



BFW-DOKUMENTATION 9/2008
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft

**20 Jahre
immissionsökologische
Forschung am BFW
Risikobewertung von
Gebirgswäldern anhand von
Freilanduntersuchungen**

***20 Years of Pollution-Related
Research at the BFW
Field Studies for Risk Assessment of
Mountain Forests***

ST. SMIDT,
F. HERMAN,
J. PLATTNER,
J. PAUSCH

FDK 181.45:425.1:11:161:(436)

Empfohlene Zitierung:

20 Jahre immissionsökologische Forschung am BFW - Risikobewertung von Gebirgswäldern anhand von Freilanduntersuchungen / St. Smidt, F. Herman, J. Plattner, J. Pausch / BFW-Dokumentation; Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2008, Nr. 9, 71 S.

ISSN 1811-3044

Copyright 2008 by

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Für den Inhalt verantwortlich:

Leiter: Dipl.-Ing. Dr. Harald Mauser

Herstellung und Druck:

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Seckendorff-Gudent-Weg 8

A-1131 Wien

URL: <http://bfw.ac.at>

Bestellungen und Tauschverkehr:

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Bibliothek

Seckendorff-Gudent-Weg 8

A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 1216

Fax. + 43-1-878 38 1250

E-mail: bibliothek@bfw.gv.at

Online Bestellungen: http://bfw.ac.at/order_online

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	5
1. Einleitung	5
2. Methodik	8
2.1. Untersuchungsgebiete.....	8
2.2. Erhebungsumfang	8
2.3. Externe Datenquellen	8
2.4. Einrichtung und Betreuung der Intensivuntersuchungsstandorte	8
2.5. Datenmanagement	15
3. Ergebnisse	15
3.1. Basiserhebungen zur Charakterisierung der Untersuchungsgebiete und -standorte	15
3.1.1. Grundgesteine und Böden	15
3.1.2. Wald- und Pflanzengesellschaften	15
3.2. Immissionsbedingte Belastungsfaktoren	16
3.2.1. Schwefel	16
3.2.2. Stickstoff	20
3.2.3. Ozon.....	26
3.2.4. Schwermetalle.....	31
3.2.5. Organische Luftschadstoffe.....	34
3.3. Nicht immissionsbedingte Belastungsfaktoren	36
3.3.1. Ernährungssituation der Fichten	36
3.3.2. Waldweide	37
3.3.3. Phytopathologische und forstentomologische Besonderheiten	37
3.3.4. Nutzungskonflikte	37
3.4. Entwicklung und Anwendung anatomischer und baumphysiologischer Methoden zur Stressfrüherkennung und zur Bewertung der Disposition von Fichten	37
4. Schlussfolgerungen	41
5. BFW-Projekte bis 2007	43
6. Projekte mit externer Finanzierung (BM LFWUW, BMWF)	44
7. Literatur	47
7.1. Untersuchungen 1984-1990 Projektgebiet Zillertal.....	47
7.2. Untersuchungen seit 1990 Projektgebiete Achental und Bodental	51
7.3. Weitere, im Rahmen der vorliegenden Arbeit zitierte Literatur	70
8. Zusammenfassung	70
Summary	71

20 Jahre immissionsökologische Forschung am BFW

Risikobewertung von Gebirgswäldern anhand von Freilanduntersuchungen

ST. SMIDT, F. HERMAN, J. PLATTNER UND J. PAUSCH

*Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft,
Institut für Waldschutz, Wien*

Kurzfassung. Es wird eine kurze Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse aus mehr als 20 Jahren interdisziplinärer Waldschadensforschung gegeben. Diese wurde vom Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) mit zahlreichen wissenschaftlichen Institutionen Österreichs und Deutschlands koordiniert. Die Untersuchungen starteten Mitte der 1980er Jahre am Höhenprofil Zillertal und wurden an Höhenprofilen im Achenental in Tirol fortgesetzt. Schwerpunkte waren unter anderem die Stressfrüherkennung, die Etablierung und Weiterentwicklung verschiedenster Bioindikationsmethoden, die immissionsbezogene Risikoabschätzung von Bergwäldern in Österreich mit dem Schwerpunkt Ozon sowie die Modellierung der Stickstoffein- und -austräge unter verschiedenen Klima-Szenarien.

Schlüsselworte: Waldökosystemforschung, Ozon, Eutrophierung, Stickstoff, Schwermetalle, Tirol

Abstract. [20 Years of Pollution-Related Research at the BFW – Field Studies for Risk Assessment of Mountain Forests.] A short survey of the most important results of more than 20 years of interdisciplinary forest ecosystem research is given. Research work was coordinated by the Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW). Many Austrian and German institutions have participated since the 1980's, especially in research at the Altitude Profile Zillertal and the Altitude Profiles Achenkirch (Tyrol). The investigations focussed on early stress detection, establishing and promoting of bioindication methods, risk assessment for mountain forests in Austria (especially the role of ozone) as well as on modelling of nitrogen flows under different scenarios.

Keywords: Forest ecosystem research, ozone, nitrogen, eutrophication, heavy metals, Tyrol

1. Einleitung

„Neuartige“ Waldschäden als Motivation für interdisziplinäre Untersuchungen

Als die breite Öffentlichkeit 1981 durch einen Artikel im Spiegel Nr. 47/1981 („Säureregen: Da liegt was in der Luft“) auf eine mögliche Bedrohung durch ein Waldsterben in Europa - Schlagwort „Sauren Regen“ - aufmerksam gemacht wurde, wurden die Untersuchungen immissionsbedingter Waldschäden stark intensiviert und sowohl Monitoring- als auch Forschungsaktivitäten in großem Umfang gestartet. Diese Bedrohung, aber auch ein starker Wissensgewinn führten in Europa zu einer deutlichen Verbesserung der Emissions- und Immissionssituation vor allem im Hinblick auf die Schwefel- bzw. Säurebelastung der Wälder. In Österreich war es nur durch

diese mediale Aufmerksamkeit und die Befürchtung großräumiger immissionsbedingter Waldschäden möglich, die Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984) durchzusetzen. Im Gegensatz zu den schon bisher intensiv untersuchten klassischen „Rauchschäden“ in Europa waren es zu Beginn der 1980er Jahre „neuartige“ Waldschäden, deren Zusammenhänge mit Immissionseinwirkungen erforscht wurden (Elling et al. 2007). Während bei den „Rauchschäden“ die Kausalität der Schäden eindeutig war, handelte es sich bei den neuartigen Waldschäden um eine Komplexkrankheit mit regional variierenden Ursachen, die dementsprechend auf einer wesentlichen breiteren Basis untersucht werden musste.

