

Carinthia II	183./103. Jahrgang	S. 613–645	Klagenfurt 1993
--------------	--------------------	------------	-----------------

# Waldzustand, Immissions- und Standorteinflüsse im Petzengebiet, Kärnten

Geökologisch-immissionsökologische Analyse der Waldzustandserfassung aus Farbinfrarot-Luftbildern

Von Martin SEGER

Mit 3 Karten, 10 Abbildungen und 12 Tabellen

## VORBEMERKUNGEN

### Zielsetzungen

Seit längerer Zeit ist der zum Teil bedenkliche Waldzustand im nordöstlichen Bereich des Petzenstockes bekannt. Sowohl über die Befunde der Waldzustandsinventur als auch über die Nadelanalyse-Werte des Bioindikatornetzes sind verstärkte Verlichtungen der Fichte und deutliche Luftschadstoffeinflüsse nachgewiesen. Der teilweise auffällig schlechte Kronenzustand der Fichte kann auch mit den überaus dürrtigen Standortbedingungen zusammenhängen. Es ist aber zu vermuten, daß bei winterlichen Inversions-Wetterlagen und mit Hangaufwinden aus östlicher Richtung Emissionen sowohl von einer Blei-Zink-Röstanlage in Mežica als auch von der Industrie und dem kalorischen Kraftwerk in Ravne (Gutenstein), beide unmittelbar benachbart und in Slowenien gelegen, wirksam werden. Von besonderer Bedeutung können jedoch auch Zuwehungen von sauren Abgasen aus dem nur 25 km entfernten thermischen Kraftwerk Šostanj (Schönstein) sein, welches Braunkohle minderer Qualität in großen Mengen verfeuert. Damit sind bereits die Zielsetzungen und Problemstellungen der vorliegenden Untersuchung umrissen. Es ist zu klären,

- ob und wie der Waldzustand im Petzenmassiv und im südlich anschließenden Bergland differenziert ist,
- ob und inwieferne aus dem Waldzustand ein Zusammenhang zur Immissionssituation abgeleitet werden kann, oder
- ob der Waldzustand mit anderen Parametern, z. B. Standort- und Bestandesmerkmalen, in Beziehung steht.

Die empirisch-analytische Studie verfolgt damit immissionsökologisch-standortökologische Zielsetzungen im regionalen Maßstab. Mit der Er-

fassung der Luftschadstoffbelastung und von Standort- und Bestandesmerkmalen geht die Arbeit über die Erfassung des Waldzustandes hinaus. Dennoch ist die räumlich differenzierte und arbeitstechnisch anspruchsvolle Waldzustandsermittlung aus Farbinfrarot-Luftbildern als Kosten- und Aufwandsschwerpunkt dieser Untersuchung anzusehen. Sie basiert auf einem Meßflug des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Wien, aus dem August 1985. Es wurden drei Flugstreifen in etwa nordost-südwestlicher Richtung in den Maßstäben 1:4000–1:8000 geflogen. Sie umfassen das Gebiet des Petzenstockes südlich der Linie Globasnitz–Hotel Petzenkönig und das Bergmassiv Homaberg–Haberkopf westlich der Straße über den Luschasattel. Die beiden westlichen Flugstreifen ziehen, annähernd parallel zum Grenzverlauf, weit südwärts und erfassen das Gebiet Leppengraben–Koprein sowie Remscheniggraben–Kuratkogel-Felsentore. Die dabei aufgenommenen und auch zur Waldzustandserfassung verwendeten Waldbestände sind in einer Karte festgehalten, die auch die notwendigen topographischen Angaben enthält. Die Karte für den Waldzustand der Fichte zeigt im Nordosten einen vierten Flugstreifen, der 1984 hergestellt wurde. Die Untersuchung wurde im Rahmen der Forschungsinitiative gegen das Waldsterben durchgeführt und vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung finanziert.

### Stand der Forschung

Es ist nicht die Aufgabe dieser Studie, auf die Probleme der Waldschadensforschung in extenso einzugehen. Dennoch sollen hier einige wesentliche Fragen und relevante Arbeiten angesprochen werden. Die vorliegende Studie ist zwei unterschiedlichen empirischen Ansätzen zuzuordnen, die beide implizit theoriegeleitet begründet sind: der Waldzustandserfassung und der standortbezogenen ökologischen Zusammenhangsanalyse. Als dritter und spezifisch geographisch-geoökologischer Aspekt tritt die räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebietes und der regionale Maßstab der Analyse hinzu, der in bezug auf die standortökologischen Parameter zur Verwendung schon verfügbarer oder leicht erfassbarer Merkmale zwingt.

Die Waldzustandserfassung geht von der **Theorie der Kronenverlichtung** als Folge suboptimaler ökologischer Bedingungen aus. Die Frage nach den Schadensursachen und ob mit der Verlichtung Vitalitätseinbußen vorhanden sind, wird dabei a priori ausgeklammert. Die Methode der Erfassung von Verlichtungsstufen ist in Europa weit verbreitet (HANISCH/KILZ 1990) und wird in Österreich seit 1984 jährlich und bundesweit angewandt (POLLANSCHÜTZ et al. 1985). Die Zustandserfassung über den Farbinfrarotfilm basiert auf der Tatsache, daß in diesem sowohl Nadelverfärbungen wie Nadelverluste (durch Farb- und Farbmustermerkmale) als auch Gestaltmerkmale der Krone erkannt werden können (HARTMANN und UEBEL 1986). Zustandsinventuren mittels Fernerkundung wurden in Österreich bereits häufig durchgeführt (z. B. ZIRM und FIBICH 1986, HACKL 1987).

Die räumlich-regionale Ursachenforschung folgt den Ansätzen der **Ökosystemtheorie**. Standort- und immissionsökologische Faktoren, Bestandesmerkmale und anthropogene (Bewirtschaftungs-)Einflüsse zählen zu den wichtigsten Parametern, wenn, wie im vorliegenden Fall, pathogene und parasitäre Einflüsse auszuschließen sind. Die Methode bietet den Vorteil regionaler, d. h. nicht auf Einzelstandorte beschränkter Aussagen, ist aber zugleich durch die indikatorische Funktion der verfügbaren Variablen und durch deren häufig qualitativen Charakter eingeschränkt. Zugehörige Untersuchungen sind noch relativ selten (MÖSSMER 1986, NEUMANN 1988, SEGER 1989).

### **Methode der Waldzustandserfassung**

Die Erfassung des Waldzustandes erfolgt nach dem Standardverfahren, welches für die Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern in Österreich mittlerweile üblich ist. Untersuchungseinheiten sind Waldbestände, die nach Bestandes- und Standortmerkmalen als homogen angesehen werden können. Bestände der Wuchsklasse schwaches Baumholz und älter werden für die Untersuchung herangezogen, sofern sie im Luftbild entsprechend beleuchtet und damit interpretierbar sind. Aus den Bäumen dieser Bestände wird über eine Rasterstichprobe ein Sample von mindestens 15 Einzelbäumen ermittelt, vorzugsweise wird die Hauptbaumart Fichte erfaßt.

Der **Kronenzustand** dieser Individuen wird anhand eines differenzierten Bestimmungsschlüssels und aufgrund bildsichtbarer Gestalt- und Farbmuster-Merkmale analysiert und typisiert. Es werden vier Kronenzustandsstufen unterschieden (vgl. Interpretationsschlüssel, Anhang 1). Sie zeigen bei der Fichte ungeschädigte (Stufe 1), leicht verlichtete (Stufe 2), deutlich verlichtete (Stufe 3) und stark verlichtete bis absterbende Kronenzustände (Stufe 4) an. Für die weiteren Baumarten, für Tanne, Buche, Lärche und Kiefer, wird analog vorgegangen. Die Bestimmung der Kronenzustandsstufen wird von erfahrenen Interpreten am Gerät WILD Aviopret ATP4 vorgenommen.

Der **Waldzustand** nach Baumarten und Untersuchungseinheiten (Beständen) ergibt sich aus den Anteilen der vier Kronenzustandsstufen. Aus diesen Häufigkeiten wird als gewichtetes arithmetisches Mittel ein Waldzustandswert  $\bar{X}$  gebildet. Er variiert für die Baumart Fichte zwischen 1.8 (guter Waldzustand) und 2.3 (schlechter Zustand), ist bei der Tanne ähnlich und bei den übrigen Baumarten deutlich niedriger (1.4–2.2). Der Waldzustandswert ist für die einzelnen Baumarten in Bestandeskarten festgehalten, sofern im betreffenden Areal eine Stichprobe von mindestens 15 Individuen einer Baumart erfaßt wurde. Wegen ihrer weiten Verbreitung wird jedoch, wie allgemein üblich, der Zustand der Hauptbaumart Fichte weiter untersucht und mit anderen Parametern des Standortes in Beziehung gesetzt.

Diese Parameter beschränken sich aus arbeitstechnischen Gründen auf leicht erfaßbare Standort- und Bestandesmerkmale, die zum Teil topographischen und thematischen Karten (Geologie), zum Teil der Bildinter-

pretation entstammen. Im Rahmen der Zusammenhangsanalyse oder Differentialdiagnose wird geprüft, ob bestimmte Ausprägungen dieser Zusatzmerkmale mit dem beobachteten Waldzustand in Beziehung gesetzt werden können. Der ökologisch komplexen Situation entsprechend, sind monokausale Zusammenhänge nicht zu erwarten, und vielfach gilt eine zumindest trendmäßige Beziehung bereits als bestmögliches Resultat. Multivariate Analysen haben sich wegen der weiten Streuung des Waldzustandes als nicht durchführbar erwiesen. Dies auch deshalb, weil bei einer Partition der Gesamtstichprobe in Untereinheiten rasch heterogene Sachverhalte zutage treten.

### Kennzeichnung des Untersuchungsgebietes nach Waldtypen

Der Waldbestand zwischen dem Petzenstock und den östlichen Karawanken wird nach Waldtypen vorgestellt, die hier nicht vegetationskundlich, sondern über die Mengung der Hauptbaumarten definiert sind. Die Daten dazu stammen aus der Bildinterpretation, beziehen sich jeweils auf ausgegrenzte Bestände und dokumentieren so gerade jene Waldflächen, in denen eine Zustandserfassung durchgeführt wird.

Die **Baumartenzusammensetzung** liegt für 881 Untersuchungseinheiten (Bestände) vor. Eine Klassifikation und Gruppierung nach Ähnlichkeitsmerkmalen wird über eine Clusteranalyse erreicht. Es wurden neun Baumarten-Zusammensetzungs-Cluster gebildet. Sie stellen die Waldtypen des Untersuchungsraumes dar und werden nach den dominanten Baumarten benannt (Tab. 1). Der reine Fichtenwald bzw. Fichtenforst (durchschnittlicher Fichtenanteil 81%) herrscht vor (38% der Wälder), gefolgt von Buchen- und Buchenmischwäldern (29%). Lärchen- und Lärchen-Fichten-Bestände erreichen 21%, Bestände mit Kiefern 10% des Untersuchungsgebietes.

Aufschlußreich ist eine Aufgliederung der Waldtypen nach der Höhe (Abb. 1). Sie zeigt die zum Teil noch autochthone Vielfalt der Wälder

Tab. 1: Waldtypen nach der Baumartenzusammensetzung.  
Ergebnis einer Clusteranalyse über 881 Fälle (Bestände).

Waldtyp	Clusterzentren für Baumarten, mittlere Häufigkeit in %					Häufigkeit der Typen in %
	Fichte	Tanne	Buche	Lärche	Kiefer	
1, Fichte	81	3	7	7	2	38
2, Lärche-Fichte	50	2	5	42	1	10
3, Lärche	10	1	4	85	1	11
4, Lärche-Kiefer	12	2	7	44	36	2
5, Kiefer	7	0	4	8	81	4
6, Kiefer-Fichte	36	1	11	9	45	4
7, Tanne-Fichte-Buche	34	36	24	5	0	2
8, Buche-Mischwald	11	2	81	4	1	15
9, Buche	26	4	46	20	4	14

im Untersuchungsraum, die Differenzierung nach den Höhenstufen und nach der Standortgunst. Auf extrem mageren Standorten, vorwiegend über Kalk und im vielfach felsig steilen Gelände, stocken autochthone Kiefern und Kiefern-Fichten- bzw. Kiefern-Lärchen-Bestände (Typen 5, 4, 6) bis in 1500 m Höhe. In besseren Lagen finden sich reine Buchenbestände und Buchen-Mischwälder bis in gleiche Höhe. Sie umfassen zusammen etwa ein Drittel der Waldfläche und stellen die natürliche Vegetation dieser Höhenstufe dar. Zwischen 800 m und 1200 m besteht der Wald noch zu mehr als 50% aus diesen unterschiedlichen Buchenbeständen. Die Buche war ursprünglich wesentlich stärker verbreitet, sie wurde vielfach durch Fichtenforste, z. T. auch durch die Lärche ersetzt. Die Fichtenwälder unter etwa 1200 m und die Fichten-Kiefern-Bestände am Bergfuß sind durch forstliche Maßnahmen entstanden, besonders am Nordhang des Petzenstockes ist aber die autochthone Bu-

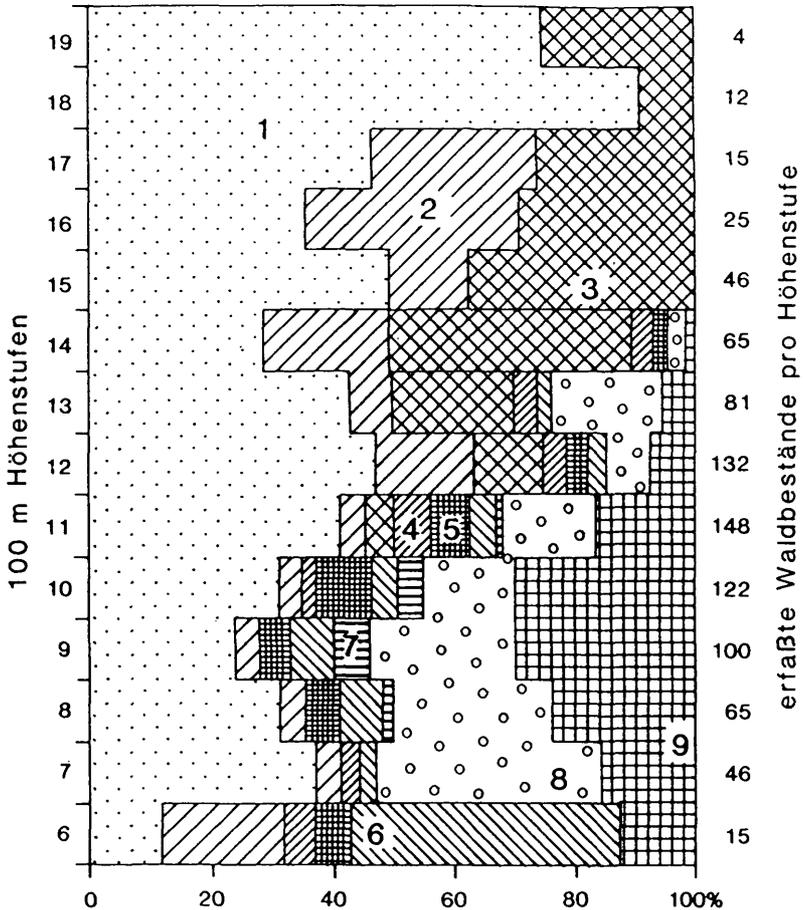


Abb. 1: Waldtypen des Gebietes Petzen-östliche Karawanken im Höhenprofil. Baumarten-Mengungstypen 1-9, vgl. Tab. 1.

chenstufe noch weitgehend erhalten. Mit der Höhe nehmen Fichte und Lärche auch naturgemäß zu. Der artenreiche Tannen-Fichten-Buchen-Bestand ist nur gering vertreten.

