

Carinthia II	184./104. Jahrgang	S. 555–625	Klagenfurt 1994
--------------	--------------------	------------	-----------------

Waldschadensforschung im Gailtal, Kärnten

Erfassung des Waldzustandes mittels Farbinfrarot-
Fernerkundung und standort- sowie immissionsökologische Ansätze
zur Ursachenforschung

Von Martin SEGER

Mit 28 Abbildungen und 19 Tabellen

I N H A L T

1. **Vorbemerkungen**
 - 1.1. Zielsetzungen und Problemstellung
 - 1.2. Methodische Ansätze
 - 1.3. Die Waldtypen des Untersuchungsgebietes
2. **Die Luftschadstoffe und Niederschlagsdefizite als potentielle Einflußgrößen auf den Waldzustand im Gailtal**
 - 2.1. Die SO₂-Belastung
 - 2.1.1. Vorbemerkung
 - 2.1.2. Erfassung der SO₂-Belastung im Winter 1986/87
 - 2.1.3. Die SO₂-Belastung im Tallängsprofil
 - 2.2. Regionales Windsystem und Schadstoffverfrachtung
 - 2.2.1. Das Windsystem: Dominanz tagesperiodisch wechselnder Talwinde
 - 2.2.2. Der Nachweis der Schadstoffverfrachtung in das Gailtal
 - 2.2.3. Ungleiche SO₂-Belastung im Talquerprofil als Folge regionaler Windsysteme
 - 2.3. Zur Ozon-Belastung: Nadelwald als Verursacher?
 - 2.4. Das Klima im Gailtal: warm-trockene achtziger Jahre
 - 2.4.1. Ein Überblick
 - 2.4.2. Die Klimaverhältnisse 1980–86 während der Vegetationsperiode
3. **Hauptergebnisse der Waldzustandserfassung**
 - 3.1. Waldzustand nach Baumarten
 - 3.1.1. Das Gesamtergebnis
 - 3.1.2. Die Waldzustandskarten
 - 3.1.3. Der Waldzustand nach Teilgebieten
 - 3.1.4. Zusammenhang des Kronenzustandes der Fichte mit jenem anderer

- 3.2. Waldzustandstypen als Kronenzustands-Cluster
 - 3.2.1. Die clusteranalytische Ermittlung von Waldzustandstypen für die Baumart Fichte
 - 3.2.2. Die Waldzustandstypen im Höhenprofil
- 3.3. Der Wandel des Waldzustandes mit der Höhenlage
4. Waldzustand und landschaftsökologische Ursachenforschung
 - 4.1. Vorbemerkungen
 - 4.2. Der Einfluß von Bestandesmerkmalen auf den Waldzustand
 - 4.2.1. Waldzustand (Fichte) und Bestandesalter
 - 4.2.2. Der Einfluß des Waldtyps auf den Waldzustand (Fichte)
 - 4.2.3. Ausschaltung des Einflusses der Bestandesparameter
 - 4.2.4. Bestandesaufbau und Waldzustand
 - 4.3. Waldzustand und Standortparameter
 - 4.4. Waldzustand und ökologische Standortanalyse
5. Zusammenfassung
 - Literatur
 - Anhang

1. VORBEMERKUNGEN

1.1. ZIELSETZUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG

Obwohl im Gailtal weder größere Städte noch bedeutende Industrie zu finden sind, haben die Erhebungen der Waldzustandsinventur (WZI) wiederholt einen schlechten Waldzustand an einigen Meßpunkten erbracht. Neben der Vermutung, daß dabei pessimale Standorte erfaßt wurden und zur Wirkung kommen, ist auch die Frage offen, inwieweit der einzige größere Emittent, die BBU-Anlage in Arnoldstein, den Waldzustand beeinflusst. (Diese ist mittlerweile stillgelegt; die vorliegenden Untersuchungen reihen sich einer größeren Zahl von Arbeiten über die Folgewirkungen eines inneralpinen Emittenten ein.) Aber auch andere Einflüsse, wie eine schlechte Durchforstung der Bestände in schwer zugänglichen Lagen oder die Folgewirkungen der trockenen Sommer zu Beginn der achtziger Jahre, können den Waldzustand beeinflussen.

Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, diesen Fragenkomplex zu erhellen. Als apriorisches Problem ist zunächst auf

- den regionalen Zuschnitt des Untersuchungsgebietes (Zwang zur Stichprobenerhebung) und auf
- die vielfältigen und undifferenzierten Wechselwirkungen der Einflußgrößen auf den Waldzustand sowie auf
- die lückenhafte und unzureichende Datenlage hinzuweisen.

In einer pragmatischen Vorgangsweise ist es für die skizzierte Zielsetzung notwendig,

- das Wissen um die Immissionssituation mittels einer Luftschadstoff-Meßkampagne zu erweitern,

- Daten über den Waldzustand mittels eines Farbinfrarot-Meßfluges zu erlangen und diese auszuwerten,
- Zusatzparameter zu den auf jeweils homogene Areale („Standorte“) bezogenen Waldzustandsdaten zu bestimmen, um über allfällige Zusammenhänge zur Ursachenforschung beizutragen.

Das Untersuchungsgebiet sind die bewaldeten Talflanken zu beiden Seiten des Gailtales zwischen Arnoldstein und Rattendorf (Naßfeld-Straße), wobei im Süden die östlichen Teile der Karnischen Alpen und im Norden die östlichen Gailtaler Alpen erfaßt werden. In Absprache mit der Landesforstdirektion des Amtes der Kärntner Landesregierung wurden fünf Meßflugstreifen für die Datengewinnung zum Waldzustand mittels Farbinfrarotfilm festgelegt (Abb. 1). Sie sind als Tallängs- und Talquerprofile angelegt und sollen möglichst unterschiedliche Wald- und Waldzustandsgebiete erfassen, eine flächendeckende Befliegung kam aus Kostengründen nicht in Betracht. Die Messungen zur Immissionsbelastung wurden soweit wie möglich an diese Flugstreifen angepaßt.

Als Untersuchungseinheiten zur Feststellung des Waldzustandes wurden Bestände ausgewählt, die nach Bestandes- und Standortmerkmalen als homogen anzusehen sind. Der Waldzustand in diesen räumlichen Basiseinheiten ist nach Baumarten in Karten (Anhang) festgehalten. Auf diese Bestandesflächen beziehen sich auch jene zusätzlich erfaßten Merkmale, die über den Einfluß von Bestandes- und Standortmerkmalen auf den Waldzustand Aufschluß geben sollen. Zur deskriptiv-statistischen Analyse der Frage solcher Zusammenhänge erfolgte eine Aggregation der Bestandesdaten sowohl über den gesamten Untersuchungsraum als auch nach Teilgebieten. Denn nicht nur mit der Höhe, sondern auch zwischen der südlichen und der nördlichen Talflanke sowie zwischen dem Westteil und dem Ostteil des Untersuchungsgebietes ist mit unterschiedlichen Zustands- und Standortbedingungen zu rechnen.

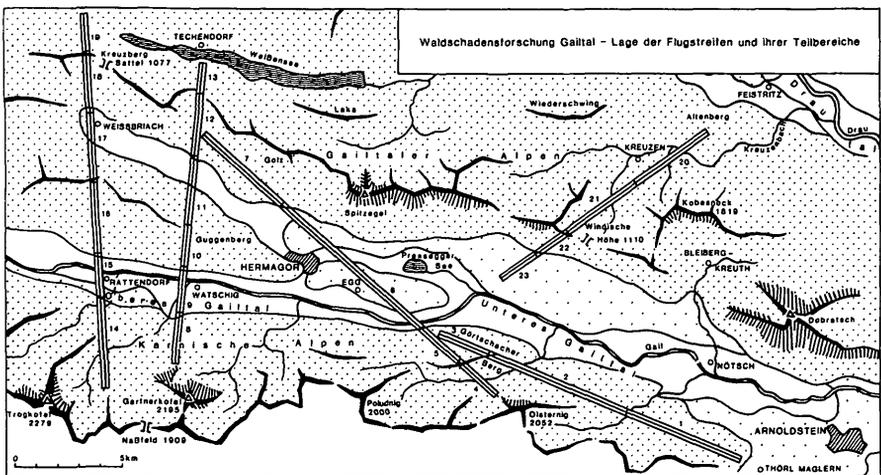


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet und die Meßstreifen des Bildfluges

Ein wechselnder räumlicher Bezugsrahmen, der die Differenzierung des Untersuchungsgebietes berücksichtigt, kennzeichnet die vorliegende Studie daher ebenso wie das Nebeneinander von statistisch-formalen Aussagen und einer deskriptiv-hermeneutischen Zusammenschau der unterschiedlichen Befunde, einem qualitativen Vergleich und der Abschätzung von Trends.

1.2. METHODISCHE ANSÄTZE

Methodisch ist die Studie, der Mehrschichtigkeit der Problemstellung entsprechend, einem pluralistischen Forschungssatz verpflichtet. Das bezieht sich zunächst auf die Verknüpfung von deduktiv-theoriegestützten Modellvorstellungen mit einer empirisch-analytischen Vorgangsweise. Im Gegensatz zu deduktiven Modellierungen des Waldzustandes (BOSEL u. METZLER 1982) oder seiner prozessualen Entwicklung (GROSSMANN et al. 1983), die eine regionale Situation aufgrund fehlender Parameter nur schwer abzubilden vermögen, wird eine empirisch-analytische Modellbildung zumindest partiell angestrebt. Die folgenden Theorien liegen der Untersuchung zugrunde:

Theorie der Kronenverlichtung als Indikator für den Waldzustand (Streßreaktion)

Die Waldzustandserfassung bezieht sich vorrangig auf die Hauptbaumart Fichte. Bei der Fichte werden die Nadeln nach 6 (tiefe Lagen) bis ca. 12 bis 15 Jahren (Hochlagen) abgeworfen. Ein vorzeitiges Abwerfen der Nadeln führt zu einem schütterten Kronenhabitus und zeigt suboptimale ökologische Bedingungen an, die sowohl durch standörtliche Streßsituationen als auch durch immissionsökologische Schadstoffeinwirkungen hervorgerufen werden können. Die Ursachen des vorzeitigen Nadelverlustes sind a priori nicht geklärt, und eine Schädigung z. B. als Minderung des Holzzuwachses ist mit Nadelverlusten nicht oder nur teilweise korreliert. Daher werden die phänotypologisch erfaßten Kronenzustände als Kronenverlichtungsstufen oder Waldzustandsstufen und nicht als Schadensstufen bezeichnet. Ein mäßiger Benadelungsverlust ist zudem reversibel, und häufig sind chronisch verlichtete Bestände festzustellen.

Theorie der vitalitätsabhängigen Reflexion von Pflanzenzellen (Farbinfrarotfilm)

Die Vitalitätsabhängigkeit der Reflexion des einfallenden Lichtes (der elektromagnetischen Strahlung) ist die Grundlage für die Anwendung der Fernerkundung in der Waldschadensforschung. Reflexion im grünen, Absorption im roten Bereich des sichtbaren Lichtes und eine besonders intensive Reflexion im Nahen Infrarot sind Kennzeichen einer vitalen und turgeszenten Blattzelle. Wasserverluste und schlaffe Zellwände reduzieren die Reflexion im Nahen Infrarot, und geschädigte Chloroplasten führen zu einer stärkeren Reflexion im Rotbereich des sichtbaren Lichtes. Zusätzlich verschiebt sich bei geschädigten Zellen der Reflexionsanstieg im Nahen Infrarot zum kurzwelligen Bereich hin (blue shift). Die Unterschiede zwischen vitaler und geschädigter Blattmasse werden im Farbinfrarotfilm (CIR – Color Infrared) erfaßt (Meßflug) und festgehalten (Datenspeicher), wobei mit abnehmender Vitalität eine Farbverände-

rung der erfaßten Blattmasse von kräftigem (Purpur-)Rot zu blasseren Farben stattfindet. Neben der baumartenspezifischen Farbbildung werden im CIR-Film auch gestaltstypologische Merkmale der Krone sichtbar und auswertbar. Farbmuster- und Gestaltmerkmale des Einzelbaumes werden in Interpretationsschlüsseln den einzelnen Kronenverlichtungsstufen, die aus der terrestrischen Zustandsinventur vorgegeben sind, zugeordnet.

Ökosystem-Ansatz der Erklärung des Waldzustandes (Zusammenhangsanalyse)

Es ist evident, daß der beobachtete Waldzustand aus dem komplexen und kombinierten Zusammenwirken von immissionsökologischen, regionalklimatischen und standortgebundenen Faktoren resultiert. Daneben haben Bestandesmerkmale wie Altern, Bestandesaufbau, aber auch anthropogene Einflüsse wie der Bewirtschaftungsgrad oder biotische Schadenswirkungen (Schädlingsbefall und Krankheitsbilder) eine entsprechendere Wirkung auf den Verlichtungsgrad der Baumkronen. Das Faktorenbündel der Einflüsse auf den Waldzustand ist in Abb. 2 dargestellt. Die Zusammenhangsanalyse (Differentialdiagnose) verfolgt das Ziel, die Bedeutung der einzelnen Faktoren darzustellen. Der unterschiedliche Wirkungsgrad der einzelnen Faktoren und die Überlagerung der wechselseitigen Wirkungen machen eine solche Analyse jedoch ebenso schwierig wie die vielfach nominale Datenstruktur (z. B. Expositionen) oder die Beurteilung von eher singulären Ereignissen (z. B. Trockenjahre). Daneben sind generelle deduktive ökologische Ansätze vielfach zu allgemein und zudem nur über indirekte, indikatorische Variable (Hangneigung für Gründigkeit, Geländeform für Bodenwasserverhältnisse) erfaßt. So erweist sich die deduktive Modellbildung anhand der empirischen Befunde nur in partiellen Ansätzen als durchführbar, was nach der Komplexität der Problemstellung und den vielfältig differenzierten Standort-, Bestandes- und Waldzustandsbedingungen jedoch nicht anders zu erwarten ist.

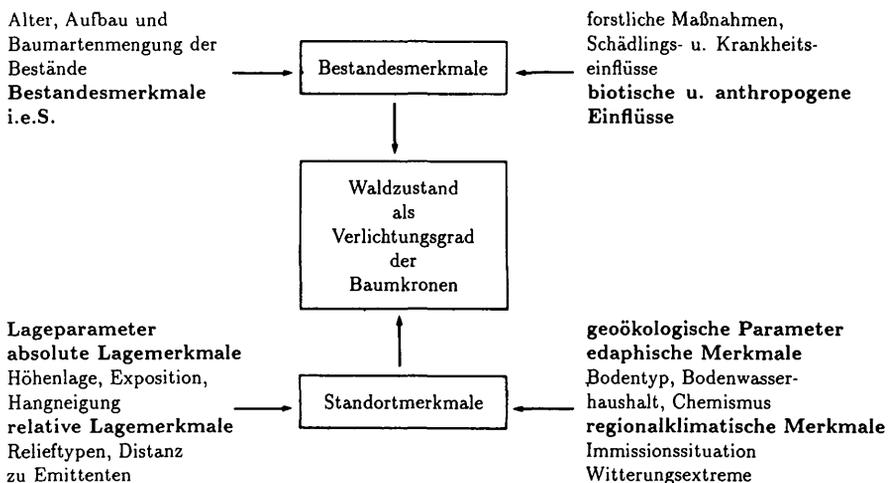


Abb. 2: Faktorenbündel der potentiellen Einflüsse auf den Waldzustand

1.3. DIE WALDTYPEN DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Die unterschiedlichen Wälder des örtlichen Gailtales werden nach ihrer Baumartenzusammensetzung, ihrer räumlichen Lage und ihrer Höhenverteilung vorgestellt. Dem Wuchsbezirk des südlichen randalpinen Buchenwaldgebietes mit einer natürlichen Beimengung von Tannen und Fichten zugehörig (MAYER 1974), zeigen die Wälder im Gailtal sowohl eine ausgeprägte Höhenstufung als auch einen mit der Höhe generell abnehmenden Umwandlungsgrad in Fichtenforste. Überaus auffällig ist der Gegensatz zwischen der südlichen Talflanke (Karnische Alpen) und dem Nordrand des Gailtales (Gailtaler Alpen). Besonders im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes dominieren an den südexponierten Hängen der Gailtaler Alpen natürliche Kiefern- (*Pinus-silvestris*-) und Kiefern-Fichten-Bestände, während auf der südlichen Talseite z. B. sehr naturnahe Buchenmischwälder stocken. Dieser Unterschied ist durch den nordwärts abnehmenden Niederschlagsgradienten und durch die Exposition sowie durch gesteinsabhängig verschiedenartige Wasserhaushaltsverhältnisse begründet.

Im Gegensatz zu pflanzensoziologisch-vegetationskundlich definierten Waldgesellschaften werden zur Kennzeichnung des Waldes Typen nach der Baumartenzusammensetzung gebildet. Diese ist für insgesamt 1385 im Bildmeßflug erfaßte Bestände aufgrund der Rasterstichprobe zur Waldzustandsbestimmung bekannt. Für die multivariate Typisierung der Bestände nach fünf Baumarten wurde eine Clusteranalyse herangezogen („Quickcluster“ SPSS). Diese gruppiert die Bestände nach der Ähnlichkeit der Häufigkeiten der Baumarten. Die Zahl der Cluster (Walddtypen) ist vorzugeben, nach mehreren Testläufen wurden zehn Cluster als optimal angesehen.

Tab. 1: Walddtypen nach der Baumartenzusammensetzung der Bestände. Ergebnis einer Clusteranalyse

Walddtypen nach der Baumartenzusammensetzung	Zahl der Bestände		Zentralwerte der Variablen (Baumarten) als Häufigkeitsmaß				
	n	(%)	Fi	Ta	Bu	Lä	Kie
1 Fichtenwald	380	(27)	84	5	6	5	4
2 Fichten-Tannen-(Bu-)Wald	180	(13)	64	23	8	4	2
3 Fichten-Buchen-(Ta-)Wald	149	(11)	59	6	28	5	4
4 Fichten-Lärchen-Wald	75	(6)	43	10	12	32	5
5 Fichten-Kiefern-Wald	65	(5)	48	4	10	7	33
6 Tannen-Fichten-Buchen-Wald	155	(11)	38	42	18	3	2
7 Buchen-(Fi-Ta-)Wald	143	(10)	17	13	67	3	3
8 Buchen-Tannen-Fichten-Wald	123	(9)	33	17	45	4	3
9 Kiefern-(Fi-)Wald	55	(4)	23	3	8	6	61
10 Lärchenwald	60	(4)	19	5	5	68	6

Die Zentralwerte der Cluster geben die durchschnittliche Häufigkeit der Baumarten pro Cluster (Walddtyp) an, wobei die Summe nach Baumarten rechenoperationsbedingt ungleich 100% ist. Das Ergebnis ist in Tab. 1 dargestellt. Obwohl die Wälder im Bereich des Gailtales, insbesondere an der südli-

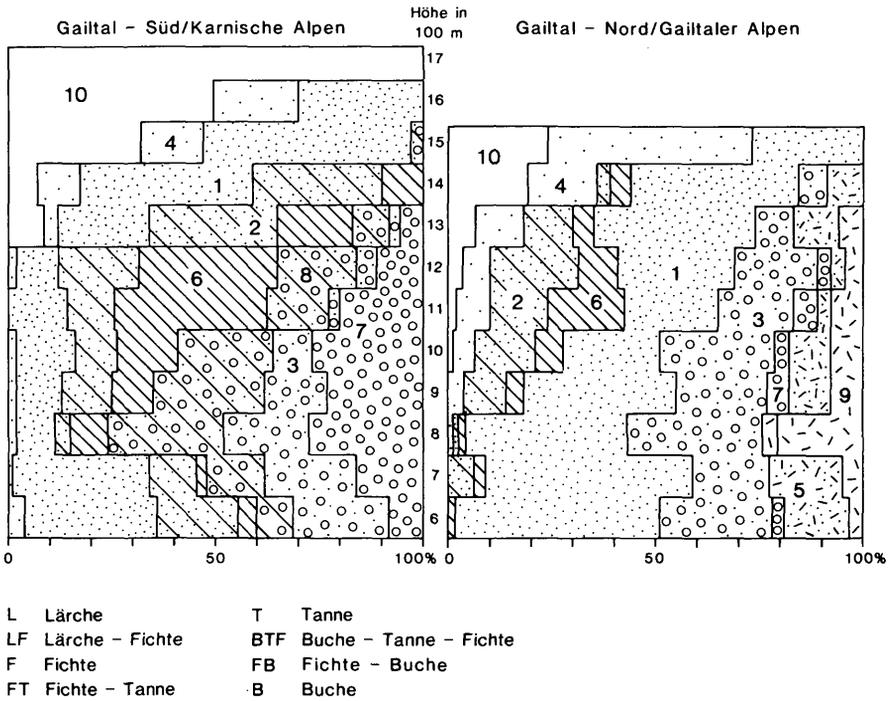


Abb. 3: Waldtypen im Höhenprofil, südliche (links) und nördliche (rechts) Talflanke des Gailtales. Typen 1–10 vgl. Tab. 1.

chen Talflanke, noch viele Züge eines naturnahen Gepräges tragen, überwiegt der Fichtenwald mit einem Anteil von 27% aller Probestflächen (Bestände). Es sind vorwiegend Fichtenforste, die anstelle artenreicherer Waldtypen getreten sind; nur zu einem kleinen Teil sind hier ursprüngliche subalpin-hochmontane Fichtenwälder erfasst. Der durchschnittliche Fichtenanteil in diesem Cluster liegt bei 84%. Fichten-dominierte Wälder mit Tanne, Buche, Lärche oder Kiefer (Typen 2–5) treten zusammen in nicht weniger als 35% aller Fälle auf. Der durchschnittliche Fichtenanteil schwankt zwischen 64% und 48%, die zweite Baumart zwischen 23% und 32%. Bestände mit einer Dominanz der Buche (Typ 6) umfassen 10% aller Fälle, ebenso groß ist der Anteil der Buchen-Tannen-Fichten-Wälder (Typ 8) wie der Tannen-Fichten-Buchen-Wälder (Typ 7). Mit je etwa 4% sind daneben noch Kiefern- und Lärchenbestände zu nennen. Die dabei angeführten Häufigkeiten der einzelnen Baumarten sind Durchschnittswerte mit einer relativ weiten Streuung. Daher wurden in der Realität sowohl weitgehend reine Bestände als auch stärker durchmischte Bestände vorgefunden.

Im Höhenprofil und bei einer Differenzierung des Untersuchungsgebietes nach nördlicher und südlicher Talflanke (Abb. 3) treten die Unterschiede der Zusammensetzung des Waldes am deutlichsten zutage. Im Bereich der Karnischen Alpen dominieren Buchenwälder und Mischwälder der Buche mit Tan-

ne und Fichte (Typen 7, 8, 3). Sie umfassen in 800 bis 900 m 80% aller Bestände und nehmen mit der Höhe kontinuierlich ab, sind aber bis in 1600 m zu finden. Zwischen 900 und 1300 m werden sie vorwiegend durch den Tannen-Fichten-Buchen-Wald (Typ 6) ersetzt, in dem die Tanne zu 42% vertreten ist. In Höhen um 1000 bis 1200 m umfassen unterschiedliche tannenreiche Wälder (Typen 6, 5, 2) mehr als zwei Drittel aller Bestände, darüber ist in einer schmalen Zone der subalpine Fichtenwald gut ausgebildet, der schließlich vom Lärchenwald abgelöst wird. Unterhalb von 1200 m ist die Fichte nur schwach vertreten, wenn man von der talnahen Zone absieht, in der sie forstlich in größerem Umfang eingebracht wurde.

Eine deutlich andere Zusammensetzung der Wälder findet sich in den Gailtaler Alpen im nördlichen Bereich des Untersuchungsraumes. Tanne und Buche treten zurück, während die Fichte besonders in Lagen unter 1000 m aufgrund forstlicher Maßnahmen dominiert. Kiefern- und Kiefern-Fichten-Bestände stocken bis in 1600 m Höhe auf besonders sommertrockenen oder seichtgründigen Standorten.

2. DIE LUFTSCHADSTOFFE UND NIEDERSCHLAGS- DEFIZITE ALS POTENTIELLE EINFLUSSGRÖSSEN AUF DEN WALDZUSTAND IM GAILTAL

2.1. DIE SO₂-BELASTUNG

2.1.1. Vorbemerkung

Für die Analyse der Zusammenhänge zwischen dem Waldzustand und potentiellen edaphischen, klimatischen oder immissionsökologischen Faktoren bedarf es entsprechender Meßwerte. Aus diesem Grunde wurde im Rahmen dieser Studie eine winterliche Meßkampagne zur Ermittlung der SO₂-Belastung im Gailtal durchgeführt (1986/87). Daneben kann, sofern es sich um die Abschätzung der Belastung des unteren Gailtales durch die BBU-Hütte Arnoldstein-Gailitz handelt, auf zahlreiche frühere Messungen zurückgegriffen werden (KOFLER et al. 1978, 1979, HAUCK u. RESCH 1982, VERGEINER u. DREISEITL 1982).

Einen ersten Überblick über die Luftbelastung durch SO₂ im Gailtal zeigt Tab. 2. Daraus erkennt man:

- die starke Belastung im Raum Arnoldstein,
- eine Abnahme mit der Distanz vom Emittenten,
- eine „vernachlässigbar“ geringe Belastung im mittleren Gailtal,
- minimale Werte im Bereich Weißensee.

Diese Meßdaten stammen aus den Winterperioden 1974/75 und 1975/76 (KOFLER et al. 1977) und dürfen aufgrund der zahlreichen Meßperioden, die hier ermittelt wiedergegeben werden, als sehr zuverlässig gelten.

Tab. 2: SO₂-Belastung im Gailtal
Quelle: KOFLER et al. 1977

Meßstation	SO ₂ -Belastung: mg SO ₂ /100 cm ³ /28 d
Arnoldstein, 564 m	37,8
Hohenthurn	29,0
Maglern	19,7
Draschitz	16,8
Talstation Dreiländereck	8,0
Hermagor-Ort	5,0
Hermagor-Freiland	3,1
Kötschach-Ort	1,4
Kötschach-Freiland	3,3
Weißensee	0,9

Die Erfassung der SO₂-Belastung erfolgt über ein vergleichsweise einfaches und billiges Verfahren. Es handelt sich um das integrierende Meßverfahren der „Bleikerzenmethode“, welches seit langem allgemein verbreitet ist (BENGER et al. 1973). Das Meßverfahren bedient sich des Umstandes, daß Bleioxid unter Einwirkung von SO₂ in Bleisulfat umgewandelt wird.

Die Menge des Umwandlungsproduktes kann labormäßig bestimmt werden, sie entspricht einem bestimmten durchschnittlichen SO₂-Gehalt der Luft. Die SO₂-Belastung wird in mg SO₂ angegeben und bezieht sich auf die Expositions-dauer (28 Tage) und die Größe des Exponates (1 dm²). Das Reagens Bleioxid wird in genormter Menge auf 1 dm² Baumwollgewebe aufgetragen und als Röllchen („Bleikerze“) exponiert. Die Rolle ist zum Schutz vor Niederschlägen und Verschmutzung durch eine Abdeckung („Glocke“) geschützt.

Für Waldschadensforschungen ist es wichtig, die „Glocke“ im Wipfelbereich zu montieren, weil wegen der Strömungsverlangsamung im unteren Kronenbereich dort nur ein Bruchteil der in der Wipfelregion einwirkenden SO₂-Belastung auftritt. In Übereinstimmung mit den forstlichen Schadstoffmessungen wird die Glocke am fünften Astquirl unterhalb der Spitze montiert, und zwar talseitig bzw. in Richtung vermuteter oder bekannter Emittenten. In waldfreiem Gelände wird die Glocke an exponierten Stellen in 2 m Höhe aufgehängt.

2.1.2. Erfassung der SO₂-Belastung im Winter 1986/87

Um weitere und rezente Informationen zur SO₂-Belastung im Gailtal zu erhalten, wurde eine eigene Meßkampagne durchgeführt. Die SO₂-Messungen nach der Bleikerzen-Methode wurden als Tallängs- und Talquerprofile im Gailtal konzipiert und im Winter 1986/87 vorgenommen. An 30 Standorten wurden Bleikerzen über 4 Perioden (21. 12. 1986 bis 11. 4. 1987) exponiert. Die labormäßige Auswertung erfolgte am Institut für Geographie der Universität Klagenfurt durch J. Adlmanseder. Die Ergebnisse sind nach Meßpunkten und Meßperioden in Tab. 3 angeführt. Die Meßpunkte sind in der Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes verortet. Die Standorte der Meßpunkte ori-

entieren sich an der Lage der Flugstreifen, um Zusammenhangsanalysen allfälliger SO₂-Belastungen mit dem durch die Bildinterpretation erfaßten Waldzustand zu ermöglichen. Hoch gelegene Meßpunkte sind im Winter nur in der Nähe geräumter Straßen einzurichten. Dennoch hat ergiebiger Schneefall einige Punkte unerreichbar gemacht, was ebenso zu Meßausfällen führte wie schlecht beschichtete Bleioxidlappen (2. Periode).

In der Veränderung der Meßwerte über die Meßperioden spiegelt sich der winterliche Witterungsablauf wider. Die vierte Periode (15. 3. bis 11. 4. 1987) zeigt bereits sehr niedrige Werte der SO₂-Belastung, weil mit dem Frühlingsinzug sowohl eine Verminderung der Gebäudeheizung als auch eine gute Durchlüftung der Tallagen eintrat. Für die winterlichen Meßperioden wurden vielfach recht unterschiedliche Werte ermittelt. Das gilt besonders für den Vergleich der Perioden 1 und 3 (Dezember/Jänner und Februar/März). Während der Meßperiode 1 herrschte z. T. das häufige weihnachtliche Tauwetter mit Störungen und westlichen Strömungen, was eine Verdünnung der Schadstoffe zur Folge hatte. Die 3. Periode dagegen war durch typisches Winterwetter mit täglichen Inversionen gekennzeichnet. Die Analyse der Meßkampagne stützt sich daher vorwiegend auf die Werte dieser 3. Periode (15. 2. bis 15. 3. 1987). Sie wird unter Verwendung zusätzlich vorhandener Daten für den Raum um Arnoldstein und für das mittlere Gailtal vorgenommen.

