumulation hinaus. Die ökologischen Eigenschaften der Böden entsprechen daher noch weitgehend denen des Ausgangssubstrats, werden also primär von dessen Textur bestimmt. Die geringe wasserhaltende Kraft der kiesig-schotterigen Ablagerungen lassen in Verbindung mit allenfalls initialer Bodenbildung extrem trockene und nährstoffarme edaphische Extremstandorte entstehen, die nur von einzelnen krüppeligen Kiefern überstellt sind und auch am Boden nur eine sehr lückenhafte, von Spaliersträuchern wie *Dryas octopetala* dominierte Vegetation aufweisen (Foto 4). Der edaphische Extremcharakter dieser Standorte ist derart augenfällig, daß auf eine eingehende Profilanalyse an dieser Stelle verzichtet werden kann, die sich ohnehin im wesentlichen auf eine Beschreibung der Substrattextur reduzieren würde.

Eine Verbesserung der standörtlichen Extremsituation hinsichtlich Wasser- und Nährstoffhaushalt erfolgt erst mit zunehmender Humusakkumulation und Karbonatlösung. Doch schreitet die Humusakkumulation angesichts der extrem geringen Biomasseproduktion oft nur sehr zögerlich voran. Im Extremfall kann die Ausbildung eines durchgängigen,

etwa dezimetermächtigen Humusanreicherungshorizonts auf Grobschotterstandorten mehrere hundert Jahre in Anspruch nehmen, auf stärker sandigen Substraten allerdings auch bereits innerhalb einiger Jahrzehnte vonstatten gehen.

Durch zunehmende Humusakkumulation und Kalklösung gehen aus den initialen Bodenbildungen Rendzinen hervor, die sich durch eine wesentlich stärkere alterungsbedingte pedogenetische Differenzierung auszeichnen und dadurch über die Substrattextur hinausgehend das Erscheinungsbild der darauf stockenden Kiefernwälder maßgeblich beeinflussen. Besonders deutlich wird dies anhand von zwei in der Isaraue bei Krün analysierten Rendzinen (Borowinen) (Tab. 11, Tab. 12). So zeichnet sich Profil 9 auf einer jüngeren Terrasse infolge einer geringmächtigen Sandüberlagerung durch eine deutlich günstigere Substrattextur aus als Profil 10 (Foto 19) auf der höhergelegenen älteren Terrasse, die bis zur Oberfläche aus extrem groben und feinerdearmen Schottern aufgebaut ist.

Aufgrund des höheren Alters von Profil 10 sind aber Humusakkumulation und Carbonatlösung in der Feinerde bereits deutlich weiter fortgeschritten als bei Profil 9. Trotz der gröberen Substrattextur zeichnet sich Profil 10 deshalb in punkto Wasser- und Nährstoffhaushalt durch wesentlich mesischere Standortbedingungen aus als der Boden der jüngeren Terrasse mit Sandüberlagerung, was anhand der Vegetation sehr deutlich zum Ausdruck kommt. So wächst auf der unteren Terrasse nur ein schütterer Spirkenbestand, während auf der Oberen Terrasse bereits ein vergleichsweise wüchsiger Mischbestand aus Waldkiefern und Fichten zu finden ist (vgl. Abb. 12, Kap. 6.2.2.2). Der Wasserhaushalt von Profil 10 wird insbesondere durch die Ausbildung einer mächtigen, sauer reagierenden Moderauflage günstig beeinflusst. Die Ausbildung derart mächtiger Moderauflagen unter Schneeheide-Kiefernwäldern, die an die Trockenmoderhumusformen im Tiroler Inntal erinnern, ist in den Randalpen eine spezifische Erscheinung grobkörniger, extrem feinerdearmer Schotterablagerungen in ebener oder nur schwach geneigter Lage.

Anhand von Profil 10 wird aber auch deutlich, daß sich selbst auf alluvialen Schotterstandorten mit extrem grober Substrattextur durch fortschreitende Bodenentwicklung langfristige Bedingungen einstellen, die die Existenz klimaxnaher Schlußwaldgesellschaften ermöglichen. Die heute in den Auen der Alpenflüsse noch großflächig auftretenden, standörtlich extremen Rohbodenstandorte dürfen daher nicht darüber hinwegtäuschen, daß auch diese durch fortschreitende Bodenentwicklung mittel- und langfristige ihren derzeitigen Extremcharakter verlieren werden.