Wie später noch zu zeigen ist, hat der Waldtyp auch eine Bedeutung bei der Erklärung des Waldzustandes der Fichte. Bevor aber die Differenzierung des Waldzustandes erläutert wird, ist auf die Immissionsituation im Untersuchungsgebiet einzugehen.

## DIE SO<sub>2</sub>-BELASTUNG IM PETZENGEBIET

### Schadstoffbelastung im Höhenprofil

Zur Überprüfung der vermuteten Luftschadstoffbelastung durch SO<sub>2</sub> wurde im Winter 1984/85 eine umfangreiche Meßkampagne durchgeführt, die neben einem Profil von Loibach auf den Petzenstock auch eine Meßkette über den Kömmelberg in das Lavanttal und von dort auf die Koralpe und die Saualpe umfaßte. Als bewährtes und vergleichsweise preisgünstiges Verfahren wurde die Erfassung der Schwefelbelastung mittels Barytlappen gewählt (Bleikerzenmethode). Dieses Verfahren ergibt einen integralen, d. h. über die Meßperiode (hier 28 Tage) gemittelten Belastungswert, der in mg SO<sub>3</sub>/100 cm<sup>2</sup>/28d ausgedrückt wird. 52 Meßstationen, davon 8 im Petzenprofil, wurden über 8 Meßperioden vom 9. September 1984 bis 20. April 1985 beprobt. Die Laborauswertung erfolgte durch Dr. J. Adlmanseder, die Ergebnisse für das Petzenprofil zeigt Tabelle 2. Sie erlauben die folgenden Aussagen:

- Die SO<sub>2</sub>-Belastung zeigt einen eindeutigen Zusammenhang mit dem winterlichen Witterungsverlauf, was auf die geringen Luftmassenverfrachtungen in dieser Jahreszeit zurückgeführt wird. Die Belastungszunahme (vgl. Abb. 2 und 3) erstreckt sich über alle Höhenstufen, sie ist jedoch in tieferen Lagen stärker als in größeren Höhen. Hier wird die Obergrenze der winterlichen inversen Temperaturschichtung und des Kaltluftsees im Klagenfurter Becken sichtbar.

Tab. 2: SO<sub>2</sub>-Belastung im Höhenprofil Petzen-Loibach, Kärnten.  
Angaben in mg SO<sub>3</sub>/28 d, 8 Meßperioden 9. 9. 1984 bis 24. 3. 1985.

Stationen	Meßperiode							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1, 1630 m östl. Berggasthof	1.4	1.4	1.8	2.7	4.3	1.6	1.6	0.5
2, 1480 m östl. Talstat. Schlepplift	0.5	2.0	2.6	3.2	—	1.9	3.0	0.3
3, 1220 m Petzenstraße	3.1	1.3	7.7	4.1	7.5	5.7	4.9	0.3
4, 930 m JH Skutel	1.3	2.2	5.0	7.6	11.2	11.5	10.1	0.2
5, 770 m geschützte Lage	1.1	2.1	5.0	5.0	7.7	8.3	5.5	0.1
6, 660 m WH Maut	—	3.0	8.1	5.8	10.3	5.0	9.8	0.1
7, 520 m südl. Loibach	4.5	3.5	9.1	10.2	10.6	15.2	13.1	2.8
8, 500 m östl. Loibach	5.0	3.7	8.9	8.9	12.0	19.5	12.5	4.4

Meßperioden: 1: 9. 9.–7. 10. 1984, 3: 4. 11.–2. 12. 1984, 5: 30. 12. 1984–27. 1. 1985, 7: 24. 2.–23. 3. 1985, Perioden 2, 4, 6, 8 dazwischen.

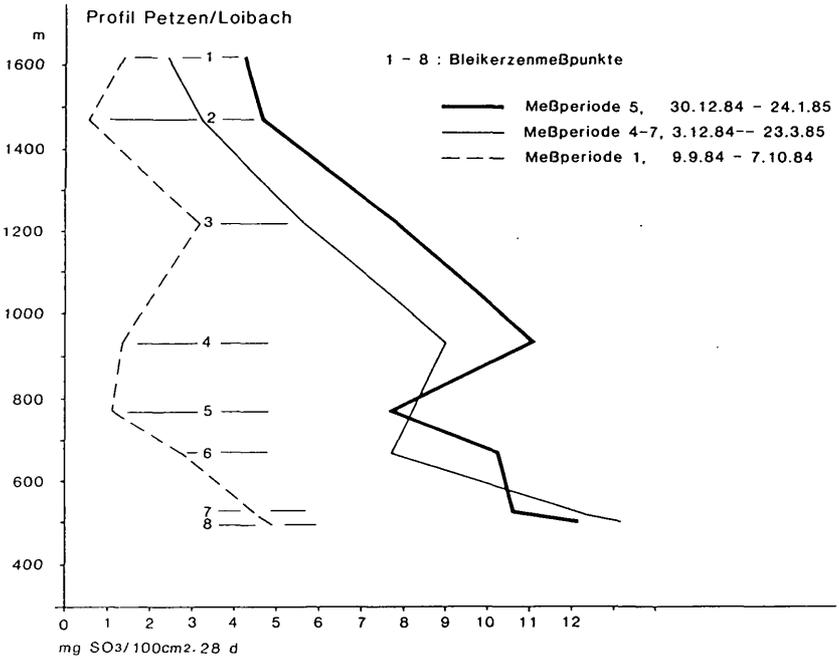


Abb. 2: Höhen- und Jahreszeitenabhängigkeit der SO<sub>2</sub>-Belastung am Petzen-Nordhang.

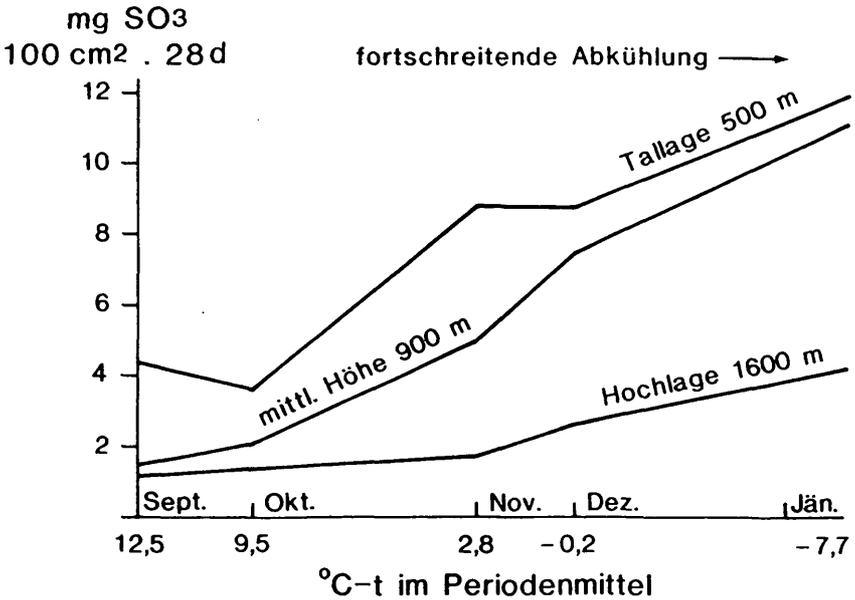


Abb. 3: SO<sub>2</sub>-Belastung und winterliche Temperaturinversion: mittlere Höhen mit Zunahme der Inversionshöhe belastet! Meßkampagne 1984/85 (vgl. Tab. 2).

- Die Obergrenze der Inversion ist im Herbst noch niedrig, wodurch die im Verlauf des Winterhalbjahres steigende Luftbelastung sich zunächst nur in den Tallagen auswirkt (Abb. 3). Mit zunehmender Abkühlung nimmt die Inversionsmächtigkeit an Höhe zu, und nun werden auch Gebiete in mittleren Höhen in die Belastungszone innerhalb der Inversion miteinbezogen. Die Hochlagen verbleiben jedoch auch im Hochwinter meist außerhalb der Inversion, weshalb der Belastungsanstieg dort nur sehr gering ist. Generell ist die Schadstoffbelastung im Winter bis in etwa 1000 m Höhe eher konstant, um darüber kontinuierlich abzunehmen.
- Ein Belastungsprofil vom Petzenstock nordwärts bis zum Lavanttal (Abb. 4) zeigt die höchsten SO<sub>2</sub>-Werte in der Senke von Loibach-Bleiburg und am Prallhang der St. Pauler Berge. Wie andere Untersuchungen gezeigt haben (STRUWE-SPRINZL 1986), hängen diese mit Luftströmungen aus dem Osten zusammen.
- Die winterliche Belastung im Petzenprofil ist etwas stärker als jene der Profile an der Saualpe und der Koralpe (Abb. 5), die geringe frühherbstliche Belastung dagegen jenen sehr ähnlich.

Die SO<sub>2</sub>-Belastung zeigt das typische Bild einer winterlichen Luftschadstoffsituation in inneralpinen Beckenlagen, die durch lokale Emittenten hervorgerufen und regional verfrachtet wird und die mit der Höhe abnimmt. Daneben sind aber auch in großer Höhe Schadenseinflüsse vorhanden, die über ein Verfahren des Biomonitoring, nämlich über die Verwendung von epiphytischen Flechten als Bioindikatoren, festgestellt wurden.

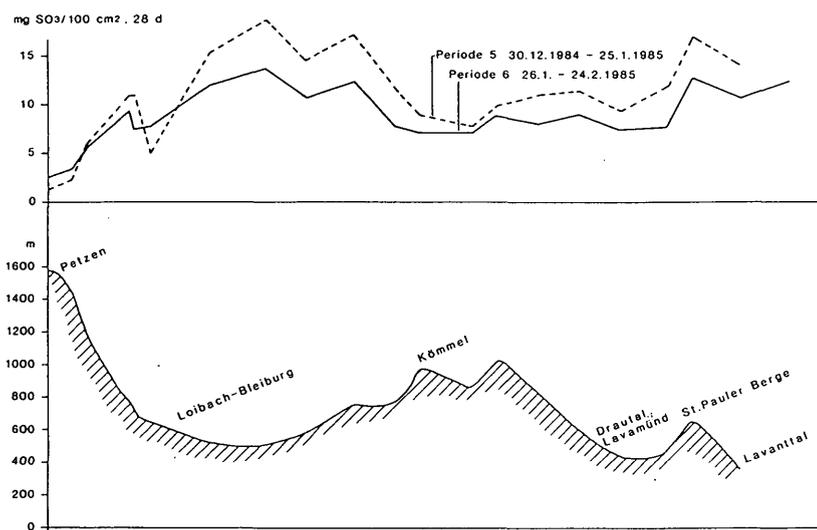


Abb. 4: SO<sub>2</sub>-Belastung und Reliefprofil Petzen-Bleiburg-Drautal-Lavanttal. Tallagen und Prallhänge besonders belastet. Meßkampagne 1984/85 (vgl. Tab. 2).

## Immissionsökologische Beobachtungen an Flechten

Epiphytisch wachsende Flechten sind bewährte Bioindikatoren für die Erfassung der Belastung eines Gebietes durch Luftschadstoffe. Daher wurden gemeinsam mit R. TÜRK, Salzburg, einem Spezialisten auf dem Gebiet der Flechtenkunde, entsprechende Untersuchungen im Bereich der Petzen durchgeführt. Die Begehungen im Sommer 1984, die in Anhang 2 dokumentiert sind, brachten die folgenden Befunde:

● Hochlagen deutlich belastet:

Im Gegensatz zu den  $\text{SO}_2$ -Belastungswerten nach den Bleikerzen-Meßergebnissen, die mit zunehmender Seehöhe deutlich abnehmen, zeigen epiphytische Flechten in den Hochlagen und bis zur Baumgrenze deutliche bis sehr schwere Schäden. Vielfach sind über 50% der Flechenthalli geschädigt bis abgestorben.

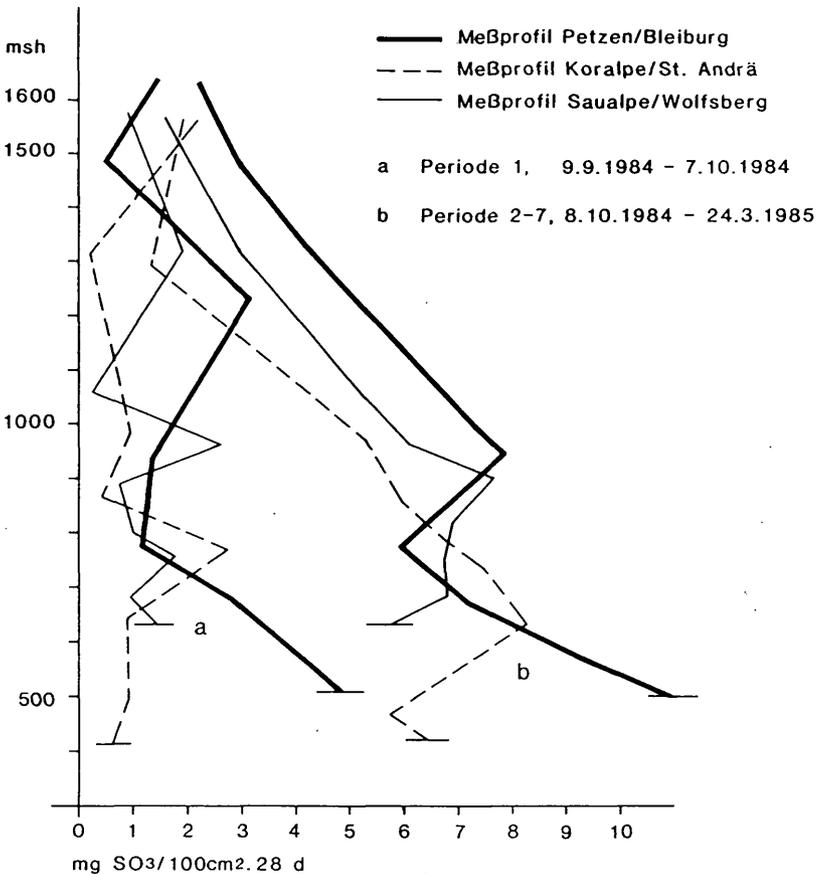


Abb. 5: Vergleich der  $\text{SO}_2$ -Belastung in den Höhenprofilen des Petzenstockes, der Koralpe und der Saualpe. Meßtermine vor (a) und während (b) der winterlichen Klima- und Belastungssituation.