Der wissenschaftliche und politische Handlungsbedarf in Österreich wurde dahingehend erfüllt, als zu Beginn der 1980er Jahre in Österreich

die Kronenzustände („Waldzustände“) „flächendeckend“ taxiert und das Österreichische Bioindikatornetz eingerichtet wurde; zusätzlich wurde die Waldbodenzustandsinventur ins Leben gerufen. Diese Monitoringaktivitäten waren Teil des gesamteuropäischen Netzwerkes. In Österreich wurde neben den genannten Monitoringaktivitäten besonderes Augenmerk auf die Erforschung der Belastung der Gebirgswälder gelegt. Diese sind zusätzlich gefährdet, weil sie neben einer Reihe von Belastungsfaktoren wie Wild und Tourismus eine bedeutsame Senke für Luftschadstoffe sind, was ihre Schutzfunktion beeinträchtigen kann (Herman et al. 1998).

Die interdisziplinäre Erforschung der komplexen Ursachen der neuartigen Waldschäden wurde am Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW; damals noch Forstliche Bundesversuchsanstalt, FBVA) Anfang der 1980er Jahre von Dr. Friedl Herman begonnen. Während zum Teil ähnlich geartete Untersuchungen in Deutschland, z. B. in Göttingen, schon in den 1970er Jahren durchgeführt wurden, waren dies in Österreich die ersten immissionsökologischen Freilandhebungen an Altbäumen in einem interdisziplinären Rahmen.

Die Untersuchungen wurden in Tirol an mehreren Höhenprofilen durchgeführt. So konnte eine Reihe von Stressfaktoren untersucht werden, wobei meteorologische und andere Rahmenbedingungen für die Schadstoffausbreitung vom Talboden bis zur Waldgrenze von Interesse waren.

Der Hauptanteil an Freilanduntersuchungen wurde in Tirol im Zillertal und im Achenental durchgeführt.

Am **Höhenprofil im Zillertal** (Tirol; Wuchsgebiet 2.1, „Nördliche Zwischenalpen, Westteil“) wurde 1984 bis 1990 an einem ost-exponierten Hang nördlich von Mayerhofen gearbeitet. Dieses Gebiet liegt abseits von industriellen Emittenten, ist aber im Talbereich von Haushalten, Kleinbetrieben und Tourismus beeinflusst und daher ein typisches inneralpines Tal. Auffallend waren dort zunächst die Pilzschäden in den Aufforstungen der Hochlagen.

Die **Hauptziele** waren:

- Erfassung der wesentlichsten Stressfaktoren (Stressmuster), insbesondere der Immissionsbelastung, in Abhängigkeit von der Seehöhe.
- Entwicklung von baumphysiologischen Methoden zur Stressfrüherkennung.

Hierfür wurde neben der Immissionsbelastung die Ernährungssituation vom Talbereich bis zur Waldgrenze untersucht, unterschiedliche Bioindikationsmethoden - v. a. Fichtennadelanalysen - angewendet und neu entwickelt. Ausgewählte Methoden wurden für eine Stressfrüherkennung kombiniert. Weiters wurde die meteorologische Dynamik der Talatmosphäre differenziert charakterisiert. Die kontinuierlichen Messungen erfolgten an drei Containerstationen.

Auslöser für die Verlegung war, dass sich gegen Ende der 1980er Jahre die Waldschäden besonders in den Nordtiroler Kalkalpen verstärkt haben. In diesem Zusammenhang wurde der bisherige Untersuchungsrahmen wesentlich erweitert. Die drei **Höhenprofile im Achenental** (Tirol; Wuchsgebiet 4.1, Nördliche Kalkalpen, Westteil) wurden 1990, ebenfalls an ost-exponierten Hängen, eingerichtet, und zwar zwischen dem österreichisch-bayerischen Grenzübergang und Achenkirch. Der Raum Achenkirch wird im Talbereich durch den KFZ-Verkehr belastet, ist aber - ebenso wie das Zillertal - in den höheren Bereichen als Reinluftgebiet einzustufen.

Die **Hauptziele** waren:

- Feststellung der Belastung der örtlichen Waldökosysteme durch Depositionen und Importe von Schadstoffen. Hierzu wurde das Untersuchungsspektrum der „klassischen Luftschadstoffe“ deutlich erweitert und die Ergebnisse österreichischer und bayerischer Monitoringergebnisse einbezogen sowie Trajektorien berechnet.
- Feststellung des Ernährungsstatus sowie Anwendung und Neuentwicklung von Bioindikationsmethoden bis zur Praxisreife.
- Weiterentwicklung der Methoden zur Bewertung der Disposition von Bäumen bzw. zur Stressfrüherkennung und Ableitung von Indikatorwerten für die Charakterisierung des „physiologischen Zustandes“ von Bäumen vor allem Fichten, aber auch Lärchen und Buchen.
- Erweiterung des Wissens über die Belastungen des Bergwaldes durch die Einbeziehung nicht immissionsbedingter Risikofaktoren - insbesondere der Waldweide - und Ausweisung von Nutzungskonflikten durch eine Nutzungspotenzialanalyse.
- Weiterentwicklung der Risikoabschätzung für Ozon anhand von baumphysiologischen Parametern („Plant Traits“).
- Weiterentwicklung der Risikoabschätzung für

- Stickstoffeinträge durch Modellierungen und Szenarioanalysen.
- Darstellung des Risikos durch Ozon und Stickstoffeinträge für größere Fichtenwaldgebiete in den Nordtiroler Kalkalpen unter Einbeziehung aller verfügbaren Monitoring- und Messergebnisse.
- Abschätzung des in den nächsten 50 Jahren zu erwartenden Risikos durch erhöhte Stickstoffeinträge und zunehmende Temperatur unter Zugrundelegung von Szenarien.

Ein Untersuchungsgebiet wurde im **Bodental** (Kärnten; Wuchsgebiet 6.1, „Südliches Randgebirge“) als zusätzlicher Untersuchungsstützpunkt 1999 in Form einer Mess-Station im Bodental/ Kärnten eingerichtet, in deren Bereich baumphysiologische Erhebungen stattfanden (Abbildungen 2-1 bis 2-3).

Diese drei wenig immissionsbelasteten Untersuchungsgebiete sind hinsichtlich der Immissions-situation und hinsichtlich der Zusammensetzung der Waldvegetation weitgehend typisch für die jeweiligen Wuchsgebiete, weil sie sowohl den Verkehrs- und Touristikeinfluss als auch das Spektrum der Seehöhenstufen aufweisen.

Das Fundament für die immissionsökologischen Auswertungen bildeten die dauerregistrierenden Luftschadstoff- und meteorologische Messungen, detaillierte Standortscharakterisierungen sowie umfangreiche Boden- und Nadelanalysen. Das Datenmaterial für die Risikoabschätzung wurde durch die Datensets bundesweiter Monitoringnetze (Österreichische Waldinventur, Österreichisches Bioindikatornetz, Waldbodenzustandsinventur, Tiroler Waldbodenzustandsinventur, Luftmessnetz der Bundesländer, WADOS-Messnetz der Länder, Geographisches Informationssystem) und weiterer Informationsquellen (Höhenmodell, Hemerobiekarte) ergänzt. Aufbauend auf diesen Informationen konnten zahlreiche Modellierungen vorgenommen werden.