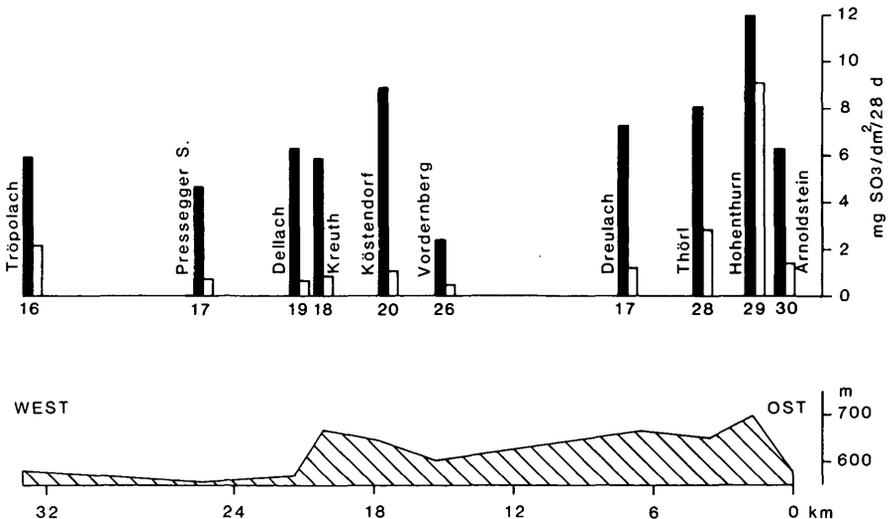


Abb. 4: Tallängsprofil der SO₂-Belastung zwischen Arnoldstein und Tröpolach für eine winterliche¹ (Säulen schwarz) und eine Frühlings² (Säulen weiß) Meßperiode sowie Höhenprofil der Meßstellen.
1 15. 2.–15. 3. 1987, 215. 3.–11. 4. 1987

Tab. 3: SO₂-Belastung im Gailtal mittels integraler Meßmethode (Bleikerzenverfahren) im Winter 1986/87. Angaben in mg SO₂/dm³/28 d. Eigene Erhebung.

	Seehöhe	Perioden			
		1 21. 12. bis 19. 1.	2 19. 1. bis 15. 2.	3 15. 2. bis 15. 3.	4 15. 3. bis 11. 4.
1. Talnaher Bereich zwischen Arnoldstein u. Tröpolach (Tallängsprofil)					
29, Arnoldstein N-Bhf. (Talboden)	600	–	6,31	6,29	1,41
30, Selttschach-Rosahof (südl. Talflanke)	700	–	–	11,83	8,99
28, 1 km N Thörl	650	2,68	12,61	7,92	2,74
27, Göriach b. Dreulach	670	0,39	–	7,10	1,17
26, Maria Graben b. Vorderberg	600	0,45	2,50	2,40	0,38
20, Talterrasse b. Köstendorf	660	1,37	–	8,81	1,03
18, Osthang b. Kreuth	675	0,89	–	5,87	0,75
19, Talboden b. Dellach/Gailtal	575	1,72	–	6,17	0,60
17, Talboden, 2 km W Pressegger See	560	0,62	–	4,66	0,60
16, Talboden bei Tröpolach	590	4,01	3,74	5,11	2,11
2. Vom Gailtal zur Windischen Höhe					
19, Talboden b. Dellach/Gailtal	575	1,72	–	6,17	0,60
18, Osthang b. Kreuth	675	0,89	–	5,87	0,75
20, Talterrasse b. Köstendorf	660	1,37	–	8,87	1,03
21, 1 km W Matschiedl	795	–	–	4,79	0,93
22, 1 km N Matschiedl	950	0,58	–	3,91	0,21
23, Windische Höhe	1110	–	1,23	3,57	0,47
24, Pöllandalm, 1 km NE Paß	1100	0,65	–	3,94	0,24
25, Engtal, 3 km S Kreuzen	990	–	–	2,85	0,27
3. Vom Gailtal zum Kreuzbergsattel					
26, Maria Graben b. Vorderberg	600	0,45	2,50	2,40	0,38
19, Talboden b. Dellach/Gailtal	575	1,72	–	6,17	0,60
18, Osthang b. Kreuth	675	0,89	–	5,87	0,75
17, Talboden, 2 km W Pressegger See	560	0,62	–	4,66	0,48
16, Hanglage, 1 km N Radnig	735	–	–	3,91	0,38
12, Talboden Gitschtal, 2 km SE Weißbriach	770	2,02	–	2,88	0,27
13, Paßstraße, 1 km N Weißbriach	940	0,65	–	3,67	0,38
14, Kreuzbergsattel	1080	0,24	–	4,36	0,41
15, Straßenkreuzung, 2 km W Weißensee	1020	0,48	–	2,16	0,27

4. S-N-Profil Naßfeld-Kreuzbergsattel Südseite Gailtal	Seehöhe	21. 12. bis 19. 1.	19. 1. bis 15. 2.	15. 2. bis 15. 3.	15. 3. bis 11. 4.
1, Naßfeld, 2 km N Paßhöhe	1390	0,41	–	1,61	0,31
2, nahe Naßfeldstraße, 3 km N Paßhöhe	1290	0,62	–	2,71	0,27
3, nahe Naßfeldstraße, 1 km S Bodensee	1150	0,38	–	1,54	0,27
4, nahe Naßfeldstraße, 1 km N Bodensee	930	1,72	1,27	4,08	0,38
5, nahe Naßfeldstraße, 2 km SE Tröpolach	690	–	–	3,64	0,38
6, Talboden Tröpolach b. Gailbrücke	590	4,01	3,74	5,11	2,11
Talboden Gailtal					
19, Talboden b. Dellach/Gailtal	575	1,72	–	6,17	0,60
17, Talboden, 2 km W Pressegger See	560	0,62	–	4,66	0,48
18, Talmitte, Osthang b. Kreuth	675	0,89	–	5,87	0,75
Nordseite Gailtal					
8, Hanglage, 1 km N Bhf. Rattendorf	835	–	2,47	2,79	0,38
9, Hanglage, 2 km W Hermagor	840	2,40	2,02	3,74	0,41
7, Weiler Kreuth N Rattendorf	1010	–	2,01	5,00	1,06
10, Guggenberg W Hermagor	1090	–	3,22	4,53	0,48
11, Kameritscher Berg W Guggenberg	1180	2,30	–	5,50	0,62
Abseitslage Gitschtal					
12, Talboden Gitschtal b. Weißbriach	770	2,02	–	2,88	0,27
13, Paßstraße, 1 km N Weißbriach	940	0,65	–	3,67	0,38
14, Kreuzbergsattel	1080	0,24	–	4,36	0,41
15, Straßenkreuzung, 2 km W Weißensee	1020	0,48	–	2,16	0,27

2.1.3. Die SO₂-Belastung im Tallängsprofil

Im ost-westlichen Talprofil erwarten wir eine mit der Distanz von der Hütte Arnoldstein-Gailitz als bekanntem Emittenten abnehmende SO₂-Belastung. Die Werte für eine winterliche (15. 2. bis 15. 3. 1987) und eine Frühlings-Meßperiode (16. 3. bis 11. 4. 1987) zeigt Abb. 4. Die Daten erlauben die folgende Interpretation:

„Basisbelastung“ und Übersichtung durch Luftverfrachtungen aus dem Osten. Die Werte von Vorderberg (26) und Pressegger See (24), u. U. auch von Tröpolach (32) sind eher als Basisbelastung aus lokalen (Hausbrand-) Emittenten zu werten. Höhere Belastungen an anderen Meßpunkten, vorrangig die Situationen Köstendorf (20) sowie Dreulach (27) und Thörl (28), weisen demnach auf den Einfluß der Emissionen der BBU-Hütte hin.

Gegensatz Luv-Lee-Lage: Der geringe Belastungswert bei Vorderberg wird auf die in bezug auf Luftverfrachtungen aus Osten geschützte Lage zurückgeführt, während der Talterrasse bei Köstendorf eine Prallhang-Situation zukommt.

Gegensatz Winter-Frühling: Die austauscharme winterliche Witterungssituation führt zu erhöhten Belastungen durch SO_2 auch im Bereich des mittleren Gailtales, während bei guter Belüftung durch Strömungs-Wetterlagen erhöhte Werte nur in unmittelbarer Nachbarschaftslage zum bekannten Emittenten auftreten („Frühlings“-Situation).

Um einen Anhaltspunkt über die Belastungssituation aufgrund der Bleikerzen-Meßwerte zu erhalten, wird die folgende Beurteilung vorgestellt:

Lufthygienische Beurteilung der „Bleikerzen“-Werte (KOFLE 1978, S. 20):

- | | |
|--|------------------------|
| 1, SO_2 -Belastung hygienisch vernachlässigbar | <5 mg SO_3 |
| 2, geringe SO_2 -Belastung, Gesamtsituation günstig | 5–12 mg SO_3 |
| 3, mittlere Belastung, gesundheitliche Schäden möglich | 12–25 mg SO_3 |
| 4, starke Belastung, gesundheitliche Schäden möglich | >25 mg SO_3 |

Wir erkennen, daß die SO_2 -Belastung im Winter 1986/87 nicht besonders gravierend war. Ein Vergleich mit den Werten aus Tab. 2 zeigt jedoch, daß in den siebziger Jahren wesentlich höhere und damit durchaus bedenkliche SO_2 -Immissionen verzeichnet wurden. Die unmittelbare Einflußzone der Hütte Arnoldstein, d. h. Belastungen von über 12 mg $\text{SO}_3/\text{dm}^2 \cdot 28 \text{ d}$ erstreckt sich westwärts nur wenige km (HAUCK u. RESCH 1982). Dennoch ist es möglich, daß sich in den Werten exponierter entfernter Stationen (Abb. 4) die Auswirkungen zeitlich begrenzter „Schadluftvorstöße“ verbergen. Es ist ein unbezweifelbarer Nachteil des „Bleikerzenverfahrens“, solche Spitzenbelastungen nicht zu erfassen. Der Wahrscheinlichkeit von westwärtigen Schadstofftransporten wird daher über die Analyse des lokalen Windsystems nachgegangen.

2.2. REGIONALES WINDSYSTEM UND SCHADSTOFFVERFRACHTUNG

2.2.1. Das Windsystem: Dominanz tagesperiodisch wechselnder Talwinde

Die Windverhältnisse des unteren Gailtales sind gut dokumentiert. Sowohl VERGEINER u. DREISEITL (1982) als auch KOFLE et al. (1979) haben umfangreiche Messungen, deren Ergebnisse in bezug auf die Schadstoffverfrachtung in das Gailtal vorgestellt werden, durchgeführt. Bei der Windrichtungsverteilung (Tab. 4) fällt zunächst die für das windarme Klagenfurter Becken typische Calmen-Häufigkeit auf. Es ist bekannt, daß großräumige Strömungen, insbesondere bei stabiler Luftschichtung, nicht oder nur mit Verzögerung und Abschwächung bis in die Niederungen des Beckens durchgreifen (GRESSEL 1973, SEGER 1985).

Für den Schadstofftransport bedeuten Calmen (hier: <0,5 m/s), daß dennoch eine Verfrachtung von bis zu 1,8 km/h vorkommen kann. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine stabile Luftschichtung die Durchmischung und das Absinken von Luftpaketen verhindert. In der Regel aber führen Calmen zur Belastung des Umfeldes der Emittenten.

In bezug auf die Schadstoffverteilung über größere Strecken sind gewiß Winde mit höheren Windgeschwindigkeiten bedeutender. Hier dominieren eindeutig die Windrichtungen W und E mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten um 3 m/s. Diese Richtungen sind geländebedingt vorgegeben.

Größere Windgeschwindigkeiten, die zugleich auch zu einer stärkeren Durchmischung und damit Verdünnung von Luftschadstoffen führen, sind selten. Nur zu 14% der Beobachtungszeit wurden Windstärken >4 m/s (>14 km/h) registriert. Hier greifen überregionale Strömungs-Wetterlagen bis in die Talniederung durch.

Tab. 4: Dominanz westlicher und östlicher Winde. Meßstelle: Arnoldstein, Winter 1975/76. Quelle: KOFLER et al. 1979.

Windrichtung	Häufigkeit in %	durchschnittliche Windstärke in m/s
Calmen ($<0,5$ m/s)	36,5	1,6
NE	7,1	2,3
E	23,3	3,3
SE	0,2	1,1
S	0,2	1,2
SW	4,9	1,5
W	21,8	2,9
NW	5,2	1,7
N	0,8	1,3

Sofern solche überregionalen Wetterlagen nicht vorliegen, herrscht ein regelmäßiger tagesperiodischer Windrichtungswechsel vor. Die auffallend häufigen östlichen und westlichen Winde sind Teile eines ausgeprägten regionalen Windsystems. In den Vormittagsstunden kommt ein Ostwind (Taleinwind) auf, der am späteren Nachmittag abklingt, während in den Nachtstunden ein Talaustritt vorherrscht. Der Taleinwind wurde von VERGEINER u. DREISEITL (1982) in den Sommermonaten mit 71% und in den Wintermonaten mit 44% Häufigkeit festgestellt. Das Talwindssystem besteht auch bei austauscharmen Wetterlagen, was für die Luftschadstoffverfrachtung von Bedeutung ist. Die Tagesperiodizität des Windsystems zeigt Tab. 5 nach ausgewählten Stunden für das Winter- und Sommerhalbjahr. Die „sonstigen“ Winde kommen häufig aus SW, aus dem Kanaltal.

Tab. 5: Das regionale Windsystem. Häufigkeit östlicher und westlicher Winde nach Tages- und Jahreszeiten in %; Windgeschwindigkeiten $>0,5$ m/sec. Station Stossauer Hügel. Nach VERGEINER u. DREISEITL 1982.

	Sommer				Winter			
	WSW- WNW	ENE- ESE	sonstige	Calmen	WSW- WNW	ENE- ESE	sonstige	Calmen
03–06 MEZ	73	8	17	2	61	14	18	7
12–15 MEZ	19	58	33	0	28	47	17	8
21–24 MEZ	67	10	23	0	64	14	17	5

2.2.2. Der Nachweis der Schadstoffverfrachtung in das Gailtal

Durch die regelmäßigen östlichen Winde kommt es zu einer westwärtigen Schadstoffverfrachtung, die bereits im Abschnitt „Tallängsprofil“ angesprochen wurde. Die auffallende SO_2 -Belastung in Köstendorf (Tab. 3, Nr. 20, Periode 3: $8,81 \text{ mg SO}_3 \cdot 28 \text{ d/1 dm}^2$) wird auf diese Verfrachtung zurückgeführt, ebenso eine Erhöhung (Überschichtung) der ortsständigen Grundbelastung, die jedoch im einzelnen nicht nachweisbar ist. Die Belastung bei Köstendorf wird auch durch erhöhte Schwefelwerte der Messungen aus dem Bioindikatornetz (Landesforstdirektion 1985, Meßpunkt 6) bestätigt.

Die Westwärtsverfrachtung von Schadstoffen aus Arnoldstein haben auch KOFLER et al. (1979) nachgewiesen. Bei der Meßstation Draschitz, 5 km westlich von Arnoldstein, wurden im Zusammenhang mit dem Einsetzen östlicher Winde bei der Meßstation Arnoldstein sprunghafte und grenzwertüberschreitende SO_2 -Belastungen festgestellt (z. B.: 20. 1. 1977).

Noch wesentlicher ist die Beobachtung von KOFLER et al. (1979), daß auch bei westlichen „Talaus“-Winden mitunter eine signifikante Zunahme der SO_2 -Belastung ermittelt wurde. Dies wird mit dem Rücktransport von „Schadluft-Paketen“ erklärt, die zuvor relativ undurchmischt, z. B. bei stabiler Luftschichtung und mehr oder weniger in der Höhe der Inversionsschicht westwärts transportiert wurden. Im mittleren Gailtal sind keine nennenswerten Grobmittenten vorhanden. Wir schließen daraus, daß bei der gegebenen östlichen Taleinwind-Häufigkeit Luftschadstoffe aus dem Bereich BBU-Arnoldstein bei entsprechender Luftschichtung mehrfach bis weit in das mittlere Gailtal vorstoßen. Wenn auch die SO_2 -Periodenwerte (Mittelwerte aus 28 Tagen) unter jener der hygienischen Gefährdungsgrenze liegen, so ist doch damit zu rechnen, daß kurzzeitige intensive Immissionen die Wälder des östlichen Gailtales belasten.

Weitgehend unbekannt ist die vertikale Schadstoffverteilung im östlichen Umland von Arnoldstein. Die winterlichen SO_2 -(Bleikerzen-)Messungen konnten mangels geräumter Wege in der Höhe nicht durchgeführt werden. Eine am Talboden nicht feststellbare erhöhte Belastung in und über dem Schornsteinniveau wird durch die Bleikerzen-Meßstelle Selttschach (700 m), die den höchsten SO_2 -Wert der Meßkette aufwies ($12 \text{ mg SO}_3 \cdot 28 \text{ d/dm}^2$), vermutet. Dies wird durch die bekanntgewordene Zunahme der Waldschäden mit der Höhe im Raum Villach (SEGER 1988) erhärtet. Die Schwefelgehaltsmessungen des Bioindikatornetzes (Nadelanalysen auf S-Gehalt) der Forstlichen Bundesversuchsanstalt/Landesforstdirektion beziehen sich vorwiegend auf talnahe Lagen, doch ist in den Untersuchungen von STEFAN 1982 auch eine Nadelanalyse aus 840 m am Göriacher Berg östlich von Arnoldstein bekannt. Sie zeigt im Jahr 1977 Grenzwertüberschreitungen und damit eine deutliche Belastung bis in diese Höhe an, bei den weiter östlich gelegenen jedoch nur bis 700 m, was mit einer möglichen weiteren Verdünnung (der Schadstoffe) im Zusammenhang stehen dürfte (STEFAN 1981, S. 296). Wir dürfen daher an der dem BBU-Standort Arnoldstein zugewandten Bergflanke der Karnischen Alpen (Göriacher Berg) mit waldschadenswirksamen SO_2 -Einflüssen bis um 900 m Höhe rechnen. Dieser Schadstoffeinfluß nimmt westwärts ab, er ist dann nur mehr in talnahen Lagen zu vermuten. Dafür spricht auch der hohe SO_2 -Wert in Göriach (Nr. 27) unserer Meßkampagne mit

7,1 mg (Tab. 3, S. 10) $\text{SO}_3 \cdot 28 \text{ d}/\text{dm}^2$ (Tab. 3, Periode 3). Anschließend kommt es zu Verlagerungen der östlichen Winde, denn der Meßpunkt Nr. 26, Vorderberg, zeigt in mehreren Meßperioden auffallend niedrige Werte. Er liegt im Lee der Taleinwinde. Darüber mehr bei der Diskussion unserer Bleikerzen-Meßwerte aus dem Bereich des mittleren Gailtales.

2.2.3. Ungleiche SO_2 -Belastung im Talquerprofil als Folge regionaler Windsysteme

Für das mittlere Gailtal wird die asymmetrische Belastung anhand eines Talquerprofils vom Naßfeld zum Kreuzbergsattel erläutert (Abb. 5).

Auffallend ist dabei:

- eine geringe Belastung der Hochlagen an der südlichen Talflanke (Naßfeld) im Gegensatz zu
- einer deutlich höheren Belastung der nördlichen Talflanke, die sich auch am Kreuzbergsattel wiederholt,
- eine minimale Belastung während der frühlingshaften Meßperiode sowie eine größere Differenz winterlicher zu frühlingshafter Meßperiode als im östlichen Gailtal.

Zwei Fragestellungen drängen sich auf: (1) wodurch kommt es zur asymmetrischen SO_2 -Belastung im mittleren Gailtal, und (2) woher stammen die Schadstoffe, die an den südschauenden Bergflanken gemessen wurden?

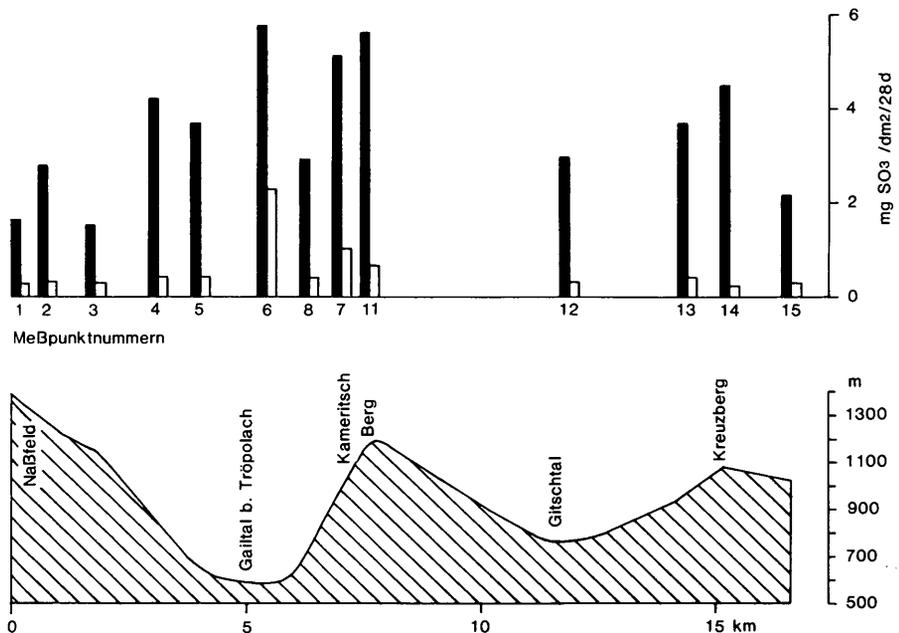


Abb. 5: Talquerprofil der SO_2 -Belastung im mittleren Gailtal. Bleikerzen-Meßwerte für eine winterliche¹ und eine Frühling²-Meßperiode sowie Höhenprofile der Meßstellen. ¹Säulen schwarz 15. 2.–15. 3. 1987, ²Säulen weiß 15. 3.–11. 4. 1987

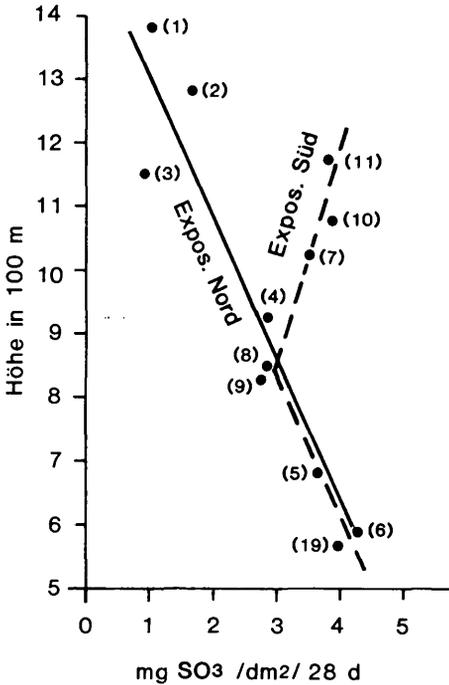


Abb. 6:

Unterschiedliche SO₂-Belastung an den nord- und südexponierten Talflanken des Gailtales. Mittelwerte der SO₂-Belastung aus den Meßperioden 1 (21. 12. 1986–19. 1. 1987) und 3 (15. 2.–15. 3. 1987)

Wir wollen zuvor die Meßwerte des Talquerprofils (Abb. 5) durch eine Darstellung, die den Trendverlauf der SO₂-Belastung der beiden Talflanken aufzeigt, verdeutlichen (Abb. 6):

Die nordexponierte Talflanke wurde im Taleinschnitt der Naßfeldstraße und damit in geschützter Lage erfaßt. Sie zeigt eine kontinuierliche Abnahme der SO₂-Belastung mit zunehmender Höhe. Die südexponierte Talflanke zeigt zunächst ebenfalls eine Abnahme der SO₂-Belastung mit der Höhe (bis in 800 m), dann aber eine durch drei Meßpunkte belegte Zunahme der SO₂-Belastung. Diese erreicht am Kameritscher Berg in 1090 m ähnliche mittlere SO₂-Werte wie die Stationen des Talbodens! Der Trend der Schadstoffzunahme wiederholt sich, wenn auch in etwas abgeschwächter Form, in der Periode 3 auch im Meßprofil Gitschtal-Kreuzbergsattel. Im Profil Gailtal-Windische Höhe zeigen Meßwerte um 4 mg SO₃·28 d/dm² eine nur geringe Abnahme der Belastung mit der Höhe, so daß die nördliche (südexponierte) Talflanke insgesamt als deutlich stärker belastet hervortritt als die südliche (nordexponierte) Talflanke. Auch die geringen Meßwerte von Vorderberg ordnen sich dieser Situation zu.

Das Modell kombinierter Talein- und Hangaufwinde

Die unterschiedliche SO₂-Belastung der Talflanken wird mit einer Luv-Lee-Situation in Verbindung gebracht. Bereits weiter oben wurde über die regelhaften Taleinwinde während der Vormittags- und Nachmittagsstunden berichtet.

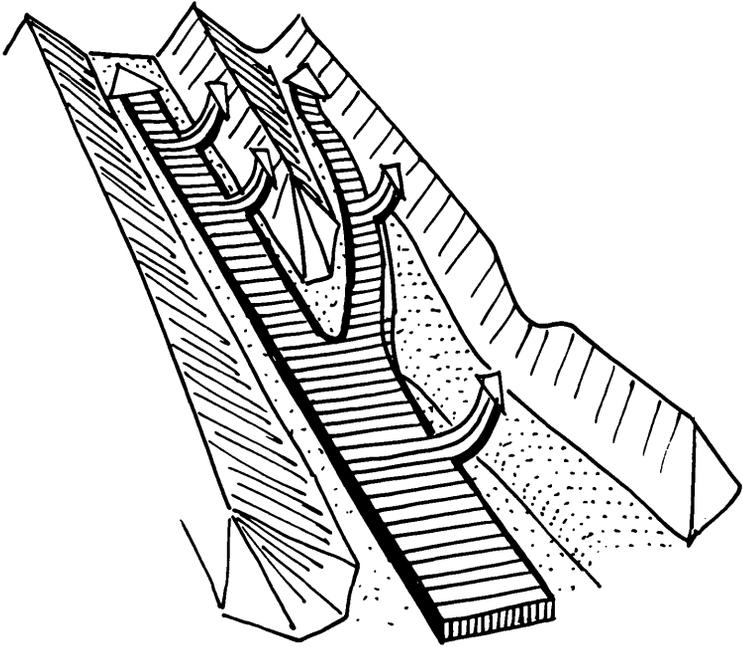


Abb. 7: Schema der Kombination von Taleinwinden und Hangaufwinden an der Sonnseite als Erklärung der asymmetrischen Luftschadstoffwerte im mittleren Gailtal

Es wird nun angenommen, daß im mittleren Gailtal selbst eine Ergänzung dieses Taleinwindensystems durch ein Berg-Talwind-System stattfindet. Dieses System betrifft vorwiegend die südexponierte Talflanke und ist in diesem Sinne asymmetrisch. Die west-östlich ausgerichtete, steile südexponierte Talflanke erwärmt sich im Tagesverlauf relativ rasch. Dazu trägt auch der vielfach blanke Fels bei, der die einfallende Strahlung wesentlich besser in Wärmeenergie umsetzt als Flächen mit Vegetationsbedeckung. Die Folge sind bergwärts aufsteigende Luftmassen, die durch Luft der Taleinwinde ersetzt werden (Abb. 7). Dieser Mechanismus befördert Luftschadstoffe aus dem Raum Arnoldstein zunächst horizontal westwärts und dann bergwärts. Auf diese Weise sind die hohen Meßwerte an der südexponierten Talflanke zwischen Hermagor und Tröpolach zu erklären. Abgeschwächt wird dieses System auch im Bereich Windische Höhe und Kreuzbergsattel nachgewiesen.

2.3. ZUR OZON-BELASTUNG: NADELWALD ALS VERURSACHER?

Ohne auf die Ozon-Problematik an dieser Stelle näher einzugehen, wird über die Versuche der Erfassung der Ozon-Immission im Gailtal sowie über vorliegenden Ergebnisse referiert. Zum Einsatz kam eine integrierende Meßmethode, erfaßt wird die durchschnittliche O_3 -Belastung an einem Standort. Ziel der integrierenden Meßmethode ist es, an mehreren bis vielen Meßpunkten

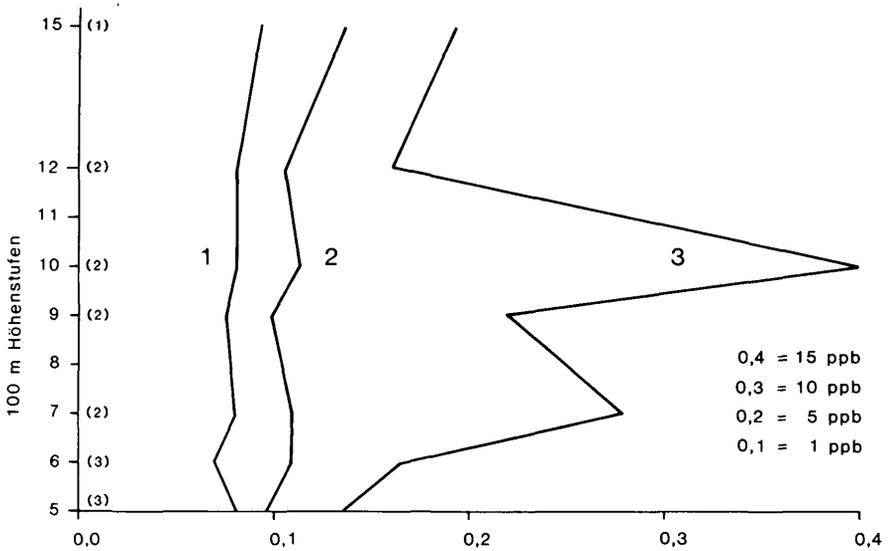


Abb. 8: Höhenprofil der O₃-Belastung im Gailtal nach Daten der Landesforstdirektion des Amtes der Kärntner Landesregierung
 1 Frühjahr 1986 (IV-VI), 2 Sommer 1985 (VIII-IX), 3 Winter 1986 (I-II)
 Zahl der Stationen pro Höhenstufe in Klammer ()

Daten über die relative Intensität der O₃-Belastung zu gewinnen. Es versteht sich von selbst, daß damit die humanhygienisch und pflanzenphysiologisch wichtigen Spitzenbelastungen weder nach dem Umfang noch nach dem zeitlichen Auftreten erfaßt werden können. Das Verfahren arbeitet wie folgt: Auf Chromatographiepapier wird eine Indigosuspension aufgebracht. Die Papierstreifen (100 cm²) werden geschützt über 14 Tage exponiert. Bei Vorhandensein von O₃ reagiert Indigo und wird in Isatin umgewandelt (Gelbfärbung). Der Isatingehalt, der der O₃-Konzentration proportional ist, wird photometrisch bestimmt und ist über eine Eichgerade in ppb/100 cm²/14 d ausdrückbar. Gemessen wird die O₃-Depositionskonzentration.