- **Paradoxon der Parallelität von Vitalität und Schädigung:**  
Im Gegensatz zur Luftschadstoff-Belastung in städtischen Agglomerationen, die das Fehlen empfindlicher Flechtenarten, das Kümmern auch resistenter Arten und einen geringen Flechtenbewuchs (Deckungsgrad) zur Folge hat, ist der Flechtenwuchs in den Hochlagen des Petzenstockes (1500–1800 m) an sich überaus vital. Die gegen Luftschadstoffe empfindlichen Strauchflechten (*Pseudevernia*, *Bryoria*, *Evernia*, *Usnea*) wachsen in der Regel üppig, und der Deckungsgrad an den Baumstämmen (in Brusthöhe und an der bestbewachsenen Seite) wie auch Artenreichtum und Wuchs der Flechten belegen die an sich idealen klimatischen Bedingungen. Dennoch zeigen sich schwere Schäden: die Thallusloben der Blattflechten sind ausgebleicht und deformiert (Zerfallerscheinungen), die Enden der Strauchflechten *Pseudevernia* und *Usnea* sind weiß und abgestorben, bei *Bryoria* rot verfärbt. An windexponierten und schneefreien Stellen sind auch die bodenbewohnenden Flechten krankhaft verfärbt und geschädigt. Das Nebeneinander von vitalem Wachstum der Flechten und schweren Schäden weist auf kurzzeitige intensive Immissionen in unregelmäßigen Abständen hin.
- **Fazit:** Der episodische Einfluß von SO<sub>2</sub>-Immissionen oder von anderen sauer reagierenden Abgasen auch in den Hochlagen ist damit nachgewiesen. Er wird wie folgt erklärt: von relativ nahegelegenen Emittenten, und hier kommen das thermische Kraftwerk Šostanj und die Hütte Mežica in Betracht, werden mit Hangaufwinden hoch belastete Luftpakete bis in große Höhen verfrachtet. Für diese Annahme spricht auch der Umstand, daß die Schäden an Flechten an den ostwärtigen Geländekanten besonders gravierend sind (über 50%, u. U. auch drastische Abnahme des Deckungsgrades) und mit der Distanz von den derart exponierten Standorten rasch abnehmen.

Tab. 3: Immissionsschäden an Flechten im Nordabhang des Petzenstockes nach Höhenstufen. – Kartierung: G. SANDRIESER, 1985. Die Schädigung der Flechtenthalli ist in 4 Stufen angegeben. Pro 100-m-Höhenstufe (15 = 1500–1600 m) und Teilgebiet wird die Aufteilung nach Schadensstufen dargestellt (10 = 100% pro Höhenstufe). N = 207 Beobachtungspunkte.

Höhenstufe	Petzen-Ost und -Mitte Schäden in % der Thalli				Petzen-West, Luschastraße Schäden in % der Thalli		
	± 0	< 10	10–25	> 25	± 0	< 10	10–25
15		7	3			5	7
14		10			7	3	
13		5	5			5	5
12		5	5		5	5	
11		9	1			8	2
10	2	6	2			10	
9	1	7	2			7	3
8		7	3			4	6
7		5	4	1		5	5
6	2	5	2	1		6	4
5	1	5	2	2		5	5
4	1	6	2	1			

Die Schäden nehmen am Petzen-Nordhang auch mit sinkender Seehöhe ab, der Schädigungsgrad in 1600 m beträgt 10–25%, in 1400 m etwa 10%, und resistente Flechtenarten sind dort kaum geschädigt. Erst in den Tallagen (WH Maut, 650 m) erreicht der Schädigungsgrad wieder 25%–50%. Hier wirkt sich die mit der winterlichen Inversion in Zusammenhang stehende Immissionsbelastung aus. Der Flechtenbewuchs ist nicht so üppig wie in den Hochlagen, die Immissionsbelastung hat eher chronische (und nicht episodische) Schädigungen zur Folge.

Nun stellt sich die Frage, wie weit westwärts und in welchen Höhenlagen mit einer Immissionsbelastung zu rechnen ist. Wie eine Kontrollbegehung an der Straße von Globasnitz zum Luschasattel ergab, sind die geschützten Lagen am Globasnitzbach unbelastet, während im Bereich des Luschasattels wieder deutliche Schadensmerkmale an der Flechtenvegetation festzustellen waren. Eine Kartierung des Schädigungsgrades epiphytischer Flechten wurde im Bereich der Nordflanke des Petzenstockes an 207 Punkten durch G. SANDRIESER 1985 vorgenommen. Das vereinfachte Ergebnis ist eine Darstellung der Flechtenschäden nach 100-Meter-Höhenstufen und vier Schädigungsstufen (Tab. 3), wobei ein östliches und ein westliches Profil unterschieden wird.

Tab. 3 wird wie folgt interpretiert: In den Hochlagen erreichen die Schäden an Flechten nicht jene Werte, wie sie an der ostseitigen Flanke der Petzen (vgl. auch Anhang 2) festgestellt wurden. Sie sind im westlichen Profil, welches in der Höhe die Südwestflanke des Berges mit erfaßt, tendentiell stärker als an dessen Nordabhang, und abermals zeigt sich eine geringere Schädigung in mittleren Höhen (900–1200 m). Darunter nehmen die Schäden wieder zu, was erneut auf die winterliche Immissionsbelastung der Tallagen im grenznahen Raum hinweist. Streuungen im festgestellten Schädigungsgrad hängen sowohl mit den erfaßten Flechtenarten als auch mit der Exposition der ausgewählten Probepunkte zusammen. Im Zusammenhang mit den im Petzenstock festgestellten Schäden am Flechtenbewuchs ist die Beurteilung des Immissionseinflusses auf Flechten in anderen Gebieten Ostkärntens von Interesse. Die dem Lavanttal zugewandte Korpalpenflanke zeigt (1984) einen Schädigungsgrad bis 25%, und der Einfluß von Luftverunreinigungen ist in mittlerer Distanz vom Talboden, d. h. in etwa 500 bis 800 m Höhe besonders deutlich. Im Gegensatz dazu fanden sich bei den Begehungen gemeinsam mit R. Türk auf der Westseite der Grutschen (1 km E Limbergkehre) und am Wallersberg (3 km S Griffen) keine erkennbare Schädigung des Flechtenbewuchses auf Baumstämmen. Diese Beobachtungen verstärken die Aussage, daß das Petzenmassiv sowohl in der Niederung als auch in den Hochlagen von relativ lokalen Emittenten beeinflusst ist. Inwieferne sich diese Belastungen auch auf den Waldzustand auswirken, ist eine der über die Kronenzustandserfassung zu beantwortenden Fragen. Besonders wird darauf zu achten sein, ob eine Schadstoffverfrachtung, wie sie für den nordöstlichen Teil der Petzen nachgewiesen wurde, nicht auch die Südwestflanke des Berges (südlich der Feistritzer Spitze) und die dortigen Waldbestände beeinflusst.

## HAUPTERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERMITTLUNG

### Waldzustand und Zustandskarten nach Baumarten

In den drei Flugstreifen, die über das Untersuchungsgebiet gelegt wurden, und die 84 CIR-Meßbilder umfassen, konnten insgesamt 881 interpretierbare Waldbestände ausgewiesen werden. In manchen Beständen wurde die für die Waldzustandsermittlung festgelegte Mindestzahl von 15 Baumkronen für mehr als eine Baumart ermittelt, so daß 994 Waldzustands-Meßwerte vorliegen. Diese Meßwerte oder **Bestandes-Mittelwerte**,  $\bar{X}$ , stellen das gewichtete Mittel der vier Kronenzustands-Häufigkeiten dar. Der durchschnittliche Waldzustandswert für die Hauptbaumart Fichte beträgt  $\bar{X} = 2.04$  mit einer Standardabweichung von 0.13 und einer Spannweite zwischen  $\bar{X} = 1.65$  und  $\bar{X} = 2.48$ . Die nur in 7 Beständen entsprechend vertretene Tanne erreicht mit  $\bar{X} = 2.00$  einen ähnlichen Wert, alle anderen erfaßten Baumarten weisen erwartungsgemäß einen wesentlich besseren durchschnittlichen Kronenzustand auf (Tab. 4).

Tab. 4: Waldzustand Petzen-Ostkarawanken, Hauptergebnisse.

Baumart	Fallzahl (Bestände)	Waldzustand (Kronenzustandsindex)			
		$\bar{X}$	St. Dev.	$\bar{X}$ min	$\bar{X}$ max
Fichte	468	2.04	0.13	1.65	2.48
Tanne	7	2.00	0.13	1.87	2.27
Buche	248	1.67	0.14	1.15	2.10
Lärche	193	1.72	0.19	1.24	2.20
Kiefer	78	1.88	0.09	1.67	2.13

Es ist wichtig zu betonen, daß diese Waldzustandswerte mit jenen der terrestrischen Waldzustandsinventuren (WZI) nicht unmittelbar verglichen werden können, obwohl sie in einem analogen Verfahren ermittelt wurden. Ursache dafür ist die generell etwas schärfere Ansprache des Kronenzustandes nach den luftbildsichtbaren Merkmalen im Vergleich zur Kronenbeurteilung vom Boden aus. Diese Divergenz ist allgemein bekannt, die Waldzustandswerte nach Luftbildauswertungen sind um 0.4–0.6 Indexpunkte schlechter als jene aus terrestrischen Aufnahmen.

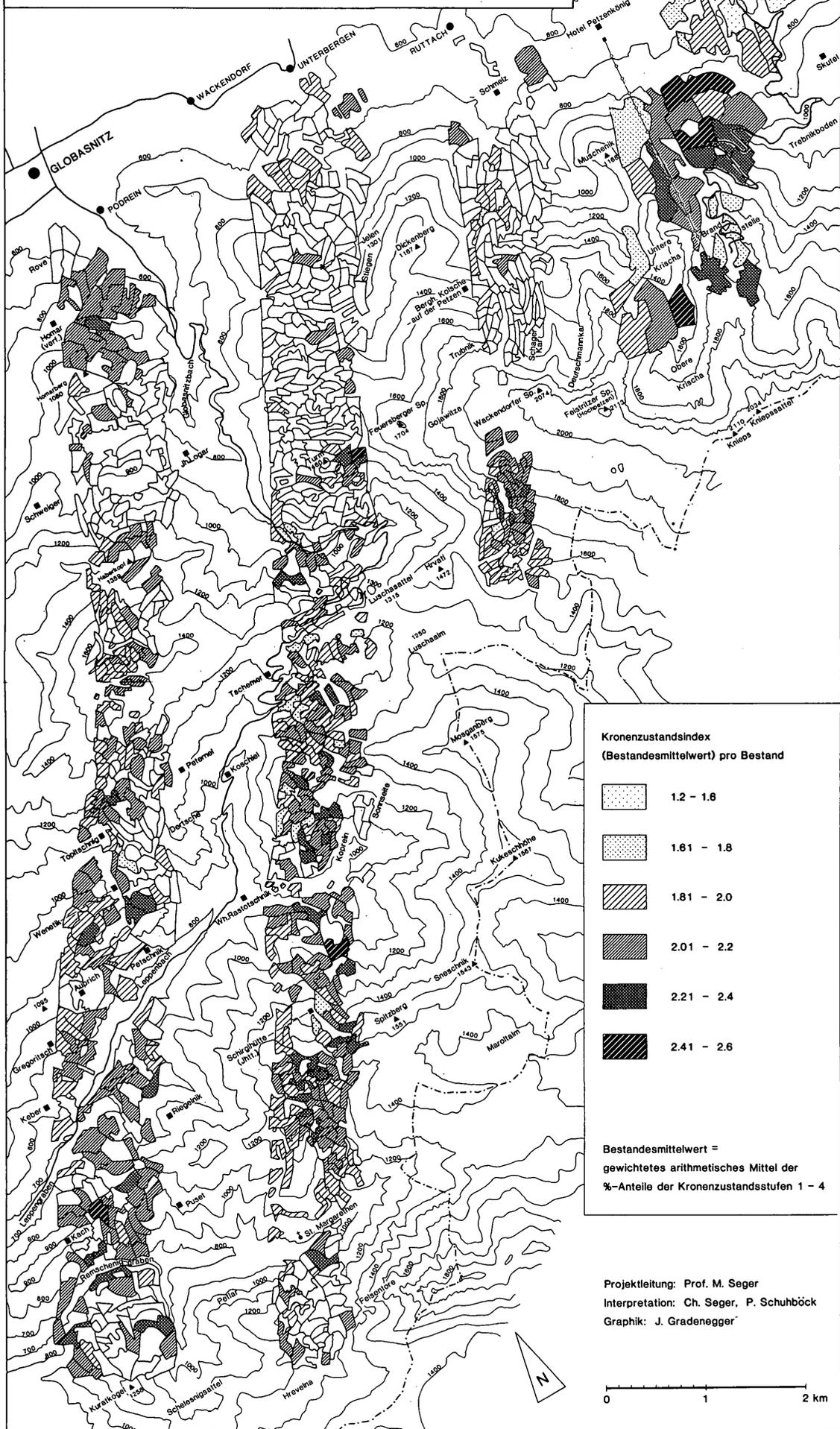
In drei **Bestandeskarten** (Abb. 11, 12, 13) ist der Waldzustandswert nach Zustandsklassen dargestellt. Das Kartenbild gibt zunächst Auskunft über die räumliche Verteilung der Baumarten. So fällt die geringe Fichtenbestockung am Nordabhang der Petzen auf. Dort sowie am Nordabfall der östlichen Karawanken dominiert die Buche. Lärchenbestände prägen die Hochlagen, im Schagerkar (Petzen), um den „Turm“ und den „Haberkopf“ usw., während die Kiefer vorwiegend das felsige Gelände zu beiden Seiten des Globasnitzbaches sowie die Südhänge des Leppengrabens besetzt. Sie findet sich nicht mehr im Südteil des Untersuchungsgebietes.