Beteiligte Institutionen

An den interdisziplinären Untersuchungen waren neben Instituten des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft Wien (BFW) folgende österreichische und ausländische Institutionen beteiligt.

Österreich

- Amt der Tiroler Landesregierung Innsbruck
- Amt der Vorarlberger Landesregierung Bregenz

- Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft Wien
- Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Forschungszentrum Gumpenstein
- Hydrographisches Zentralbüro Innsbruck
- Institut für Kulturtechnik Petzenkirchen
- Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf
- Technische Universität Wien
- Umweltbundesamt Wien
- Universität für Bodenkultur Wien
- Universität Graz
- Universität Innsbruck
- Universität Wien
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien

Ausland

- Fraunhofer Institut für atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland
- GSF München-Neuherberg, Deutschland
- Max Planck Institut für Biogeochemie Jena, Deutschland
- Technische Universität Berlin, Deutschland
- USDA Soil Salinity Lab, Riverside, Kalifornien, Vereinigte Staaten

Finanzierung

Der Großteil der Projekte wurde durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft finanziert. An der Finanzierung weiterer Projekte war das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung beteiligt. Anhang 1 gibt einen Überblick über die Projekte.

Publikationen

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in mehr als 600 Arbeiten (Publikationen und Poster) bzw. 20 Sammelpublikationen in nationalen und internationalen Medien publiziert. Nahezu 50 externe und rund 20 BFW-Projekte wurden in diesem Zusammenhang von mehr als 100 Autoren bearbeitet. Im Rahmen von 22 zum Teil öffentlichen Veranstaltungen wurden Ergebnisse aus den unterschiedlichen Fachrichtungen präsentiert. Viele Arbeiten wurden im Rahmen von Diplomarbeiten, Dissertationen und Habilitationen bearbeitet.

Im Anhang 2 werden die im Rahmen der Projekte publizierten Arbeiten aufgelistet.



Abbildung 2-1:
Lage der Untersuchungsgebiete.

2. Methodik

2.1. Untersuchungsgebiete

Die Lage der Intensiv-Untersuchungsgebiete ist in Abbildung 2-1 abgebildet. Die Detailabbildungen 2-2a-i zeigen die Probeflächen in den einzelnen Untersuchungsgebieten.

2.2. Erhebungsumfang

Der Erhebungsumfang in den einzelnen Untersuchungsgebieten ist in Tabelle 2-1 aufgelistet. Details über Standorte, Untersuchungsmethodik und Ergebnisse sind u. a. in den Sammelberichten (FBVA-Berichte 9, 67, 70, 78, 87, 94, BFW-Bericht 119, Smidt et al. 1994 und 1995, Herman 1998, Smidt et al. 2002) enthalten.

Der Forschungsansatz zur Abschätzung der Belastung und Gefährdung der Nordtiroler Kalkalpen folgte dem Schema in Abbildung 2-3.

2.3. Externe Datenquellen

Für die Auswertungen, insbesondere die Modellierungen, wurde eine Reihe von Datensätzen herange-

zogen, unter anderem: Luftdaten des Österreichischen Datenverbundes, chemische Niederschlagsdaten (Level II Messnetz Depositionen, WADOS-Messnetz der Bundesländer), meteorologische Daten, Daten der Österreichischen Waldinventur und der Bodenzustandsinventur, die Österreichische Heme-robiearte und Oberflächendaten (digitale geologische Karte, digitales Höhenmodell, LANDSAT zur Ausweisung von Waldflächen, Bodentiefenmodell).

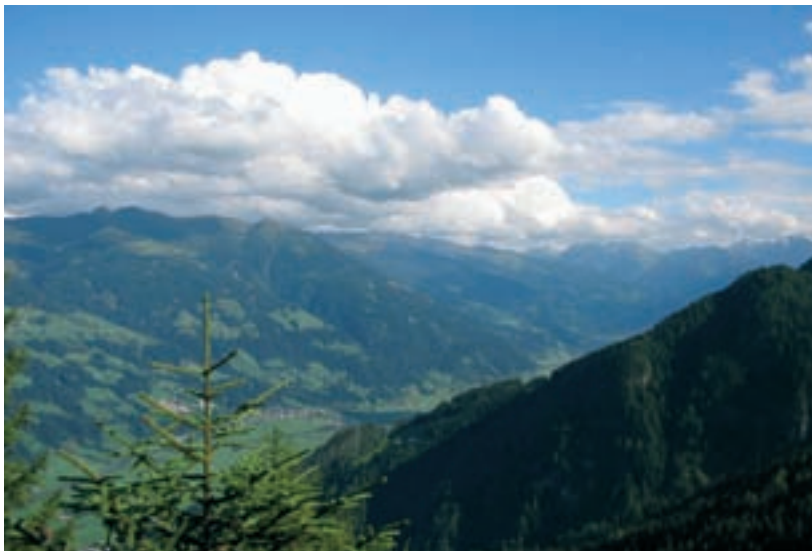
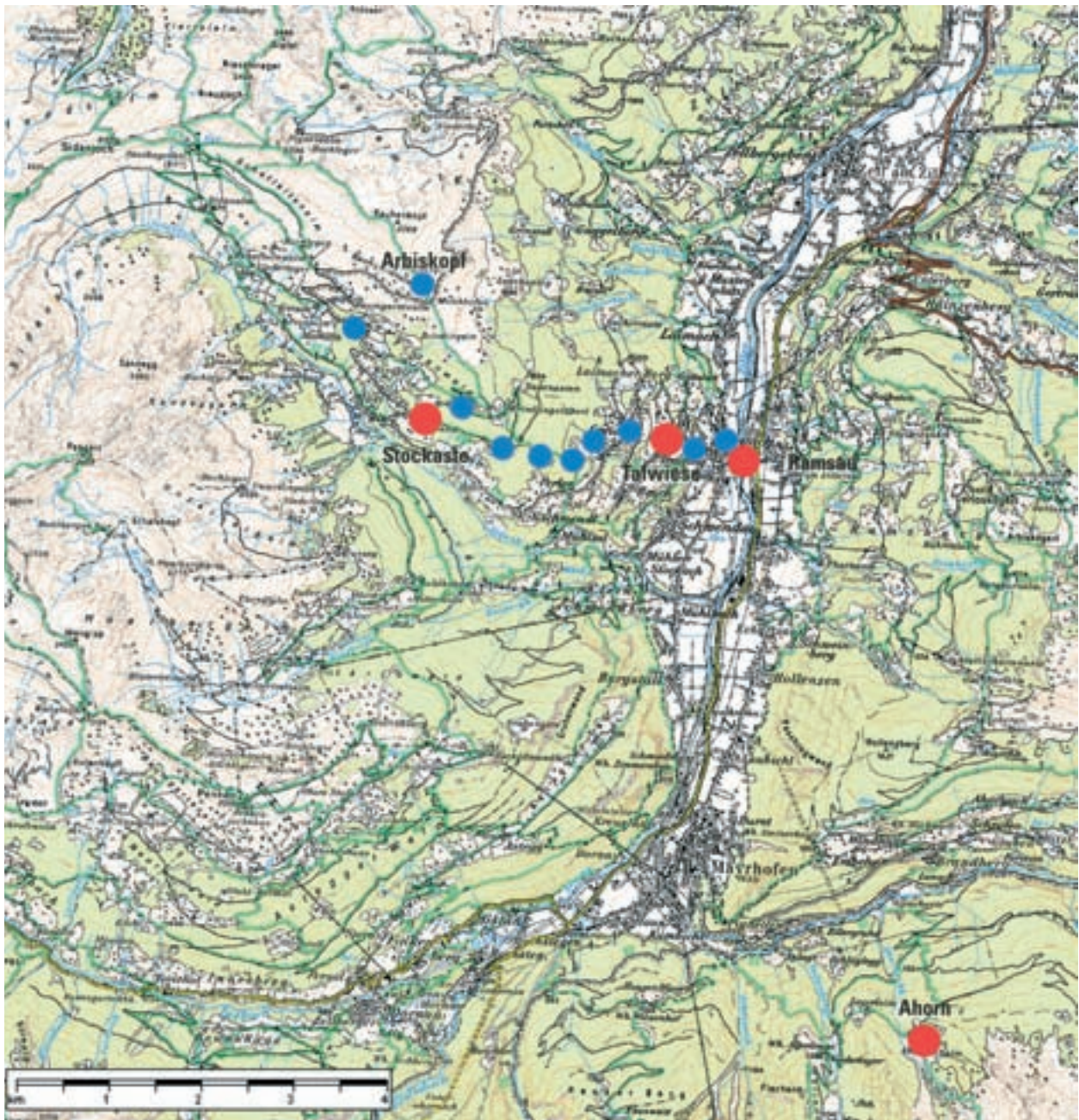
2.4. Einrichtung und Betreuung der Intensivuntersuchungsstandorte