Erste Versuche mit den „Ozon-Kerzen“ wurden im Gailtal von der Landesforstdirektion Kärnten zwischen Juli 1985 und Juni 1986 durchgeführt. Von 16 Stationen aus dem Raum zwischen Kötschach-Mauhen und Vorderberg (vgl. Lageplan) stehen Extinktions- bzw. Absorptionswerte zur Verfügung. Für Meßperioden aus dem Frühjahr, Sommer und Winter wurden daraus Höhenprofile der O₃-Belastung ermittelt (Abb. 8). Die Perioden umfassen drei bzw. zwei (Winter-)Meßwerte pro Station, die Zahl der Stationen pro Höhenstufe ist in Abb. 8 angegeben. Die durchschnittlichen Belastungen beruhen daher auf jeweils mehreren Meßwerten. Die O₃-Belastung nach diesen Messungen ist im Frühjahr und Sommer minimal, im Winter dagegen auffallend hoch. Besonders im Bereich um 1000 m Höhe werden Durchschnittswerte von etwa 15 ppb O₃ gefunden, was mit Sicherheit auf Spitzenbelastungen über dem Halbstunden-Grenzwert von 50 ppb schließen läßt. Es darf vermutet werden, daß diese auffälligen Werte mit der betreffenden Höhenlage, d. h.

mit der durchschnittlichen Obergrenze der Inversion und des Hochnebels im Zusammenhang stehen. Die extreme Albedo an der Obergrenze des Hochnebels kann u. U. photochemische Reaktionen, die zur Bildung von O_3 führen, entsprechend fördern. Ausgangsstoffe können die Terpene sein, die bei den milden Temperaturen an der Inversionsobergrenze auch im Winter freigesetzt werden. Allgemein wird die sommerliche O_3 -Belastung als wesentlich bedeutender betrachtet. Daher wurde im Sommer 1987 eine eigene Meßkampagne durchgeführt.

Sie bedient sich ebenfalls der integrierenden Meßmethodik. Das Beprobungsmaterial wurde am Institut für Geographie der Universität Klagenfurt durch Dr. J. ADLMANNSEDER ausgewertet. Ziel der Kampagne war es, einen Überblick über die nach Höhenstufen und nach dem Talverlauf unterschiedliche O_3 -Belastung zu gewinnen. Dazu wurden 16 Stationen für fünf vierzehntägige Meßperioden (18. Juli bis 26. September 1987) eingerichtet. Probleme ergaben sich aufgrund des unterschiedlichen Durchlässigkeitsverhaltens der Porzellanzylinder. Die unterschiedliche Permeation der Indikationslösung führt am gleichen Standort zu verschiedenen Meßergebnissen. Um diesen Umstand zumindest etwas auszugleichen, wurden an jeder Meßstation je zwei Zylinder exponiert. Die Ergebnisse stellen daher jeweils den Mittelwert aus zwei Extinktions-/Absorptionswerten der photometrischen Meßwertbestimmung dar. Tab. 6 zeigt diese Werte über die fünf Meßperioden, um einen Eindruck über die Variabilität der Meßergebnisse zu vermitteln.

Tab. 6: Erfassung der durchschnittlichen sommerlichen O_3 -Belastung im Gailtal mittels integrierender Meßmethodik. Meßperioden 1987: 1 = 18. 7.–31. 7., 2 = 1. 8.–14. 8., 3 = 15. 8.–28. 8., 4 = 29. 8.–11. 9., 5 = 12. 9.–26. 9.

	Meßstationen (vgl. Lageskizze)		Meßperioden					zusammen		
			1	2	3	4	5			
			Extinktions-/Absorptions-Wert					ppb O_3		
1,	680 m	Hohenthurn	.10	.18	.12	.27	.24	.18	=	4,9
2,	560 m	Emmersdorf	.18	.20	.19	.27	.22	.20	=	5,6
3,	560 m	Nieselach	.21	.26	.19	.24	.23	.23	=	8,1
4,	680 m	Edling	.26	.31	.22	.19	.17	.23	=	7,6
5,	790 m	Tratten	.40	.36	.26	.25	.22	.30	=	11,5
6,	1090 m	Wind. Höhe	.25	.26	.31	.34	.28	.29	=	10,8
7,	570 m	Micheldorf	.21	.22	.29	.18	.17	.21	=	6,5
8,	1620 m	Naßfeld	.13	.19	.28	.13	.12	.17	=	4,9
9,	1300 m	Naßfeld-Str.	.08	.14	.25	.16	.16	.16	=	4,0
10,	1060 m	Naßfeld-Str.	.10	.20	.26	.13	.11	.16	=	4,2
11,	590 m	Tröpolach	.20	.12	.38	.25	.23	.24	=	8,6
12,	760 m	Kameritsch	.17	.22	.28	.14	.14	.19	=	5,9
13,	1180 m	Guggenberg	.23	.32	.34	.25	.23	.27	=	11,8
14,	1220 m	Guggenberg	.26	.31	.32	.23	.23	.27	=	11,0
15,	790 m	Weißbriach	.25	.14	.24	.27	.17	.21	=	5,9
16,	1070 m	Kreuzbergsattel	.26	.18	.29	.18	.17	.22	=	8,0
Zusammen			.21	.23	.26	.22	.16			

Die Meßergebnisse spiegeln insgesamt die zu erwartende zeitliche Differenzierung und den Zusammenhang mit dem sommerlichen Temperaturverlauf, der die O_3 -Bildung wesentlich beeinflusst, wider. Die Meßwerte steigen bis zur Meßperiode 3 im August kontinuierlich an und nehmen in der Folge und gegen den Herbst hin wieder deutlich ab. Unser Interesse gilt aber vorwiegend der räumlichen Differenzierung. Um dabei zufällige Meßfehler soweit wie möglich auszuschalten, wird von jeder Meßstation nur der Durchschnittswert über die gesamte Meßperiode betrachtet. Er stellt das Mittel aus jeweils zehn Einzelmessungen dar und erscheint in diesem Sinne als sehr verlässlich.

Die Interpretation der O_3 -Daten gestaltet sich zunächst schwierig, wenn die sehr heterogenen Werte der Talstationen betrachtet werden. Sie schwanken zwischen 4,9 ppb O_3 (Hohenthurn, Nr. 1) und 8,1 ppb O_3 im nur wenige km entfernten Nieselach (Nr. 3). Weil auch im weit westlich gelegenen Tröpolach (Nr. 11) 8,6 ppb O_3 gemessen wurden, trifft hier ein zunächst zu vermutender Zusammenhang mit der Blei-Zink-Hütte Arnoldstein nicht zu. Darüber hinaus ist festzuhalten, daß die gemessenen Werte an sich sehr niedrig sind, auch unter Berücksichtigung des Umstandes, daß es sich um längerfristige Durchschnittswerte handelt.

Erfolgreich dagegen ist die nach Süd- und Nordhang-Stationen differenzierte Höhenstufung der O_3 -Beobachtungen. Wie in Abb. 9 ersichtlich, zeigen sich im Höhenprofil der Sonn- und der Schattseite grundsätzlich unterschiedliche Werte der O_3 -Belastung.

Die Minimalwerte stammen aus den Stationen 9 und 10, die sich in einem Taleinschnitt des Nordabhanges der Karnischen Alpen befinden. Aber auch Station 8, als einzige über der Waldgrenze und in 1620 m Höhe nahe dem Naßfeldpaß gelegen, liefert sehr geringe Werte. Ein grundsätzlich anderes Immissionsmuster zeigen die sonneitigen Talflanken. Anhand von drei Tal-Berg-Vergleichen, die voneinander räumlich abgesetzt sind, wird die Regelmäßigkeit der Zunahme der O_3 -Belastung mit steigender Höhe belegt. Während sich diese Ergebnisse in die Aussagen der zugehörigen Literatur einordnen, erscheint der Nachweis einer deutlichen Sonn- und Schattseitendifferenzierung als neuartiger Beitrag zur Immissionsklimatologie.

Wie aber ist die expositionsbedingt unterschiedliche O_3 -Belastung zu interpretieren? Zunächst ein Wort zur Validität der Daten: Jeder Meßpunkt in Abb. 9 stellt einen Mittelwert aus fünf Meßdaten dar, womit grobe Zufälligkeiten auszuschließen sind. Daneben ist ein langfristiger Durchschnittswert von etwa 11 ppb O_3 sehr wahrscheinlich nicht unbedenklich und bereits so hoch, daß Spitzenwerte der Belastung an Grenzwerte heranreichen oder diese überschreiten. Zur Erklärung der sonneitig und bergwärts hohen O_3 -Werte stehen folgende Hypothesen zur Verfügung:

1. O_3 wird mit absinkenden Luftmassen bei Hochdruckwellenlagen aus hohen Schichten der Atmosphäre bis in die Bergregion herangeführt.
2. O_3 entsteht als Umwandlungsprodukt z. B. von NO_x -Emissionen und wird mit lokaler Thermik sonneitig bergwärts verfrachtet.
3. O_3 bildet sich aufgrund der Kohlenwasserstoffe (z. B. Terpene), die als flüchtige ätherische Öle aus Nadelwäldern bei hohen Temperaturen frei werden.

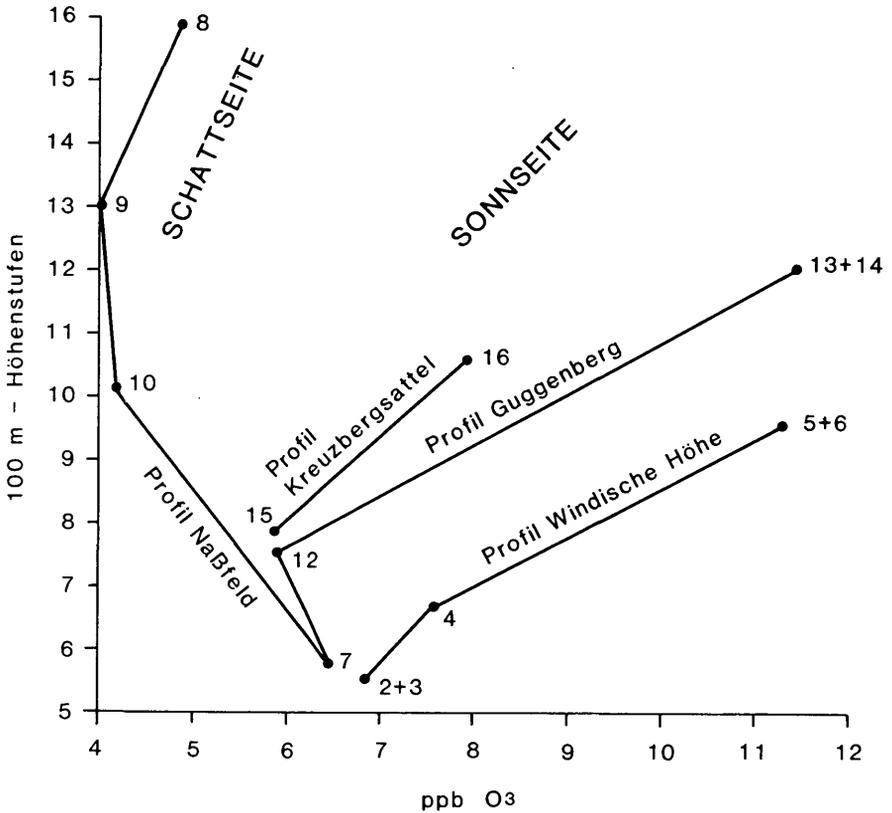


Abb. 9: Differenzierung der O₃-Belastung im Gailtal nach sonnseitiger und schattseitiger Höhenstufe. Durchschnittliche Belastung 18. 7.–26. 9. 1987, Stations-Nr. vlg. Tab. 6

Bereits 1984 weist P. SCHÜTT auf die „ungeheuren Mengen von Terpenen, die besonders aus Nadelwäldern freiwerden“, hin (SCHÜTT 1984, S. 68). Er beziffert die natürlichen Emissionen von Kohlenwasserstoffen mit global etwa 200 Mio t, die anthropogen entstandenen Emissionen mit etwa 90 Mio t. Den Kohlenwasserstoffen, so den Lösungsmitteln von Lacken oder den Kraftstoffen, die beim Tanken verdunsten, wird vermehrt große Bedeutung bei der Ozonbildung zugeschrieben. Im dünn besiedelten Gailtal haben diese anthropogenen Kohlenwasserstoff-Emissionen wie auch jene von NO_x aber sicher nicht vorrangige Bedeutung. Daher erscheint es nicht widersprüchlich, wenn vermutet wird, daß ein Teil des sonnseitig in erhöhtem Maße festgestellten Ozons auf natürliche Emissionen aus dem Nadelwald zurückzuführen ist. Man bedenke die erhöhte Einstrahlung an den südseitigen Bergflanken, die im Süden Österreichs bereits erhöhte Gesamtstrahlung sowie die inneralpin hohe Sonnenscheindauer.

2.4. DAS KLIMA IM GAILTAL: WARM-TROCKENE ACHTZIGER JAHRE

2.4.1. Ein Überblick

Das Gailtal ist gleichermaßen durch inneralpine wie durch südlich getönte Züge eines mitteleuropäischen Klimas geprägt. Die südliche Lage führt nicht nur zu einer um 15% erhöhten Einstrahlung gegenüber dem Nordrand der Alpen, was entsprechende Erwärmung zur Folge hat, sondern auch zu den bekannten Herbst-Maxima des Niederschlages. Diese, wie auch die vielfach reichlichen spätwinterlichen Schneefälle, sind ein Merkmal der mediterranen Winterregen und der Tiefdruckwetterlagen südlich der Alpen, die durch den Wolkenstau am Alpenrand besonders wirksam werden. So zeigen auch die Nordhänge der Karnischen Alpen wesentlich hygrophilere Züge der natürlichen Vegetation als die nördlich benachbarten Gailtaler Alpen, wobei auch der unterschiedlichen Exposition eine entsprechende Bedeutung zukommt. Den Niederschlagsmengen von über 2000 mm am Karnischen Hauptkamm stehen zu den Inneralpen hin deutlich geringere Werte gegenüber. Ein nordwärts gerichteter Gradient abnehmenden Niederschlages sowie inverse winterliche Temperaturschichtungen kennzeichnen den inneralpinen Aspekt des Klimas im Gailtal.

Aus der Sicht der Waldschadensforschung sind aber nicht die allgemeinen Klimazüge, sondern jene Klimavarianzen von Bedeutung, die zu einer Streßsituation für Waldbestände führen können. Konkret stellt sich die Frage, ob für die Jahre vor dem Bildflug im Sommer 1987 Witterungssituationen gegeben waren, die auf einen akuten Wassermangel schließen lassen. Es ist allgemein bekannt, daß Nadelbäume auf Wasserstreß ähnlich reagieren wie auf Luftschadstoffe, nämlich mit dem vorzeitigen Verlust älterer Nadeljahrgänge. Daher werden die Niederschlags- und Temperaturbedingungen in den achtziger Jahren untersucht und langjährigen Mittelwerten gegenübergestellt. Die Bearbeitung der Daten erfolgte durch H. WERNLE.

Tab. 7: Durchschnittlicher Jahresniederschlag nach Perioden. Quelle: Hydrographischer Dienst beim Amt der Kärntner Landesregierung und TSCHERNUTTER 1982.

Stationen		1901– 1950	1951– 1960	1961– 1970	1971– 1980	1981– 1986	1981–86 zu 1901–1950
Naßfeld	1530 m	2657 ¹	2447	–	2058 ¹	2079 ¹	= –22%
Waidegg	635 m	1549	1444	1473	1439	1312	= –15%
Weißbriach	800 m	1390	1392	1321	1227	1097	= –21%
Techendorf	941 m	1326	1307	1326	1243	1088	= –18%
Förolach	565 m	1378 ²	1307	1303	1207	1123	= –19%
Arnoldstein	580 m	1357	1321	1344	1289	1155	= –15%

¹ 1930–1950, ² 1920–1950, ³ 1984–1986, ⁴ 1971–1978

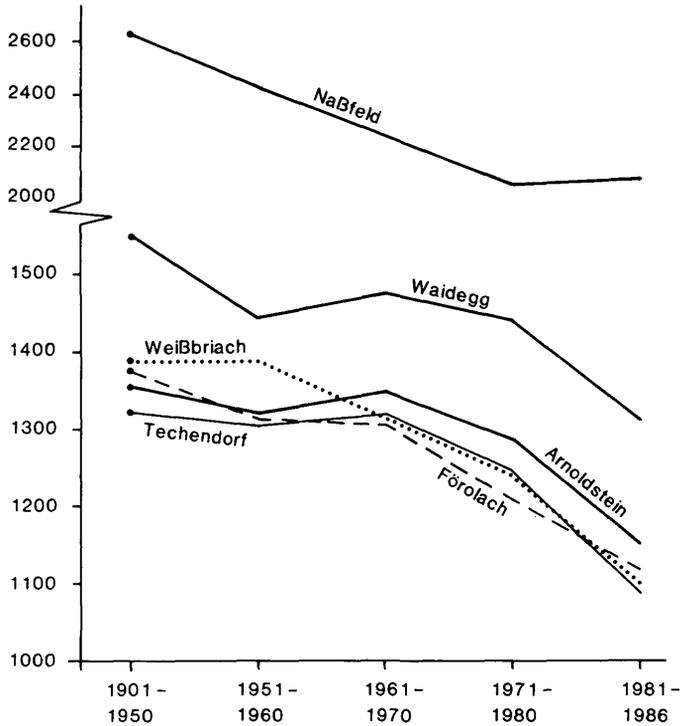


Abb. 10:
Entwicklung der Niederschläge im Gailtal nach Meßperioden.
Daten vgl. Tab. 7.

Vergleicht man die jährlichen Niederschlagsmengen nach Perioden (Tab. 7), so fällt auf, daß die Jahre vor dem Bildflug, die für den bildsichtbaren Kronenzustand von Bedeutung sind (1981–1986), um 15–20% weniger Niederschlag zu verzeichnen hatten als die Periode 1901–1950. Aber auch in den siebziger Jahren zeigen einige der Meßstationen bereits ein Niederschlagsdefizit im Vergleich zur Situation vor 1950. Den ähnlichen Verlauf der Niederschlagsentwicklung besonders in den achtziger Jahren zeigt Abb. 10. Er läßt den Schluß zu, daß Bestände auf Standorten mit prekärem Bodenwasserhaushalt entsprechend in Mitleidenschaft gezogen wurden. Genauerem Aufschluß darüber geben aber Daten, die sich auf die Vegetationsperiode und auf die sommerlich verstärkte Transpiration beziehen.

2.4.2. Die Klimaverhältnisse 1980–1986 während der Vegetationsperiode

Ein im Vergleich zu durchschnittlichen Niederschlägen beobachtetes Defizit bewirkt während der Vegetationsperiode auch bei Nadelbäumen eher Streßerscheinungen aufgrund von Wassermangel als während der winterlichen Ruheperiode. Daher wird der Niederschlag für die Sommermonate (April–September) ermittelt und dem langjährigen Durchschnittswert aus der Vegetationszeit gegenübergestellt. In Tab. 8 wird für das Sommerhalbjahr der Jahre 1980–1986 der prozentuelle Anteil am Durchschnitts-Niederschlag (1901–1960) angegeben. Dabei wird deutlich, daß besonders in den Jahren 1982 und

1986 Niederschlagsdefizite von einem Viertel bis einem Drittel (!) der Durchschnittswerte zu verzeichnen waren.

Nach dem Nachweis eines längerfristigen Trends zu geringeren Niederschlägen (Tab. 7) wird damit festgestellt, in welchen Jahren und an welchen Orten besondere Abweichungen vom durchschnittlichen Zustand eingetreten sind. Wie nicht anders zu erwarten, spielen bei den auf einzelne Jahre und Stationen bezogenen Daten bereits die Zufälligkeiten des Witterungsgeschehens eine Rolle. Es verwundert daher nicht, daß das Ausmaß des Niederschlagsdefizits sowohl nach den Jahren als auch innerhalb der Meßstationen unterschiedlich ausfällt.

Tab. 8: Niederschläge während der Vegetationsperiode für 1980–1986 und in Relation zum langjährigen Durchschnitt. Quelle: Hydrographischer Dienst.

Stationen	in mm	Niederschläge während der Monate April–September							
		in % des Wertes für 1901–1950 für:							
		1901–1950	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Waidegg	635 m	816	81	107	74	104	93	82	68
Weißbriach	800 m	786	78	96	65	85	85	90	84
Techendorf	941 m	767	80	91	88	79	88	75	72
Förolach	565 m	779	71	89	73	82	77	90	68
Arnoldstein	580 m	756	73	90	73	74	82	79	73

Für die Beurteilung einer klimatischen Streßwirkung sind aber die Durchschnittswerte aus der Vegetationsperiode noch zu undifferenziert. Daher wird in der Folge auf die monatlichen Meßwerte aus einer Station, Techendorf, eingegangen. Neben dem Niederschlag wird auch die Temperatur erfaßt, weil hohe Temperaturen über eine erhöhte Transpiration die Wirkungen des Niederschlagsdefizites verstärken. Daneben kommt es bei hohen Lufttemperaturen auch zu einer erhöhten Abgabe von ätherischen Ölen (Terpenen) aus den Harzgängen der Nadelbaumblätter. Es ist noch völlig ungeklärt, ob diese nicht in einem beachtenswerten Umfang an der Bildung von Ozon beteiligt sind.

Tab. 9: Monatsmittel der Temperatur und des Niederschlages im Sommerhalbjahr für Techendorf 1983, 1986 und im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt. Quelle: Hydrographischer Dienst.

Techendorf	Niederschläge (mm)			Temperatur (°C)		
	1901–1960	1983	1986	1901–1960	1983	1986
April	110	36	126	4,8	8,0	4,5
Mai	112	127	104	9,8	13,2	13,1
Juni	132	97	90	13,3	15,7	14,0
Juli	146	36	100	15,2	21,1	15,6
August	139	56	165	14,6	16,4	16,1
September	128	315	88	11,6	13,4	12,5

Die Charakterisierung der einzelnen Monate des Sommerhalbjahres nach Temperatur und Niederschlag erfolgt durch den Vergleich mit dem Monatsmittel des langjährigen Durchschnittes. Wird diese Differenz absolut betrachtet, dann können die Abweichungen der Monatswerte in nur einem Diagramm dargestellt werden (Abb. 11). Diese Abbildung zeigt das Ausmaß der monatsbezogenen Klimavariation für die Jahre 1980–1986 (1984: keine t-Daten). Die Zahlenpaare geben das Jahr (erste Zahl) und den Monat an (zweite Zahl). Im trocken-warmen Quadranten der Abb. 11 sind Monate unterschiedlicher Jahre versammelt.

Besonders warm und trocken war aber gewiß der Sommer 1983 mit einem Juli-Monatsmittel von 21,1 °C, welches damit um 6 °C über dem langjährigen Mittel lag, und mit einem Niederschlag von nur 36 mm gegenüber dem Durchschnittswert von 146 mm (Tab. 9).

Nicht nur für die achtziger Jahre, sondern für den gesamten Zeitraum ab 1930 wird der Juli 1983 von keinem anderen Monat des Hochsommers hinsichtlich des Zusammentreffens von überdurchschnittlichen Temperaturen und maximalem Niederschlagsdefizit erreicht. Es ist verständlich, daß sich diese Extremsituation auf den Zustand des Waldes entsprechend ausgewirkt hat. Im Spätsommer 1983 waren fichtenbestandene Sonnhänge der Kärntner

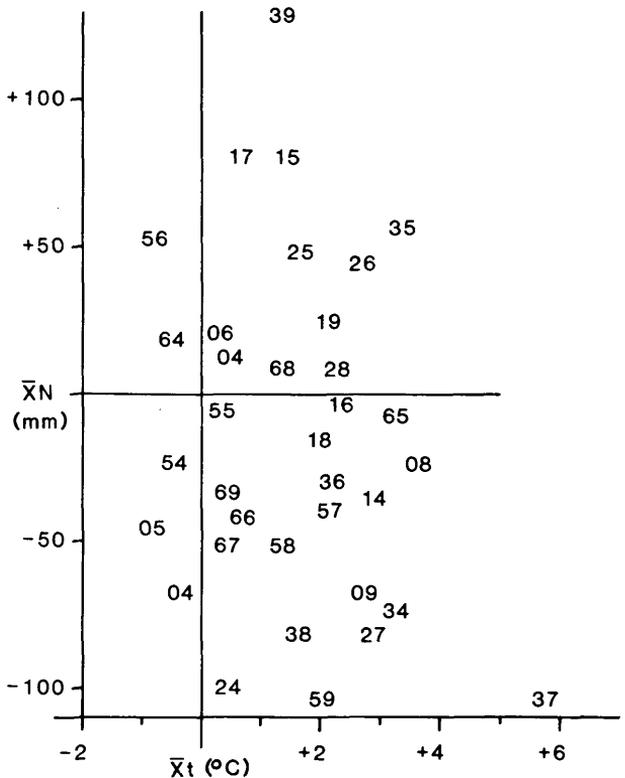


Abb. 11:
Warm-trockene Sommermonate zwischen 1980 und 1986. Abweichungen der Monatsmittel vom langjährigen Durchschnitt \bar{X} (1901–1960) für Temperatur (t) und Niederschlag (N), Station Techendorf/Weißensee
Jahr: Erste Ziffer, 0–6 = 1980–1986
Monat: Zweite Ziffer, 4–9 = April–September

Mittelgebirge, etwa der Gerlitzen, fahl bräunlich gefärbt, weil so viele Nadeln von den Bäumen abgestoßen wurden. Und die nachfolgenden WZI-Erhebungen (Waldzustandsinventur) haben damals besonders große Schadenszuwächse erbracht. Aus diesen Zuwachsraten übrigens stammen die unsinnigen Prognosen, daß der Wald bis etwa zur Jahrtausendwende größtenteils abgestorben sein werde.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß die damals entstandenen Schäden zumindest teilweise im Kronenzustandsbild des Bildfluges 1987 noch mit enthalten sind. Das gilt besonders dort, wo aufgrund schlechter Bodenwasserverhältnisse die Streßfolgen stärker und die Erholungsphasen länger sind. Natürliche Extremsituationen dürfen also bei der Frage nach den Ursachen des Waldzustandes nicht vernachlässigt werden. Ob sie auch zutreffend sind, wird sich dann herausstellen, wenn der Waldzustand mit unterschiedlichen Bodenwasserhaushalts-Typen in Beziehung gesetzt wird.

3. HAUPTERGEBNISSE DER WALDZUSTANDS- ERFASSUNG

3.1. DER WALDZUSTAND NACH BAUMARTEN

3.1.1. Das Gesamtergebnis

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 20 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 Kronenzustandstufen unterschieden (vgl. Interpretationsschlüssel, Anhang). 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 Kiefern wird analog vorangegangen. Die Bestimmung der Kronenzustandstufen wird von erfahrenen Interpreten am Gerät Wild Aviopret ATP4 vorgenommen.

Der Waldzustand nach Baumarten und Untersuchungseinheiten (Beständen) ergibt sich aus den Anteilen der vier Kronenzustandstufen. Aus diesen Häufigkeiten wird als gewichtetes arithmetisches Mittel ein Waldzustandswert \bar{X} gebildet.

Das Resultat der Erfassung des Waldzustandes liegt in zweifacher Form vor: Zum einen wird der durchschnittliche Zustand des Waldes insgesamt, tabella-

risch und nach Baumarten gegliedert, vorgestellt. Zum anderen wird der Waldzustand nach einzelnen Beständen in mehreren Kartenblättern und damit in seiner räumlichen Verteilung festgehalten (vgl. Karten im Anhang).

Das Gesamtergebnis ist in Tab. 10 dargestellt. Insgesamt wurden 74.652 Einzelbaum-Kronen in 1386 Waldbeständen als Stichprobe erfaßt und nach dem Kronenzustand typisiert. Dabei entfallen 53% auf die Baumart Fichte, 19% auf Buchen und 14% auf Tannen; Lärchen und Kiefern waren mit 8% bzw. 6% vertreten. Die Baumartenzusammensetzung ist damit vielfältiger als in anderen und zuvor untersuchten Gebieten Kärntens (Lavanttal, Perzen, Villach). Das weist auf eine vergleichsweise größere Natürlichkeit der Waldbestände im Gailtal hin. Der baumartenbezogene durchschnittliche Waldzustand, genauer: Kronenzustand, ist das gewichtete arithmetische Mittel der vier Kronenzustands-Häufigkeiten. Dieser Waldzustandswert beträgt für die Hauptbaumart Fichte: $\bar{X} = 2,02$. Dieser Wert weist auf umfangreiche Beeinträchtigungen eines optimalen Waldzustandes hin. Nur ein Achtel der Bäume aus den erfaßten Altersklassen (Baumholz und älter) ist völlig intakt, bei 71% wurden leichte Beeinträchtigungen (Stufe 2) festgestellt.

Hier muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Einzelkronen in der Aufsicht des Farbinfrarotluftbildes sehr differenziert angesprochen werden können, was zu einer schärferen Einstufung führt als etwa bei terrestrischen Begutachtungen des Kronenhabitus. Diese schärfere Ansprache im Vergleich etwa zur Waldzustandsinventur der Landesforstdirektionen bzw. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurde auch bei anderen bildgestützten Waldzustandserhebungen beobachtet und ist mittlerweile als bekannt anzusehen. Die Schadensermittlung über das Farbinfrarotluftbild kann daher nicht direkt mit den Ergebnissen der WZI-Daten verglichen werden.

Tab. 10: Waldzustandswert \bar{X} und Häufigkeit der Kronenzustands-Stufen nach Baumarten. Gesamtergebnis Gailtal, Bildflug 1987.