**WALDZUSTANDSERMITTLUNG GEBIET PETZEN / KÄRNTEN**

Bestandesweise Interpretation des Kronenzustandes aus CIR - Luftbildern

Baumart: Fichte

Abb. 11





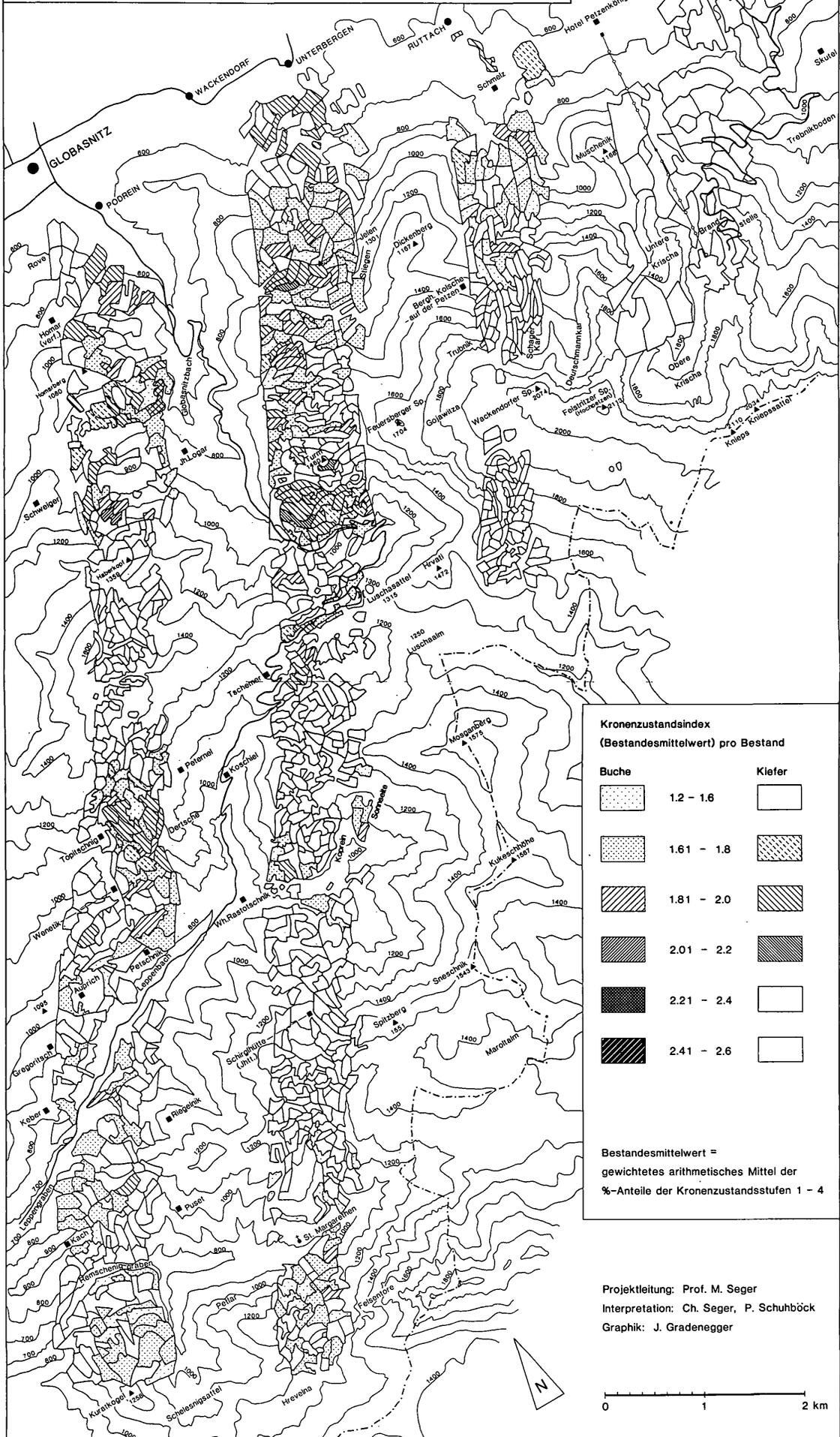
WALDZUSTANDSERMITTLUNG

GEBIET PETZEN / KÄRNTEN

Bestandesweise Interpretation des Kronenzustandes aus CIR - Luftbildern

Baumart: Buche und Kiefer

Abb. 12





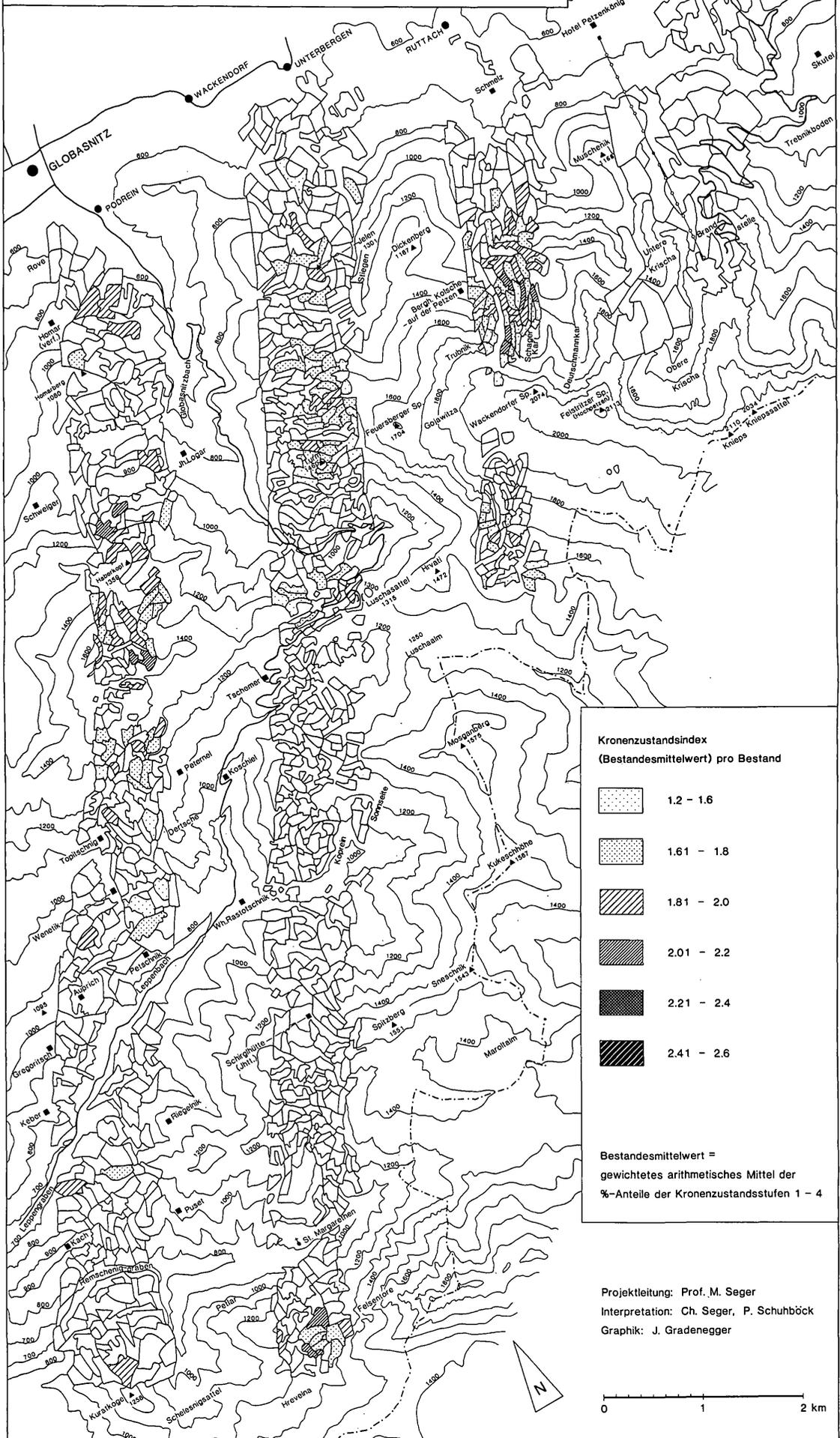
WALDZUSTANDSERMITTLUNG

GEBIET PETZEN / KÄRNTEN

Bestandesweise Interpretation des Kronenzustandes aus CIR - Luftbildern

Baumart: Lärche

Abb. 13





Trends in der räumlichen Differenzierung des Waldzustandes sind aus den Bestandeskarten eher schwer abzulesen. Sie dienen ja auch vielmehr der detaillierten Dokumentation der bestandesweisen Zustandsermittlung und der Möglichkeit eines Vergleiches der Ergebnisse vor Ort und im Gelände. Die Mengung von unterschiedlichen Waldzuständen auf engem Raum zeigt die reale Vielfalt des Waldzustandes, sie belegt auch eine gute räumliche Abgrenzung der Bestände.

Für die **Fichte** wird auf den **schlechten Waldzustand** auf den südexponierten Hängen in Koprein-Sonnseite sowie auf der Kuppe westlich des Spitzberges (beide im mittleren Flugstreifen) hingewiesen. Wassermangel auf den Kalk-Standorten könnte eine besondere Rolle spielen. In diesem Zusammenhang soll auf die trockenen Sommer der frühen achtziger Jahre verwiesen werden, die sich in dem normalerweise niederschlagsreichen Untersuchungsgebiet besonders ausgewirkt haben können. Daneben zeigt sich am Petzenstock, und zwar südlich der Wackendorfer Spitze, eine auffällige Verschlechterung des Waldzustandes mit zunehmender Höhe. Diese wird aufgrund der räumlichen Nähe zum Emittenten in Mežica und in Analogie zur Erklärung der Flechtenschäden mit einer Schadstoffverfrachtung in die Hochlagen in Verbindung gebracht. Auf den östlichen Flugstreifen wird hier nicht näher eingegangen, weil die Bestandesabgrenzung dort nicht optimal vorgenommen wurde. Das Kartenbild des Waldzustandes der übrigen Baumarten ist ähnlich heterogen wie jenes für die Fichte. Generelle Zusammenhänge zwischen dem Waldzustand und den Bestandes- und Standortmerkmalen erschließen sich, so überhaupt vorhanden, erst bei der deskriptiv-statistischen Analyse des Datenmaterials. Diese bezieht sich vorwiegend auf die Hauptbaumart Fichte, von der Zustandswerte aus 468 Beständen vorliegen.

## Waldzustand und Höhenstufung

### Das Höhenprofil nach Baumarten

In die Differenzierung des Waldzustandes nach Höhenstufen werden große Erwartungen gesetzt. Wird der Waldzustand mit zunehmender Höhe besser, wie dies die Werte der SO<sub>2</sub>-Belastung (vgl. Abb. 2–5) erwarten lassen, oder sind auch die Bestände in Hochlagen beeinträchtigt, wie es aufgrund der Flechtenschäden naheliegend ist? Für die Höhenstufung in durch Luftschadstoffe belasteten Gebieten des Kärntner Beckens hat sich sowohl im Lavanttal (SEGER 1989) als auch in Villach (SEGER 1986) gezeigt, daß ein Wandel des Waldzustandes im Bereich der Obergrenze der winterlichen Inversion (in etwa 1000 m Höhe) eintritt. Der Waldzustand ist unter der Inversionsgrenze überdurchschnittlich schlecht, und darüber deutlich besser. Es ist zu prüfen, ob dieser Sachverhalt auch auf den Raum Petzen zutrifft. Wenn nicht, dann liegt die Vermutung nahe, daß hochreichende Immissionen den Waldzustand beein-

flussen. Andere Faktoren, wie etwa pessimale Standorte, müssen aber stets mitbedacht werden.

Tab. 5 zeigt die Waldzustandswerte nach Höhenstufen und für die erfaßten Baumarten. In Klammer ist die Zahl der zugehörigen Bestände angegeben, um die Besetzung einer Höhenstufe und damit den Umfang der Stichproben aufzuzeigen, auf die sich der betreffende Zustandswert bezieht. Bei Buche, Lärche und Kiefer sind die Abweichungen vom durchschnittlichen Waldzustand eher gering und auf einzelne Höhenbereiche beschränkt. Es ist kein Zustandstrend im Verlaufe des Höhenwandels erkennbar. Ausreißer, wie bei Lärche in 1700 m und Kiefer in 1400 m Höhe, sind auch durch die geringe Fallzahl bedingt, die Abweichungen vom Gesamtmittelwert wahrscheinlicher macht.

Das umfangreichste Höhenprofil und auch entsprechende Differenzierungen liefern die Zustandswerte der Fichte. Zur besseren Veranschaulichung wurden diese in Abb. 6 dargestellt, die auch die Standardabweichung pro Höhenstufen-Zustandswert enthält. Von einem guten Zustand junger Bestände im Talbereich ausgehend (Höhenstufe 5 = 500–600 m) liegt bis in 1300–1400 m (Stufe 13) ein Waldzustand vor, der nur wenig vom Gesamtmittelwert ( $\bar{X} = 2.04$ , Standardabweichung = 0.13) abweicht.

Die breite Streuung der einzelnen Bestandes-Zustandswerte, denen der Waldzustandswert pro Höhenstufe zugrundeliegt, wird durch die Stan-

Tab. 5: Waldzustandswerte  $\bar{X}$  der Hauptbaumarten nach 100-m-Höhenstufen mit Fallzahlen (Zahl der erfaßten Bestände pro Höhenstufe), denen der Zustandswert pro Höhenstufe zugrundeliegt (19 = 1900–2000 m usw.).

100-m-Höhenst.	Fichte	Buche	Lärche	Kiefer
19	2.14(03)			
18	2.08(11)			
17	2.13(11)		1.78(05)	
16	2.00(17)		1.70(12)	
15	1.96(29)		1.71(23)	
14	2.08(33)	1.67(03)	1.71(34)	1.97(02)
13	2.05(42)	1.60(16)	1.70(29)	1.88(03)
12	2.01(83)	1.69(21)	1.76(34)	1.84(08)
11	2.04(74)	1.70(43)	1.63(27)	1.88(17)
10	2.01(55)	1.68(53)	1.72(08)	1.90(17)
9	2.05(41)	1.65(54)	1.79(09)	1.88(10)
8	2.04(32)	1.65(31)		1.85(07)
7	2.07(27)	1.69(25)	1.82(05)	
6	2.00(07)			1.88(09)
5	1.89(03)			1.92(03)
total	2.04(468)	1.67(248)	1.72(188)	1.88(77)

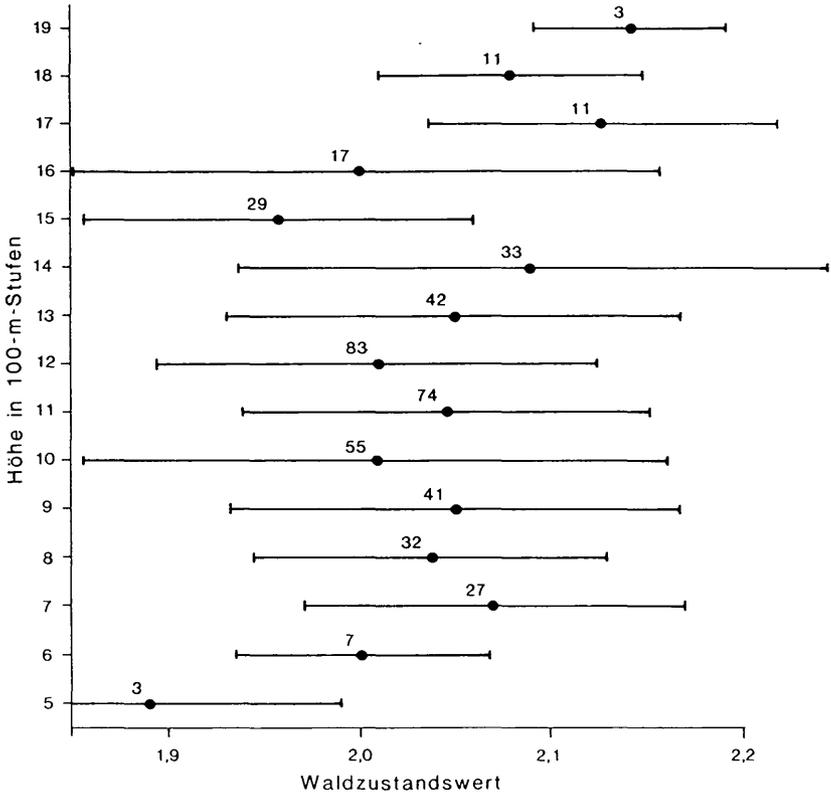


Abb. 6: Waldzustand Fichte nach 100-m-Höhenstufen, mit Standardabweichungen und Zahl der Bestände.

dardabweichung zum Ausdruck gebracht. Innerhalb derselben liegen 66% der zugehörigen Bestandeswerte. Wir erkennen damit die große Heterogenität des Waldzustandes an sich. Sie ist Ausdruck der Vielfältigkeit und Unterschiedlichkeit der Faktoren, die den jeweiligen Bestandeszustand bedingen, unter Umständen auch Ausdruck des räumlich unterschiedlichen Waldzustandes in den etwa 10 km langen Flugstreifen. Eine später folgende Differenzierung der erfaßten Bestände nach verfügbaren Standortparametern und nach Teilräumen setzt hier an.