Einrichtung

Die Einrichtung der Probeflächen für die apparativen Messungen macht eine Reihe von Vorkehrungen notwendig: Die Wahl eines optimalen Standortes für die Fragestellungen, die ganzjährige Zugänglichkeit, Vereinbarungen mit dem Grundbesitzer, ein Fundament, Stromanschluss, Blitzschutz und Thermostatisierung der Messeinrichtungen im Messcontainer u. v. a. (Plattner und Pausch 1992).

Der Transport der Messcontainer wurde zum Teil mit Hubschraubern vorgenommen (Abbildung 2-4).

Kontinuierliche und diskontinuierliche Messungen
Grundlage für die ökosystemare Waldforschung sind kontinuierliche Messungen forstlich relevanter



↑ Abbildung 2-2b:
Untersuchungsgebiet Zillertal
(Mayerhofen).

Rote Punkte: Die Containerstationen liegen in 600 m, 1000 m, 1560 m (Höhenprofil; Luftschadstoffe, meteorologische Parameter, Depositionen), Ozonmessungen wurden am Ahorn (1950m) vom Amt der Tiroler Landesregierung durchgeführt.

Blaue Punkte: Nadel- und Bodenprobenentnahmen.

← Abbildung 2-2a:
Untersuchungsgebiet Zillertal
(Mayerhofen).



↑ Abbildung 2-2c-g:
Untersuchungs-
gebiet Achantal.

c: Schwendberg
d: Christlumpprofil
e: Christlumalm
f: Mühleggerköpfl

← Abbildung 2-4:
Hubschrauberein-
satz zum Transport
eines
Messcontainers.
Foto: Plattner

Luftschadstoffe. Zur Interpretation der biochemischen bzw. baumphysiologischen Messergebnisse müssen ferner meteorologische Parameter kontinuierlich erfasst werden. Neben den dauerregistrierenden Messungen wurden zahlreiche Messkampagnen unterschiedlicher Dauer durchgeführt, etwa zur Erfassung der Kohlenwasserstoffe. Aufwändige Erhebungen, etwa jene der Gesamtdositionsmessungen oder Stoffflussmessungen, wurden in durchgehenden, zumindest einjährigen Kampagnen durchgeführt.

Betreuung

Eine grundlegende Voraussetzung für eine Auswertbarkeit der Daten ist die regelmäßige und ganzjährige Betreuung der Messgeräte und Probestellen. Dazu gehört neben der Beprobung und der Auslesung der Daten eine regelmäßige interne Kalibrierung der Messgeräte. Die Kalibratoren werden ihrerseits jährlich am Umweltbundesamt Wien kalibriert. Die Qualität der Daten, der Datenübertragung und der Beprobungen wurde durch den Einsatz der Stationsbetreuer Ing. J. Plattner und J. Pausch sichergestellt.



Abbildung 2-2g:
Untersuchungsgebiet Achental.
Lagekarte

Rote Punkte:

Containerstationen Mühleggerköpfl (920 m); Christlumpfad: Talboden (930 m), Christlumlalm (1280 m), Christlumkanf (1758 m; Luftschadstoffe, meteorologische Parameter, Depositionen); Schulterbergprofil (1030 m, 1220 m, 1686 m, meteorologische Messungen).

Blaue Punkte: Nadel- und Bodenprobenentnahmen.

Probenahmen

Die Beprobungen der Fichten erfolgte für die Nähr- und Schadstoffanalysen jeweils im Herbst. Niederschläge (Abbildung 2-5), Boden-, Oberflächen-, Lysimeter- und Nebelwasser (Abbildung 2-6: Nebelsammler) wurden grundsätzlich alle 14 Tage geworben. Die Filter der Impaktoren für die Aerosolmessungen, die Passivsammler bzw. die

Absorptionsröhrchen für die Kohlenwasserstoffmessungen wurden während der Messkampagnen in unterschiedlichen Abständen gewechselt. Einzelbeprobungen wurden für spezielle Fragestellungen an Fichten (physiologische Parameter), an der Bodenvegetation, an Pilzen, Moosen, Mykorrhizen und Feinwurzeln vorgenommen.



Abbildung 2-2h:
Untersuchungsgebiet Bodental.