Kronenzustandsstufe	% -Werte der Kronenzustandsstufen für:				
	Fichte	Tanne	Buche	Lärche	Kiefer
1, gesund, kaum verlichtet	11,5	21,4	34,2	48,3	19,5
2, beeinträchtigt, schwach verlichtet	71,0	63,1	61,6	45,5	69,7
3, geschädigt, deutlich verlichtet	16,2	13,8	3,8	5,2	10,4
4, schwer geschädigt, stark verlichtet	1,3	1,7	0,4	1,0	0,4
Waldzustandswert \bar{X} (Mittel)	2,02	1,89	1,59	1,59	1,60
Zahl untersuchter Bäume	39.529	10.434	14.459	5.615	4.615

Bei einer terrestrischen Ansprache würden z. B. ein Teil der im Luftbild als Zustandsstufe 2 typisierten Kronen (hier für Fichte: 71%) wohl der Zustandsstufe 1 zugeordnet werden. Die hier erfolgte Zuordnung zur Kronenzustandsstufe 2 ist aber nach den Merkmalsangaben des Interpretationsschlüssels wohl begründet, sie erfolgte häufig aufgrund erkennbarer farblicher Abweichungen der Krone vom optimalen Erscheinungsbild. Hier stellt sich auch die Frage nach der Bedeutung der Kronenzustandsstufe 2, „beeinträchtigt“. Sie ist vielfach das Resultat einer chronischen und mäßigen Belastung durch Luftschad-

stoffe, kann aber ebenso die Folge von natürlichen Stressoren, wie Wassermangel, Nährstoffversorgung, Windeinwirkung u. a. sein. Bei einer Verbesserung der edaphischen und atmosphärischen Bedingungen kommt es rasch zu einer Erholung des Benadelungsbildes. Aus diesen Gründen wird die Zustandsstufe 2 bei luftbildgestützten Inventuren häufig mit der Stufe 1 vereint und den Zustandsstufen 3 und 4, die eindeutig von der Spannweite natürlicher Kronenformen abweichen, gegenübergestellt.

Etwa ein Sechstel der Fichten oder 16,2% werden als „geschädigt“ (Stufe 3) eingestuft, und nur 1,3% zählen zur Stufe 4. Dieser geringe Anteil schwer geschädigter Individuen nähert sich jenem Wert, der auch in an sich gesunden Waldbeständen stets zu beobachten ist.

Einen etwas besseren Gesamtzustand als die Fichte weist die Tanne auf: $\bar{X} = 1,89$. Das widerspricht landläufigen Erfahrungen, die jedoch vielfach aus dem Randbereich des Wuchsgebietes der Tanne stammen. Im Gailtal mit seinen reichlichen Niederschlägen und z. T. tiefgründigen Verwitterungsböden herrschen an sich optimale Bedingungen für diese Baumart, 15,5% der Tannen sind jedoch als deutlich geschädigt anzusehen. Weitere Analysen werden darüber Aufschluß geben, ob diese Schäden mit bestimmten Standort- oder Umweltparametern in Verbindung zu bringen sind. Das gilt auch für die übrigen Baumarten, die alle einen Zustandswert von $\bar{X} = 1,6$ aufweisen.

3.1.2. Die Waldzustandskarten

Die Waldzustandskarten (vgl. Anhang) liegen für die Baumarten Fichte, Tanne und Buche vor. Sie zeigen jeden Bestand, in dem eine Stichprobe von $n > 20$ Individuen einer Baumart erfaßt und nach Kronenzustandsklassen typisiert wurden. Der Waldzustand ist durch Flächensignaturen angegeben, wobei sieben Intervallklassen gebildet wurden. Die Bestandesgrenzen wurden aus dem Luftbild in eine topographische Karte 1:25.000 übertragen, die Karten haben den Maßstab 1:50.000. Wegen der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes wurden zwei Kartenblätter (West und Ost) erstellt. Diese Karten sind nicht nur das räumlich detaillierte Gegenstück zu den deskriptiv-statistischen Analysen, sondern auch jene wichtige Dokumentation, die zur Überprüfung der Waldzustandserfassung im Gelände verwendet werden kann.

Die Waldzustandskarte für die Hauptbaumart Fichte zeigt in fünf Flugstreifen 1137 Bestände. Sucht man in dem zunächst verwirrenden Muster unterschiedlichster Bestandeszustände nach Regelmäßigkeiten, so bietet sich dazu die Unterscheidung nach eher homogenen und eher heterogenen Gefügemustern an. Die damit in Zusammenhang stehende Hypothese lautet: Liegt ein heterogenes Zustandsgefüge der Bestände vor, dann ist die Ursache dafür vorwiegend in individuellen Standort- und Bestandesmerkmalen zu suchen. Wenn dagegen über mehrere bis viele Bestände ein eher einheitlicher Zustand ermittelt wurde, so ist auf regional wirksame Einflüsse auf den Waldzustand zu schließen.

Diesen Überlegungen folgend, erlaubt die Verteilung des Waldzustandes der Fichte die folgende Interpretation:

- Eine Region schlechten Waldzustandes stellen die östlichen Ausläufer der Karnischen Alpen dar. Das gilt zunächst für den Bereich nahe Thörl-Mag-

lern und Arnoldstein, was Einflüsse des BBU-Betriebes vermuten läßt. Aber auch die Nordflanke des Oisternig-Zuges ist in Höhen zwischen 800 und 1200 m davon betroffen, obwohl gerade dort an sich optimale Wuchsbedingungen gegeben sind.

- Eine Häufung schlechten Waldzustandes kennzeichnet ferner die Höhenlagen im Bereich Windische Höhe-Tschekelnock, was auf extrem trockene Hang- und Kuppenlagen in Kalk und Dolomit zurückgeführt werden kann. Schadstoffverfrachtungen sind hier jedoch (vgl. die Ausführungen über das regionale Windsystem im Gailtal) nicht auszuschließen. Keine vordergründige Erklärung kann für den schlechten Waldzustand an der dem Gitschtal zugewandten Flanke des Guggenberges (südlich Jadersdorf) gegeben werden.
- Der vergleichsweise gute Zustand der Fichte in Tallagen um Hermagor wird auf mehrere günstige Umstände zurückgeführt. Sowohl eine gute Wasserversorgung (die Bestände stocken z. T. auf Moränenmaterial) als auch eine intensivere Bestandespflege und ein jüngeres Bestandesalter wirken sich positiv auf den Waldzustand aus. Erst mit zunehmender Höhe zeigen die Bestände an der Südseite der östlichen Gailtaler Alpen (Spitzegel-Zug, Golz) eine stärkere Differenzierung des Waldzustandes. Das leitet zu einer weiteren Regelmäßigkeit des Zustandsmusters über.
- Eher heterogene Bestandeszustände kennzeichnen den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Das gilt sowohl für die Profile vom Gailtal zum Naßfeld als auch für die Bereiche zwischen dem Gitschtal und dem Weißensee. Hier kommen offensichtlich individuelle Merkmale der Bestände, vornehmlich wohl Standorteigenschaften, zum Ausdruck. Auf die möglichen Zusammenhänge zwischen Waldzustand und Standort wird daher später einzugehen sein.

Bei der Bestandes-Zustandskarte für die Baumart Tanne ist zunächst auf die große Zahl der Bestände (297) hinzuweisen, in der die für die Stichprobe ($n > 20$) notwendige Zahl von Einzelbäumen durch die Rasterstichprobe der Bildinterpretation erreicht wurde. Der Zustand der als besonders empfindlich geltenden Baumart Tanne ist im Hauptverbreitungsgebiet, an der südlichen Talseite südwestlich von Vorderberg, überraschenderweise gut. Ausreichende Niederschläge und eine entsprechende Luftfeuchtigkeit an den Nordhängen der Karnischen Alpen stellen ja auch das ökologische Optimum für die Tanne dar, die in wenigen anderen Gebieten so gut gedeiht wie hier. In auffälligem Gegensatz dazu stehen einige schwer geschädigte, u. U. auch überalterte Bestände in relativer Nähe zum Ermittenten in Arnoldstein. Darüber hinaus sind schlechtere Waldzustandswerte für die Tanne in Hochlagen und an ungünstigen Standorten, u. U. auch mit einer geringen Durchforstung in schwer zugänglichen Lagen zusammenhängend, zu beobachten.

Der Waldzustand der Buche bedarf zunächst einer Erläuterung. Die Zustandsbeurteilung der Laubbäume erfolgt zwar nach ähnlichen Kriterien wie jene der Nadelbäume (vgl. Interpretationsschlüssel im Anhang), d. h., es werden sowohl Farbmerkmale als auch Gestaltsmerkmale der Einzelbaumkrone erfaßt und beurteilt. Die Farbmerkmale können aber wegen des jährlichen Laubwechsels nur Einflüsse der jeweiligen Vegetationsperiode erfassen. Eine Befliegung relativ knapp vor dem Ende derselben wird daher allfällige Beeinträchtigungen, so eine verfrühte Rückbildung des Chlorophylls an Trockenstandor-

ten, optimal erfassen. Daneben zeigen Gestaltsmerkmale der Krone, wie die sogenannten Krallenäste und Spieße, die eine ungenügende Ausbildung von gut belaubten Nebenästen und Feinreisig darstellen, die negativen Auswirkungen vergangener Jahre an. Über die Gestaltsmerkmale der Buchenkrone können daher wie auch bei der Fichte die Einflüsse der sommerlichen Trockenperioden zu Beginn der achtziger Jahre zur Geltung kommen. Diese verstärken die standörtliche Differenzierung des Untersuchungsraumes. Das Verteilungsbild des Waldzustandes der Buche ist jenem der Fichte ähnlich. Besonders schlechte Zustände sind auf extrem trockene Standorte beschränkt. Die Krallen- und Spießbildung in der Buchenkrone kann auch durch Luftschadstoffe hervorgerufen werden, was u. U. auf die östlichen Bestände nahe Arnoldstein zutrifft.

3.1.3. Der Waldzustand nach Teilgebieten

Die räumliche Differenzierung des Waldzustandes wurde bereits anhand der nach Beständen (Aufnahmeeinheiten) gegliederten Karten vorgestellt: Das Muster der unterschiedlichen Waldzustandswerte läßt jedoch nicht den generellen räumlichen Wandel des Waldzustandes erkennen. Daher wird eine Gliederung des Untersuchungsgebietes, d. h. der fünf Flugstreifen, nach 23 Teilgebieten vorgenommen. Für diese Teilräume wird der Waldzustandswert \bar{X} sowie der Anteil der Kronenzustandsstufen 1–4 nach Baumarten ermittelt (Tab. im Anhang). Die Teilgebiete sind in der Übersichtsskizze des Untersuchungsgebietes festgehalten (Abb. 1), der zugehörige Waldzustandswert für die Fichte ist in der analogen Karte im Anhang eingetragen.

Der Waldzustand nach Teilgebieten zeigt keine vordergründig auffallenden Differenzierungen. Die Teilgebiete, die jeweils eine größere Anzahl von Beständen umfassen, weisen einen ziemlich ähnlichen durchschnittlichen Waldzustand auf. Unter Berücksichtigung einer Standardabweichung zwischen 0,15 und 0,20 ergibt sich eine weitgehende Überlappung des Waldzustandes. Weder in west–östlicher noch in nord–südlicher Richtung sind eindeutige Zustandsunterschiede festzustellen. In einem nicht eindeutig durch bekannte und lokalisierte Emittenten beeinflussten Gebiet ist auch kein anderes Ergebnis zu erwarten. Es ist zu vermuten, daß der Waldzustand eher mit bestandesbezogenen Merkmalen und nicht mit regionalen Lagemerkmalen in Zusammenhang zu bringen ist.

Als vergleichsweise gut ist der Waldzustand nördlich und südlich von Weißbriach im Gitschtal (Nr. 15, 18), am Hangfuß des Spitzegel-Zuges (Nr. 7, 12) sowie im Bereich der Talniederung (Nr. 6, 9, 15) anzusehen. Die Wälder in der Talniederung stocken auf Böden mit vergleichsweise guter Wasserversorgung. Die Bestände sind außerdem gut durchforstet, und überalterte Individuen, die bereits einen schlechten Kronenhabitus zeigen, fehlen hier. Es wird vermutet, daß beide Kriterien einen Einfluß auf den ermittelten Waldzustand haben.

Den schlechtesten Waldzustand weisen dagegen die steilen und schlecht durchforsteten Nordhänge im Bereich des Naßfeldes auf (Nr. 14, 8), ebenso der Bereich Guggenberg (Nr. 10, 11) und das Gebiet westlich von Arnoldstein (Nr. 12). Unter Umständen ist im letzteren Falle eine immissionsökologische Beeinflussung durch die hohe Blei-Zink-Hütte in Arnoldstein-Gailitz gegeben.

3.1.4. Zusammenhang des Kronenzustandes der Fichte mit jenem anderer Baumarten

Die Beschreibung des Waldzustandes wie auch die Analyse des Zusammenhanges mit Standortparametern erfolgt vorwiegend anhand der Zustandsdaten der Hauptbaumart Fichte, weil diese im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet ist. Für bestimmte Teilgebiete muß jedoch auch der Kronenzustand anderer Baumarten berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob und in welchem Ausmaß die Zustandswerte der verschiedenen Baumarten miteinander korrelieren und damit auch vergleichbar sind. Das ist in jenen Beständen möglich, in denen zwei Baumarten in genügender Individuenzahl ($n > 15$) erfaßt wurden.

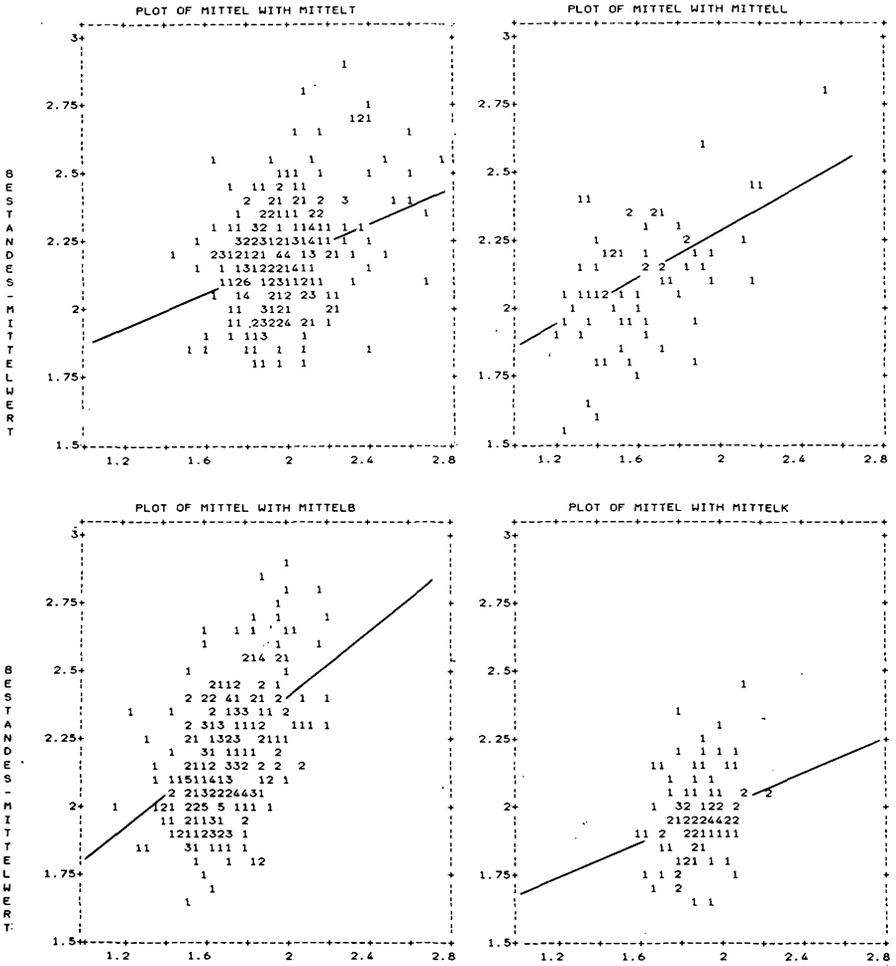
Eine grundsätzliche Übereinstimmung ist wegen des identen Standortes und aus dem Aufbau der Interpretationsschlüssel zu erwarten. Dort werden die baumartenspezifischen Verlichtungsformen und Schadenssymptome der Einzelkronen den vier Stufen des Kronenzustandes zugeordnet. Wie aber verhalten sich verschiedene Baumarten an einem (an sich weitgehend homogenen) Standort? Bewirken edaphische und (immissions)klimatische Ungunfstfaktoren gleichartige Beeinträchtigungen des Kronenzustandes auch bei verschiedenen Baumarten? Ober bedingen baumartenspezifische Unterschiede der Wurzel-tiefe und der Transpirationsverhältnisse nicht vielmehr einen verschiedenartigen Kronenzustand auch an einem Standort?

Zusammenhänge auf einem Signifikanzniveau von 99% sind durch einen Stern (*) gekennzeichnet (Tab. 11). Die Fallzahl (Zahl der Bestände), welche der Korrelation zugrunde liegt, ist in Klammern angegeben.

Zwischen den Zustandswerten der Fichte und jenen der anderen Baumarten besteht ein eindeutiger und statistisch signifikanter Zusammenhang. Die Korrelation der Kronenzustands-Mittelwerte belegt die Brauchbarkeit der Interpretationsschlüssel und die Qualität der Kronenansprache aus dem Luftbild. Die zwar positiven, jedoch nicht übermäßig hohen Korrelationskoeffizienten weisen auf eine weite Streuung der Wertepaare hin. Dafür können eine Reihe von Gründen maßgebend sein: unterschiedliche Reaktion der einzelnen Baumarten auf eine gegebene Beeinträchtigung des optimalen Kronenzustandes, unterschiedliches Alter der stichprobenmäßig erfaßten Individuen, kleinräumige Unterschiede im Standortpotential eines Bestandes. Die Zusammenhänge der anderen Baumarten zueinander sind weniger deutlich als jene für Fichte und nicht signifikant.

Tab. 11: Korrelation der Kronenzustandswerte unterschiedlicher Baumarten aus gleichen Waldbeständen. *: signifikanter Zusammenhang; in Klammern: Anzahl der Bestände.

	Fichte	Buche	Lärche	Tanne	Kiefer
Fichte	–	0,47* (255)	0,51* (67)	0,36* (245)	0,29* (94)
Buche		–	0,84 (8)	0,04 (118)	0,24 (20)
Lärche			–	–0,11 (9)	–0,17 (12)



MITTEL DER TANNEN

245 cases plotted. Regression statistics of MITTEL on MITTELT:
 Correlation .36430 R Squared .13271 S.E. of Est .18919 2-tailed Sig. .0000
 Intercept(S.E.) 1.52407(.11071) Slope(S.E.) .33729(.05531)

MITTEL DER LAERCHEN

67 cases plotted. Regression statistics of MITTEL on MITTELL:
 Correlation .51462 R Squared .26484 S.E. of Est .19680 2-tailed Sig. .0000
 Intercept(S.E.) 1.38685(.14934) Slope(S.E.) .44153(.09125)

MITTEL DER BUCHEN

255 cases plotted. Regression statistics of MITTEL on MITTELB:
 Correlation .47020 R Squared .22109 S.E. of Est .20813 2-tailed Sig. .0000
 Intercept(S.E.) 1.15711(.12209) Slope(S.E.) .60009(.07081)

MITTEL DER KIEFERN

94 cases plotted. Regression statistics of MITTEL on MITTELK:
 Correlation .29110 R Squared .08474 S.E. of Est .14105 2-tailed Sig. .0044
 Intercept(S.E.) 1.34972(.21154) Slope(S.E.) .32367(.11090)

Abb. 12: Vergleich des Waldzustandes der Fichte mit anderen Baumarten aus dem gleichen Bestand (n > 15)

Die Zusammenhangsdiagramme zwischen dem Kronenzustand der Fichte und vier weiteren Baumarten (Abb. 12) zeigen die weite Streuung um die Regressionsgerade. Die regressionsanalytischen Zusammenhänge sind wie folgt definiert:

Fichte-Buche	$Y = 0,60X_b + 1,16, S = 0,21$
Fichte-Lärche	$Y = 0,44X_l + 1,39, S = 0,20$
Fichte-Tanne	$Y = 0,34X_t + 1,52, S = 0,19$
Fichte-Kiefer	$Y = 0,32X_k + 1,35, S = 0,14$

Dabei steht Y für die Schätzwerte des Kronenzustandes der Fichte, wenn die Zustandswerte anderer Baumarten ($X_b, X_l, X_t \dots$) gegeben sind. Die Standardabweichung S gibt die Streubreite der Schätzwerte an. Die Bedeutung der Standardabweichung wird klar, wenn sie zur Spannweite der möglichen Zustandswerte (von $\bar{X} = 1,2$ bis $\bar{X} = 2,5$) in Relation gesetzt wird. Über die Regressionsgleichung können die Zustandswerte der einzelnen Baumarten mit jenen der Fichte in Beziehung gesetzt werden.

Wichtiger noch ist die Zusammenschau der Regressionsgeraden (Abb. 13). Wir erkennen eine ähnliche Situierung der Geraden für Buche, Lärche und Tanne; die Kreuzung der Geraden ist zufällig. Aus dem Diagramm ist abzulesen, daß die Kronenzustandswerte dieser Baumarten im statistischen Mittel stets niedriger (besser) sind als jene der Fichte. Beispiel: Bei einem Zustandswert für Fichte von $\bar{X} = 2,0$ beträgt der Kronenzustandsindex für die genannten Baumarten etwa $\bar{X} = 1,4$. Mit steigendem Schadenswert der Fichte nähern sich auch die übrigen Baumarten diesem Wert an bzw. übertreffen ihn jenseits der strichliert eingetragenen Diagonale.

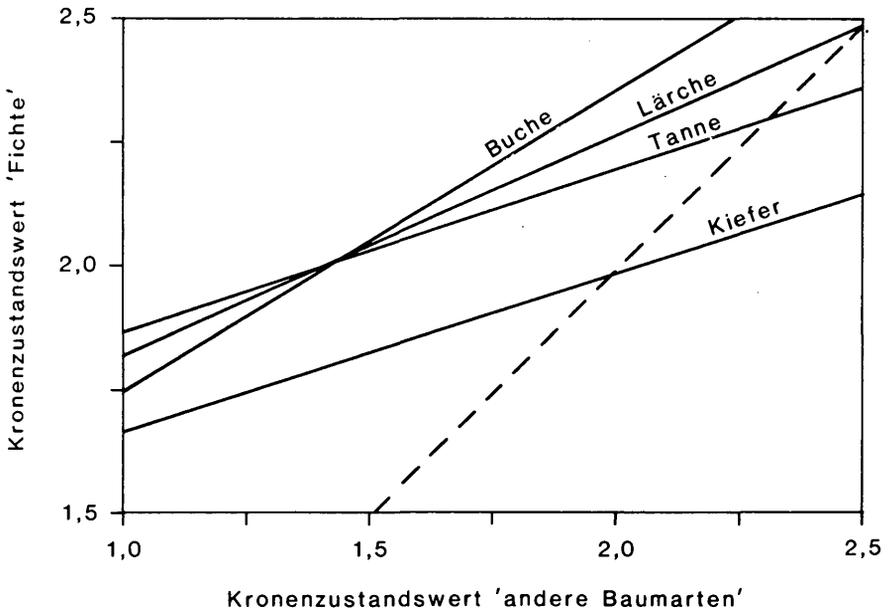


Abb. 13: Regressionsgerade des Zusammenhanges der Kronenzustandswerte Fichte – andere Baumarten; Grundlage: Abb. 12

3.2. WALDZUSTANDSTYPEN ALS KRONEN- ZUSTANDS-CLUSTER

3.2.1. Die clusteranalytische Ermittlung von Waldzustandstypen für die Baumart Fichte

Die Hauptergebnisse haben sowohl die Häufigkeiten der Kronenzustandsstufen 1–4 als auch den daraus berechneten Mittelwert \bar{X} für den gesamten Untersuchungsbereich gezeigt. In den zugehörigen Bestandeskarten kommt nur der Waldzustands-Mittelwert \bar{X} zur Darstellung. Auch bei weiteren Analyseschritten wird vielfach eine Informationskonzentration stattfinden: Der Waldzustand wird nur durch den Bestandesmittelwert ausgedrückt, und die Information über die Häufigkeit der Kronenzustandsstufen geht verloren. Gerade in der unterschiedlichen Ausprägung dieser primären und empirisch ermittelten Waldzustandsdaten kann aber ein Schlüssel zur weiterführenden Zusammenhangsforschung gesehen werden.

Es ist daher naheliegend, auch die Daten der Zustandsstufen 1–4 zur Beschreibung des Waldzustandes heranzuziehen. Dies geschieht durch die Bildung von Typen ähnlicher Häufigkeitsverteilung der Kronenzustandsstufen-Anteile. Dazu wird eine vierdimensionale Typisierung pro Bestand durchgeführt. Als Verfahren wird eine nicht hierarchische Clusteranalyse (Quickcluster SPSS) mit wiederholter Iteration verwendet. Die Zahl der Cluster ist vorzugeben, und als optimale Typenanzahl hat sich nach einigen Versuchen die Wahl von 6 Clustern erwiesen. Jeder Cluster wird durch ein vierdimensionales Clusterzentrum (vier „Zentralwerte“, den Stufen 1–4 entsprechend) sowie durch die Streuung der Fälle um das Clusterzentrum definiert. Der Zentralwert stellt den Stufen-Mittelwert der am Cluster beteiligten Fälle (Bestände) dar. Jeder Bestand wird aufgrund der Ähnlichkeit seiner Kronenzustandsstufen-Häufigkeiten einem der Cluster zugeordnet. Das Verfahren wird für die Hauptbaumart Fichte, die in 1138 von 1410 Beständen mit $n > 20$ Individuen vertreten ist, durchgeführt. Als Resultat werden 6 Waldzustandstypen mit unterschiedlicher Häufigkeit der Stufen 1–4 ermittelt.

Tab. 12: 6 Waldzustandstypen für die Baumart Fichte. Clusteranalyse nach Kronenzustandsstufen 1–4.

Nr.	Waldzustands- (Cluster-)Typ		Kronenzustandsstufen, Zentralwerte, %				Waldzustands-(Kronenzustands-) wert und Standardabweichung	
	%	(n)	1	2	3	4	\bar{X}	S
1	3	(29)	35	54	9	2	1,77	0,13
2	31	(350)	18	71	10	1	1,94	0,10
3	19	(223)	8	84	7	1	2,01	0,07
4	30	(345)	6	73	20	1	2,17	0,08
5	6	(65)	17	52	28	3	2,18	0,13
6	11	(126)	5	59	34	2	2,34	0,08
Σ	100	(1138)	11,6	69,3	17,4	1,6	2,02	0,17

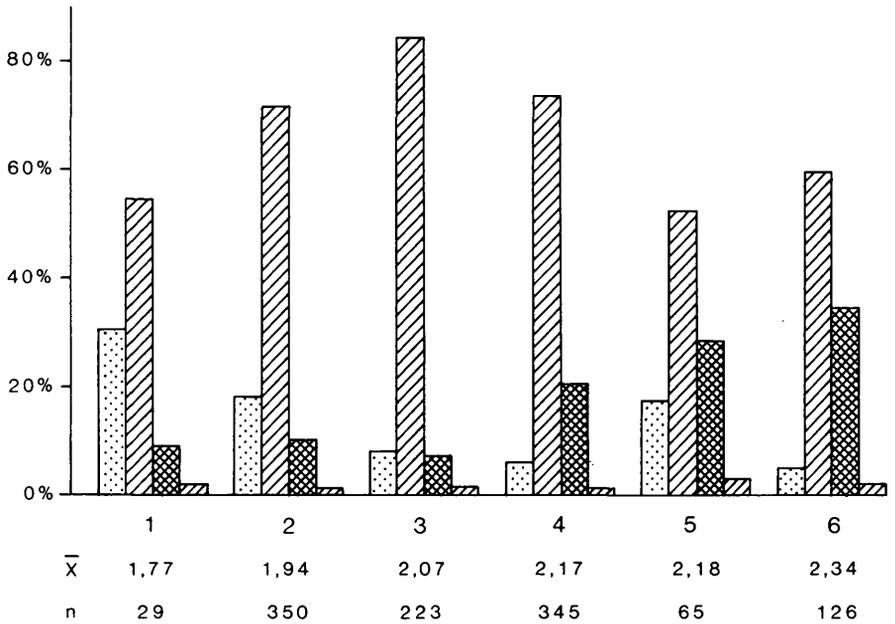


Abb. 14: 6 Waldzustandstypen für die Baumart Fichte.

Histogramme der Anteile der Kronenzustandsstufen.

Kronenzustandsstufen 1–4 jeweils von links nach rechts in jedem Histogramm. Clusteranalytische Typenbildung, vgl. Tab. 12.

Die Typen sind daneben durch den Waldzustandswert \bar{X} und seine Streuung definiert, und ihre absolute wie relative Häufigkeit ist angegeben. Als Ergebnis (Tab. 12, Abb. 14) erkennt man unterschiedliche Histogramme der vier Schadensstufen (Kronenzustandsstufen). Die Dominanz der bereits früher diskutierten Zustandsstufe 2 ist auffällig. Als geschädigt werden die Cluster 5 und 6 angesehen, in denen die Stufen 1 und 2 im Durchschnitt weniger als 70% der Stichprobe erreichen. Auffällig ist der schwach besetzte Cluster 5 auch wegen relativ hoher Anteile sowohl der Zustandsstufe 3 als auch der Stufe 1.

Die Typen 3 und 4, die zusammen die Hälfte aller Bestände umfassen, gelten als beeinträchtigt. Sie sind durch einen überaus hohen Anteil der Kronenzustandsstufe 2 gekennzeichnet. Geht man davon aus, daß die leichte Verlichtung der Stufe 2 im Kontext mit der Häufigkeit der anderen Zustandsstufen innerhalb einer Probestfläche zu sehen ist, dann können die Clustertypen 1 und 2 als gesund bezeichnet werden, was auch in ihrem günstigen Waldzustandswert \bar{X} zum Ausdruck kommt.

3.2.2. Die Waldzustandstypen im Höhenprofil

In der Folge wird untersucht, wie sich die Häufigkeiten der Waldzustandstypen im Höhenprofil verhalten. Wir erwarten daraus einen Aufschluß darüber, ob eine Differenzierung des Waldzustandes mit der Höhe und in welchen Höhenlagen eine besondere Beeinträchtigung des Waldzustandes gegeben ist.