Ab 1400 m Höhe ist der Waldzustand zunehmend heterogen, was sowohl die unterschiedlichen Werte pro Höhenstufe als auch die breiten Streuungen zeigen. Zwischen 1700 m und 2000 m ist eine Tendenz zur Verschlechterung des Waldzustandes gegeben. Es ist wichtig zu betonen, daß diese nicht auf die vielfach deformierten Kronenstrukturen im Bereich der oberen Waldgrenze der Fichte oder auf den Flechtenbewuchs auf Hauptästen zurückzuführen ist, die Interpreten sind sich dieses Sachverhaltes bewußt. Vielmehr sind es Farbwertveränderungen und Farbmuster der Krone, die hier zur Beurteilung herangezogen werden.

## Das Höhenprofil (Fichte) nach 3 Teilgebieten: Schäden in Hochlagen

Für die Prüfung räumlich-regionaler Unterschiede des Waldzustandes der Fichte bietet sich eine Gliederung des Untersuchungsgebietes nach drei Teilräumen an:

1. Nordflanke des Petzenstockes (53 Bestände)  
Trennlinie zu 2: Wackendorfer Spitze–Turm–Topitza
2. Mittelbereich: Leppen–Koprein (310 Bestände)  
Trennlinie zu 3: Spitzberg–Jauernik
3. Südbereich: Remschenig–Ostkarawanken (100 Bestände)

Im Höhenprofil (Abb. 7) zeigen die Teilräume 1 (Nord) und 3 (Süd) einen ähnlichen Verlauf. Nach einem durchschnittlichen Waldzustand

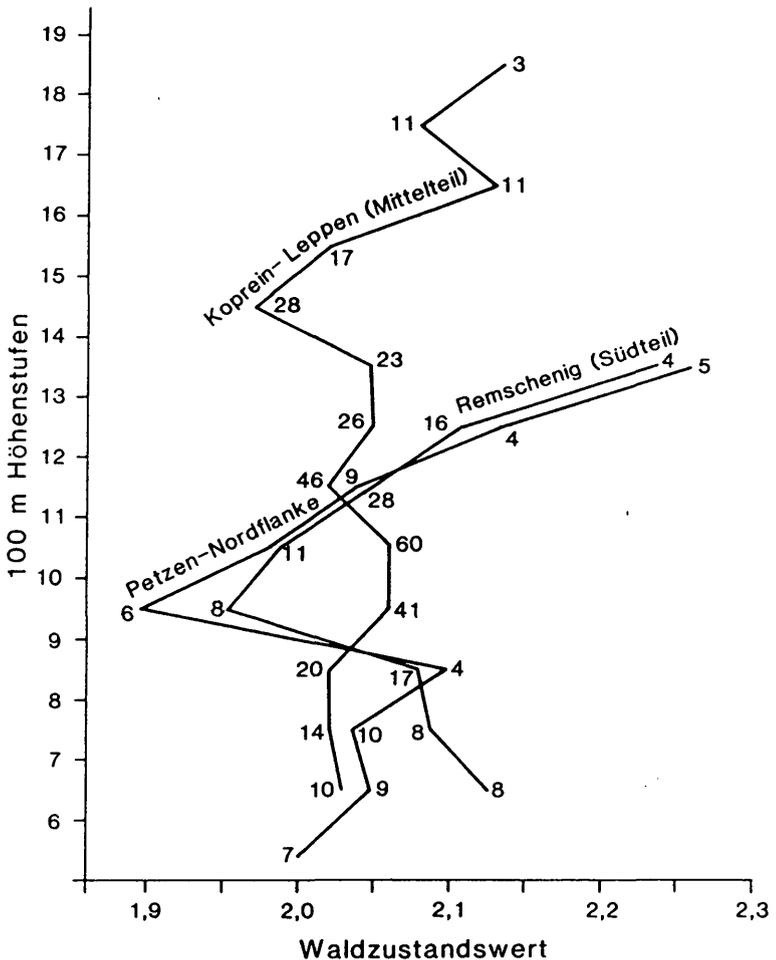


Abb. 7: Waldzustand nach drei Teilgebieten im Höhenprofil, mit Zahl der Bestände pro Höhenstufe: tendenziell schlechterer Zustand in Hochlagen.

in Tallagen und bis 900 m Höhe ist dieser zwischen 900 und 1100 m deutlich besser. In der Folge sind schlechtere Waldzustandswerte mit steigender Höhe gegeben. Dieser Verlauf entspricht den Beobachtungen, die bei der Aufnahme von Flechtenschäden gemacht wurden (vgl. Anhang 2). Daher kann hier auf den Einfluß von Immissionen geschlossen werden, die zusätzlich zu pessimalen Standortfaktoren wirksam werden. Im Mittelbereich des Untersuchungsgebietes ist der Waldzustand bis in 1500 m Höhe homogen. Über 1700 m allerdings wurden deutlich geschädigte Bestände ausgemacht. Sie liegen südlich der Wackendorfer Spitze und nahe der Staatsgrenze (vgl. Bestandeskarten). Hier ist der Zusammenhang zu Emissionen aus der mittlerweile stillgelegten Blei-Zink-Röstanlage von Mežica, in deren unmittelbarer Umgebung der Wald gänzlich abgestorben ist, naheliegend. Der Fichtenwald der Hochlagen geht in ausgedehntes Krummholz über, welches im Luftbild umfangreiche abgestorbene Bestandesteile erkennen läßt. Das erhärtet die Vermutung, daß die an sich gewiß sehr alten Bestände unter Luftschadstoffeinwirkungen gelitten haben (Zuwehungen aus Mežica und Šostanj).

## Waldzustandstypen (Fichte)

### Die Erstellung von Waldzustandstypen: Informationsverdichtung der Primärdaten

Als Ergebnis der Ermittlung von Kronenzustandsstufen in einer Vielzahl von Beständen liegen umfangreiche und unübersichtliche Datenmengen vor. Eine **Informationsverdichtung** möglichst ohne Informationsverlust ist daher ein notwendiger Arbeitsschritt. Hierher zählt z. B. die Bildung des Waldzustands- oder Bestandesmittelwertes  $\bar{X}$ , der als ein Ausdruck des Bestandeszustandes auch mit anderen Bestandesparametern in Beziehung gesetzt werden kann. Gegen diese Mittelwertbildung wird jedoch eingewandt, daß die Häufigkeiten der Kronenzustandsstufen, primäres Merkmal des Waldzustandes, dabei verlorengehen. Denn ein bestimmter Zustandswert kann ja durch recht unterschiedliche Anteile der Kronenzustandsstufen zustande kommen.

Tab. 6: Waldzustandstypen (Fichte) nach einer Clusteranalyse der Kronenzustandshäufigkeiten.

Typ	Clusterzentren (%) für Kronenzustandsstufen 1–4				Bestandes-Mittelwert		Fallzahl
	1	2	3	4	$\bar{X}$	St. Dev.	
1, gesund	16	78	5	1	1.91	0.08	138 = 29%
2, beeinträchtigt	17	65	17	1	2.03	0.06	54 = 11%
3, beeinträchtigt	4	91	5	1	2.03	0.08	54 = 11%
4, geschädigt	6	79	14	1	2.10	0.07	186 = 40%
5, stark geschädigt	5	64	28	2	2.28	0.08	36 = 9%
total	9	77	19	1	2.04	0.13	468 = 100%

Aus diesem Grund wird ein Verfahren zur Informationsverdichtung gewählt, bei dem die charakteristische Häufigkeitsverteilung der vier Kronenzustandsstufen als typisierendes Merkmal genutzt wird. Die Bestände werden nach der Ähnlichkeit der Häufigkeitsverteilung der vier Kronenzustandsstufen gruppiert, was mittels einer Clusteranalyse (Quickcluster SPSS) geschieht, wobei die Wahl von fünf Clustern eine optimale Differenzierung ergab. Diese Cluster stellen **Waldzustandstypen** dar. Sie sind durch die Clusterzentren im vierdimensionalen Merkmalsraum definiert (Tab. 6), die die durchschnittliche Häufigkeit einer Kronenzustandsstufe je Clustertyp darstellen. Die Waldzustandstypen sind nach ihrem Waldzustandswert  $\bar{X}$  gereiht, die Standardabweichung gibt an, wie weit die Zustandswerte der dem Cluster zugehörigen Bestände streuen können. In Abb. 8 sind die Merkmale der fünf Waldzustandstypen visualisiert.

Der **Waldzustand** nach Clustertypen stellt sich wie folgt dar: 29% der Fichtenbestände weisen den besten Zustandswert von  $\bar{X} = 1.91$  auf, sie werden hier als gesund angesprochen. Beeinträchtigt sind 22% der Bestände mit  $\bar{X} = 2.03$  (Typen 2 und 3), wobei der Cluster 3 durch einen extrem hohen Anteil an der Kronenzustandsstufe 2 (91%) gekennzeichnet ist. 40% der erfaßten Fichtenbestände gelten als geschädigt ( $\bar{X} = 2.10$ ), 9% als schwer geschädigt ( $\bar{X} = 2.28$ ).

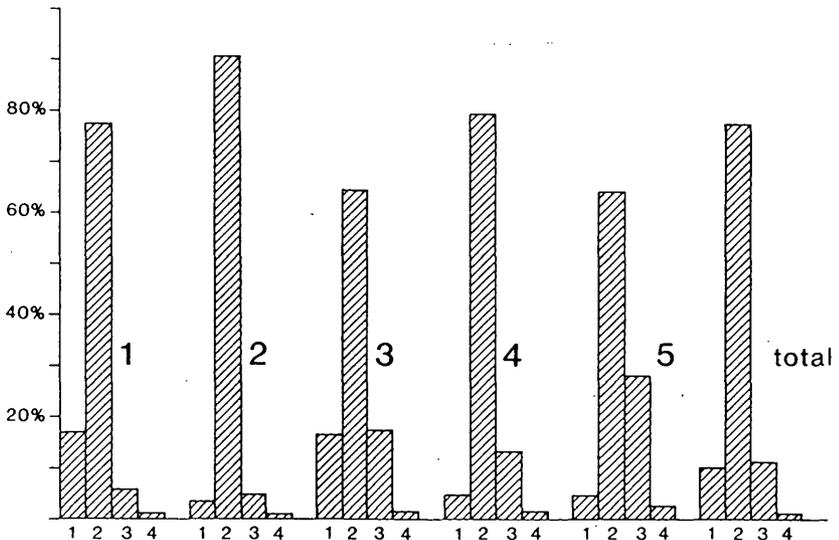
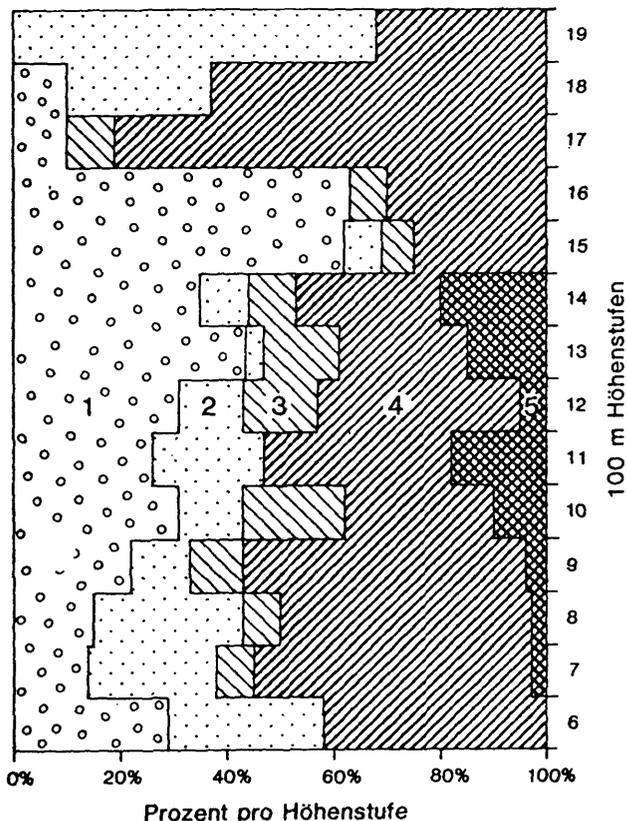


Abb. 8: Waldzustandstypen (Fichte) nach 5 Clustern der Kronenzustandsstufen. Kronenzustandsstufen pro Cluster durch kleine Zahlen 1-4 angegeben (1 keine Verlichtung, 2 schwach verlichtet, 3 deutlich verlichtet, 4 stark verlichtet bis absterbend). Bezeichnung der Zustandstypen 1-5 vgl. Tab. 6.

Abb. 9:  
Waldzustandstypen  
(Fichte) im Höhen-  
profil. Zustandstypen  
nach 5 Clustern  
aus Abb. 8 und Tab.  
6. Darstellung der  
relativen Häufigkeit  
pro Höhenstufe.