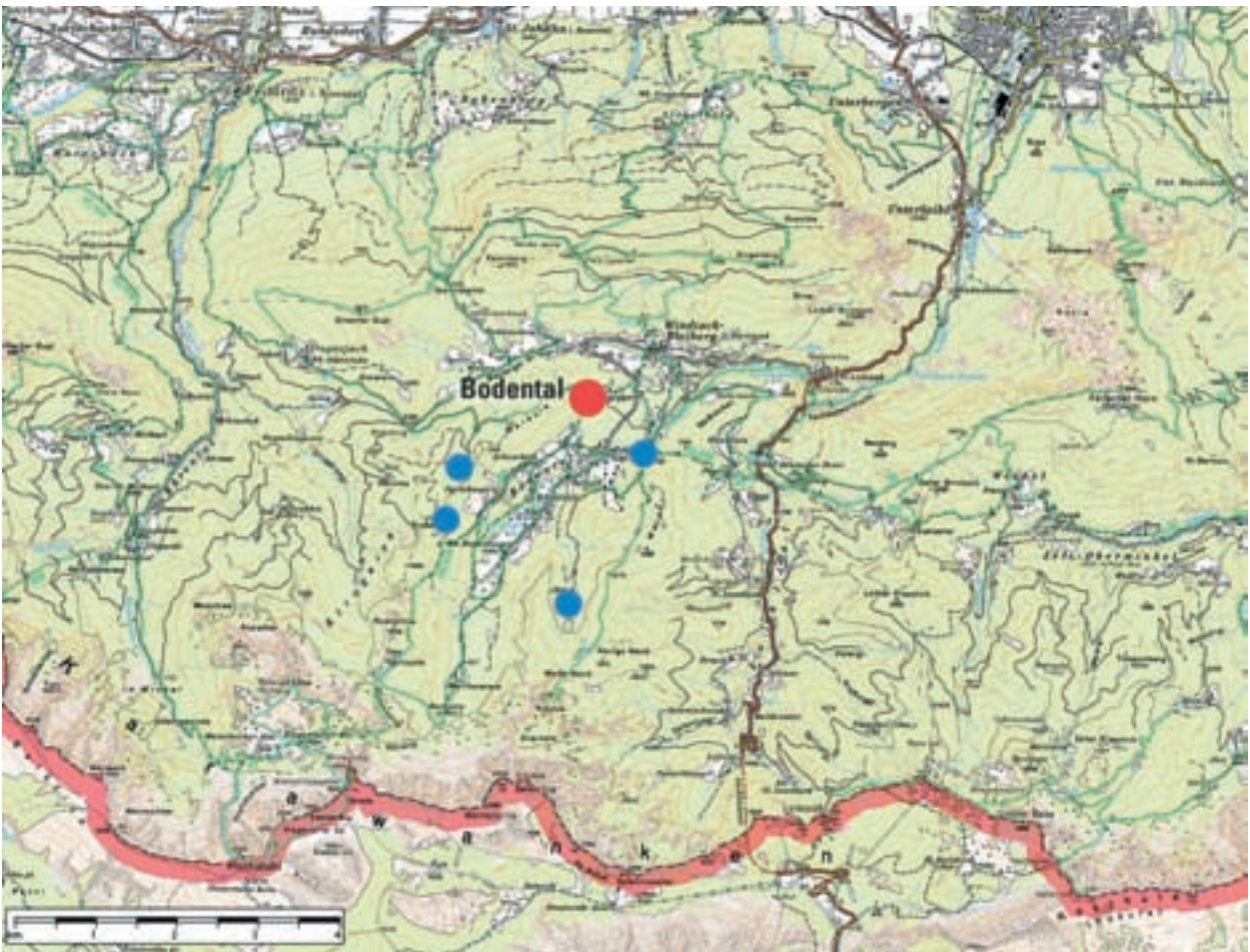


Abbildung 2-2i:
Untersuchungsgebiet Bodental. Lagekarte

Roter Punkt: Containerstation. Blaue Punkte: Nadel- und Bodenprobennahmen

Tabelle 2-1: Erhebungsumfang in den einzelnen Untersuchungsgebieten. + : Messungen vorhanden			
Forschungsschwerpunkte	Zillertal (Tirol) 1984-1990	Achental (Tirol) Seit 1990	Bodental (Kärnten) 1999-2008
Basiserhebungen zur Charakterisierung der Untersuchungsgebiete und -standorte einschließlich biologischer Belastungsfaktoren			
Wald- und Pflanzengesellschaften	+	+	+
Charakterisierung der Grundgesteine und der Böden	+	+	+
Meteorologische Basisdaten (dauerregistrierend)	+	+	+
Hydrometeorologische Basisdaten (dauerregistrierend)		+	
Ionen- und Wasserhaushalt, Bodenfeuchte (dauerregistrierend)	+		
Bodenchemische Daten	+	+	+
Bodenmikrobiologische Daten (mehrfach)		+	
Kronenzustand	+	+	
Wasserpotenzial (Fichten; mehrfach)	+		
Nährstoffversorgung (Fichten, 1x pro Jahr)	+	+	+
Populationsgenetische Charakterisierung (Fichten und Tannen)		+	
Artenvielfalt und Abundanz von Basidiomyceten (mehrfach)		+	
Forstentomologische Untersuchungen (mehrfach)	+	+	
Phytopathologische Erhebungen (mehrfach)	+	+	
Schadstoffbelastungen (Gehalte in der Luft, in Niederschlägen, Boden- und Oberflächenwasser)			
SO ₂ (dauerregistrierend)	+	+	
NO _x (dauerregistrierend)	+	+	+
Ozon (dauerregistrierend)	+	+	+
Nasse Deposition (ganzjährig)	+	+	+
Nasse, trockene und okkulte Depositionen (Langzeitkampagnen)	+	+	+
Boden- und Oberflächenwasser		+	
Schwermetalldeposition (Langzeitkampagnen)	+	+	
Flüchtige organische Verbindungen (VOC, Kampagnen)	+	+	
Persistente organische Verbindungen (POP, Kampagnen)		+	
Meteorologische Spezialerhebungen zur Untersuchung von Schadstoffverfrachtungen und -antransporten			
Temperaturschichtung der Talatmosphäre (Kampagnen)	+	+	
Großräumige Antransporte (Kampagnen)		+	
Anwendung und Entwicklung von Bioindikationsmethoden und baumphysiologischen Methoden zur Stressfrüherkennung an Fichten (mehrere Beprobungen)			
Cytogenetische Bioindikation an Feinwurzeln	+	+	
Vitalität von Mykorrhizen	+	+	
Nadelmorphologie, -anatomie und -histologie	+	+	
Nadel- und Triebbiometrie	+	+	
Wachsqualität	+		
Antioxidatives System	+	+	+
Glutathion-S-Transferase	+	+	
Lipoide	+	+	
Photosynthetische Parameter	+	+	+
Plant Traits		+	+
Schwermetallgehalte in Nadeln und Borken	+	+	+
Flechtenkartierung	+	+	

Forschungsschwerpunkte	Zillertal (Tirol) 1984-1990	Achental (Tirol) Seit 1990	Bodental (Kärnten) 1999-2008
Bioindikation mit Pilzen und Moosen (mehrere Beprobungen)			
Schwermetallgehalte von Pilzen, Mykorrhizen und Moosen		+	
Arbuskuläre Mykorrhiza von Gräsern		+	
Messung und Modellierung der Stickstoffkreisläufe, Eutrophierung und Versauerung			
Stickstoff-Flüsse, Inputs und Outputs (Langzeitkampagne)	+	+	
Kohlenstoffflüsse (Langzeitkampagne), Humusmineralisierung		+	
Modellierung von Critical Loads (Säure, Stickstoff)		+	
Modellierung des Einflusses einer Klimaerwärmung		+	
Sonstige Spezialerhebungen und -auswertungen über Stressfaktoren			
Waldweide (mehrere Beprobungen)		+	
Blüte und Fruktifikation (mehrere Beprobungen)		+	
Nutzungspotenzialanalyse, Nutzungskonflikte		+	
Expertensystem und Hauptkomponentenanalyse			