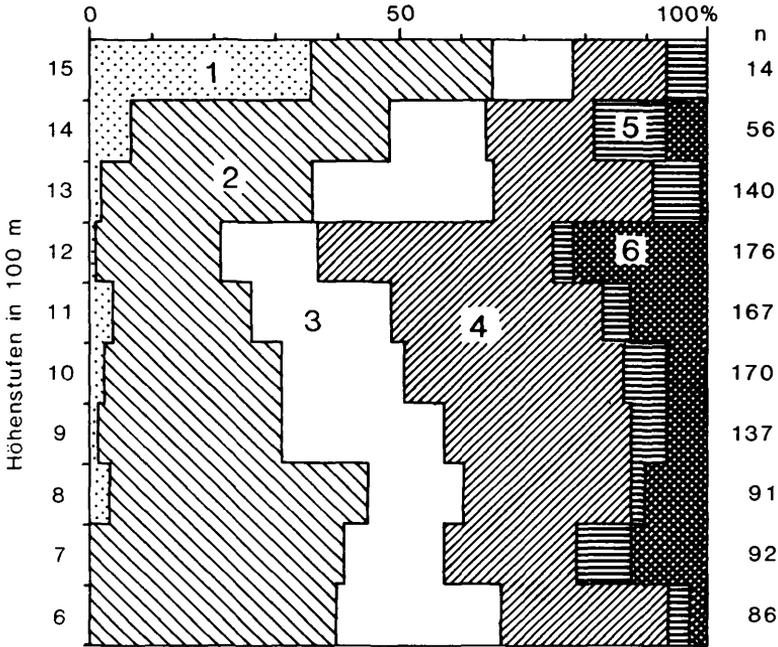


Abb. 15: Waldzustandstypen (Cluster) im Höhenprofil, gesamtes Untersuchungsgebiet. Typenabfolge vom guten (1) zum schlechten (6) Waldzustand, vgl. Tab. 12.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet ist dieser Zusammenhang zwischen den Waldzustands-Clustern und der Höhe in Abb. 15 dargestellt. Daraus ist abzuleiten:

- Deutlich geschädigte Bestände (Clustertypen 5 und 6) finden sich in allen Höhenlagen, mit besonderer Häufigkeit in 700–800 m, 1200–1300 m und 1400–1500 m Höhe. Diese Verteilung zeigt keine Regelmäßigkeit, die auf einen regionalklimatisch-immissionsökologischen Einfluß hinweist. Daher wird vermutet, daß „primär“ extrem schlechte Standortverhältnisse oder Überalterung der Bestände den beobachteten Waldzustand bedingen.
- Der als gesund eingestufte Zustand (Clustertypen 1 und 2) nimmt jedoch in den Höhenlagen ab 1300 m auffällig zu; was besonders auf einen geringen Anteil des Zustandstyps 4 ($\bar{X} = 2,17$, Kronenzustandsstufe 3 = 20%) zurückzuführen ist. Beeinträchtigungen, die den Waldzustand unterhalb von 1300 m beeinflussen, sind darüber offenbar nur abgeschwächt oder nicht wirksam. Berücksichtigt man die im Gailtal beständige winterliche Inversion und ihre hochgelegene Obergrenze (um 1200 m), so drängt sich die Annahme einer besonderen Schädigung innerhalb der Inversionschicht auf.

Wie bekannt, sind die Wälder in den Karnischen Alpen von jenen der Gailtaler Alpen, zumindest soweit es das Untersuchungsgebiet betrifft, sehr verschieden. Daher stellt sich die Frage, wie die Waldzustandstypen an der südlichen und nördlichen Talflanke verteilt sind. Abb. 16 zeigt diese Verteilung nach den zwei Teilgebieten im Höhenprofil. Die auffälligen Unterschiede werden wie folgt interpretiert:

- Der Waldzustand ist an der nordexponierten südlichen Talflanke insgesamt deutlich schlechter als an den südschauenden Hängen des Gailtales. Das widerspricht den Erwartungen sowohl hinsichtlich der Standorteigenschaften (Wasserstreß an Südhängen) als auch der Immissionsbelastungen (SO₂- und O₃-Werte) an der nördlichen Talflanke. Diese Belastungen sind damit offensichtlich so gering, daß sie nicht durchschlagend wirksam werden. Als Erklärung für die auffällige Differenzierung des Waldzustandes sind daher andere Merkmale der untersuchten Bestände heranzuziehen. Hier ist vorrangig an die bessere forstliche Bewirtschaftung der Wälder im Bereich der Gailtaler Alpen (südexponierte Talflanke) zu denken, an den höheren Anteil reiner Fichtenbestände und an ein jüngeres Bestandesalter. Die Bedeutung dieser Parameter wird später eingehend behandelt.
- Die Verbesserung des Waldzustandes ab 1300 m Höhe (Zunahme der Clustertypen 1 und 2) ist an beiden Talflanken zu beobachten. Berücksichtigt man, daß der Anteil alter Bestände mit der Höhe zunimmt und daß der Zustand alter Bestände (Altholz) signifikant schlechter ist als jener der Wuchsklasse Baumholz, so ist dieser Befund nicht a priori zu erwarten. Daher wird die Vermutung erhärtet, daß ein Zusammenhang mit Schadstoffeinflüssen im Bereich unter der Inversionsobergrenze gegeben ist.
- Ein überdurchschnittlich schlechter Waldzustand kennzeichnet die Höhe von 1200 bis 1300 m an beiden Talflanken. Hier ist an die Kombination von ungünstigen Standorten (Wassermangel) mit der Wirkung von Luft-

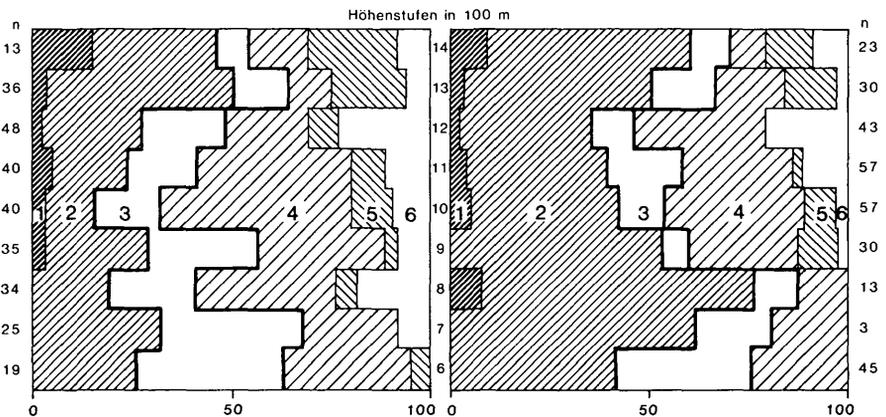


Abb. 16: Waldzustandstypen (Cluster) im Höhenprofil und für Teilgebiete: östliche Karnische Alpen (links), östliche Gailtaler Alpen (rechts). Typenabfolge vom guten (1) zum schlechten (6) Waldzustand.

schadstoffen zu denken, wobei auf die Zunahme der O₃-Belastung mit der Höhe, die für die südexponierte Talflanke ermittelt wurde, hingewiesen wird. Weil diese Höhenstufe die große Zahl von 90 Beständen umfaßt, können die dargestellten Ergebnisse als gesicherte Regelmäßigkeit interpretiert werden. Schlechte Waldzustände (Cluster 4, 5, 6) an der nordexponierten Talflanke können sowohl auf die erwähnte schlechte Durchforstung (Bauernwald) als auch auf pessimale Standorte (z. B. Blockschutt, Austrocknungsgefahr) und auf Schadstoffverfrachtungen (z. T. relative Nähe zum Emittenten BBU Arnoldstein) zurückgeführt werden.

3.3. DER WANDEL DES WALDZUSTANDES MIT DER HÖHENLAGE

Die Verteilung der Waldzustandstypen (Cluster) im Höhenprofil hat bereits eindeutig die Höhenabhängigkeit des Waldzustandes der Fichte belegt, und auch einige Erklärungsansätze dafür konnten geboten werden. Der Höhenwandel des Waldzustandes wird hier erneut aufgegriffen und nach dem durchschnittlichen Waldzustandswert \bar{X} pro 100 m Höhenstufe dargestellt.

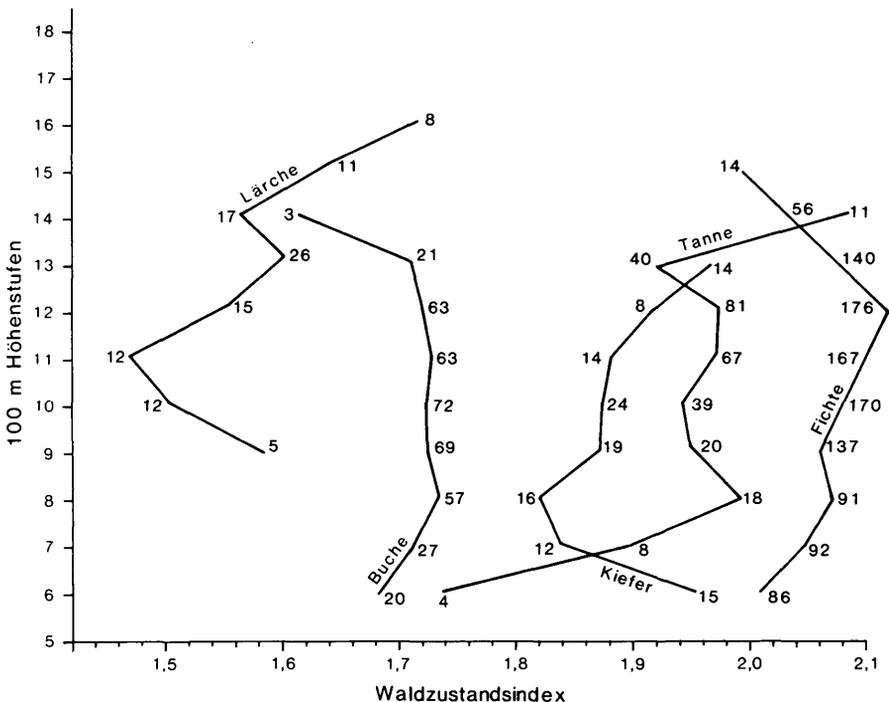


Abb. 17: Der Waldzustand nach Baumarten im Höhenprofil
Bestände pro Höhenstufe: n=5

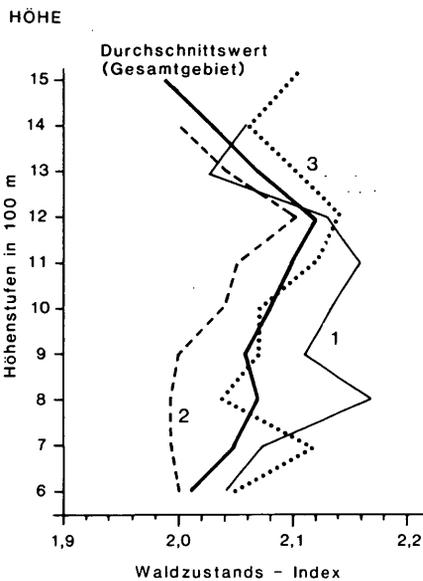
Dabei werden

- das Zustandsprofil nach Baumarten sowie
- seine Differenzierung nach Teilgebieten und nach der Exposition der Bestände

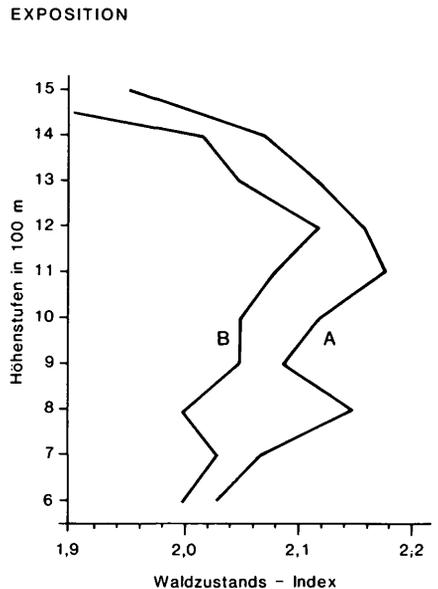
dargestellt. Im Höhenprofil der erfaßten Baumarten, deren durchschnittlicher Zustandswert aus Tab. 10 bekannt ist, betrachten wir zunächst den Zustands-wandel der Hauptbaumart Fichte (Abb. 17). Dabei fallen zwei Tendenzen auf, die bereits im Abschnitt „Die Waldzustandstypen im Höhenprofil“ erkannt wurden:

- die Verschlechterung des Waldzustandes mit zunehmender Höhe bis in etwa 1200 m Höhe, und
- eine konsequente Zustandsverbesserung ab dieser Höhenstufe.

Unter den übrigen Baumarten folgt die Kiefer dem erstgenannten Trend, während Tanne und Buche auffallend gleichmäßige Zustandswerte über alle Höhenstufen aufweisen, und das Verhalten der Lärche schwer zu interpretieren ist. Weil in Abb. 17 die Bestände des gesamten und heterogenen Untersuchungsgebietes enthalten sind, können daraus keine weiteren und erklärenden Schlußfolgerungen gezogen werden. Daher wird in der Folge der Zustands-wandel mit der Höhe nach einer räumlichen und einer expositionorientierten Differenzierung dargestellt.



- 1 = östliche Karnische Alpen
- 2 = östliche Gailtaler Alpen
- 3 = Profile Naßfeld - Kreuzbergsattel



- A = NW, N, NE - Exposition
- B = SW, S, SE - Exposition

Abb. 18: Höhenprofil des Waldzustandes der Fichte nach drei Teilgebieten
 Abb. 19: Höhenprofil des Waldzustandes der Fichte nach der Exposition der Bestände

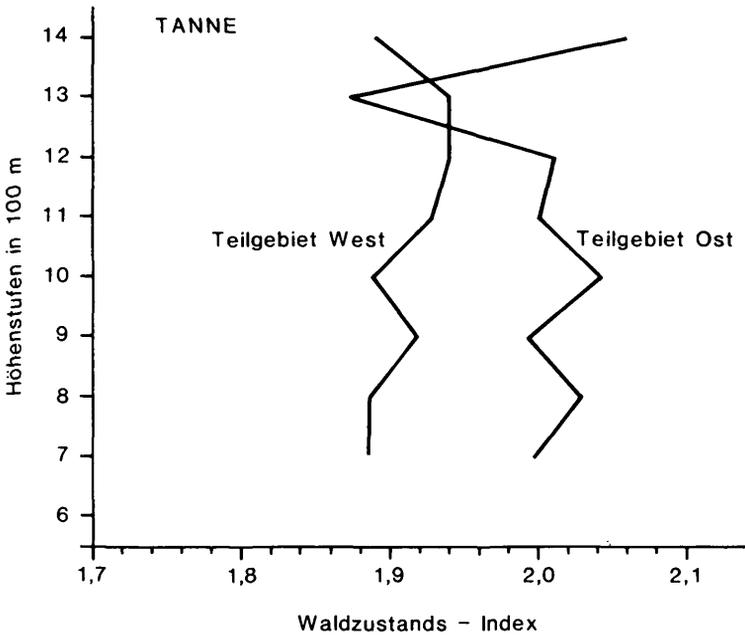


Abb. 20: Höhenprofil des Waldzustandes der Tanne im Westen und im Osten des Untersuchungsgebietes

Eine Gliederung des Waldzustandes der Fichte nach drei Teilgebieten (Abb. 18) zeigt zunächst einen tendentiell unterschiedlichen Waldzustand in fast allen Höhenstufen, wobei der Gegensatz zwischen der südlichen Talseite (Gebiet 1) und der nördlichen Talseite (Gebiet 2) auffällt. Die Unterschiede sind aufgrund der hohen Fallzahlen (Zahl der Bestände pro 100-m-Höhenstufe) signifikant. Als mögliche Ursachen für den besseren Zustand des Gebietes 2 wurden Bestandesalter, Durchforstungsgrad und Bodenverhältnisse (bis ca. 900 m) bereits erwähnt. Allen drei Teilgebieten ist aber eine Verbesserung des Waldzustandes ab 1200 m eigen, was die Vermutung des Zusammenhanges dieser Regelhaftigkeit mit der Inversionsgrenze erhärtet. Schließlich sei noch auf den besonders schlechten Zustand der Fichte im südlichen Talbereich (Gebiet 1) bei 800 m hingewiesen, was u. a. mit Schadstoffeinflüssen aus Arnoldstein zusammenhängen kann. Unter Berücksichtigung der Schornsteinhöhe des BBU-Werkes können hier laminare Luftpaketverfrachtungen bei geringen Windgeschwindigkeiten wirksam werden.

Eine andere Gliederung der Bestände bezieht sich auf ihre Exposition. Dabei erwartet man zunächst eine Auswirkung z. B. des Wassermangels an südexponierten Hängen auf den Waldzustand. Wie Abb. 19 aber zeigt, ist der Waldzustand der südexponierten Bestände über alle Höhenstufen besser als jener an den nordschauenden Hängen. Die Ursache dafür liegt darin, daß im West-Ost-verlaufenden Gailtal die Expositionen mit den beiden Teilgebieten südlich (Karnische Alpen) und nördlich (Gailtaler Alpen) der Talzone zusammenfallen. Das zeigt auch die Ähnlichkeit der Zustandskurven in den Abb. 19 und 18. Im Höhenprofil des Waldzustandes nach der Exposition schlagen daher andere Ein-

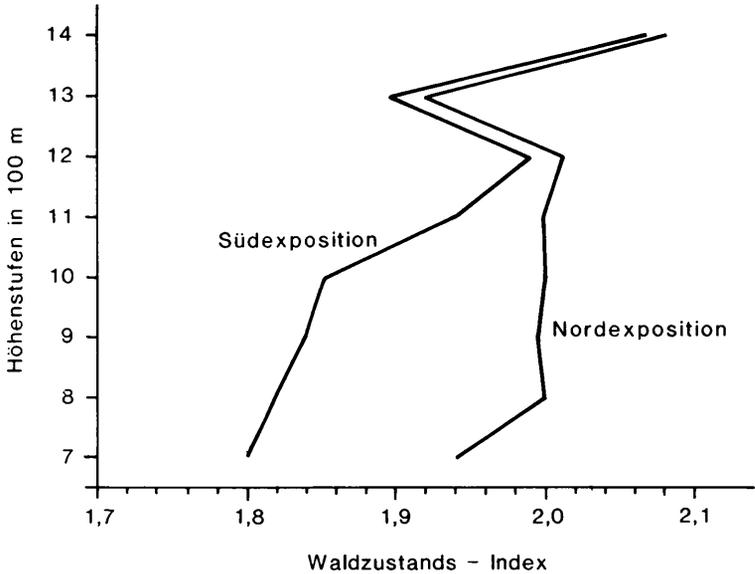


Abb. 21: Höhenprofil des Waldzustandes der Tanne nach der Exposition der Bestände (Talflanken des west-östlichen Gailtales)

flußgrößen, so die unterschiedlichen Waldtypen der beiden Talflanken oder der markante Zustandswandel bei 1200 m, durch. Der Exposition kommt als erklärendes Merkmal für das gesamte Waldzustands-Datenset daher keine Bedeutung zu. Der Differenzierung des Waldzustandes der Fichte nach Teilgebieten und Exposition werden die Daten für die Baumart Tanne gegenübergestellt. Gliedert man das Untersuchungsgebiet nach einem westlichen und einem östlichen Teilraum, so zeigt das Waldzustands-Höhenprofil der Tanne (Abb. 20) im westlichen Gailtal einen eindeutig besseren Zustand dieser Baumart als im Osten, obwohl sich diese Teilräume von den Standorteigenschaften her generell nicht unterscheiden. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß der Zustand der Tanne im Osten des Gailtales durch den bekannten Emittenten beeinflusst wird.

In bezug auf die Exposition der Bestände beträgt der Zustand der Tanne (Abb. 21) das bei der Fichte beobachtete scheinbare Paradoxon, daß südexponierte Bestände einen besseren Zustand aufweisen. Daneben fällt auf, daß

- die Unterschiede in 800–1000 m besonders groß und
- ab 1200 m minimal sind.

Der schlechte Zustand der Tanne an den Nordhängen kann neben Überalterung und schlechter Durchforstung damit zusammenhängen, daß dieses Gebiet bei östlichen Winden mit Luftschadstoffen angeströmt wird, was sich besonders in niedrigen Höhen, generell aber bis zur Inversionsgrenze auswirkt. Eine expositionsunabhängige Verschlechterung des Zustandes der Tanne in Höhen über 1400 m ist dagegen wohl mit ihrer natürlichen Höhengrenze in Beziehung zu setzen.

4. WALDZUSTAND UND LANDSCHAFTS- ÖKOLOGISCHE URSACHENFORSCHUNG

4.1. VORBEMERKUNGEN

Wie bereits bei den Erläuterungen der Zielsetzungen zur vorliegenden Untersuchung betont, sollten neben der Waldzustandserfassung auch Analysen zum Zusammenhang des Waldzustandes mit einer Reihe von ökologisch relevanten Parametern durchgeführt werden. In einer allgemeinen Übersicht wurden die potentiellen Faktorenbündel und Einflußgrößen auf den Waldzustand (Abb. 2) eingangs dargestellt. Es versteht sich, daß bei der großen Zahl der Probestellen (über 1000 Bestände) nur relativ leicht erfaßbare Zusatzparameter für die Zusammenhanganalyse herangezogen werden können, und daß bestimmte Merkmale nur als tendentielle Größen (z. B. Immissionsituation) und nicht als standortbezogene Daten vorliegen. Die folgenden allgemeinen und probestellenbezogenen Merkmale sind für Fragen der Zusammenhanganalyse und Ursachenforschung verfügbar:

- standortbezogene Merkmale, verknüpfbar mit den Waldzustandswerten pro Untersuchungseinheit (Bestand)
- geökologische und Lagemerkmale:
Höhenlage, Exposition, Hangneigung, geologischer Untergrund, Relieftyp
- Bestandesmerkmale:
Bestandesalter, Waldtyp, Bestandesschichtung, Kronenschlußgrad
- regionale Merkmale
- Immissionsituation und regionale Windsysteme
- Witterungsanomalien (Trockenheitsperioden)

Die standortbezogenen Merkmale erlauben eine statistisch-deskriptive Zusammenhanganalyse, während die regionalen Merkmale zu eher qualitativen Schlüssen führen. Diese Parameter werden mit den Waldzustandsdaten sowohl für das Gesamtgebiet als auch für Teilgebiete in Beziehung gesetzt. Mit der Gliederung nach Teilgebieten wird auf die Distanz zum bekannten Emittenten (BBU-Hütte Arnoldstein-Gailitz) wie auch auf landschaftlich unterschiedlichen Teilräume Bezug genommen. Auf forstpathologische Aspekte, die den Waldzustand beeinflussen, kann im Untersuchungsgebiet und zum Aufnahmezeitpunkt verzichtet werden. Flächig auftretender Schädlingsbefall oder Erkrankungen sind nicht bekannt.

Die verfügbaren Standort- und Bestandesparameter sind im Vergleich zu ökophysiologischen Meßkriterien, aber auch im Vergleich zur Methodik der Waldzustandserfassung eher grobe Werkzeuge, um ökosystemaren Zusammenhängen nachzugehen. Sie sind zudem in der Regel nur Indikatoren für ökologische Faktoren und Prozesse. In diesem Punkt, und es erscheint wesentlich, darauf explizit hinzuweisen, unterscheidet sich der räumlich-regionale und „landschaftsökologische“ Untersuchungsansatz zwangsläufig von ökophysiologischen, auf einen Standort beschränkten Analysen. Mit steigender Zahl der Probestellen sinkt die Möglichkeit, Zusatzparameter aufwendig zu messen. Als Alternative bieten sich relativ einfach erhebbare indikatorische Para-

meter an, die auch bei vergleichbaren Untersuchungen, z. B. der Waldzustandsinventur der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (FBVA, Wien) verwendet werden.

Ein wesentliches Problem bei der Analyse bivariater Zusammenhänge zwischen Waldzustand und Standort-/Bestandesparametern stellen die nicht gegebenen „ceteris paribus“-Bedingungen dar. Die multivariaten Einflüsse auf den ermittelten Waldzustand sind in einer bivariaten Analyse in unbestimmter Weise mit enthalten. Besonders jene Variablen, deren unterschiedliche Merkmalsausprägungen einen deutlichen Einfluß auf den Waldzustand ausüben, verzerren daher die Zusammenhangsergebnisse von anderen Variablen mit dem gegebenen Waldzustand. Derartige unerwünschte Einflüsse können dadurch eliminiert werden, daß die Waldzustandsdaten in bezug auf die betreffende Variable und ihre Merkmalsausprägungen standardisiert werden. In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei Parameter (Bestandesalter, Waldtyp) zunächst als signifikant den Waldzustand beeinflussend erkannt und für weitere Zusammenhangsfragen rechnerisch ausgeschaltet.

Schließlich stellt sich die Frage, ob ein multivariates Problem nicht über multivariate Verfahren zu lösen sei. Hier spielt das Datenniveau der verfügbaren Parameter eine entscheidende Rolle. Zumeist sind die Merkmalsausprägungen dieser Parameter verschiedene Typen der Standort- und Bestandeskennzeichnung, es liegen Nominaldaten vor. Nun können zwar in multivariaten statistischen Verfahren auch Nominaldaten als „dummy-Variable“ eingesetzt werden, entsprechende Rechenoperationen haben aber zu keinen befriedigenden Ergebnissen geführt. Eine Ursache dafür liegt darin begründet, daß die Gesamtzahl der untersuchten Bestände durch dummy-Variable aufgegliedert und damit verkleinert wird. Mit der Abnahme der Fallzahlen aber erlangen unterschiedliche und vielfach gegenläufige Tendenzen von Teilpopulationen ein verstärktes Gewicht. Nur dort, wo Parameter auf Rationaldatenniveau vorliegen, haben sich multivariate Verfahren in der Dependenzanalyse zur Waldzustandserklärung als sinnvoll erwiesen (Studie Lavanttal, SEGER 1989). Im vorliegenden Falle sind solche Daten nicht gegeben bzw. nicht sinnvoll einsetzbar.

4.2. DER EINFLUSS VON BESTANDESMERKMALEN AUF DEN WALDZUSTAND

4.2.1. Waldzustand (Fichte) und Bestandesalter

Die Abhängigkeit des Kronenzustandes der Fichte von der Phase im individuellen Lebenszyklus ist bekannt. Wenn keine gravierenden Schadenseinflüsse oder Streßfaktoren vorliegen, wie dies auch im Gailtal der Fall ist, dann treten Vitalitätsminderungen erst bei entsprechend alten Individuen zutage. Aus diesem Grund und nicht nur wegen der besseren Interpretierbarkeit des Zustandes großer Kronen werden in die Waldzustandserfassung nach CIR-Bildern nur die Wuchsklassen Baumholz und Altholz aufgenommen. Die Abschätzung des durchschnittlichen Bestandesalters aus dem Luftbild ist eine eher qualitative Altersgruppierung, die sich aber gut bewährt, wie die folgenden Ergebnisse zeigen.

Der Einfluß des Bestandesalters auf den Waldzustand (Fichte) kann auch im Gailtal nachgewiesen werden (Tab. 13), wobei der Unterschied zwischen der Altersklasse „schwaches Baumholz“ und „starkes Baumholz“ größer ist als jener der letzteren Klasse zum Altholz. Die Unterschiede sind bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 (Duncan-Test) signifikant. Mit 68% ist die Altersklasse „starkes Baumholz“ dominant, 26% der Bestände werden als „Altholz“, 6% als „schwaches Baumholz“ interpretiert. Im Höhenprofil nimmt der Anteil des schwachen Baumholzes von etwa 20% in 600–700 m nach oben rasch ab. In dieser Höhenstufe ist der Altholzanteil sehr gering, er erreicht in 800–1100 m Höhe 15–20% und nimmt mit der Höhe laufend zu. In über 1500 m Höhe wurden nur mehr Altholzbestände erfaßt. Innerhalb der verschiedenen Waldtypen weicht der Anteil der Altersklassen nur mäßig von deren durchschnittlicher Häufigkeit ab. Das bedeutet, daß die Waldzustandswerte der Waldtypen nicht durch deren Altersaufbau bestimmt sind.

Tab. 13: Abhängigkeit des Waldzustandes (Fichte) vom Bestandesalter

Wuchsklasse	Waldzustand (Fichte)		
	\bar{X}	St. Dev.	n
schwaches Baumholz (6%)	1,99	0,15	64
starkes Baumholz (68%)	2,07	0,16	724
Altholz (26%)	2,10	0,17	282
total	2,07	0,17	1070

Im Höhenprofil (Abb. 22) bleibt die Abhängigkeit des Waldzustandes von der Altersklasse höhenunabhängig erhalten. Die Profile sind durch hohe Fallzahlen gut abgesichert. Bei gegebenen Standardabweichungen zwischen 0,10 und 0,20 jedoch sind die Zustandsunterschiede in manchen Höhenstufen eher tendenziell und nicht statistisch signifikant.

4.2.2. Der Einfluß des Waldtyps auf den Waldzustand (Fichte)

Bereits eingangs und zur Kennzeichnung der Wälder des Untersuchungsgebiets wurden die Baumartenmengen der für die Zustandsfeststellung erfaßten Bestände als Waldtypen gefaßt und vorgestellt. Weil aus anderen Untersuchungen eine deutliche Abhängigkeit des Waldzustandes vom Waldtyp festgestellt wurde, wird diesem Phänomen auch hier nachgegangen.

Mehrere unterschiedliche Vermutungen (Hypothesen) lassen einen Zusammenhang zwischen dem Zustand der Fichte und dem Waldtyp (der Baumartenmischung) erwarten, wobei unser Interesse besonders dem Gegensatz zwischen dem reinen Fichtenwald und den montanen Buchen-Tannen-Fichten-Mischbeständen gilt. Die Hypothese lautet:

Der Kronenzustand der Fichte ist in reinen Fichtenbeständen besser als in Mischbeständen (Fichte-Tanne-Buche),

– weil, besonders in tieferen Lagen, reine Fichtenbestände auf eine entsprechende Durchforstung hinweisen. Diese Durchforstung ermöglicht den rei-

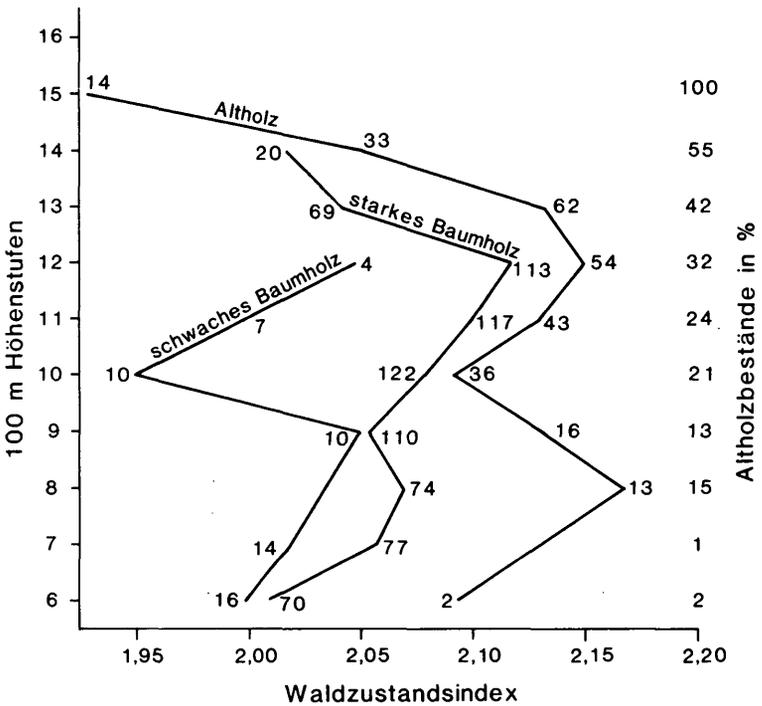


Abb. 22: Waldzustandswerte der Altersklassen (Fichte) im Höhenprofil. Mit Fallzahlen und Altholz-Anteil pro 100-m-Höhenstufe.

fenden Individuen eine optimale Entfaltung, was auch in einer vitalen Krone zum Ausdruck kommt,

- weil in Mischbeständen der Fichte mit Buche und Tanne ein naturnaher, nicht oder nur mäßig veränderter Waldtyp vorliegt. Die Konkurrenz im Wurzelraum und um den Lichtgenuß führt dabei mitunter zu eingeschränkten Wuchsbedingungen, was sich auch im Kronenhabitus niederschlägt. Daneben befinden sich diese naturnahen Mischbestände vielfach in schwer zugänglichem und steilem Gelände, was sowohl auf Überalterung als auch auf mögliche Standortnachteile in bezug auf den Bodenwasserhaushalt schließen läßt.