### Waldzustandstypen im Höhenprofil: Immissionseinflüsse in Hochlagen

Mit einer Differenzierung der Waldzustandstypen im Höhenprofil (Abb. 9) wird nochmals versucht, der Frage nach dem Waldzustandswandel mit der Höhenlage nachzugehen. Dabei beobachtete man ein scheinbares Paradoxon: Sowohl die gesunden Bestände (Clustertyp 1) als auch die geschädigten Bestände (Clustertyp 5) nehmen mit der Höhe zu. Diese an sich unvereinbare Tendenz wird wie folgt erklärt: das ausgedehnte Untersuchungsgebiet ist hinsichtlich natürlicher und anthropogener pessimaler Standortbedingungen sehr unterschiedlich. Generell nimmt, wie zu erwarten, die Zahl der gesunden Bestände mit der Höhe zu. Daneben kann in jeder Höhenstufe eine (geringe) Anzahl von deutlich geschädigten Beständen (Typ 5) vorkommen. Auffällig dabei ist die ungleiche Verteilung dieses Waldzustandstyps 5 im Höhenprofil: er ist in jenen Höhen stärker vertreten, in denen mit einem Immissionseinfluß im Bereich des Petzenmassivs zu rechnen ist. Das verstärkte Auftreten des Typs 4 (vgl. Abb. 9) in 1700–1800 m ordnet sich dieser Vorstellung zu. So zeigt die Verteilung der clusteranalytischen Waldzustandstypen

erneut sowohl eine Beeinträchtigung der Wälder im talnahen Bereich (bis 1000 m) als auch in den Hochlagen ab 1300 m.

Trägt man die Waldzustandswerte der Clustertypen im Höhenprofil auf, so sind bei per definitionem gegebener Ähnlichkeit der Kronenzustandsstufen nur geringe Abweichungen zu erwarten. In Abb. 10 sind die diesbezüglichen Zustandswerte der Clustertypen 1 (gesund), 4 (geschädigt) und 5 (stark geschädigt) im Höhenverlauf dargestellt. Überraschenderweise zeigt sich aber in den Höhenstufen zwischen 1300 und 1600 m für alle Clustertypen eine tendenzielle Verschiebung zu schlechteren Waldzustandswerten. Daraus wird geschlossen, daß in diesem Höhenbereich eine negative Beeinflussung des Waldzustandes wirksam wird, die in anderen Teilen des Höhenprofils nicht oder nur abgeschwächt vorhanden ist.

## WALDZUSTAND, STANDORT- UND BESTANDESPARAMETER

### Lageparameter und Waldzustand

Die Verknüpfung des beobachteten Waldzustandes mit Standortmerkmalen der Bestände soll allfällige Zusammenhänge anhand deskriptiv-sta-

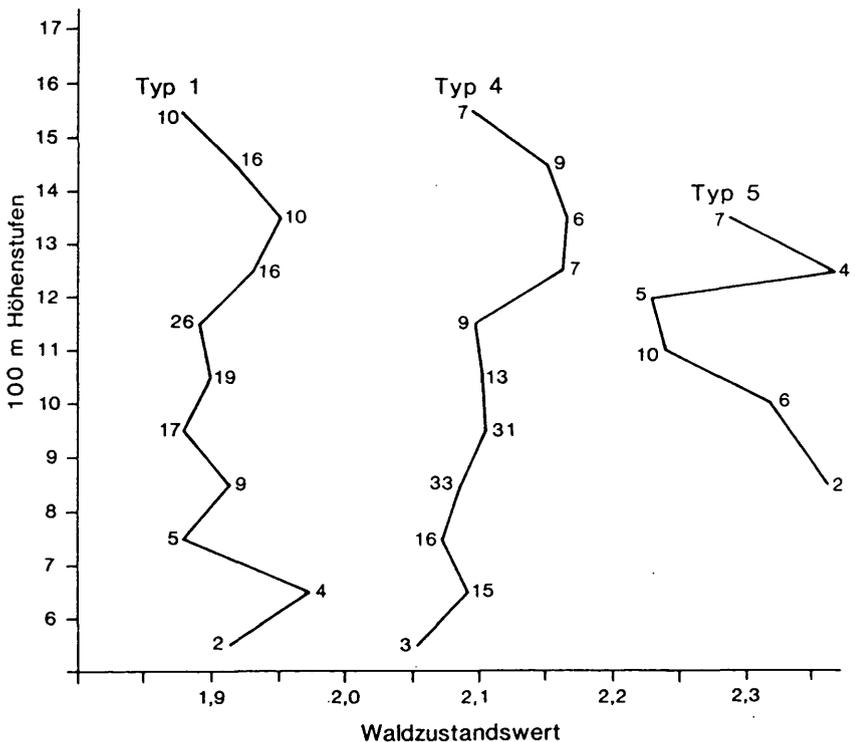


Abb. 10: Ausgewählte Waldzustandstypen im Höhenprofil, Typen vgl. Abb. 8 (1 bester Zustand, 4 häufigster Zustand, 5 schlechtester Zustand): tendenziell schlechterer Zustand in 1300 bis 1500 m Höhe.

tistischer Gliederungen des Datenmaterials aufzeigen. Analog zu forstlichen Standortaufnahmen wurden neben der Höhenlage die Exposition und Hangneigung sowie der Relieftyp und der geologische Untergrund erfaßt. Als Hypothese liegt der Zusammenhangsanalyse eine zweifache Vermutung zugrunde. Zum einen wird bei einer Exposition in Richtung zu bekannten Emittenten (Mežica und Šostanj) ein vergleichsweise schlechterer Waldzustand erwartet, zum anderen stehen Exposition, Hangneigung und Relieftyp, aber auch die Geologie als Indikator für unterschiedliche Standortgunst, vornehmlich in bezug auf die Wasserversorgung.

Um es vorwegzunehmen: Die Ergebnisse sind nicht sehr aussagekräftig, und die vermuteten Zusammenhänge lassen sich nur tendentiell belegen. Die Ursache liegt nicht nur in den eher grob typisierten Merkmalsausprägungen und in dem im Detail ungeklärten Einfluß des jeweiligen Parameters, sondern auch in der vielfältigen Wechselwirkung eines Bündels anderer Faktoren, die den Waldzustand an einem Standort mitbestimmen. Weil die Waldzustandswerte bei verschiedenen Merkmalsausprägungen der Standortparameter vielfach nur gering differieren und zudem eine große Standortabweichung aufweisen, sind statistisch abgesicherte Zusammenhänge trotz hoher Fallzahlen selten.

### Exposition

Die Waldzustandswerte nach der Exposition (Tab. 7) bestätigen zumindest trendmäßig die eingangs gestellte Hypothese. Bestände mit östlicher bis südwestlicher Exposition weisen einen schlechteren Waldzustand auf als jene in geschützten Lagen, wobei die südexponierten Bestände (70 Fälle) mit  $\bar{X} = 2.06$  deutlich abgehoben erscheinen. Damit tritt zumindest im gegenständlichen Untersuchungsgebiet ein Einfluß der Exposition und der damit verbundenen ökologischen Umstände auf den Waldzustand hervor.

### Hangneigung

Die Hangneigung wurde analog zur Ansprache in der Forstinventur nach 5 Neigungsstufen bestimmt. Es wird davon ausgegangen, daß mit

Tab. 7: Waldzustand und Exposition der Bestandesflächen.

Exposition	Waldzustand		Fallzahl (Bestände)
	$\bar{X}$	St. Dev.	
Nord	2.037	0.12	69
Nordost	2.024	0.11	49
Ost	2.048	0.15	14
Südost	2.049	0.11	59
Süd	2.055	0.15	70
Südwest	2.048	0.15	104
West	2.015	0.12	43
Nordwest	2.041	0.13	60
total	2.041	0.13	468

Tab. 8: Waldzustand und Hangneigung der Bestandesflächen.

Neigungsstufen	Waldzustand		Fallzahl (Bestände)
	$\bar{X}$	St. Dev.	
flach	2.029	0.14	13
geneigt	2.037	0.11	134
mäßig steil	2.038	0.14	211
steil	2.056	0.14	90
sehr steil	2.046	0.13	19
total	2.041	0.13	468

zunehmender Hangneigung die edaphische Standortgunst nach mehreren geoökologischen Kriterien abnimmt. Besonders auf Kalk kommt es dabei zu einer prekären Situation hinsichtlich der Wasserversorgung beim Flachwurzler Fichte, was sich auch im Kronenzustandsbild niederschlagen müßte. Wie Tab. 8 zeigt, weisen auch tatsächlich Standorte in steilen bis sehr steilen Lagen einen deutlich schlechteren Waldzustand auf, womit die Abhängigkeit des Zustandswertes von diesem Gelände-merkmal nachgewiesen wird.

### Relieftypen

Mit der Einbeziehung von Relieftypen in die Analyse des Zusammenhanges zwischen dem beobachteten Waldzustand und den Lageparametern der Bestände wird ein integralqualitatives Merkmal herangezogen. Die Relieftypen stellen dabei Indikatoren für geoökologische Einflußgrößen dar. Der generelle Zusammenhang zwischen dem Relieftyp und dem Wasserhaushalt und die tendenziell prekäre Situation auf Kuppen und Oberhängen kann zum Ausdruck kommen. Weil der Wasserhaushalt wie auch die regionale Immissionsklimatologie mit den Geländeformen in Beziehung stehen, ist generell ein Einfluß der Relieftypen auf den Waldzustand zu erwarten. Oberhänge weisen häufig ein Bodenwasserdefizit auf und können als Prallhänge durch anströmende Immissionen belastet sein. Im Untersuchungsgebiet (Tab. 9) zeigt sich eine mäßige, aber tendenzielle Differenzierung zwischen dem Waldzustand der Oberhänge ( $\bar{X} = 2.05$ ) und der Unterhänge ( $\bar{X} = 2.02$ ). Dagegen wirken sich extreme Standortverhältnisse, wie Felsriegel ( $\bar{X} = 2.15$ ) oder geschützte Grabeneinhänge ( $\bar{X} = 1.96$ ) ideal typisch auf den Waldzustand

Tab. 9: Waldzustand (Fichte) und Relieftypen.

Relieftyp	Waldzustand (Fichte)		Fallzahl (Bestände)
	$\bar{X}$	St. Dev.	
Oberhang	2.05	0.12	39
Mittelhang	2.04	0.13	351
Unterhang	2.02	0.12	62
Felsriegel	2.15	0.15	6
Grabeneinhang	2.01	0.17	5
Ebene	1.96	0.12	5
total	2.04	0.13	468

Tab. 10: Waldzustand und Gesteinsuntergrund.

Gestein	Waldzustand		Fallzahl (Bestände)
	$\bar{X}$	St. Dev.	
Kalk 1	2.029	0.13	187
Kalk 2	2.064	0.12	14
Diabas	2.062	0.13	103
Kristallin	2.054	0.13	73
perigl. Schutt	2.048	0.14	54
quart. Lockersedim.	1.987	0.11	25
Werfener Schiefer	2.003	0.13	8
Grödener Sandst.	2.046	0.04	4
total	2.041	0.13	468

aus. Wegen der geringen Fallzahl ist der Einfluß auf andere Standortmerkmale zu vernachlässigen.

### Geologischer Untergrund

Die Beachtung des geologischen Untergrundes im Bereich der erfaßten Waldbestände ist wieder im Zusammenhang mit dem zu erwartenden Wasserhaushalt zu sehen. Die Wasserdurchlässigkeit des Gesteinsuntergrundes, seine Verwitterung und die Wasserspeichermöglichkeit dieser Verwitterungsprodukte sowie die Verfügbarkeit von Grundwasser (bei Lockersedimenten) sollten einen entsprechenden Einfluß auf den Standort ausüben. Daneben sind es auch Fragen des Bodenchemismus (Nährstoffaufschluß, pH-Werte), auf die hier allerdings nicht näher eingegangen wird.

Aus geologischer Sicht liegt das Untersuchungsgebiet zum größten Teil (Petzenstock, Koprein) im Gebiet der südlichen Kalkalpen, an die südlich kristalline Gesteine der Periadriatischen Naht und schließlich Kalke der Südalpen anschließen. An Lockersedimenten treten periglaziale Schuttströme und quartäre Sedimente in Tallagen auf.

Die Differenzierung des Waldzustandes (Tab. 10) nach dem Gesteinsuntergrund zeigt zunächst, daß Bestände auf Kalk nicht automatisch auch einen schlechteren Waldzustand aufweisen, wenn nicht extreme Neigungs- und Expositionsverhältnisse vorliegen. In mittleren Höhenlagen und bei guter forstwirtschaftlicher Betreuung, begünstigt auch durch die zahlreichen sommerlichen Niederschläge, weist der Fichtenwald auf Kalk sogar einen überdurchschnittlich guten Waldzustand auf (Kalk 1, 187 Bestände). Dagegen ist der Waldzustand von Beständen über Diabas (103 Fälle) und anderen kristallinen Gesteinen (73 Fällen) deutlich schlechter, was mit der geringen Verwitterung dieser Vulkanite, mit dem raschen Wasserabfluß unter dem dürrtigen A-Horizont, aber auch mit einer häufigen südlichen Exposition dieser Standorte zusammenhängen mag. Wie zu erwarten, ist der beste Waldzustand über quartären Sedimenten in Tallagen (25 Fälle) zu beobachten, weil dort eine günstige Wasserversorgung über das Grundwasser gegeben ist. Ebenfalls gut ist der Waldzustand über dem tonig und tiefgründig verwitternden Werfener Schiefer.

## Waldzustand und Bestandesmerkmale

### Waldzustand und Waldtypen (Baumartenmengung): Forste versus naturnahe Mischwälder

Wie bereits aus anderen Waldzustandsstudien in Kärnten (Gailtal) bekannt wurde, besteht ein auffälliger Zusammenhang zwischen dem Waldzustand (Fichte) und dem Waldtypus, der, wie erinnerlich, durch die Baumartenmengung des Bestandes definiert ist. Vergleicht man den Waldzustand von Fichten-Stichproben in den verschiedenen Waldtypen, in denen die Fichte sowohl dominant vertreten als auch beigemischt sein kann (Tab. 11), so ist festzustellen, daß das Bestandesmerkmal „Waldtypen nach der Baumartenzusammensetzung“ deutlichere Differenzierungen des Waldzustandes erkennen läßt als andere standort- oder bestandesbezogene erklärende Zusatzparameter, die für eine Zusammenhanganalyse zur Verfügung stehen. Der Waldzustand ist

- im (reinen) Fichtenwald eindeutig besser als in allen anderen Waldtypen ( $\bar{X} = 2.03$ ) und auch im Lärchen-Fichtenwald noch vergleichsweise gut ( $\bar{X} = 2.05$ ),
- in den Mischwäldern dagegen signifikant schlechter,  $\bar{X} = 2.11$  werden im Tannen-Fichten-Buchenwald,  $\bar{X} = 2.09$  im Buchen-Fichten-Lärchen-Mischwald und  $\bar{X} = 2.10$  im Kiefern-Fichten-Mischwald ermittelt.

Als Ursache für dieses Phänomen wird die folgende Erklärung geboten: Reine Fichtenbestände sind als natürliche Waldtypen im Untersuchungsgebiet eher selten, besonders in der „Montanstufe“, in der die meisten der beobachteten Bestände liegen. Wenn solche Fichtenwälder dennoch häufig auftreten (zwei Drittel aller Fichtenstichproben stammen aus dem Fichtenforst), dann sind sie grundsätzlich durch forstliche Maßnahmen gefördert und entsprechend gepflegt. Als Resultat von Durchforstungen haben die einzelnen Individuen verbesserte Wuchsbedingungen und eine geringere Konkurrenz im Wurzelraum sowie im Kampf um den Lichtgenuß. Das wirkt sich bei darüber hinaus annehmbaren Standortbedingungen positiv auf den Kronenzustand aus.