Als wesentliche Ergebnisse der bodenkundlichen und standortkundlichen Betrachtungen bleibt folgendes festzuhalten:

Mutmaßliche Primärbestände von Schneeheide-Kiefernwäldern zeichnen sich sowohl im Inntal als auch in den Randalpen durch vergleichsweise unreife und/oder extrem flachgründige Böden aus. Bei Berücksichtigung weiterer Faktoren, die den lokalen Wasserhaushalt beeinflussen, wie Klima, Relief, Exposition und Föhninfluß, sind diese deutlich als Trockenstandorte zu identifizieren. Daneben sind unter Schneeheide-Kiefernwäldern aber auch verbreitete Böden (Profile 3, 7, 8) anzutreffen, bei denen ein derartiger standörtlicher Extremcharakter, insbesondere im Vergleich zu benachbarten klimaxnahen Schlußwaldgesellschaften, kaum zu erkennen ist.

Hinsichtlich Gründigkeit und Reife der Bodenentwicklung (Profile 3 und 8) handelt es sich dabei oftmals sogar um vergleichsweise günstige Standorte, deren Potential zweifelsfrei bereits heute anspruchsvollere Waldgesellschaften zuließe. Die Tatsache, daß auf diesen Standorten heute Schneeheide-Kiefernwälder stocken, läßt sich somit alleine anhand natürlicher standörtlicher Faktoren kaum erklären; hierfür müssen vielmehr andere Faktoren von maßgeblicher Bedeutung sein, worauf im nächsten Kapitel einzugehen sein wird.

Bei der Beschreibung der einzelnen Vegetationseinheiten wird zur Erklärung der floristischen Differenzierung innerhalb der Schneeheide-Kiefernwälder nochmals auf die vorangestellten Profilbeschreibungen zurückgegriffen.

#### 4. Vegetations- und Nutzungsgeschichte

##### 4.1 Zur Rolle der Kiefer im Rahmen der spät- und postglazialen Vegetationsentwicklung im Alpenraum

Da die ökologische Rolle der Kiefer im Spätglazial und frühen Holozän ebenso wie deren Reaktion auf verstärkte anthropo-zoogene Beeinflussung der Landschaft entscheidend zum Verständnis der rezenten Verbreitung, Ökologie und Dynamik von Schneeheide-Kiefernwäldern im Untersuchungsgebiet beiträgt, soll vegetationsgeschichtlichen Aspekten an dieser Stelle etwas breiterer Raum gewährt werden.

Wesentliche Erkenntnis zu diesem Fragenkomplex vermag die Pollenanalyse in recht detaillierter Weise zu liefern. Allerdings stößt eine Interpretation von Pollendiagrammen hinsichtlich der Gattung *Pinus* auf einige methodische Schwierigkeiten, die es zu beachten gilt:

- Die Gattung ist im Untersuchungsgebiet mit drei Arten, *Pinus sylvestris*, *P. mugo* und *P. cembra* vertreten, deren Pollen sich nicht bzw. nur sehr schwer unterscheiden lassen. In den Pollendiagrammen erfolgt daher meist keine Unterscheidung der einzelnen Arten, lediglich *Pinus cembra* wird in einigen neueren Pollendiagrammen getrennt aufgeführt. Interpretationschwie-

**Anschrift des Verfassers:**

Norbert Hölzel  
Lehrbereich Geobotanik  
Forstwiss. Fakultät der LMU  
Hohenbachernstraße 22  
85354 Freising-Weihenstephan  
Telefon: 08161/71-4732  
Telefax: 08161/71-4738

**Laufener Forschungsbericht 3**

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)  
ISSN: 0946-5006  
ISBN: 3-931175-16-2

---

Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege ist eine dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen angehörende Einrichtung.

---

Schriftleitung und Redaktion: Dr. Notker Mallach (ANL) und Marianne Zimmermann (ANL)

Für die Einzelbeiträge zeichnen die jeweiligen Referenten verantwortlich.

Die Herstellung von Vervielfältigungen - auch auszugsweise - aus den Veröffentlichungen der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege sowie deren Benutzung zur Herstellung anderer Veröffentlichungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung.

Satz: Marianne Zimmermann, ANL  
Druck und Bindung: ANL  
Druck auf Recyclingpapier (aus 100% Altpapier)