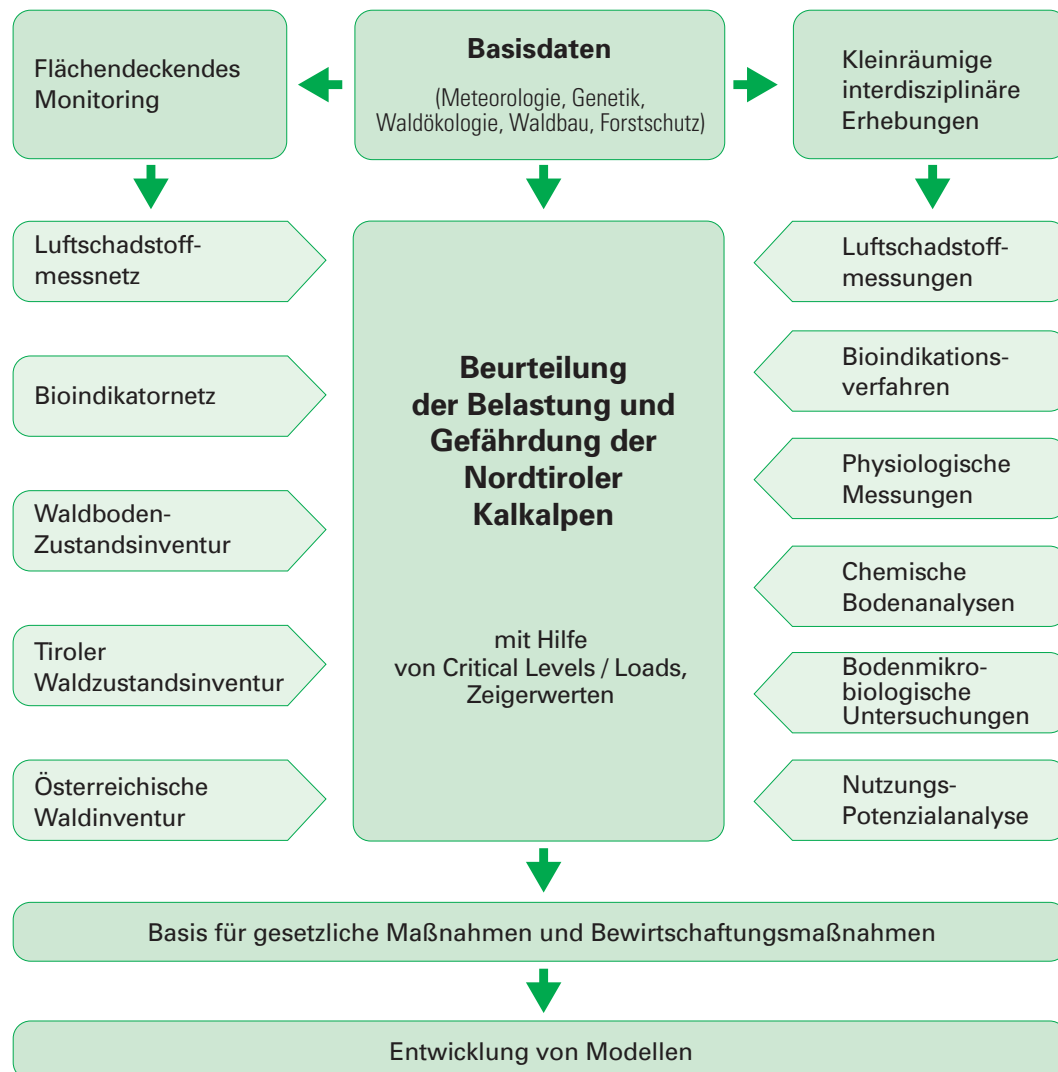


Abbildung 2-3:
Forschungsansatz zur Abschätzung der Belastung und Gefährdung der Nordtiroler Kalkalpen.



Abbildung 2-5:
Niederschlagssammler:
(a) Bulksammler (Foto: Smidt)
(b) WADOS (Foto: Plattner)

2.5. Datenmanagement

Die vor Ort gewonnen Daten wurden elektronisch ausgelesen (an den Stationen am Schwendberg per Funk) und am BFW zunächst auf Plausibilität geprüft. Die Daten werden gemeinsam mit den vom BFW erhobenen weiteren Daten (nasse Deposition, Nebel, Bodenwasser) in einer Datenbank gespeichert.

3. Ergebnisse

3.1. Basiserhebungen zur Charakterisierung der Untersuchungsgebiete und -standorte

Basis für die Untersuchungen waren umfangreiche Erhebungen für eine fundierte Charakterisierung der Untersuchungsgebiete und der eingerichteten Untersuchungsstandorte. Diese wurden in mehreren Sonderbänden detailliert beschrieben (Herman und Smidt 1992, 1995, 1996; Herman et al. 1998; Smidt et al. 1995, 1996, 2002; Tabelle 2-1).

3.1.1. Grundgesteine und Böden

Die Böden auf dem kristallinen Grundgestein des Höhenprofils **Zillertal** sind sauer und basenarm, die Standorte frisch und bis mäßig frisch; die



Abbildung 2-6:
Nebelsammler (Foto: Plattner).

Qualität des Humus nimmt mit zunehmender Seehöhe ab. Teilweise tritt eine unzureichende Versorgung mit P, K, Mg auf. Die hohen Pb- und Zn-Gehalte in der oberen und mittleren Mineralbodenschicht weisen auf geogene Herkunft hin (Glattes et al. 1985, Majer 1989).

Auf dem karbonathaltigen Grundgestein im **Achental** herrschen vergleichsweise niedrige pH-Werte und überdurchschnittliche geogen bedingte Co-, Cr- und Ni-Gehalte. Die im Oberboden im Vergleich zum Unterboden relativ hohen Pb- und Cd-Gehalte geben einen Hinweis auf einen großräumigen Antransport (Mutsch 1995, 1996).

3.1.2. Wald- und Pflanzengesellschaften

Die höhenzonal differenzierten Böden im Untersuchungsgebiet **Zillertal** mit pH-Werten zwischen

2,5 und 4,1 sind der Braunerde-Podsolreihe zuzuordnen. Das Gebiet liegt im zwischenalpinen Fichten-Tannenwaldgebiet. Historische Belastungen waren Waldweide, Streunutzung und Schneitelung.

Das **Achental** wird zum Großteil von Böden der Rendzina-Kalk-Braunlehm-Reihe eingenommen; diese sind durch die örtlichen Immissionen in allgemeinen nicht als gefährdet zu bewerten. 9 Waldgesellschaften und 18 Standortstypen wurden ausgewiesen. Degradationserscheinungen in Form von Baumartenveränderungen und Änderungen der Humusdynamik waren die Folge von historischen Streunutzungen, Schneitelungen, Waldweide und Großkahlschläge für die Protoindustrien des Inntales. Die natürliche Waldgrenze, die bei etwa 1700 m liegt, wurde über weite Strecken durch anthropogenen Einfluss herabgesetzt (Englisch und Starlinger 1995, 1996).