Im Buchen-Fichten-Lärchen-Mischwald wie auch im Tannen-Fichten-Buchenmischwald wird ein überdurchschnittlich schlechter Waldzustand

Tab. 11: Abhängigkeit des Waldzustandes  $\bar{X}$  (Fichte) vom Waldtyp (nach Baumartenzusammensetzung) bzw. von forstlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Waldtyp	Fallzahl	Waldzustand		Fichte Fallzahl
		$\bar{X}$	St. Dev.	
Lärche-Fichte	84	2.05	0.14	69
Fichte	334	2.03	0.13	334
Tanne-Fichte-Buche	13	2.11	0.16	9
Buche-Fichte-Lärche	123	2.09	0.14	35
Kiefer-Fichte	35	2.10	0.13	16
total	881	2.04	0.13	463

Tab. 12: Abhängigkeit des Waldzustandes  $\bar{X}$  (Fichte) vom Bestandesalter.

Altersklasse	Waldzustand (Fichte)		Fallzahl (Bestände)
	$\bar{X}$	St. Dev.	
schwaches Baumholz	1.86	0.15	9
starkes Baumholz	2.02	0.13	200
Altholz	2.06	0.12	253

ermittelt (Tab. 11). Hier liegen Bestände ohne gezielte forstliche Baumartenselektion („Bauernwald“), denen auch eine Durchforstung fehlt. Damit stehen die Fichten in Konkurrenz mit eng benachbarten Individuen, und die erfaßten Kronen spiegeln diese suboptimale Situation wider.

Der überdurchschnittlich schlechte Zustand der Fichtenstichproben in Mischwäldern wird analog zum obigen Erklärungsansatz im Fehlen von durchgreifenden forstlichen Maßnahmen gesehen. Die vielfältige Baumartenzusammensetzung weist auf einen hohen Grad der Natürlichkeit der Waldbestände hin und damit auf eine geringe forstliche Veränderung, was sowohl für schwer zugängliche Standorte als auch für Bauernwald zutrifft. In solchen wenig durchforsteten Beständen sind Überalterung und gegenseitige Behinderung im Wuchs, beides Faktoren, die einen schlechten Kronenhabitus zur Folge haben können, sicher häufiger als in Fichtenforsten. Das sind die Gründe, die in den Mischwaldbeständen zu einem schlechteren Waldzustandswert führen. Beim Kiefern-Fichtenwald, der häufig auf Extremstandorten stockt, spielen diese Standortbedingungen daneben gewiß eine entsprechende Rolle.

### Der Einfluß des Bestandesalters

Der Zusammenhang zwischen Nadelverlusten und Kronenverlichtungen einerseits und dem Alter der Baumindividuen ist allgemein bekannt und auf die abnehmende physiologische Vitalität zurückzuführen. Auch in der vorliegenden Untersuchung ist ein zumindest trendmäßiger Zusammenhang zwischen dem Alter der Bestände und dem Waldzustand festzustellen (Tab. 12). Die zur Interpretation herangezogenen Bestände werden aufgrund bildsichtbarer Kronenmerkmale drei Alters- bzw. Wuchsklassen zugeordnet, wobei die Abhängigkeit der Kronengröße von der Höhenlage des Standortes mitberücksichtigt wird. Der Waldzustandswert wird mit zunehmendem durchschnittlichem Bestandesalter schlechter. Besonders verwiesen wird auf den Unterschied zwischen „starkem Baumholz“,  $\bar{X} = 2.02$ , und „Altholz“,  $\bar{X} = 2.06$ . Er beeinflusst auch die Zustandsabfolge im Höhenprofil, weil der Altholzanteil mit der Höhe zunimmt.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die Immissionsbelastung des Petzenstockes an der südöstlichen Grenze Kärntens wird anhand einer Messung der  $SO_2$ -Belastung (Bleikerzenmethode, Höhenprofil im Winterhalbjahr) und über Flechten als Bioindika-

toren festgestellt. Der gemessenen Belastungsabnahme mit zunehmender Höhe stehen schwere Schäden an den Flechten in den Hochlagen gegenüber. Neben dem erwarteten Schadstoffstau in den Tallagen und infolge inverser Temperaturschichtung kommt es offenbar auch zu kurzfristigen, aber intensiven Belastungen der Hochlagen, wenn saure Abgase aus benachbarten Emittenten (Mežica, Šostanj) hangaufwärts verfrachtet werden. Es stellt sich nun die Frage, ob auch der Waldzustand dadurch beeinträchtigt ist, wobei zur Abschätzung anderer Einflüsse auf den Waldzustand auch Standort- und Bestandesparameter herangezogen werden.

Die Feststellung des Waldzustandes erfolgt nach dem Standardverfahren der Klassifikation nach Kronenzustandsstufen aus Farbinfrarotluftbildern, vorwiegend für die Baumart Fichte (470 Bestände), die Ergebnisse sind in Bestandeskarten festgehalten. Der Zusammenhang mit dem Immissionseinfluß wird im Höhenprofil des Waldzustandes sichtbar, welches nicht, wie aus Vergleichsstudien (Lavanttal) bekannt, ab etwa 1000 m Höhe eine Zustandsverbesserung zeigt, sondern mit steigender Höhe schlechtere Waldzustandswerte aufweist. Dieser atypische Sachverhalt besteht auch bei einer Gliederung in Teilgebiete und belegt somit die Auswirkung des Immissionseinflusses besonders in den Hochlagen.

Standortparameter beeinflussen den Waldzustand in der statistischen Analyse der Gesamtdaten eher nur tendenziell. Pessimale Standortverhältnisse in bezug auf die Wasserversorgung überlagern die anderen Einflüsse daher nur schwach oder in Einzelfällen. Die Abhängigkeit des Waldzustandes vom Bestandesalter gilt als bekannt, weniger bekannt ist dagegen der schlechtere Zustand in Mischwaldbeständen. Dieser Waldtyp steht als Indikator für forstlich wenig veränderte, z. T. überalterte, z. T. „ungepflegte“ Bestände; er belegt die Abhängigkeit des Waldzustandes von forstbetrieblichen Maßnahmen.

## LITERATUR

- HACKL, J., et al. (1987): Waldzustandserhebung Bad Hofgastein. Umweltbundesamt u. Amt d. Salzburger Landesregierung.
- HANISCH, B., u. E. KILZ (1990): Waldschäden erkennen (Fichte und Kiefer). Ulmer, Stuttgart.
- HARTMANN, G., u. R. UEBEL (CIR-Luftbild-Interpretationsschlüssel zur Schadensansprache an Fichte im Harz. In: Der Forst- u. Holzwirt 16, S. 438–441.
- MÖSSMER, R. (1986): Verteilung der neuartigen Waldschäden an der Fichte nach Bestandes- und Standortmerkmalen in den Bayerischen Alpen. Schriftenreihe der Forstwiss. Fak. Univ. München und der Bayer. Forstl. Forschungs- und Versuchsanstalt, H. 73.
- NEUMANN, M. (1988): Einfluß von Standortfaktoren auf den Kronenzustand. Air Pollution and Forest decline. Symposiums-Band IUFRO P 2.05, S. 209–214.
- POLLANSCHÜTZ, J., et al. (1985): Instruktionen für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien.
- SEGER, M. (1989): Fernerkundung–Zusammenhangsanalyse–Modellbildung. Veröffentl. d. Komm. f. Humanökologie der ÖAW 1, S. 141–167.
- ZIRM, K., F. FIBICH et al. (1986): Erhebung der Vitalität des Waldes in Vorarlberg. Erste Untersuchungsergebnisse. Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Wien.

## Anhang 1: Interpretationsschlüssel

### STEREOSKOPISCHE KRONENZUSTANDSERMITTLUNG VON EINZELBÄUMEN (ab Alter Baumholz)

Flug 15. 8. 1985, LAVANTTAL  
Film Kodak IR 2443,  
Bildmaßstab 1:5000–1:7000

#### INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL FICHTE

##### terrestrisch sichtbare Merkmale

###### Kronenzustandsstufe

(Vitalitätsstufe,  
Schadensstufe)

**Stufe 1,**  
keine Verlichtung  
(gesund)

**Benadelung** dicht, gleichmäßig, ca. 6–12 Nadeljahrgänge in Abhängigkeit von Höhe des Standortes. Nach **Wuchsform** Kamm-, Bürsten- oder Plattentyp, letztere in größeren Höhen. **Kronenform** spitz bis stumpf kegelförmig. **Färbung** (Spätsommer) satt dunkelgrün. Stamm in Seitenansicht verdeckt. Nadelverlust bis ca. 10% möglich, bes. bei stammnahen Lamettazweigen (Kammfichte) Altholz auch etwas unregelmäßig im Behang.

**Stufe 2,**  
Schwache  
Verlichtung  
(leicht  
beeinträchtigt)

Beginnende Verlichtung, meist von innen nach außen, Nadelverlust bereits auffällig (bis etwa 25%). Nadelfarbe wie Stufe 1 oder, bes. bei älteren Nadeljahrgängen, leicht vergilbt. Bei Kammfichten Lamettabehang z. T. durchsichtig, aber noch ± regelmäßig.

##### bildsichtbare Merkmale

###### Gestaltmerkmale

stereoskopische Form,  
Grobstruktur, Feinstruktur

**Form:** Kronenkegel spitz bis abgestumpft, durch Hauptäste gegliedert. Umriß sternförmig bis wellig (Alter, Wuchstypus).

###### Grobstruktur:

Kammfichte: sternförmige Anordnung der Hauptäste, länglich-wulstig (dichte Benadelung), nicht strahlig dünn.

Bürstenfichte: keulig verbreitete Hauptäste, Sternstruktur tritt zurück.

Plattenfichte: Hauptäste plattig dachziegelartig angeordnet.

**Feinstruktur:** Hauptäste, weil dicht benadelt, gleichmäßig glatt begrenzt.

###### Form und Grobstruktur:

Kammfichte: Sternstruktur der Hauptäste verstärkt, tiefere Lücken sichtbar.

Bürstenfichte: beginnende Auflösung des Kronenmantels durch unregelmäßige, kleinere Lücken.

###### Feinstruktur:

Kammfichte: Hauptäste noch gleichmäßig-wulstig, aber schmaler als bei Stufe 1.

Bürstenfichte: Hauptäste noch keulenförmig, aber unregelmäßig rauh.

###### Farb- und Farbrelationsmerkmale

Sattes, dunkles Rot (Purpur), gleichmäßige Färbung der ganzen beleuchteten Krone. Beschattete Teile schwarz.

Hellere Rottöne als bei Stufe 1, Farben (alt)rosa bis hellrosa (Nadelverluste, Ansätze von Vergilbung), z. T. mit „Grauschleier“, z. T. unregelmäßig in der Färbung. Zusätzlich für Bürstenfichte: Ansätze zur Marmorierung durch unterschiedliche Rottöne.

**Stufe 3,**  
mittlere  
Verlichtung  
(deutlich  
geschädigt)

a) Zuordnung vorwiegend durch Nadelverluste, deutliche Verlichtung „durchsichtige“ Krone, Nadelverlust etwa 25–60%. Zweige z. T. kahl oder nur mit 3–5 Nadeljahrgängen, Nadelfarbe meist wie Stufe 1. Kammfichte: ausgeprägtes Lammettasyndrom, z. T. Ersatztriebe am Hauptast. Bürstenfichte: büschelig-unregelmäßige Benadelung, auch durch Ersatztriebe. Vielfach unterschiedliche Verlichtungsintensität zwischen Wipfel und übriger Krone.

**Form und Grobstruktur:**

Kammfichte: sehr deutliche Sternstruktur (Nadelverluste). Hauptäste voneinander abgesetzt, keilförmige tiefe Einblicke in die Krone. Wipfel z. T. dichter, diffus. Umriß sternförmig-gezackt. Kahle Astpartien teilweise sichtbar.  
Bürstenfichte: Mantel stumpf-kegelig, diffus, Umriß sternförmig-gezackt, aufgerauht (wolkig), große unregelmäßige Lücken. Stufiger Aufbau der Hauptäste nur mehr undeutlich.

**Feinstruktur:**

Kammfichte: Hauptäste lanzettartig-schmal, z. T. unregelmäßig-klumpig verbreitet. Lammettabehang sägezahnartig abgerissen bis nicht mehr deutlich vorhanden. Astoberseite meist kahl oder mit Flechtenbewuchs, z. T. durch Ersatztriebe verdeckt.

Bürstenfichte: Hauptastebenen aufgerissen, teilweise kahle Astpartien sichtbar, keine weiteren Feinstrukturen erkennbar.

Form, Grob- und Feinstruktur wie Stufe 1 oder 2, bei stärkeren Nadelverlusten wie bei Stufe 3.

**Form und Grobstruktur:**

Kammfichte: strahlig-skelettartige (speicherartige) Hauptäste.  
Bürstenfichte: aufgelöst-zerrissener tiefgegliederter Mantel. Umriß unregelmäßig-gefranst.

**Feinstruktur:**

Kammfichte: vereinzelt punktförmige Verbreitung an den Hauptästen.  
Bürstenfichte: diffus aufgelöst, undeutlich.

Strahlig-scharf begrenzte bis diffuse Strukturen des Baumskelettes.

Kammfichte: Rosatöne nur mehr im Wipfelbereich und z. T. an Astspitzen. Hellgraue, weißliche bis grünliche Töne, z. T. gemengt, vorherrschend. Selten: Oberkrone graugrün, übrige Krone hellrosa. Bürstenfichte: starke Marmorierung von rot bis weißlichgrün. Flechtenbewuchs: weißlich-elfenbeinfarben.

Hellrosa bis weißlich, gleichmäßig. Bei Nadelverlust mit leichten Marmorierungen.

Weißlich-grau und Grüntöne dominieren, bei der Bürstenfichte Marmorierung von dominantem Graugrün mit Rot.

Weißlich-grün bis graugrün.

**Stufe 4,**  
stark verlichtet  
bis absterbend  
(stark geschädigt  
bis tot)

Sehr starke Verlichtung (über 60%) bzw. kahle Hauptäste, Stamm zur Gänze sichtbar. Unregelmäßige Benadelungsreste. Nur 1–3 Nadeljahrgänge. Kammfichte: Lametta fast nicht mehr vorhanden.

Absterbend/Tot: Baumskelett, z. T. einzelne Nadelreste.

## INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL TANNE

terrestrisch sichtbare Merkmale	Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	bildsichtbare Merkmale	Farb- und Farb- mustermerkmale
<p><b>Kronenzustandsstufe</b> (Vitalitätsstufe, Schadensstufe)</p>			
<p><b>Stufe 1,</b> keine Verlichtung (gesund)</p>	<p>Kegelförmige volle Krone, bei Altholz abgestumpfter Wipfel mit plattigem Aufbau der Hauptastebenen. Keine sichtbaren Nadelverluste. Nadelfarbe satt dunkelgrün, jüngste Triebe z. T. etwas heller.</p>	<p>Regelmäßig dichter, gerundeter Kronenmantel. Keine deutliche Abgrenzung der Hauptastebenen erkennbar. Wegen dichter Benadelung des Feinreisigs scharfe Feinstruktur.</p>	<p>Kräftiges Purpur- bis Braunrot, intensivste Färbung unter den Nadelbäumen. Wipfelbereich, wenn Zapfen tragend, mit gelblichen Punkten übersät.</p>
<p><b>Stufe 2,</b> schwache Verlichtung (leicht beeinträchtigt)</p>	<p>Krone durch Nadelverluste aufgelockert. Im oberen Kronenbereich bisweilen Wasserreiser. Beginn des Absterbens von Feinreisig. Nadelfarbe wie 1 oder selten leicht vergilbt.</p>	<p>Lückenhaft aufgelockert Kronenmantel, stellenweise Einblicke in das Kroneninnere. Hauptastebenen treten teilweise hervor, sind unscharf begrenzt. Meist kein Strukturunterschied zwischen Wipfel und Krone.</p>	<p>Kräftiges Rot, wechselnd mit Hellrot oder Graurot (beginnende Marmorierung).</p>
<p><b>Stufe 3,</b> mittlere Verlichtung (deutlich geschädigt)</p>	<p>Schütterte Krone, starker Nadelverlust, vitale „Wasserreiser“, Wipfel gestaucht, häufig „Storchennest“-Bildung, am äußeren Ende Hauptäste noch gut benadelt. Zahlreiche tote Nebenäste, einzelne Hauptäste absterbend.</p>	<p>Unregelmäßiger Kronenmantel und tiefe Einblicke in das Kroneninnere, Hauptäste z. T. inhomogen, nach außen keulig verdickt. Wipfel durch dichtes Feinreisig häufig von übriger Krone abgesetzt (Storchennest).</p>	<p>Deutliche Marmorierung von hellrot zu rosa und grau, Wipfel z. T. noch kräftig.</p>
<p><b>Stufe 4,</b> stark verlichtet bis absterbend (stark geschädigt bis tot)</p>	<p>Sehr unregelmäßige, schütterte Krone. Absterbende Hauptäste, oft nur mehr „Storchennest“ lebend, zahlreiche Wasserreiser.</p>	<p>Aufgelöst-unregelmäßiger Kronenmantel, unscharf durch totes Feinreisig. Auch „Storchennest“ unregelmäßig strukturiert.</p>	<p>Rote bis rosa Flecken (Reste dichter Benadelung), oft rotes Storchennest, sonst diffuse Farbmischung mit hellrosa, graugrün bis weißlich-leuchtend-rote Punkte erkennbar.</p>

## INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL LÄRCHE

terrestrisch sichtbare Merkmale	bildsichtbare Merkmale	
Kronenzustandsstufe (Vitalitätsstufe, Schadensstufe)	Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	
keine Verlichtung (gesund)	Farb- und Farbmustermerkmale	
<p><b>Stufe 1,</b> keine Verlichtung (gesund)</p>	<p><b>Umriß</b> rundlich bis schwach sternförmig, unscharf (Feinreisig) oder unregelmäßig durch Hauptäste der Unterkrone. Kronenmantel durch Hauptäste nur schwach strukturiert (Feinreisig). Fülliges Feinreisig führt zu sichtbaren, unscharfen Feinstrukturen.</p>	<p>Gleichmäßig kräftiges Rosarot, z. T. mit Blau- stich.</p>
<p><b>Stufe 2,</b> schwache Verlichtung (leicht beinträchtigt)</p>	<p><b>Umriß</b> unscharf bis unregelmäßig aufgelöst, einzelne Hauptäste unterscheidbar, Einblicke in das Kroneninnere, Feinstruktur unscharf-unregelmäßig.</p>	<p>Hellrosa Kronenmantel mit beginnender weißlicher Marmorierung.</p>
<p><b>Stufe 3,</b> Verlichtung (deutlich geschädigt)</p>	<p><b>Umriß</b> unregelmäßig, weil Hauptäste hervortreten. Dadurch auch Krone deutlich gegliedert. Hauptäste breit-klobig, spitz bis stumpf endend, unscharf begrenzt, unregelmäßig, z. T. pinselförmig mit Feinreisig besetzt. Einblicke in das Kroneninnere, Wipfel unstrukturiert.</p>	<p>Fahl weißlich-rosa mit weißen bis weißgrauen Partien wechselnd.</p>
<p><b>Stufe 4,</b> stark verlichter bis absterbend (stark geschädigt bis tot)</p>	<p><b>Umriß</b> diffus, Hauptäste strahlig, unscharf begrenzt (Restbenadelung).</p>	<p>Weißgrau mit graugrüner Marmorierung bis (türkis-)grün (= Ästskelett).</p>

## INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL KIEFER

terrestrisch sichtbare Merkmale	Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	bildsichtbare Merkmale	Farb- und Farbmustermerkmale
<p><b>Kronenzustandsstufe</b> (Vitalitätsstufe, Schadensstufe)</p> <p><b>Stufe 1,</b> keine Verlichtung (gesund)</p>	<p>Geschlossen wirkende Oberkrone durch regelmäßige, mehrere Nadeljahrgänge umfassende Benadelung. Unterkrone teilweise schütter benadelt, vereinzelt abgestorbene Zweige. Nadelfarbe dunkelgrün bis fahlgrün.</p>	<p>Gerundeter, gut abgrenzbarer Umriss. Kronenmantel rundlich, kuppig abgeflacht, ohne Feinstruktur (wolkig, wattenbauschartig). Grobstruktur: einzelne Zweigbüschchen an der Peripherie erkennbar.</p>	<p>Stumpfes Braunrot, z. T. mit Graustich (bei fahlgrüner Nadelfarbe), keine Marmorierung.</p>
<p><b>Stufe 2,</b> schwache Verlichtung (leicht beeinträchtigt)</p>	<p>Aufgelockerte Krone durch diverse Nadelverluste, diese häufig von innen nach außen. Zunahme dürerer Zweige, z. T. abgestorbene Äste in der Unterkrone. Nadelfarbe wie 1 oder leicht gelbgrün.</p>	<p>Umriss z. T. unscharf, Krone insbesondere randlich gegliedert. Feinstruktur: undeutlich, einzelne Astteile bereits differenzierbar. Grobstruktur: abgesetzte Hauptastbereiche sichtbar.</p>	<p>Braungrau bis fahlbraun mit grauen Flecken, teilweise leicht marmoriert.</p>
<p><b>Stufe 3,</b> mittlere Verlichtung (deutlich geschädigt)</p>	<p>Schütterere, „durchsichtige“ Krone, Zweige eher im Endbereich gut benadelt. Einzelne Wipfelpartien oft noch gut benadelt (verbuscht). Dürre Zweige auch in Oberkrone, absterbende und tote Äste in Unterkrone. Nadelfarbe wie 2 oder deutlicher vergilbt.</p>	<p>Krone randlich unscharf begrenzt. Feinstruktur: immer mehr Astpartien voneinander differenzierbar. Aufgelockerte, durch einzelne Kronenteile (Hauptäste) strukturierte Krone. Wolkig-unscharfes Kronenbild.</p>	<p>Weißgrau bis weiß, selten mit hellbraun-rosa Flecken.</p>
<p><b>Stufe 4,</b> stark verlichtet bis absterbend (stark geschädigt bis tot)</p>	<p>Sehr schütterere Krone, Benadelung nur mehr an jüngsten Trieben oder fehlend. Zahlreiche tote Äste und Zweige auch in der Oberkrone; z. T. bereits fehlend (abgebrochen). Nadelfarbe: fahlgrün bis vergilbt oder braun.</p>	<p>Aufgelöste Krone, unscharf begrenzt, mit teilweisem Durchblick auf den Waldboden zwischen den noch benadelten Kronenteilen. Diese klumpig unregelmäßig über die Krone verteilt.</p>	<p>Graugrün bis weißlich. Krautschicht-Farbe durch Kronenlücken sichtbar. Totäste (hell) grün.</p>

## INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL BUCHE

terrestrisch sichtbare Merkmale		bildsichtbare Merkmale	
Kronenzustandsstufe (Vitalitätsstufe, Schadensstufe)		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
<b>Stufe 1, gesund</b>	Volle, dichte Krone mit gut verzweigten Hauptästen. Diese bilden mit ihrem Feinreisig deutlich sichtbare Fächer. Kräftig dunkelgrüne Blattfärbung.	Kronenmantel kugelig, geschlossen. Gerundeter, unscharf begrenzter Umriß. Feinstruktur: gleichmäßig „gekräuselte“ Oberfläche (Enden der gut verzweigten Astfächer).	Zur Gänze kräftig (leuchtend) rot.
<b>Stufe 2, leicht beeinträchtigt</b>	Unregelmäßige Oberkrone durch Bildung von Hauptastspießen. Bei diesen verkürztes Längenwachstum der Seitenzweige. Reduzierte Belaubung der Kronenperipherie. Keine Bildung von Astfächern mehr. Laubfarbe wie 1 oder etwas fahler.	Kronenmantel teilweise stufig gegliedert, unregelmäßiger Umriß (beides durch Hauptastspieße). Feinstruktur: Spieße dreidimensional und am Kronenrand erkennbar.	Rosarot bis rot, leichte Marmorierung, Spieße heller.
<b>Stufe 3, deutlich geschädigt</b>	Weiterer Rückgang der Seitenverzweigung, da durch Ausbildung von „Krallen“, distal (am Ende) nach aufwärts gebogene Hauptäste. Feinreisig z. T. abgestorben oder abgefallen. Krone insbes. in der Peripherie schütter durch Blattverlust und reduzierte Bildung von Seitenzweigen. Laubfarbe wie 2, z. T. partiell vergilbte Blätter.	Aufgelöste, „löchrige“ Krone, Einblicke in das Kroneninnere, Hauptäste z. T. deutlich erkennbar. Feinstruktur: unscharf, verschwommen.	Hellrosa bis weißlich rosa, teilweise grau, marmoriert.
<b>Stufe 4, stark geschädigt bis tot</b>	Sehr schütterte Krone, auch Hauptäste teilweise abgestorben, Restbelaubung unregelmäßig. Laubfarbe wie 3.	Aufgelöste, stark gegliederte Krone, skelettierte Astpartien erkennbar. Feinstruktur: unscharf, verschwommen.	Graugrün bis weißlich grau, z. T. mit hellrosa Flecken.

**Anhang 2: FLECHTENAUFNAHME (R. TÜRK) UND SCHÄDIGUNGSANGABEN IM PETZEN-HÖHENPROFIL**

1. 1950 m, Baumgrenze unterhalb Kniepsattel, auf Lärche, Deckungsgrad 80%

Artenliste und Häufigkeit:

<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3	Schädigungsgrad: über 50%, alle Flechten
<i>Hypogymnia physodes</i>	3	ausgebleicht, stark geschädigt,
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	1	Spitzen von <i>Pseudevernia</i>
<i>Bryoria fuscescens</i>	1	<i>furfuracea</i> und <i>Usnea spec.</i>
<i>Lecanora pulicaris</i>	1	weiß
<i>Usnea spec.</i>	+	

2. 1900 m, ostexponiert, Lärche, Deckungsgrad 90%

Artenliste wie Punkt 1

Schädigungsgrad über 50%, Loben der Blattflechten-Thalli ausgebleicht, deformiert, Spitzen abgerundet. Usneen fast weiß, *Bryoria fuscescens* rot verfärbt.

3. 1800 m, Oberkante Trebnikkar, ostexponiert, auf Lärche, Deckungsgrad 10%(!)

Artenliste und Häufigkeit:

<i>Platismatia glauca</i>	2	Schädigungsgrad über 50%
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3	<i>Platismatia glauca</i> tot,
<i>Hypogymnia physodes</i>		Abnahme des Deckungsgrades
<i>Parmeliopsis ambigua</i>		wie in Stadtzentren.
<i>P. aleurites</i>		
<i>Hypogymnia bitteri</i>		

- 4a 1720 m, bei Berggasthof auf Lärche,

Artenliste:

<i>Evernia divaricata</i>	
<i>Platismatia glauca</i>	
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	
<i>Cetraria chlorophylla</i>	
<i>Hypogymnia physodes</i>	
<i>H. tubulosa</i>	
<i>H. bitteri</i>	
<i>Bryoria fuscescens</i>	
<i>Hypogymnia austerodes</i>	

- 4b 1690 m, bei Schischule,

auf Lärche, Deckungsgrad 80%

Artenliste und Häufigkeit:

<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3
<i>Bryoria fuscescens</i>	1
<i>Hypogymnia physodes</i>	3
<i>Platismatia glauca</i>	2
<i>Usnea subfloridana</i>	1
<i>Usnea filipendula</i>	+
<i>Ochrolechia alboflavescens</i>	2
<i>Hypogymnia bitteri</i>	+
<i>Hypogymnia austerodes</i>	+
<i>Hypogymnia bitteriana</i>	1
<i>Cetraria chlorophylla</i>	r

Schädigungsgrad 10–25% (4a) bzw. 10% (4b), an der SE-Seite der Bäume ist die Schädigung vor allem von *Pseudevernia furfuracea* deutlich höher (15–25%) als an der NW-Seite.

5. 1640 m, an ostseitiger Abbruchkante: Schädigung von *Pseudevernia furfuracea* an der Abbruchkante 25–50%, nimmt mit Distanz vom ostseitig offenen Abbruch ab (10–20%).

6. 1420 m, Nordflanke der Petzen, auf Fichte, Deckungsgrad 60%

Artenliste und Häufigkeit:

<i>Hypogymnia physodes</i>	4	Schädigungsgrad 10%,
<i>Bryoria fuscescens</i>	1	die Schädigung ist eindeutig
<i>Platismatia glauca</i>	2	geringer als in größeren
<i>Parmeliopsis aleurites</i>	+	Höhenlagen.

7. 1050 m, auf Buche: Schäden an Blattflechten in Regenabflußstreifen der Baumstämme.

8. 900 m, auf Buche: empfindliche Flechtenarten wie *Cetraria cetrarioides* und *Parmelia saxalibis* 10–15% geschädigt, resistenterere Arten nur gering geschädigt.

9. 650 m bei WH Maut, auf Kirsche: bei starkem Flechtenbewuchs erneut starke Schädigung (25–50%).

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [183\\_103](#)

Autor(en)/Author(s): Seger Martin

Artikel/Article: [Waldzustand, Immissions- und Standorteinflüsse im Petzengebiet, Kärnten Geoökologisch-immissionsökologische Analyse der Waldzustandserfassung aus Farbinfrarot-Luftbildern\) 613-645](#)