Wie aus der Tab. 14 ersichtlich, ist der Waldzustand der Fichte in reinen Fichtenbeständen, wie eingangs vermutet, tatsächlich deutlich besser als im Buchen-Fichten-Tannen-Mischwald, der sowohl auf geringe forstwirtschaftliche Maßnahmen (Bauernwald) als auch auf eine naturnahe Situation hinweist. Die möglichen Ursachen dieser Differenzierung wurden bereits weiter oben diskutiert. Hier stellt sich die Frage nach der statistischen Signifikanz dieser Unterschiede. Ein diesbezügliches Prüfungsverfahren stelle die „scheffe Pocedure“ dar, die im Rahmen der SPSS-Varianzanalyse der Waldschadenswerte (\bar{X} für Fichte) durchgeführt wurde. Demnach ist der Zustand der Fichte in der

Typisierung mittels Clusteranalyse (Tab. 13) sowohl in den Buchen-Fichten-Tannen-Mischbeständen als auch in den Fichten-Tannen- und Tannenbeständen signifikant schlechter als in den reinen Fichtenbeständen.

Tab. 14: Zusammenhang zwischen Waldtyp (Baumartenmengung) und Waldzustand (Fichte)

Waldtypen vgl. Tab. 1	Waldzustandwert (Fichte)		Anzahl der Bestände	
	\bar{X}	St. Dev.	ins- gesamt	davon Fi-Stichpr.
1, Fi	2,02	0,14	380	380
2, Fi-Ta	2,11	0,15	180	180
3, Fi-Bu	2,07	0,16	149	149
4, Fi-Lä	2,08	0,17	75	69
5, Fi-Kie	1,99	0,15	65	62
6, Ta-FB	2,17	0,16	155	129
7, Bu	2,03	0,20	123	19
8, Bu-Fi-Ta	2,17	0,17	142	107
9, Kie	1,94	0,22	55	26
10, Lä	2,06	0,22	60	16
total	2,07	0,17	1384	1139

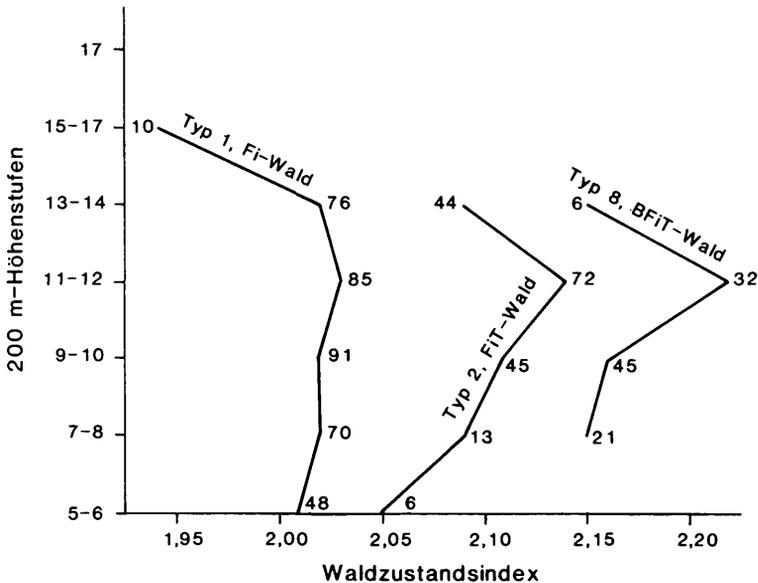


Abb. 23: Der Waldzustand nach ausgewählten Waldtypen im Höhenprofil

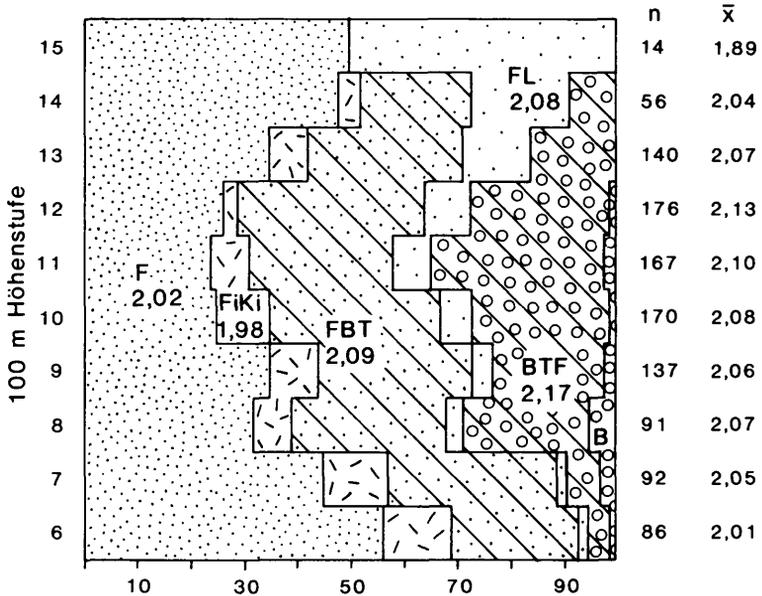


Abb. 24: Waldtypen und zugehörige Waldzustandswerte sowie Höhenverteilung der Fichten-Stichproben nach sechs Waldtypen

Waldtypen:

F Fichte (1) FK Kiefer und Fichte (5, 9), FBT fichten dominierte Mischwälder mit Buche und Tanne (2, 3), BTF Buchen- und Tannen dominant (6, 8), FL Lärche und Fichte (4, 10), B Buchenwald (7).

Die Zahlen 1–10 beziehen sich auf die Waldtypen in Tab. 13.

Sollen die Unterschiede des Zustandes der Fichte in Fichtenforsten und in Mischwaldbeständen weiter analysiert werden, dann bietet sich dazu eine Differenzierung nach der Höhenlage an. Gegliedert nach 200-m-Höhenstufen wird der Waldzustand der Fichte nach drei ausgewählten Waldtypen in Abb. 23 dargestellt. Wir erkennen eine gute Trennung dieser Bestandestypen nach dem Waldzustandswert sowie eine Verbesserung des Waldzustandes ab einer gewissen Höhenlage, die allerdings in den reinen Fichtenbeständen später einsetzt als in den Mischwaldbeständen. Auch der auffällig schlechtere Waldzustand in letzteren in Höhen um 1100–1200 m ist im reinen Fichtenwald nicht zu beobachten.

Um den nach der Höhenstufung unterschiedlichen Anteil der Waldtypen und deren Einfluß auf das Waldzustands-Höhenprofil aufzuzeigen, wird in Abb. 24 die vertikale Verteilung von sechs Waldtypen dargestellt. Diese sechs Typen sind aus einer Generalisierung der vormals zehn Typen nach der Baumartenzusammensetzung entstanden. Die drei Haupttypen: die Fichtenreinbestände (F), die fichtenreichen Mischwälder (FBT) und die Buchen-Tannendominierten Mischwälder (BTF) sind auf dem 0,01-Niveau signifikant verschieden.

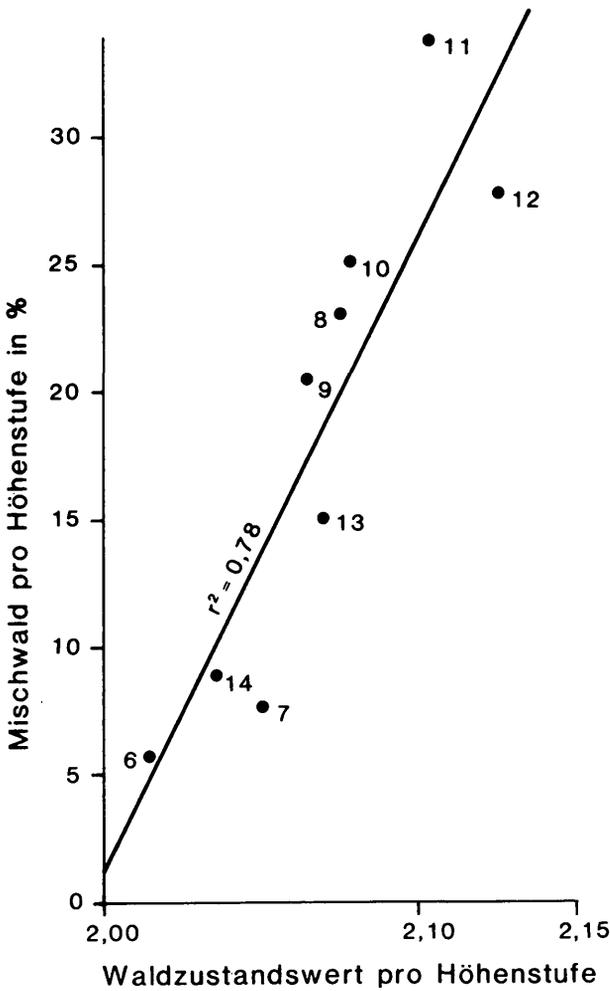


Abb. 25:

Zusammenhang des Mischwaldanteiles¹⁾ mit dem Waldzustand (Fichte) 6–13:
Höhenstufen in 100 m (z. B. 6 = 600–700 m Seehöhe)
¹⁾ Buchen-Tannen-Fichten-Bestände, Typen 3+5 aus Tab. 14.

Aus Abb. 24 wird deutlich, daß

- die Verschlechterung des Waldzustandes (Fichte) in mittleren Höhen mit der Häufigkeit der Mischwälder in diesem Bereich zusammenhängen kann, und daß
- die Verbesserung des Waldzustandes in den Hochlagen mit dem verstärkten Auftreten der reinen Fichtenbestände in Verbindung stehen könnte.

Der Einfluß des Waldtyps BFT (vgl. Abb. 24) auf das Höhenprofil des Waldzustandes wird durch die Korrelation des Mischwaldanteiles mit den Waldzustandswerten pro Höhenstufe belegt (Abb. 25). Sie ergibt einen Zusammenhang von $R^2 = 0,78$. Damit ist die Hypothese, daß die Baumartenzusammensetzung als Indikator für naturnahe oder nicht durchforstete Bestände einen Einfluß auf den durchschnittlichen Kronenverlichtungsgrad ausübt, eindrucksvoll bestätigt.

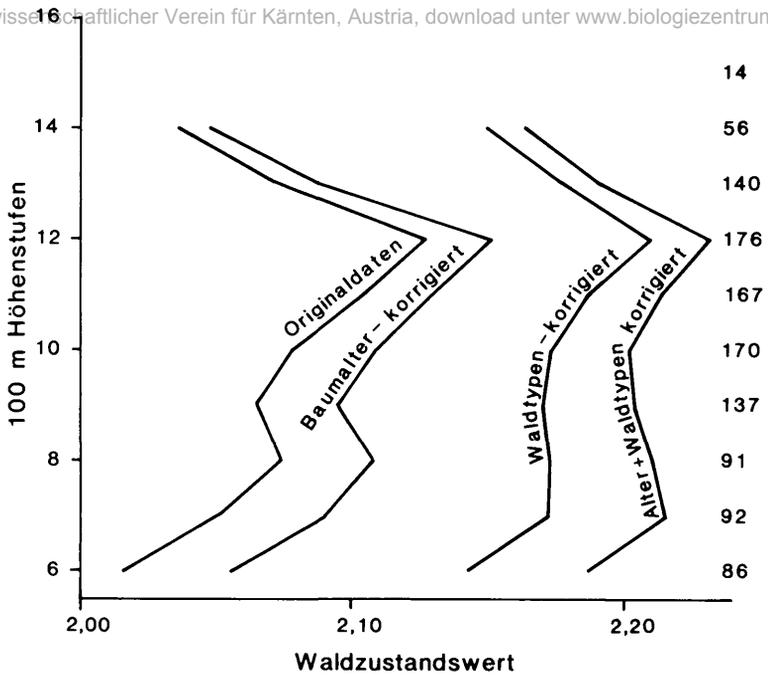


Abb. 26: Ausscheidung der Bestandesmerkmale Baumalter und Waldtyp, Veränderung des Waldzustands-Höhenprofils
(n = Zahl der erfaßten Bestände je Höhenstufe)

4.2.3. Ausscheidung des Einflusses der Bestandesparameter; Baumalter und Waldtyp

Der Zusammenhang zwischen den Merkmalsausprägungen sowohl des Bestandesalters als auch des Waldtyps (der Baumartenmengung) mit dem Waldzustand der Fichte wurden vorgestellt, und die Einflüsse auf andere Zusammenhangsanalysen wurden erwähnt. Um in bezug auf diese beiden Parameter „ceteris paribus“-Bedingungen zu schaffen, wurden die bestandesweisen Waldzustandswerte standardisiert, d. h. so verrechnet, als ob in jedem Bestand Altholz bzw. der buchen-tannenreiche Mischwald mit Fichte vorhanden wäre. Wie sich diese Eliminierung der beiden Bestandesparameter auf die Waldzustandswerte auswirkt, zeigt das Höhenprofil der Abb. 26. Daß nun höhere fiktive Zustandswerte aufgrund der gewählten Angleichung an die Merkmalsausprägung mit dem schlechtesten Waldzustand vorliegen, ist ohne Belang. Wesentlich dagegen ist, inwiefern sich das Höhenprofil nun verändert hat. Wir erkennen im Profil der korrigierten Werte (rechts in Abb. 26):

- einen guten Waldzustand in den Tallagen mit entsprechender Grund- bzw. Hangwasserversorgung,
- einen eher gleichbleibenden Waldzustand von der 700- bis 800-m-Höhenstufe bis zu jener von 1100 bis 1200 m,
- vergleichsweise schlechte Waldzustandswerte in 1200–1300 m Höhe,
- nach wie vor eine Verbesserung der Zustandswerte in den darüber liegenden Höhen.

Damit wird die Vermutung erhärtet, daß auch im Gailtal die inneralpine Inversionsituation einen Einfluß auf den Waldzustand ausübt. Die Höhenstufe 1200–1300 m ist gegenüber den nach oben folgenden Höhenstufen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01 signifikant verschieden (Duncan-Test). Die normierten (korrigierten) Waldzustandswerte nach Teilbereichen dieser Untersuchung (Teilstreifen der Befliegung) sind in der Karte Abb. 27 dargestellt.

Mit den normierten Waldzustandswerten wird der Einfluß des Baumalters und des Waldtyps auf den Waldzustand rechnerisch ausgeschaltet. Inwiefern sich dadurch verbesserte Zusammenhänge zwischen Standortmerkmalen und Waldzustand ergeben, zeigen die folgenden Ausführungen.

4.2.4. Bestandesaufbau und Waldzustand

Im Rahmen von Waldzustandsinventuren wird zwischen einschichtigem, zweischichtigem und mehrschichtigem Bestandesaufbau unterschieden. Dieses Merkmal weist auf die Art der forstlichen Bewirtschaftung wie auch auf die Baumartenmengung hin. Ähnlich wie bei den Mischbeständen der Waldtypen nach der Baumartenmengung wird vermutet, daß der Waldzustand für die Baumart Fichte in den mehrschichtigen Beständen eher schlecht ist als in den „Forsten“ mit ihrem ein- oder zweischichtigen Bestandesaufbau. Diese Hypothese bestätigt sich, wie Tab. 15 zeigt. Als Ursache für den schlechteren Kronenzustand in den mehrschichtigen Beständen wird die mangelnde Durchforstung angesehen. Die Auswirkungen des zu hohen Bestockungsgrades, unter Umständen auch die unterbliebene Entnahme von geschädigten Individuen, bedingen einen entsprechend schlechten Waldzustandswert. Der Unterschied zwischen dem Waldzustand der mehrschichtigen Bestände und jenen mit ein- oder zweischichtigem Aufbau ist signifikant, der Unterschied zwischen ein- und mehrschichtigen Beständen dagegen ist eher gering.

Tab. 15: Waldzustand nach Bestandesaufbau und Waldtypen (Auswahl)

Waldtypen (vgl. Tab. 4.2)	Bestandesaufbau, Waldzustand \bar{X} (Fichte), Fallzahl						
	\bar{X}	einschichtig		zweischichtig		mehrschichtig	
		\bar{X}	n	\bar{X}	n	\bar{X}	n
1, Fi	2,04	2,06	74	2,01	32	1,94	6
4, Fi-Lä	2,03	2,05	22	2,01	98	2,12	13
2, Fi-Ta	2,11	2,09	30	2,12	203	2,06	17
8, Bu-Fi-Ta	2,13	–	–	2,13	67	2,13	190
total	2,07	2,06	150	2,07	692	2,11	266

Wenn sowohl der Bestandesaufbau als auch die Baumartenmengung als Waldtyp den Gegensatz zwischen Forsten und naturnahem Wald anzeigen, dann ist naheliegend, den Waldzustand nach der Kombination dieser Merkmale zu prüfen. Wie aus Tab. 15 erwartungsgemäß hervorgeht,

- dominiert bei Fichtenbeständen der einschichtige Aufbau,
- sind Nadelmischbestände vorwiegend zweischichtig gegliedert, und
- weisen Laub-Nadelholz-Mischwälder einen überwiegend mehrschichtigen Aufbau auf.

Aufgrund dieser ungleichen Verteilung der Bestandesaufbau-Klassen sind die dem generellen Trend z. T. nicht folgenden Waldzustandswerte ohne besondere Bedeutung. Der regelhafte Zusammenhang zwischen den Typen der Baumartenmischung und der Schichtigkeit der Bestände führt zu der Überlegung, daß dieses Bestandesmerkmal bei der Standardisierung der Waldzustandswerte (vgl. Abschnitt „Ausschaltung des Einflusses der Bestandesparameter“) nicht berücksichtigt wird.

Ein weiteres Bestandesmerkmal, dem bei der terrestrischen Waldzustandsinventur ein gewisser Erklärungsgehalt beigemessen wird (NEUMANN 1989), ist der Kronenschlußgrad. Je dichter der Bestand, desto besser ist der Waldzustand. Im Berg- und Hügelland mag das damit zusammenhängen, daß Immissionen lockere Bestände durch-, dichte aber überströmen. Im Gebirgsraum des Untersuchungsgebietes zeigt sich aber kein Zusammenhang zwischen Waldzustand und Kronenschlußgrad, weil dieser hier offenbar eine Funktion des Höhenwandels darstellt.

4.3. WALDZUSTAND UND STANDORTPARAMETER

Mehr noch als in die Bestandesparameter werden die standort- und geökologischen Variablen mit der Vermutung eines Einflusses auf den Waldzustand verknüpft. Wasserhaushalts- und Nährstoffversorgung werden mit dem geologischen Untergrund, der Hangneigung und den Geländeformen verbunden. Die folgende Zusammenhangsanalyse bezieht sich auf bereinigte Waldzustandswerte, d. h. die Einflüsse des Bestandesalters und des Waldtyps wurden durch „Hochrechnen“ auf eine Merkmalsausprägung standardisiert und eliminiert.

Exposition

Wie bereits bei den Hauptergebnissen angeführt, weisen die südexponierten Bestände über alle Höhenlagen einen besseren Waldzustand auf als die nordseitigen, gegen übermäßige Austrocknung an sich geschützten Bestände. Dieses Paradoxon wird mit der unterschiedlichen Bewirtschaftung und verschiedenen Waldtypen auf den beiden Flanken des Gailtales in Verbindung gebracht. Auch bei den korrigierten Waldzustandswerten werden die SW-exponierten Bestände signifikant von den übrigen Expositionen abgetrennt, weitere Differenzierungen nach der Exposition sind jedoch nicht gegeben. Die Exposition ist somit in bezug auf die geökologische Analyse der Gesamtdaten ohne Bedeutung.

Hangneigung

Der vermutete Zusammenhang zwischen der Hangneigung der erfaßten Standorte und dem Waldzustand bezieht sich auf eine Verschlechterung des Waldzustands mit Zunahme der Hangneigung. Dieser Zusammenhang ist für die Gesamtdaten nicht gegeben (Tab. 16). Auch bei einer Gliederung nach Teilgebieten kann keine Verbindung zwischen der Hangneigung und dem empirisch ermittelten Waldzustand festgestellt werden, der Neigungsgrad der Standorte scheidet daher aus den den Waldzustand erklärenden Variablen aus.

Tab. 16: Hangneigung und Waldzustandswerte
(Altersklassen- und Waldtypen-Einfluß korrigiert: keine Zusammenhänge)

Neigungsstufe	\bar{X}	S	n
fast eben	2,22	0,16	47
schwach geneigt	2,19	0,15	95
mäßig geneigt	2,23	0,15	177
steil	2,20	0,16	309
sehr steil	2,19	0,17	489
total	2,20	0,16	1117

Relieftypen

Um es vorwegzunehmen, hat auch die Differenzierung der Bestände nach Relieftypen keinen plausiblen Zusammenhang mit dem beobachteten Waldzustand erbracht. Dabei werden gerade in die Relieftypen aus landschaftsökologischer Sicht große Erwartungen gesetzt, stellen sie doch zweifelsfrei gute generelle Indikatoren zur Wasserversorgung der Bestände dar. Offenbar sind aber solche kleinräumig und empirisch einsichtigen Zusammenhänge auf eine allgemeine Relieftypen-bezogene Klassifizierung nicht übertragbar. Unter Umständen ist die Auswirkung des Relieftyps in einem an sich durch regelmäßige Niederschläge gekennzeichneten Gebiet eben schwächer, oder die Erfassung von Reliefmerkmalen der Standorte müßte differenzierter erfolgen.

Der fehlende Zusammenhang zwischen Relieftypen und Waldzustand bezieht sich auf jene bereinigten und korrigierten Daten, in denen der Einfluß von

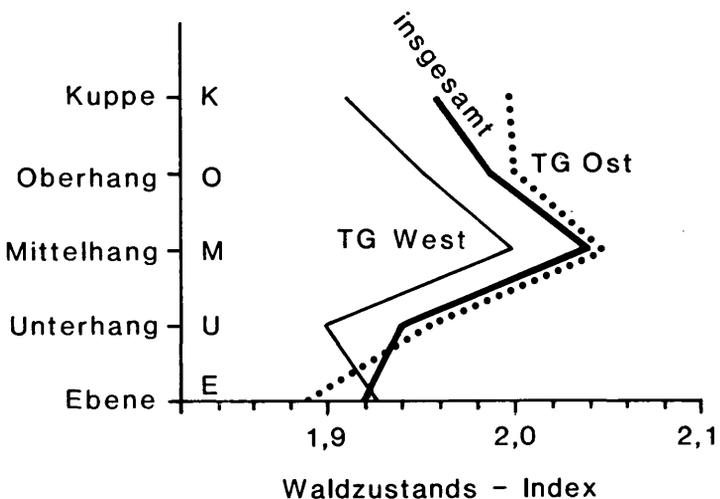


Abb. 28: Relieftypen und Waldzustand. Originaldaten.
TG-Wert = zwei westliche Flugstreifen.

Bestandesalter und Waldtyp eliminiert wurde. In den Urdaten der Waldzustandserfassung dagegen (Abb. 28) zeigen die Mittelhänge einen deutlich schlechteren Waldzustand. Wir wissen mittlerweile, daß sich hier die schlechteren Waldzustände der Fichte in den Mischwaldtypen verbergen. Daneben weist der Ostteil des Untersuchungsgebietes schlechtere Waldzustandswerte als der Westteil auf, was leicht zum voreiligen Schluß führen kann, daß hier eben die Nähe zum Emittenten in Arnoldstein zum Ausdruck kommt. Nach der Ausschaltung des Einflusses des Bestandesalters und des Waldtyps ist jedoch kein signifikanter Zusammenhang mehr festzustellen. So zeigt dieses Beispiel eindrucksvoll die Bedeutung der Ausschaltung zusätzlich wirkender Parameter bei der Zusammenhangsanalyse.

Erst bei einer Gliederung des Gebietes nach Höhenstufen wird die Wirkung der Relieftypen in der vermuteten Art und Weise nachweisbar, aber nur in Höhen über 1200 m (Tab. 17). Hier trennen sich die Zustandswerte der Oberhänge und Kuppen gut von den (meisten) übrigen Relieftypen.

Tab. 17: Relieftypen und normierter Waldzustand in der Höhenstufe über 1200 m: Zusammenhänge gegeben.

Relieftyp	\bar{X}	S	n
Kuppen und Oberhang	2,23	0,18	30
Mittelhang	2,17	0,17	82
Unterhang	2,06	0,58	2
Grabeneinhang	2,13	0,16	67
Mulde	2,23	0,19	26
total	2,17	0,18	207

Geologie

Mit der Erfassung des geologischen Untergrunds wird ein weiterer vordergründig wesentlicher landschaftsökologischer Parameter in die regionale Waldschadens-Dependenzanalyse eingebracht. Zwei Aspekte sind es, die einen Zusammenhang zwischen dem Waldzustand und der Gesteinskategorie der Standorte vermuten lassen:

- die Abhängigkeit der Nährstoffversorgung der Bäume vom Gestein und seinen Verwitterungsprodukten inklusive der Verwitterungsrate selbst, und
- die Abhängigkeit des lokalen Bodenwasserhaushaltes von den Wasserspeichereigenschaften des Gesteins bzw. seiner Verwitterungsdecke.

Die Zusammenhangsanalyse mit den korrigierten Waldzustandsdaten zeigt, daß die Ergebnisse (Tab. 18) den Erwartungen nicht entsprechen, und daß sich die Werte nach den Gesteinsklassen nicht signifikant unterscheiden. Als Ursache für diese Unabhängigkeit des Waldzustandes vom Gesteinsuntergrund kommen in Frage:

- die günstige Versorgung mit Niederschlagswasser
- die ausgleichende Wirkung der Bodenschicht in bezug auf Wasserhaushalt und Nährstoffreservoir
- die langfristige Einstellung der Bäume auf eher günstige/eher ungünstige Standortbedingungen

Tab. 18: Gesteinstypen und normierter Waldzustand: keine Zusammenhänge.

Gesteinstyp	\bar{X}	S	n
Kalke	2,18	0,16	432
Schiefer	2,21	0,16	278
Hangschutt	2,19	0,17	96
Moräne	2,22	0,14	109
Lockersedimente	2,17	0,14	10
total	2,19	0,16	925

4.4. WALDZUSTAND UND ÖKOLOGISCHE STANDORTANALYSE

Wie die Untersuchung der Zusammenhänge von Waldzustand und Standortmerkmalen ergeben haben, sind solche nur sehr beschränkt nachweisbar. Grobe ökologische Modelle, denen die Zusammenhangsvermutungen zugrundeliegen, müssen daher als Erklärungsursachen weitgehend verworfen werden. Daher folgt hier ein weiterführender Versuch, der die Erklärung des Waldzustandes über eine ökologische Standortansprache zum Ziel hat. Daher wird neben einer landschaftsökologisch-ökotopischen Standortbeschreibung auf das Prinzip des ökologischen Standortzeigerwertes von Florenelementen nach ELLENBERG zurückgegriffen. Diesem liegt die Überlegung zugrunde, daß die ökologischen Ansprüche der Pflanzen, die sich durch das Vorkommen bzw. Fehlen an bestimmten Ökotope manifestieren, als Indikatoren für den betreffenden Standort herangezogen werden können. Im vorliegenden Fall wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Waldzustandswert und den ökologischen Standortwerten nach Ellenberg besteht. Weil die ökologischen Bedingungen der dabei zu erfassenden Krautschicht und der Waldbäume aufgrund des unterschiedlichen Wurzelhorizontes nur bedingt vergleichbar sind und weil die Abhängigkeit des Waldzustandes von Bestandesmerkmalen (Alter, Baumartenmengung etc.) bekannt ist, dürfen jedoch keine zu hohen Erwartungen in den vegetationskundlichen Ansatz gesetzt werden.

Die Methode setzt gut floristische Kenntnisse voraus, die Vegetationsaufnahmen wurden im Sommer 1990 von Ch. SEGER durchgeführt. Pro Standort wird eine Artenliste ermittelt, und jeder Art werden die Ellenberg'schen Zeigerwerte, die die Feuchtigkeitsansprüche, die Nährstoffansprüche und eine Reaktionszahl (Boden-pH) angeben, zugeordnet. Aus diesen Werten läßt sich pro Bestand jeweils ein Durchschnittswert mit Standardabweichung berechnen. Die Berechnung könnte auch nach einer Häufigkeitsgewichtung der erhobenen Pflanzen durchgeführt werden. Für sechs untersuchte Bestände im Bereich Kreuzen-Windische Höhe werden die Artenlisten (Tab. 20) und die durchschnittlichen Zeigerwerte (Tab. 19) vorgestellt. Auf den untersuchten Kalkstandorten dominieren Zeigerpflanzen für ein basisches und nährstoffarmes Milieu, auch Trockenheitsanzeiger (illyrisch-montane Einstrahlungen) sind vorhanden. Auf die saure Fichtennadel-Rohhumusschicht zurückzu-

führen sind ausgesprochene Säurezeiger. Auch kommen neben den Rendzinen auf Kalk tonige Verwitterungsböden über Moränenmaterial vor. Die durchschnittlichen Zeigerwerte geben diese Unterschiede generell wieder, höhere und flachere Standorte sind „frischer“ und nährstoffreicher als die kargen Kalkhänge.