Meteorologische und hydrometeorologische Basisdaten

Stationäre und dauerregistrierende Messungen meteorologischer Parameter bildeten die Grundlage für eine Untersuchung der Atmosphäre im **Zillertal** (Kaiser 1992) und im **Achental** (Kaiser 1996). Eine noch differenziertere Aussage wurde durch den Einsatz von Akustikradar und Fesselballonsonden erreicht (vgl. Abschnitt 3.2.3). Hydrometeorologische Basisdaten werden vom Hydrographischen Dienst auf dem Mühleggerköpfl seit 1998 kontinuierlich erhoben und u. a. für die Auswertung der bodenchemischen Daten und die Modellierungen herangezogen.

Wasserhaushalt

Zur näheren Charakterisierung der Probebäume im **Zillertal** wurde das Wasserpotenzial gemessen, um Hinweise auf wasserbedingten Stress zu erhalten (Havranek und Wieser 1989). Bodenfeuchtemessungen am Schulterberg/**Achental** ergaben, dass es an den südexponierten Hängen zu Austrocknung kommen kann (Gartner 1996). Am Standort Mühleggerköpfl nahe dem Talboden ist hingegen nicht mit Wassermangel zu rechnen.

Bodenmikrobiologische Erhebungen, z.B. mikrobielle Biomasse, wiesen im **Achental** auf keine nennenswerten Belastungen hin (Insam et al. 1995, Rangger und Insam 1996).

Artenvielfalt und Abundanz von Basidiomyceten

Eine qualitative und quantitative Erfassung der Mycoönose im Untersuchungsraum **Achental** über drei Vegetationsperioden gab einen umfassenden Einblick in Artenvielfalt und Abundanz, nämlich 300 Arten. Die Ergebnisse gaben keinen Hinweis auf eine Belastungssituation (Peintner und Moser 1995, 1996).

Populationsgenetische Charakterisierung von Fichten und Tannen

Die Anpassungsfähigkeit und die Angepasstheit ist für die Stabilität der Bestände wichtig. Mit Hilfe der Isoenzymanalyse konnte gezeigt werden, dass bei den Fichtenbeständen im Höhenprofil Schulterberg (**Achental**) die genetische Variation und die Diversität mit der Seehöhe abnimmt; die genetischen Unterschiede zwischen den Beständen sind jedoch gering. Die genetischen Strukturen der Tannenpopulationen sind typisch für autochthone Bestände; die Diversität war höher als jene der Fichtenpopulationen (Breitenbach 1994, 1995, 1996, 1996).

Nährstoffversorgung von Fichten

Die Untersuchung der Nährstoffversorgung von Fichten zeigte sowohl für das **Zillertal** als auch für das **Achental** eine schlechte Ernährung von Stickstoff auf (Herman 1989, 1995, 1996; siehe Abschnitt 3.3).

Kronenzustände

Eine 5-jährige terrestrische Kronenzustandsinventur ergab am Höhenprofil **Zillertal** keine Verlichtungsgrade, die über das natürliche Maß hinausgingen; im Bereich von 1600-1700 m waren die durchschnittlichen Verlichtungsgrade am höchsten; es waren dies die ältesten Probebäume (Kristöfel 1992).

3.2. Immissionsbedingte Belastungsfaktoren

Zu den wichtigsten immissionsbedingten Stressfaktoren, die in den Untersuchungsgebieten gemessen wurden, gehören Einträge von Schwefelverbindungen (SO₂, Sulfat-Schwefeleinträge), Stickstoffverbindungen (NO_x, Nitrat- und Ammonium-Stickstoffeinträge), Ozon und Schwermetalle. Im Rahmen spezieller Projekte wurden auch flüchtige und persistente organische Komponenten erfasst.

3.2.1. Schwefel

Schwefeldioxid führt auch in Konzentrationen, die zu keinen sichtbaren Veränderungen führen, auf biochemischer Ebene durch Säureeinwirkung und Radikalbildung zu Schädigungen, etwa zu Störungen der Photosynthese. Schwefeleinträge tragen ferner zur Versauerung von Ökosystemen bei.

Die SO_2 -Emissionen sind in Österreich seit 1980 von rund 385.000 Tonnen auf rund 26.400 Tonnen (2005) pro Jahr zurückgegangen (Abbildung 3-1); auch in anderen europäischen Ländern haben die Emissionen deutlich abgenommen.

Dementsprechend haben sich auch die Immissionskonzentrationen und Schwefeleinträge im Alpenbereich entwickelt. Auskunft über die Immissionseinwirkung geben neben der Luft- und Depositionsanalysen verschiedene Bioindikationsmethoden.

Abbildung 3-1a zeigt die Entwicklung der SO_2 -Emissionen in Österreich seit 1990 sowie jene der S-Gehalte in den Fichtennadeln des Österreichischen Bioindikatornetzes (Abbildung 3-1b).

Schwefeldioxid

Im Untersuchungsgebiet **Zillertal** wurden 1985-1988 an der Talstation noch SO_2 -Grenzwerte der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen vereinzelt überschritten. Die jeweiligen Höchstwerte der Tages- und Halbstundenmittel nahmen vom Talboden (600 m) bis zur Mittelstation (1000 m) ab und zur Bergstation (1560 m) wieder leicht zu, was als Einfluss von Ferntransporten interpretiert wurde.

Im **Achental** erreichten die Jahresmittelwerte 1991-2000 in 920 m $3,0 \mu\text{g m}^{-3}$ bzw. 1280 m (1992-1995) $2,7 \mu\text{g m}^{-3}$ und lagen damit weit unter dem geltenden Jahresmittelgrenzwert des Immissionsschutzgesetzes Luft ($20 \mu\text{g m}^{-3}$). Auch die Grenzwerte der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen wurden nicht überschritten (Smidt 1989, 1992).