Erfolgreicher als die Anwendung von Zeigerpflanzen erweist sich eine Standortansprache, die die ökologischen und Bestandesmerkmale in einer im Vergleich zu den Zeigerwerten größeren wie zugleich auch umfassenderen Form berücksichtigt. In Anlehnung an die forstliche Standortansprache wurden von H. Wernle ca. 30 Bestände mit auffallend schlechten bzw. guten Waldzustandswerten in einem Gebiet abseits möglicher Emissionseinwirkung erfaßt. Als generelles Ergebnis werden morphologische Merkmale und, von diesen abhängig, der Bodenwasserhaushalt als überwiegend ausschlaggebend für den Waldzustand erkannt. Im häufig rasch wechselnden Terrain ist damit das bunte Nebeneinander von unterschiedlichen Waldzustandswerten erklärbar. Gute Werte ($\bar{X} = 1,60-1,80$) werden auf mäßig frischen, nicht seichtgrünen, eher mäßig geeigneten Standorten vorgefunden. Schlechte Waldzustandswerte dagegen ($\bar{X} = 2,20-2,40$) finden sich im sehr steilen Gelände, auf mageren, seichtgründigen und trockenen Standorten, wobei Überalterung und geringe Durchforstung zusätzliche Faktoren für den beobachteten Zustand sein können. Aber auch die Bestockung auf Bergsturzmaterial mit fehlendem Grundwasserkontakt kann zu sehr schlechten Werten führen. Wie diese Standortansprachen gezeigt haben, kann in einem an sich nicht oder nur schwach belasteten Gebiet der bei der Bildinterpretation festgestellte Waldzustand über die Standortansprache hinreichend erklärt werden. Das belegt die Stichhaltigkeit der Kronenzustandsinterpretation der Farbinfrarotluftbilder. Zugleich wird deutlich, daß bei raschem Wechsel der Standortbedingungen eine Probestfläche der terrestrischen Waldzustandsinventur nicht repräsentativ für ein weiteres Umfeld ist. Es wird vermutet, daß im Gailtal durch Zufall standörtlich pessimale Probestflächen erfaßt wurden, die den Waldzustand schlechter erscheinen lassen, als er im allgemeinen ist.

Tab. 19: Waldzustand (Fichte) und ökologische Zeigerwerte nach Ellenberg für sechs Bestände in den Gailtaler Alpen. Mittelung der Zeigerwerte und Standardabweichung (in Klammer), Artenliste vgl. Tab. 20.

Standort	Bild- und Bestandes Nr.	Höhenlage	Waldzustandswert	Feuchtigkeitszahl	Reaktionszahl	Nährstoffzahl
1	4619/5	1050 m	1,93	4,29 (0,99)	5,62 (2,46)	3,23 (1,17)
2	4617/10	1200 m	2,12	5,21 (0,70)	5,42 (2,23)	4,69 (1,78)
3	4617/9	1150 m	2,26	5,18 (0,75)	5,25 (2,66)	4,00 (1,70)
4	4617/8	1100 m	2,28	4,67 (1,00)	6,00 (1,37)	3,63 (1,50)
5	4632/6	1050 m	1,90	4,86 (1,03)	5,60 (2,50)	3,93 (1,67)
6	4629/3	1100 m	2,23	4,94 (1,21)	5,61 (2,30)	3,56 (1,46)

Tab. 20: Florenliste ausgewählter Standorte mit Merkmalen der Zeigerpflanzen
 T = trocken, F = feucht, N = nährstoffreich, M = mager, B = basisch, S = sauer

	Florenliste	Standort-Nr.					
		1	2	3	4	5	6
M	<i>Bartsia alpina</i>						x
BM	<i>Berberis vulgaris</i>					x	x
TB	<i>Brachypodium pinnatum</i>	x			x	x	x
MB	<i>Calamagrostis varia</i>	x		x	x		
B	<i>Campanula cobleariif.</i>					x	x
MB	<i>Campanula rapunculoides</i>		x	x	x		
MB	<i>Carex alba</i>		x	x	x	x	
B	<i>Carex flacca</i>	x		x			x
	<i>Cruciata glabra</i>					x	x
B	<i>Daphne mezereum</i>	x	x		x	x	
	<i>Digitalis grandiflora</i>			x			
	<i>Dryopteris dilatata</i>						
TMB	<i>Erica herbacea</i>	x			x		x
B	<i>Euphorbia amygdaloides</i>	x	x		x	x	x
T	<i>Euphorbia cyparissias</i>	x				x	x
	<i>Fragaria vesca</i>		x	x			
	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>		x				
MB	<i>Helleborus niger</i>					x	x
	<i>Hieracium sylvaticum</i>		x			x	x
	<i>Homogyne alpina</i>						x
MS	<i>Hypericum maculatum</i>			x		x	x
	<i>Juniperus communis</i>	x					
	<i>Knautia dispacifolia</i>		x	x	x	x	x
M	<i>Luzula pilosa</i>			x			
MS	<i>Maianthemum bifolium</i>		x			x	x
MS	<i>Melampyrum sylvaticum</i>	x	x	x	x	x	x
TMB	<i>Melica nutans</i>	x	x	x			
	<i>Myelis muralis</i>			x			
FN	<i>Oxalis acetosella</i>		x	x			
NB	<i>Paris quadrifolia</i>		x				
F	<i>Petasites albus</i>		x	x			
TMB	<i>Polygala chamaebuxus</i>	x				x	
	<i>Prenanthes purpurea</i>		x	x			
MS	<i>Pteridium aquilinum</i>	x		x	x	x	
N	<i>Senecio fuchsii</i>		x				
TMB	<i>Sorbus aria</i>	x					
TMB	<i>Sorbus aucuparia</i>		x				
MS	<i>Vaccinium myrtillus</i>	x	x	x	x	x	x
MS	<i>Vaccinium vitis-idea</i>	x		x		x	x
TB	<i>Viburnum lantana</i>	x			x		

5. ZUSAMMENFASSUNG

Belastung des mittleren Gailtales durch Luftschadstoffe

Bedingt durch die Taleinwinde des regionalen Windsystems bei austauscharmen Wetterlagen, überlagern SO_2 -Emissionen des Hauptemittenten in Arnoldstein die lokale Basisbelastung. Mit der Distanz zu diesem Emittenten nehmen die Schadstoffwerte rasch ab, liegen aber bei Inversionswetterlagen bei 6–8 mg $\text{SO}_2/100 \text{ cm}^2/28\text{d}$. Sie sinken bei witterungsbedingt guter Durchlüftung bis an die Nachweisgrenze ab. Eine Talseiten-Asymmetrie der Belastung wird durch die Kombination von Talein- und Hangaufwinden erklärt, die an der südexponierten Talflanke auftreten. Auch O_3 -Messungen zeigen hier höhere Werte, die als Umwandlungsprodukte der im Nadelwald und an der Sonnenseite freiwerdenden Terpene gedeutet werden.

Waldzustand

Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen ist der Waldzustand an der nördlichen Talflanke besser als jener im Süden des Gailtales, was auf jüngere Bestände und intensivere forstliche Maßnahmen zurückgeführt wird. Der Waldzustandswert an der südlichen Talflanke ist im Osten und besonders in mittleren Höhenlagen schlechter als im Westteil des Untersuchungsgebietes, was als Einfluß des relativ nahen Emittenten gewertet wird. Im Höhenprofil zeigt sich eine deutliche Verbesserung des Waldzustandes ab etwa 1200 m, was die Existenz einer winterlichen Inversionssituation belegt. Dieser „Knick“ im Höhenprofil bleibt auch erhalten, wenn Bestandesparameter als Einflußgrößen auf den Waldzustand rechnerisch eliminiert werden. Im Detail, dargestellt in bestandesbezogenen Waldzustandskarten, zeigt ein bunter Wechsel des Waldzustandes, daß eher standort- oder bestandesbezogene Merkmale als regionale Trends (z. B. Distanz vom Emittenten) den Status quo des Waldes bestimmen.

Einfluß von Bestandesmerkmalen

Als interessantes Ergebnis ist die Abhängigkeit des Waldzustandes vom Waldtyp, der über charakteristische Baumartenzusammensetzungen definiert wird, anzusehen. Besonders wird auf den signifikant schlechteren Waldzustand der Fichte in Mischbeständen im Vergleich zu jenem in reinen Fichtenbeständen hingewiesen. In den Mischbeständen leidet die Fichtenkrone unter verstärkter Konkurrenz, und auch fehlende forstliche Maßnahmen können für einen erhöhten Anteil verlichteter Kronen verantwortlich sein. Auch die Altersklassen der Bestände beeinflussen den Waldzustand signifikant. Der Kronenschlußgrad dagegen wirkt sich im Bergland auf den Waldzustand nicht aus.

Einfluß von Standortparametern

Nach der rechnerischen Eliminierung des Einflusses der Bestandesmerkmale auf den Waldzustand werden dessen Zusammenhänge mit den Standortmerkmalen analysiert. Neben der regionalklimatisch-immissionsökologisch begründeten Abhängigkeit des Waldzustandes von der Höhenlage ergeben sich keine grundsätzlichen oder signifikanten Verbindungen zwischen Ausprägungen von Standortmerkmalen und dem Waldzustand. Nur in der Höhenstufe

über 1200 m zeigt die Differenzierung der Probestellen nach Relieftypen den geökologisch erwarteten und signifikanten Waldzustandsunterschied zwischen Kuppen und Oberhängen und den bodenwasserhaushaltlich günstigeren anderen Relieftypen. Die grobe Standortansprache nach den Parametern der Forstinventur ist für die Zusammenhangsanalyse wenig geeignet.

Waldzustand und Standortansprache

Daher wurde versucht, über vor Ort erhobene weiterführende Standortbeschreibungen Zusammenhänge zum beobachteten Waldzustand zu finden. Als ebenfalls nicht zielführend erwies sich die Standortanalyse nach den Ellenbergschen Zeigerwerten der Bestandesflora (Krautschicht). Plausibel dagegen läßt sich der Waldzustand über geomorphologisch-geökologische Bestandesmerkmale erklären, die vorwiegend die Bodenwasserverhältnisse indikatorisch beschreiben. Sie machen auch den bunten Wechsel des Waldzustandes verständlich und machen deutlich, daß im heterogenen Gelände einzelnen Meßpunkten (WZI) keine regionale Bedeutung zukommt.

Danksagung/Anmerkung

Die Arbeit wurde weitgehend als Projekt der Bund-Bundesländer-Kooperation „Rohstoff-Forschung“ durchgeführt. Die Interpretation der Farbinfrarotluftbilder und die Kronenzustands-Ansprache nach Hauptbaumarten haben Peter Schuhböck und Christoph Seger durchgeführt. Letzterer hat auch die nachfolgende Datenverarbeitung vorgenommen. Die Abbildungen und Karten wurden von Jutta Gradenegger am Institut für Geographie der Universität nach Entwürfen des Autors gezeichnet.

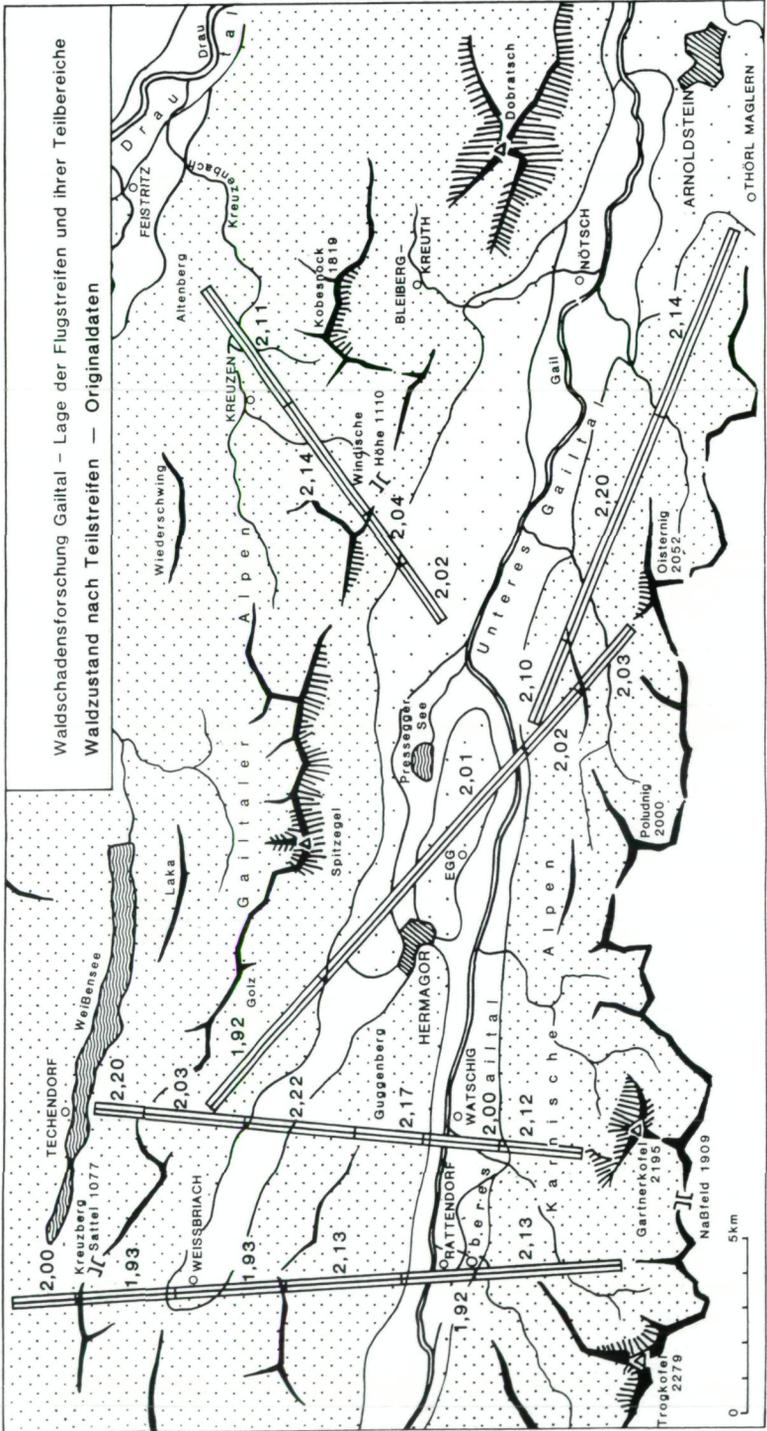
LITERATUR

- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, Landesforstdirektion: Bericht über den Zustand der Kärntner Wälder. Jährlich ab 1985.
- BENGER et al. (1973): Die Aussagemöglichkeit der Bleikerzenmethode und die Beurteilung der Tiroler Meßergebnisse aus hygienischer Sicht. In: Amt der Tiroler Landesreg. (Hrsg.): Untersuchungen der Grundbelastung mit SO₂, S. 11–15.
- BOSSEL, H., W. METZLER et al. (1982): Dynamik von Waldökosystemen. Mathematisches Modell und Computersimulation. Berichte d. Arbeitsgruppe Mathematisierung, Sonderheft 1, Gesamthochschule Kassel.
- GRESSEL, W. (1973): Die europäische Wetterentwicklung und ihr Einfluß im Südalpenraum. In: Carinthia II, 83, S. 253–264.
- GROSSMANN, W., J. SCHALLER, M. SITTARD u. L. SPANDAU (1983): Szenario Waldsterben – Verknüpfung des systemanalytischen Ansatzes mit dem flächenbezogenen Informationssystem. MAB-Projekt 6, Ökosystemforschung Berchtesgaden.
- HAUCK, H., u. W. RESCH (1982): Beschreibung der Immissions-situation im Raum Arnoldstein. In: G. HALBWACHS (Hrsg.): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein. Carinthia II, 39. Sonderheft, S. 51–65.
- KOFLER, W., u. J. BENGER (1978): Die Belastung der Luft im Bundesland Kärnten mit Schwefeldioxid und Staub und ihre hygienische Bedeutung. In: Amt d. Kärntner Landesreg. (Hrsg.): Luft-hygienische Modellstudie für das Bundesland Kärnten, S. 9–28.
- KOFLER et al. (1989): Lufthygienische Schwerpunktstudie für den Raum Arnoldstein–Fürnitz. In: Amt der Kärntner Landesreg. (Hrsg.): Lufthygienische Schwerpunktstudie Arnoldstein–Fürnitz, S. 7–35.
- MÖSSMER, R. (1986): Verteilung neuartiger Waldschäden an der Fichte nach Bestandes- und Standortmerkmalen in den Bayerischen Alpen. Schriftenreihe der Forstwiss. Fak. Univ. München u. d. Bayer. Forstl. Forschungs- u. Versuchsanst., H. 73.
- NEUMANN, M. (1988): Einfluß von Standortfaktoren auf den Kronenzustand. Air Pollution and Forest Decline, Symp.-Bd. IVFRO P 2.05, S. 209–214.
- POLLANSCHÜTZ, J., et al. (1985): Instruktionen für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien. Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien.
- SCHÜTT, P. (1984): Der Wald stirbt an Streß.
- SEGER, M. (1985): Zur winterlichen Temperaturschichtung im Klagenfurter Becken. In: SEGER, M. (Hrsg.): Forschungen zur Umweltsituation in Klagenfurt. Klagenfurter Geogr. Schriften, Bd. 5, S. 159–186.
- SEGER, M. (1986): Methodische Fragen der Waldzustandserfassung am Beispiel der Luftbild-Fernerkundung im Gebiet Lavanttal–Petzen. In: Zweites österreichisches Symposium Fernerkundung 1985. Mitt. d. Forstl. BVA Wien, Bd. 157, S. 55–67.
- SEGER, M. (1988): Der Waldzustand im Raum Villach. In: SEGER, M. (Hrsg.): Stadt und Umland Villach. Klagenfurter Geogr. Schriften, Bd. 7, S. 33–81.
- SEGER, M. (1989): Fernerkundung-Zusammenhangsanalyse-Modellbildung. Veröff. d. Komm. f. Humanökologie der ÖAW 1, S. 141–167.
- STEFAN, K. (1982): Darstellung der Immissions- und Ernährungssituation der Wälder im Raum Arnoldstein–Gailitz mit Hilfe chemischer Analysen von Fichtennadeln. In: HALBWACHS, G. (Hrsg.): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein. Carinthia II, 39. Sonderheft, S. 289–323.
- VERGEINER, I., u. E. DREISEITL (1982): Die Ausbreitungsverhältnisse von Schadstoffen im unteren Gailtal. In: G. HALBWACHS (Hrsg.): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein. Carinthia II, 39. Sonderheft, S. 29–50.

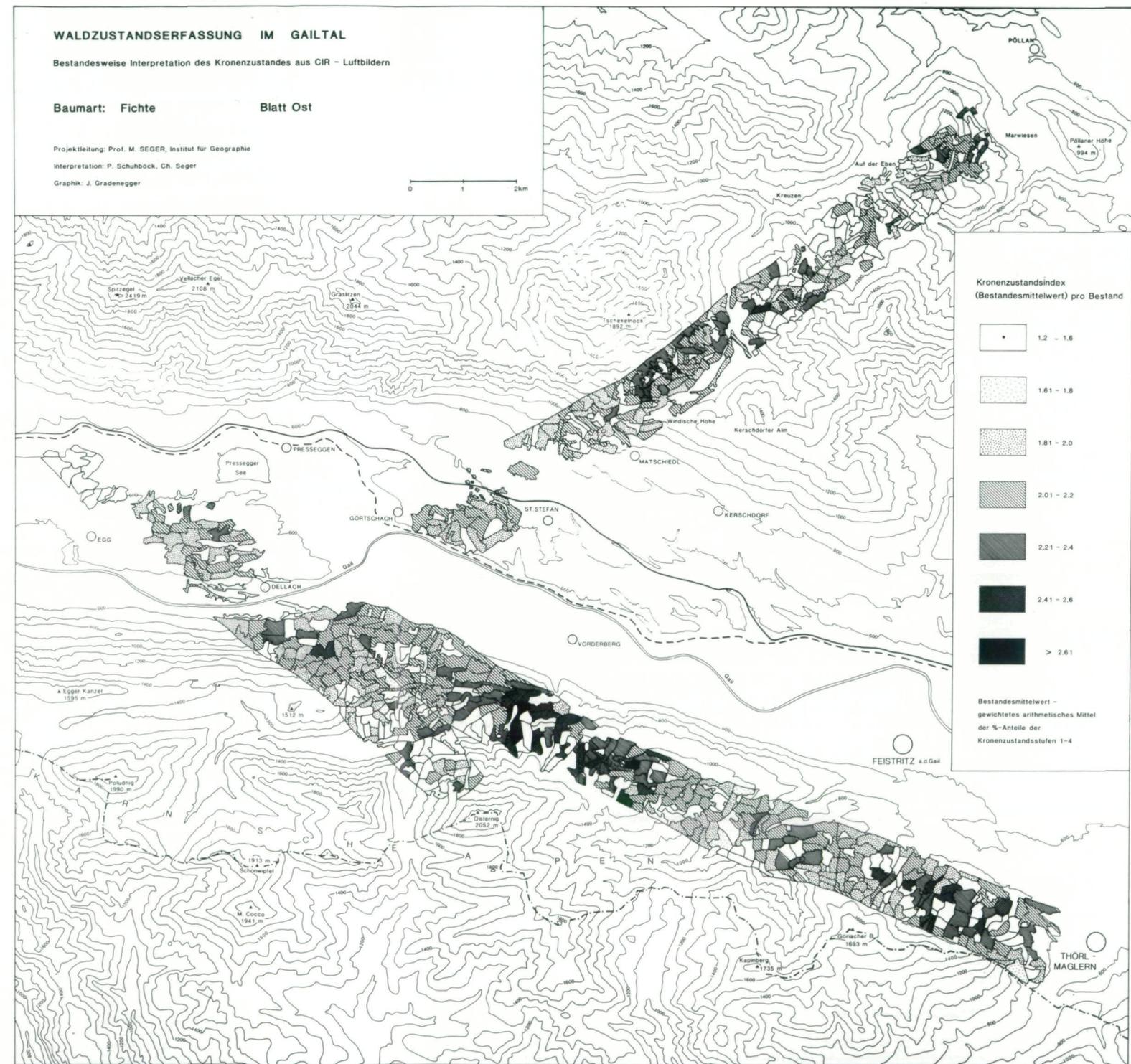
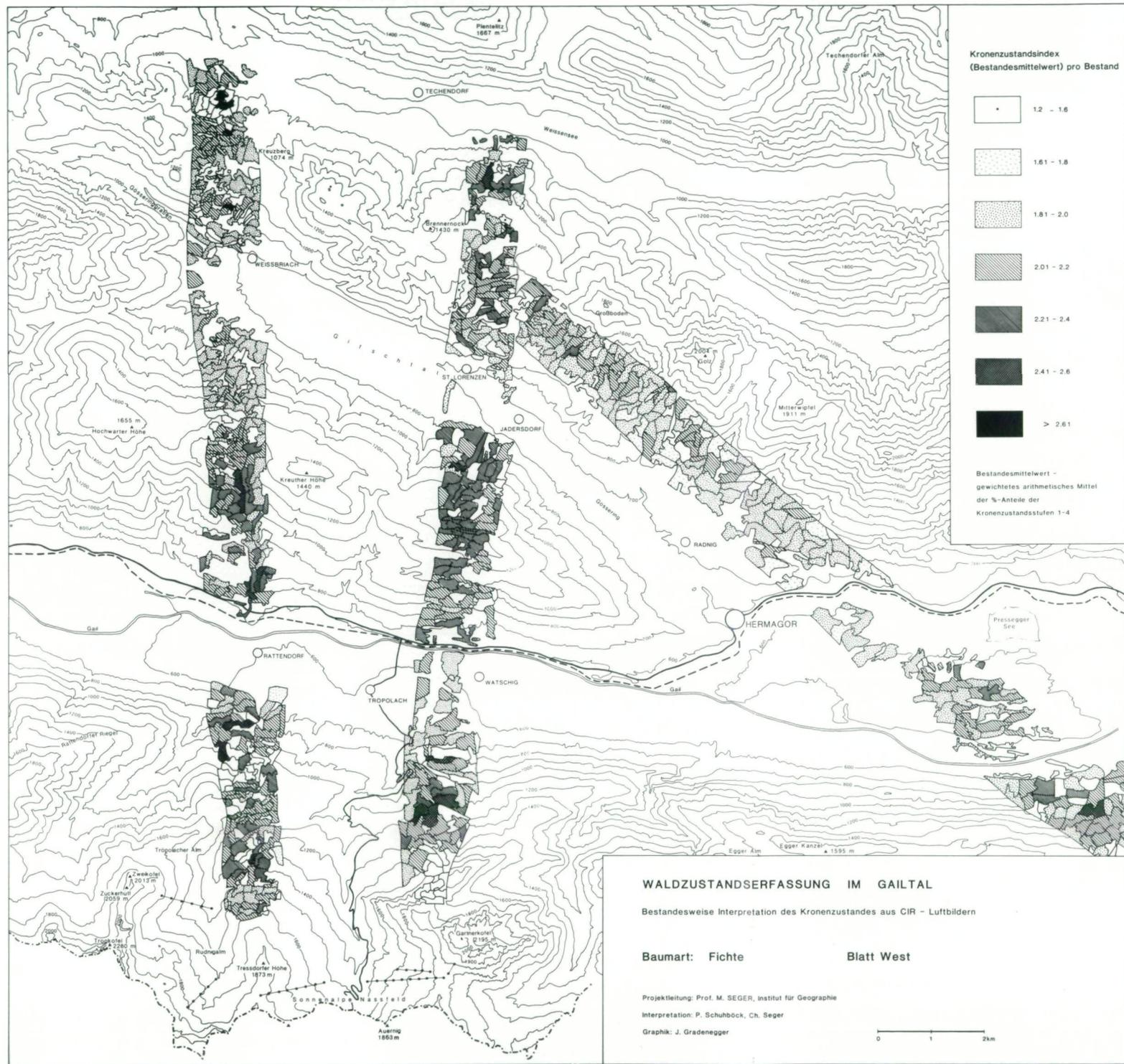
Anschrift des Verfassers: o. Univ.-Prof. Dr. Martin SEGER, Institut für Geographie, Universität Klagenfurt, Universitätsstraße 65–67, A-9022 Klagenfurt.

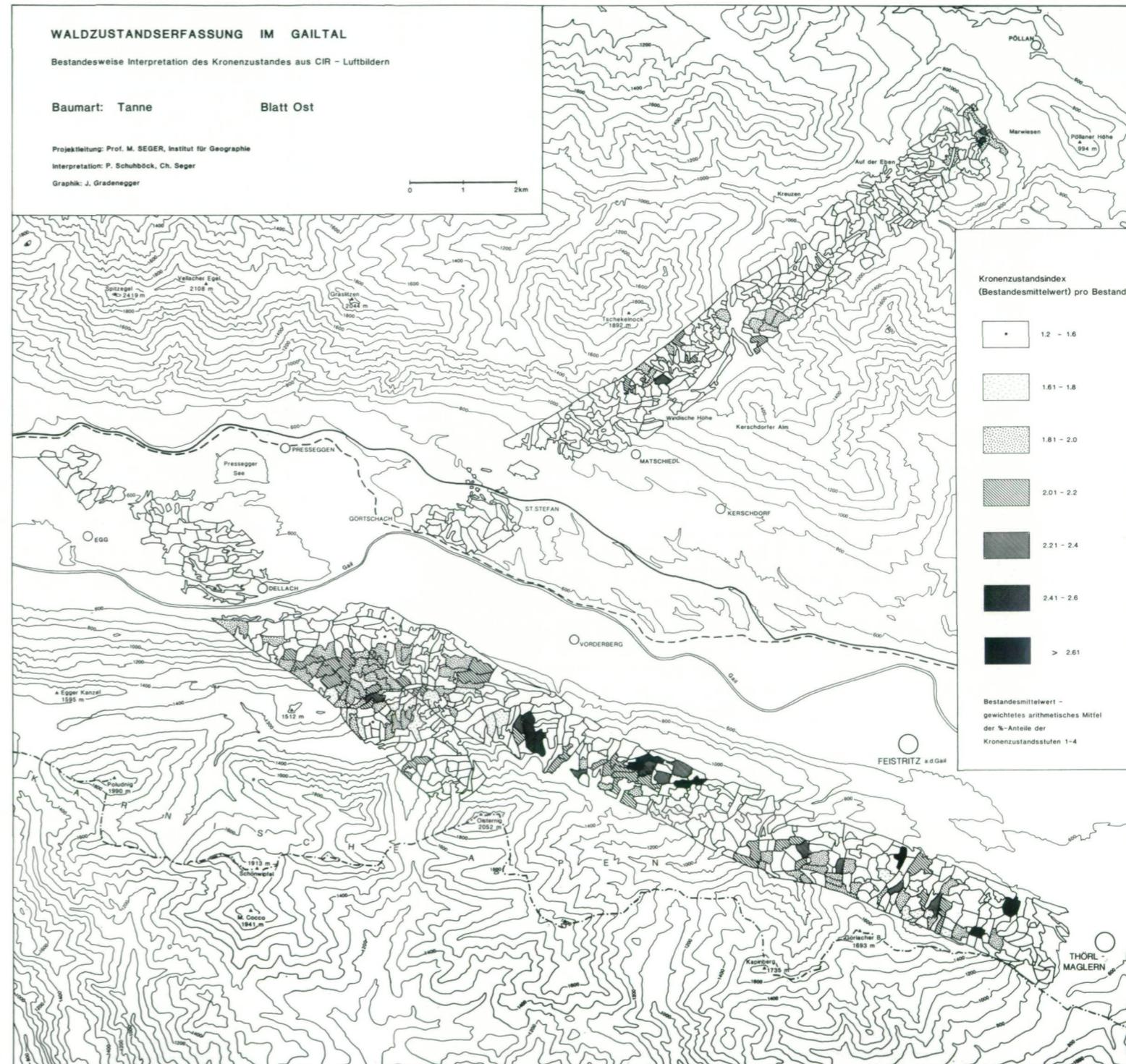
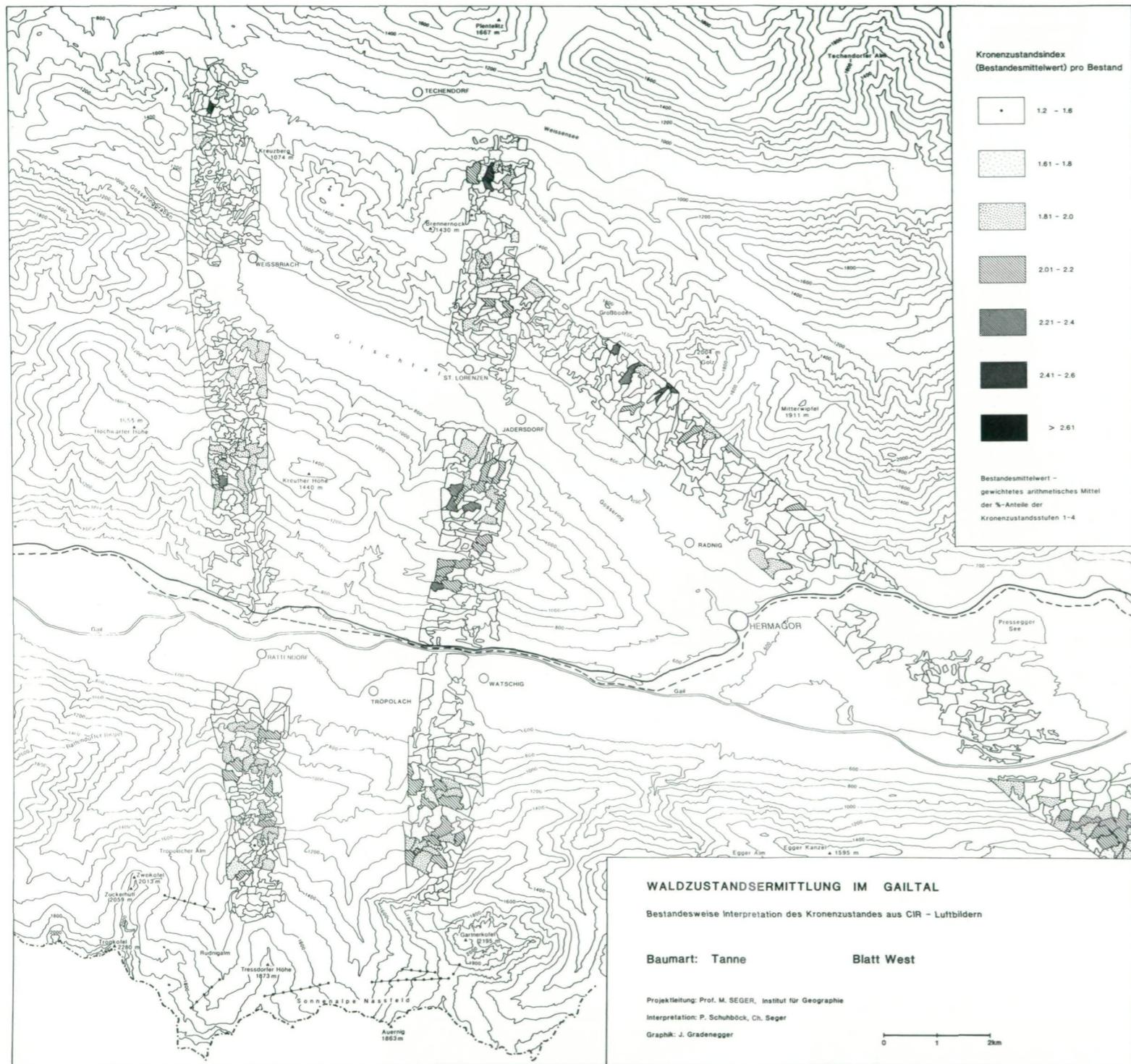
Waldzustandswerte (Fichte) nach Teilstreifen ¹⁾

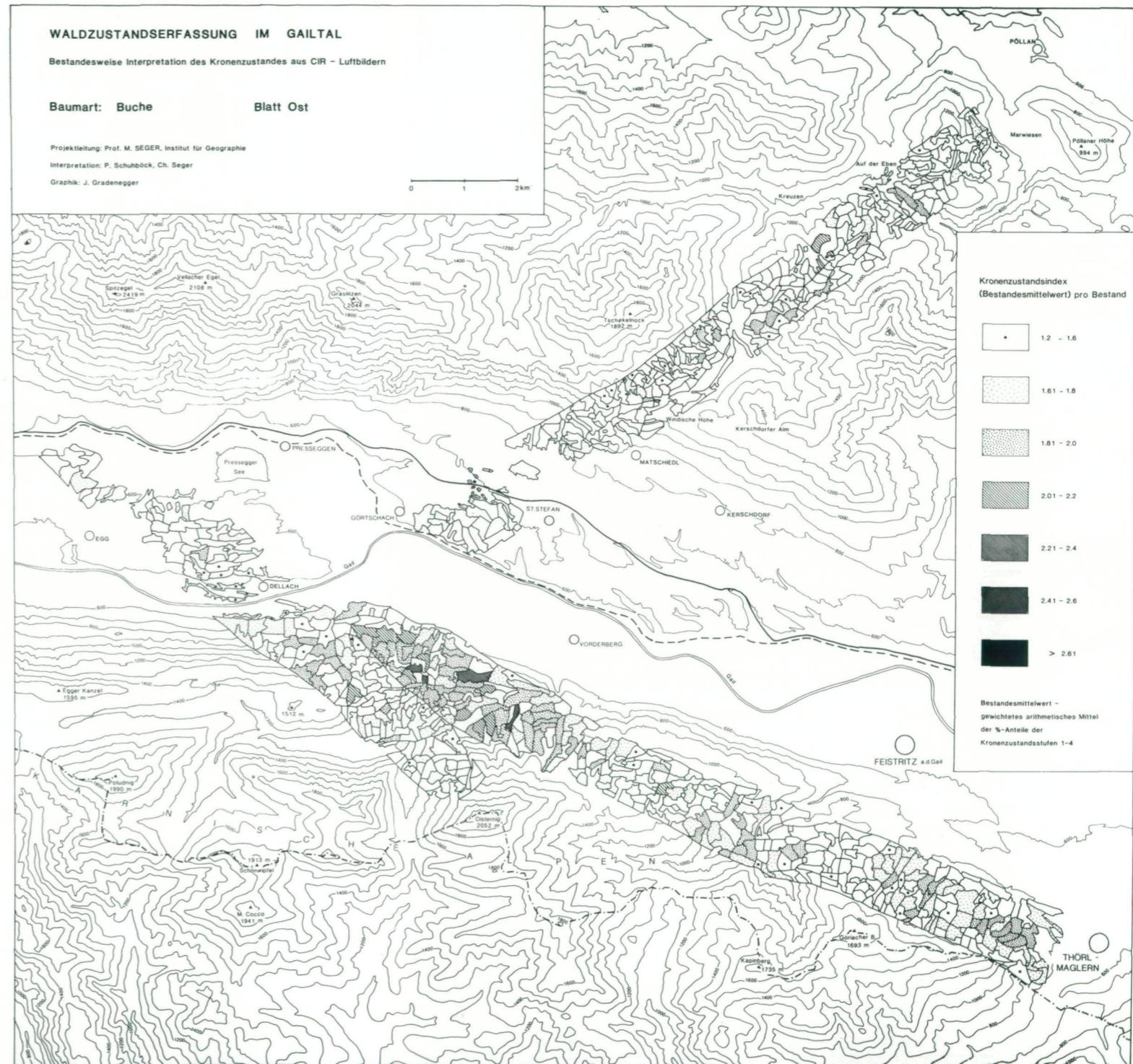
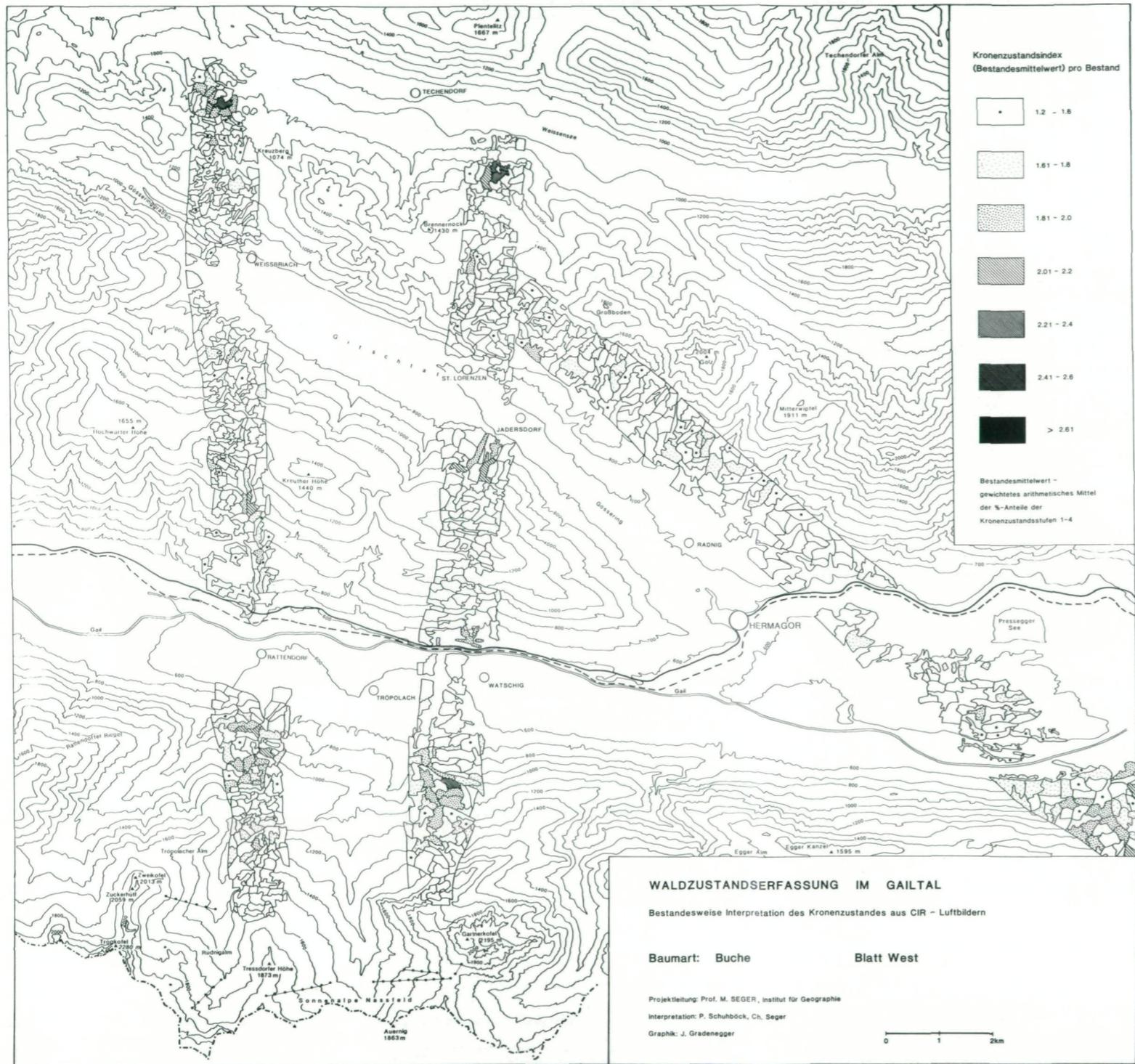
¹⁾ Nummern der Teilstreifen vgl. Abb. 1



ANHANG I: WALDZUSTANDSKARTEN







ANHANG II: DER WALDZUSTAND NACH TEILGEBIETEN UND BAUMARTEN

Teilstreifen ¹⁾ , Baumart	Anzahl d. Bestände	Stichproben- umfang	% der Kronenzustandsstufe				Waldzustand \bar{X}
			1	2	3	4	
1.							
	151						
Fi		4445	11	68	19	2	2,14
Ta		1427	18	62	17	3	2,04
Bu		2764	36	58	5	1	1,69
Lä		98	54	35	9	2	1,60
2.							
	81						
Fi		2392	8	66	23	3	2,20
Ta		1117	23	55	19	3	2,02
Bu		1345	28	67	4	0	1,75
Lä		218	25	68	7	0	1,82
3.							
	49						
Fi		1322	5	82	12	1	2,10
Ta		458	27	61	11	1	1,94
Bu		874	26	71	3	0	1,77
Lä		115	43	53	4	0	1,61
4.							
	54						
Fi		1198	18	64	16	2	2,03
Ta		630	24	61	14	1	1,92
Bu		510	32	63	4	1	1,74
Lä		737	40	53	5	2	1,69
5.							
	49						
Fi		1216	12	75	11	1	2,02
Ta		714	18	68	12	2	1,96
Bu		874	29	65	5	1	1,77
Lä		109	45	54	1	0	1,56
6.							
	36						
Fi		1069	12	76	11	1	2,01
Ta		113	22	65	11	3	1,94
Bu		413	40	58	2	0	1,62
Lä		48	35	60	4	0	1,69
7.							
	140						
Fi		5397	19	70	9	1	1,92
Ta		665	18	64	15	3	2,03
Bu		1225	43	56	1	0	1,58
Lä		624	63	35	2	0	1,39
Ki		2047	22	70	8	0	1,86
8.							
	58						
Fi		1376	13	62	23	2	2,12
Ta		527	22	59	17	2	1,99
Bu		894	32	61	7	0	1,75
Lä		676	33	51	14	2	1,85

¹⁾ Lage der Teilgebiete 1–23 vgl. Abb. 1

Teilstreifen ¹⁾ , Baumart	Anzahl d. Bestände	Stichproben- umfang	% der Kronenzustandsstufe				Waldzustand \bar{X}
			1	2	3	4	
9.	10						
Fi		552	17	67	15	1	1,99
10.	43						
Fi		1674	9	67	23	1	2,17
Ta		243	10	68	20	2	2,15
Bu		120	21	74	5	0	1,84
Lä		55	33	54	13	0	1,80
11.	40						
Fi		1656	6	68	24	2	2,22
Ta		413	12	69	18	2	2,09
Bu		174	16	75	9	1	1,95
Lä		40	32	60	8	0	1,75
12.	64						
Fi		1794	13	71	15	1	2,03
Ta		338	30	59	10	1	1,81
Bu		452	44	54	2	0	1,58
Lä		383	45	49	6	0	1,60
Ki		504	27	66	6	1	1,80
13.	19						
Fi		492	7	70	21	2	2,20
Ta		131	20	63	17	1	1,99
Bu		153	28	57	15	0	1,87
Lä		139	41	52	7	0	1,66
14.	118						
Fi		3087	9	71	19	1	2,13
Ta		1061	26	62	11	1	1,86
Bu		1003	33	63	4	0	1,71
Lä		333	44	52	4	0	1,61
15.	2						
Fi		80	17	74	9	0	1,91
16.	86						
Fi		2590	9	71	20	97	2,12
Ta		837	28	64	8	0	1,81
Bu		633	35	62	3	0	1,68
Lä		108	48	47	5	0	1,56
17.	52						
Fi		1607	12	82	6	0	1,93
Ta		238	24	70	6	0	1,83
Bu		397	34	64	2	0	1,68
Lä		204	60	36	2	2	1,45
18.	83						
Fi		1963	10	77	12	1	2,03
Ta		257	21	68	11	0	1,90
Bu		689	40	58	2	0	1,63
Lä		387	72	27	1	0	1,29
Ki		185	17	71	11	0	1,94

Teilstreifen ¹⁾ , Baumart	Anzahl d. Bestände	Stichproben- umfang	% der Kronenzustandsstufe				Waldzustand X
			1	2	3	4	
19.	9						
Fi		283	8	85	7	0	2,00
Ta		37	22	65	13	0	1,92
Bu		104	33	61	4	2	1,75
20.	88						
Fi		1504	12	67	19	2	2,11
Ta		351	18	66	14	2	2,00
Bu		622	39	57	3	0	1,64
Lä		922	52	43	4	1	1,54
Ki		586	14	69	17	0	2,03
21.	83						
Fi		1854	9	69	20	2	2,14
Ta		724	20	67	11	1	1,94
Bu		880	30	67	3	0	1,73
Lä		264	54	42	4	0	1,50
Ki		264	12	68	19	0	2,08
22.	35						
Fi		1248	12	74	14	0	2,04
Ta		126	15	72	11	2	1,99
Bu		226	52	46	2	0	1,50
Lä		95	51	48	1	0	1,50
Ki		496	16	75	9	0	1,93
23.	19						
Fi		777	9	80	11	0	2,02
Bu		73	30	67	3	0	1,72
Ki		299	15	73	11	0	1,96

ANHANG III: INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL

Stereoskopische Kronenzustandsermittlung von Einzelbäumen (ab Alter Baumholz)

Flug 23. 8. 1986, Gaital

Film Kodak IR 2443,

Bildmaßstab 1:5000–1:7000

INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL FICHTE

Kronenzustandsstufe	Terrestrisch sichtbare Merkmale	Bildsichtbare Merkmale	
		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
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.	Form: Kronenkegel spitz bis abgestumpft, durch Hauptäste gegliedert. Umriß sternförmig bis wellig (Alter, Wuchstypus). Grobstruktur: Kammfichte: sternförmige Anordnung der Hauptäste, längswulstig (dichte Benadelung), nicht strahlig dünn. Feinstruktur: Hauptäste durch dichte Benadelung unscharf begrenzt. Bürstenfichte: Keulig verbreitete Hauptäste, Sternstruktur tritt zurück. Plattenfichte: Hauptäste plattig-dachziegelartig angeordnet. Feinstruktur: Hauptäste, weil dicht benadelt, gleichmäßig glatt begrenzt.	Zinnober (rot mit Orangeanteil, durch Gelbstich des Filmes) gleichmäßig gefärbt, beschattete Teile sind schwarz.
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 ± unregelmäßig.	Grobstruktur: Kammfichte: tiefere Lücken, Sternstruktur tritt deutlicher hervor, bei schräger Aufsicht ist Nadelverlust (von innen nach außen) bereits bemerkbar ab, noch keine Durchsicht auf Stamm möglich). Bürstenfichte: beginnende Auflösung des Kronenmantels durch unregelmäßige, kleinere Lücken. Feinstruktur: Kammfichte: Hauptäste leicht keulig (außen dicker), bereits schärfer begrenzt (durch leichten Nadelverlust); Seitenäste zweiter Ordnung sind unregelmäßiger (d. h. perlschnurartige Verdickungen). Bürstenfichte: Hauptäste noch keulenförmig, aber unregelmäßig rau.	Stumpferes, deutlich weniger intensives Orangerot bis zu Rosatönen (mit Gelbstich des Filmes überlagert); im Kroneninneren durch Nadelverlust hellere Partien (weißlich erscheinende Astoberseiten = Flechten).

Kronenzustandsstufe	Terrestrisch sichtbare Merkmale	Bildsichtbare Merkmale	
		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
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 Lamettasyndrom, z. T. Ersatztriebe am Hauptast. Bürsten- u. Plattenfichte: büschelig-unregelmäßige Benadelung, auch durch Ersatztriebe. Vielfach unterschiedliche Verlichtungsintensität zwischen Wipfel und übriger Krone.	Form und Grobstruktur: Kammfichte: sehr deutliche Sternstruktur, da Begrenzung der Hauptäste mit zunehmender Verlichtung immer schärfer erscheint. Hauptäste schmal und sehr spitz voneinander abgesetzt, tiefere Einblicke in die Krone. Wipfel z. T. dichter, diffus. Umriß sternförmig gezackt. Kahle Astpartien teilweise sichtbar. Bürstenfichte: Mantel stumpfkegelig diffus, Umriß sternförmig-gezackt, aufgerauht (wolkig), große unregelmäßige Lücken. Stufiger Aufbau der Hauptastebene. Feinstruktur: Kammfichte: Hauptäste lanzettartig schmal, z. T. unregelmäßig klumpig verbreitet. Lamettabehang sägezahnartig abgerissen bis nicht mehr deutlich vorhanden. Astoberseite meist kahl oder mit Flechtenbewuchs, z. T. durch Ersatztriebe verdeckt. Bürstenfichte: Hauptastebene aufgerissen, teilw. kahle Astpartien sichtbar, keine weiteren Feinstrukturen erkennbar.	Blaßrosa marmoriert im Wipfelbereich und an den Astspitzen, sonst grau bis weiß; Vergilbungen und entnadelte Partien gelbgrün schimmernd.
	b) Zuordnung durch Vergilbung: mäßige Vergilbung (gelbgrüne Nadeln), Nadelverlust bis 30%.	Form, Grob- und Feinstruktur wie bei Stufen 1 oder 2, bei stärkeren Nadelverlusten wie bei Stufe 3.	Hellrosa bis weißlich, gleichmäßig. Bei Nadelverlust mit leichten Marmorierungen.
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.	Form und Grobstruktur: Kammfichte: strahlig-skelettartige Hauptäste. Bürstenfichte: aufgelöst zerrissener, tief gegliederter Mantel. Umriß unregelmäßig. Feinstruktur: Kammfichte: vereinzelt punktförmige Verbreitungen. Bürstenfichte: diffus aufgelöst, undeutlich.	Weißlich grau mit großen, kräftig gelbgrünen (lindgrünen) Anteilen. Marmorierung von dominantem Grau-grün mit Rot.
	Absterbend/tot: Baumskelett, z. T. einzelne Nadelreste.	Strahlig-scharf begrenzte bis diffuse Strukturen des Baumskelettes.	Weißlich-grün bis grau-grün.

Stereoskopische Kronenzustandsermittlung von Einzelbäumen (ab Alter Baumholz)			
INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL T A N N E			
Kronenzustandsstufe	Terrestrisch sichtbare Merkmale	Bildsichtbare Merkmale	
		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
Stufe 1, keine Verlichtung (gesund)	Kegelförmige volle Krone, bei Altholz abgestumpfter Wipfel mit plattigem Aufbau der Hauptastebenen. Keine sichtbaren Nadelverluste. Nadelfarbe satt dunkelgrün, jüngste Triebe z. T. etwas heller	Form: Regelmäßig dichter, gerundeter Kronenmantel. Struktur: Durch dichtes Feinreisig keine deutliche Differenzierung der Hauptastebenen möglich, aber scharfe Feinstruktur.	Intensives dunkles Orangerot (Zinnober), beschattete Teile schwarz. Wipfelbereich, wenn Zapfen tragend, mit gelblichen Punkten übersät.
Stufe 2, schwache Verlichtung (leicht beeinträchtigt)	Krone durch Nadelverluste aufgelockert. Im oberen Kronenbereich bisweilen Wasserreiser. Beginn des Absterbens von Feinreisig. Nadelfarbe wie 1 oder selten leicht vergilbt.	Struktur: Entnadelung von innen nach außen; lückenhaft aufgelockert Kronenmantel, Hauptastebenen treten deutlich hervor; Nachlassen des Höhenwachstums, d. h. der Wipfel erscheint bereits von übriger Krone abgesetzt (beginnende Storchennestbildung); Endtriebe der Hauptäste noch nicht benadelt (außen zeigen sich daher dieselben Strukturmerkmale wie bei Stufe 1, also unscharfe Begrenzung des Astes selber, aber scharfe Feinstrukturen innerhalb; im Kroneninneren erscheint entnadeltes Feinreisig diffus unscharf).	Wipfel und dicht benadelt Endtrieb wie bei Stufe 1; unbenadelt Partien im Kroneninneren. Hellrot bis weiß, gelb überstrahlt = beginnende Marmorierung.
Stufe 3, mittlere Verlichtung (deutlich geschädigt)	Schütterere Krone, starker Nadelverlust, vitale „Wasserreiser“, Wipfel gestaucht, häufig „Storchennest“-Bildung, am äußeren Ende Hauptäste noch gut benadelt. Zahlreiche rote Nebenäste, einzelne Hauptäste absterbend.	Struktur: Unregelmäßiger Kronenmantel und tiefe Einblicke in das Kroneninnere, auch benadelter Teil der Hauptäste deutlich strukturiert, inhomogen; Großteil der unteren Hauptäste fehlend, Wipfel deutlich abgesetzt, bei schräger Aufsicht meist Wasserreiser erkennbar.	Wipfel und andere benadelt Partien (Wasserreiser) noch stumpfes Rot und marmoriert; Rest weiß, grau bis lindgrün (gelbgrün).
Stufe 4, stark verlichter bis absterbend (stark geschädigt bis tot)	Sehr unregelmäßige, schütterere Krone. Absterbende Hauptäste, oft nur mehr „Storchennest“ lebend, zahlreiche Wasserreiser.	Struktur: Entnadelte Endtriebe treten deutlich hervor; Stamm- und auch Wipfelbereich durch entnadeltes Feinreisig diffus unscharf; unregelmäßiger Kronenmantel (gebildet aus noch teilweise vorhandenen Hauptästen und ev. Wasserreisern).	Storchennest und ev. Wasserreiser noch blaßrot bis rosa; Rest diffuse Farbmischung weiß, grau marmoriert mit lindgrünen Flecken.

Stereoskopische Kronenzustandsermittlung von Einzelbäumen (ab Alter Baumholz)

Flug 23. 8. 1986, Gailtal

Film Kodak IR 2443,

Bildmaßstab 1:5000–1:7000

INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL KIEFER

Kronenzustandsstufe	Terrestrisch sichtbare Merkmale	Bildsichtbare Merkmale	
		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
Stufe 1, keine Verlichtung (gesund)	Geschlossen wirkende Oberkrone durch regelmäßige, mehrere Nadeljahrgänge umfassende Benadelung. Unterkrone teilweise schütter benadelt, vereinzelt abgestorbene Zweige. Nadelfarbe Dunkelgrün bis Fahlgrün.	Form: gerundeter, gegen den Rand unscharfer Umriß. Struktur: Kronenmantel rundlich, kuppig abgeflacht, ohne Feinstruktur (wolkig, wattebauschartig). Einzelne Zweigbüschchen an der Peripherie erkennbar.	Stumpf, braunrot mit Rosatönung, z. T. rötlich-violett, z. T. Schattenpartien dunkler. Keine Marmorierung.
Stufe 2, schwache Verlichtung (leicht beinträchtigt)	Aufgelockerte Krone durch diverse Nadelverluste, diese häufig von innen nach außen. Zunahme dürrer Zweige, z. T. abgestorbene Äste in der Unterkrone. Nadelfarbe wie 1 oder leicht vergilbt.	Umriß z. T. unscharf, Krone insbesondere randlich gegliedert. Feinstruktur: undeutlich, einzelne Astteile bereits differenzierbar. Grobstruktur: Abgesetzte Hauptastbereiche sichtbar.	Braungrau bis grau-violett, teilweise leicht marmoriert.
Stufe 3, mittlere Verlichtung (deutlich geschädigt)	Schütterere „durchsichtige“ Krone, Zweige eher im Endbereich gut benadelt. Einzelne Wipfelpartien oft noch gut benadelt (verbuchtet). Dürre Zweige auch in Oberkrone, absterbende und tote Äste in Unterkrone. Nadelfarbe wie 2 oder deutlich vergilbt.	Krone randlich unscharf begrenzt. Aufgelockerte, durch einzelne Kronenteile (Hauptäste) strukturierte Krone. Feinstruktur: immer mehr Astpartien voneinander differenzierbar, wolkig-unscharfes Kronenbild.	Weißbrau bis weiß oder stumpf graubraun, z. T. mit Grüntlich, selten mit rosa Flecken.
Stufe 4, stark verlichtet bis absterbend (stark geschädigt bis tot)	Aufgelöste und sehr schütterere, in Hochlagen sehr unregelmäßige Krone. Einzelne tote Hauptäste, großer Dürreanteil, Feinreisig teilweise bereits fehlend. Restbenadelung spärlich, nur in einzelnen Astpartien kräftiger Nadelbesatz (Ersatztriebe).	Struktur: schütterere, durch großen Anteil von unbenadeltem Feinreisig diffus erscheinende Krone mit strahligen, spitzen Hauptästen. Wipfel ist ebenfalls deutlich strukturiert; Krone erscheint durchscheinend.	Gänzlich weiß bis grau mit lindgrüner Marmorierung.

Stereoskopische Kronenzustandsermittlung von Einzelbäumen (ab Alter Baumholz)

Flug 23. 8. 1986, Gailtal

Film Kodak IR 2443,

Bildmaßstab 1:5000-1:7000

INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL L Ä R C H E

Kronenzustandsstufe	Terrestrisch sichtbare Merkmale	Bildsichtbare Merkmale	
		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
Stufe 1, keine Verlichtung (gesund)	Volle Krone durch dichte Benadelung und zahlreiches Feinreisig. Spitz- bis stumpf-kegelförmige Krone. Wipfel kompakt und regelmäßig. In Hochlagen durch naturbedingten Verlust von Feinreisig unregelmäßiger Kronenhabitus. Seitenzweige hängend, in Hochlagen auch verkürzt und seitlich abgespreizt (bürstenförmig). Nadelfarbe kräftig Hellgrün.	Umriss 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.	Gleichmäßig kräftiges Rosarot, z. T. mit Blaustich.
Stufe 2, schwache Verlichtung (leicht beeinträchtigt)	Krone etwas aufgelockert. Nadelverluste in ganzer Krone oder verstärkt im Kroneninneren (bes. in Hochlagen). Hängezweige z. T. im oberen Abschnitt derselben unbenadelt. Hauptäste treten deutlicher hervor. Nadelfarbe wie 1.	Umriss unscharf bis unregelmäßig aufgelöst, einzelne Hauptäste unterscheidbar, Einblicke in das Kroneninnere, Feinstruktur unscharf-unregelmäßig.	Hellrosa Kronenmantel mit beginnender weißlicher Marmorierung.
Stufe 3, mittlere Verlichtung (deutlich geschädigt)	Aufgelockerte, schütterere und durchsichtige Krone. Deutliche Nadelverluste, Kurztriebe vielfach unbenadelt. Wipfel häufig dichter als übrige Krone. Feinreisig (Hängeäste) z. T. abgestorben oder fehlend. Nadelfarbe wie 1 oder fahl hellgrün (Hochsommer).	Umriss 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.	Fahl weißlich-rosa mit weißen bis weißgrauen Partien wechselnd.
Stufe 4, stark verlichteter bis absterbend (stark geschädigt bis tot)	Aufgelöste und sehr schütterere, in Hochlagen sehr unregelmäßige Krone. Einzelne tote Hauptäste, großer Dürrastanteil, Feinreisig teilweise bereits fehlend. Restbenadelung spärlich, nur in einzelnen Astpartien kräftiger Nadelbesatz (Ersatztriebe).	Umriss diffus, Hauptäste strahlig, unscharf begrenzt (Restbenadelung).	Weißgrau mit graugrüner Marmorierung bis (türkis-)grün (= Astskelett).

INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL BUCHE			
Kronenzustandsstufe	Terrestrisch sichtbare Merkmale	Bildsichtbare Merkmale	
		Form- und Strukturmerkmale (Gestaltmerkmale)	Farb- und Farbmustermerkmale
Stufe 1, gesund	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.
Stufe 2, leicht beeinträchtigt	Unregelmäßige Oberkrone durch Bildung von Hauptast-Spießen. 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 Hauptast-Spieße). Feinstruktur: Spieße dreidimensional und am Kronenrand erkennbar.	Rosarot bis rot, leichte Marmorierung, Spieße heller.
Stufe 3, deutlich geschädigt	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.
Stufe 4, stark geschädigt bis tot	Sehr schütterere 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.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [184_104](#)

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

Artikel/Article: [Waldschadensforschung im Gailtal, Kärnten 555-625](#)