Schwefeleinträge

Die Sulfat-Schwefeleinträge durch nasse Freilandniederschläge wurden im **Zillertal** in den Jahren 1984-1987 im Mittel mit $7,0 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (1000 m), $7,5 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (1560 m) bzw. $8,5 (600 \text{ m}) \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ermittelt. Im **Achental** lagen die Einträge 1991 bis 2006 zwischen $2,6$ und $8,0 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Smidt 1989; Smidt 1996). Die Summe aus trockener, nasser und okkultur Deposition betrug im Messzeitraum November 1995 bis Oktober 1996 am Talboden $8,2 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, an der Mittelstation (1280 m) $7,2$ und

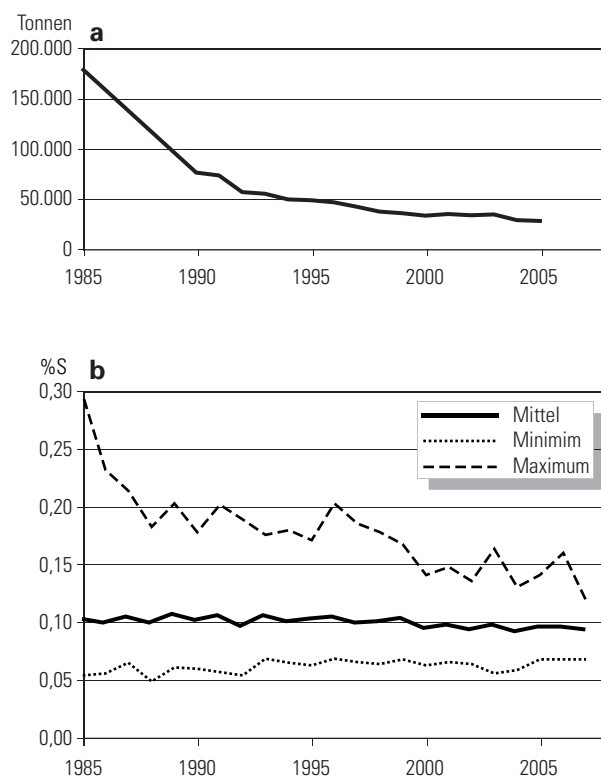


Abbildung 3-1:

(a) Entwicklung der SO_2 -Emissionen in Österreich (Umweltbundesamt 2007).

(b) Entwicklung der Schwefelgehalte in Fichtennadeln (Österreichisches Bioindikatornetz; Nadeljahrgang 1; www.bioindikatornetz.at).

an der Bergstation (1758 m) $10,3 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Der durch Nebel- bzw. Wolkenwasser eingetragene Anteil war mit 1 % im Tal (920 m), 8 % an der Mittelstation und 22 % an der Bergstation sehr unterschiedlich hoch (Kalina 1997). Der Critical Load liegt für Schwefeleinträge auf Kalkstein bei $> 32 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und über Grauwacken / Gabbro / Schiefer bei $8-16 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Box 3-1). Die gemessenen Schwefeleinträge sind somit in beiden Gebieten, insbesondere in den gut gepufferten Böden der Nordtiroler Kalkalpen, als nicht kritisch einzustufen. Dies wird auch durch die Messungen im Rahmen von Level II bestätigt, wo knapp über $3 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ festgestellt wurden (Smidt 2007).

Schwefelimmissionseinwirkungen

Das Ergebnis der Fichtennadelanalysen steht im Einklang mit den geringen SO_2 -Konzentrationen und den geringen Schwefel-Einträgen. Nennenswerte Schwefel-Immissionseinwirkungen traten in beiden Untersuchungsgebieten nicht auf: Die Nadelanalysen zeigten im **Zillertal** (1984-1988; 11 Probestämme zwischen 700 m und 1600 m) nur

Box 3-1: Critical Levels und Critical Loads

Critical Levels (CLE): Wirkungsbezogene Grenzwerte für gasförmige Luftschadstoffe

Critical Levels sind Schwellenwerte für den **direkten Wirkungspfad** nicht sedimentierender Komponenten (Gase, Aerosole). Bei ihrer Überschreitung sind negative Wirkungen zu erwarten. Sie sind meist so formuliert, dass bei ihrer Einhaltung der Großteil aller Pflanzen, wenn auch nicht jedes einzelne Individuum, geschützt wird.

Ein Critical Level bezieht sich letztendlich auf eine Dosis, wird jedoch in den meisten Fällen als Konzentration innerhalb einer bestimmten Periode angegeben, z. B. $30 \mu\text{g m}^{-3} \text{NO}_x$ als Jahresmittelgrenzwert oder $200 \mu\text{g m}^{-3} \text{NO}_2$ als Halbstundenmittelgrenzwert; lediglich für Ozon wird eine spezielle Dosis (der AOT40) als Grenzwert formuliert (siehe Anhang 5-2).

Kombination von Schadstoffen: Komponenten werden einzeln evaluiert. Interaktionen werden ebenfalls in Betracht gezogen.

Expositionsdauer: 1 Jahr und weniger.

Methodik der Bewertung: Laborexperimente; niedrigste relevante und effektive Exposition.

Ziel: Schutz empfindlicher Arten.

Critical Loads (CLO): Kritische Belastungsgrenzen für Einträge

werden als Depositionsraten auf die Fläche bezogen, z. B. der Critical Load von 10-15 kg Stickstoff $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Critical Loads sind „wissenschaftliche Grenzwerte“ und gesetzlich nicht verbindlich. Ein Critical Load definiert die kritische Belastungsgrenze für Einträge und den Schwellenwert für den **indirekten Wirkungspfad**. Jener Eintrag von Schadstoffen (Protonen, Schwefeläquivalente und Stickstoff, $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) aus der Atmosphäre, bei dessen Unterschreitung nach derzeitigem Kenntnisstand keine negativen Effekte bei bestimmten Wirkobjekten oder Rezeptoren (Pflanzen, Tieren, Menschen) auftreten können. Das Ziel ist ein dauerhafter Schutz der Umwelt bei möglichst niedrigen Gesamtkosten und Absenkung der Belastung der Vegetation auf einen als akzeptabel angesehenen Schwellenwert. Critical Loads sind abhängig vom Ökosystemtyp, von vorangegangenen und gegenwärtigen Bewirtschaftungen und Bodeneigenschaften (z. B. vom Nitrifikationsvermögen).

Kombination von Schadstoffen: Stickstoffhaltige Verbindungen werden zusammengefasst; dies gilt auch für saure Verbindungen.

Expositionsdauer: Langfristig (10 bis 100 Jahre).

Methodik der Bewertung: Empirische Daten und steady-state Bodenmodelle.

Ziel: Schutz der Funktion von Ökosystemen.

geringfügige Grenzwertüberschreitungen (Werte $> 0,11 \%$ für den NJ.1) bis 1000 m Seehöhe und einen leichten Trend zur Abnahme der Mittelwerte bis zum höchstgelegenen Punkt in 1520 m Seehöhe (Herman 1989). Im **Achental** (1998-2004, 21 Probestämme) wurden mit zwei Ausnahmen keine Werte über dem Grenzwert der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen gemessen (Herman 1994).

Schwefelimporte

Mit Hilfe der Daten des Österreichischen Bioindikatornetzes (760 Untersuchungspunkte) konnten

SO_2 -Importe aus Slowenien (Kraftwerk Sostanj) nachgewiesen und die beeinflussten Gebiete abgegrenzt werden. Annuelle Unterschiede der Schwefelgehalte konnten mit den Werksemissionen in Zusammenhang gebracht werden (Abbildung 3-2; Fürst et al. 2003).

Immissionsorientierte Flechtenkartierungen

Anhand der Zusammensetzung der epiphytischen Flechtenvegetation wurde in beiden Untersuchungsgebieten eine Zonierung in vier Klassen vorgenommen. Diese ergab für das **Zillertal** (Untersuchungsareal ca. $8 \times 10 \text{ km}$ im Bereich Mayr-

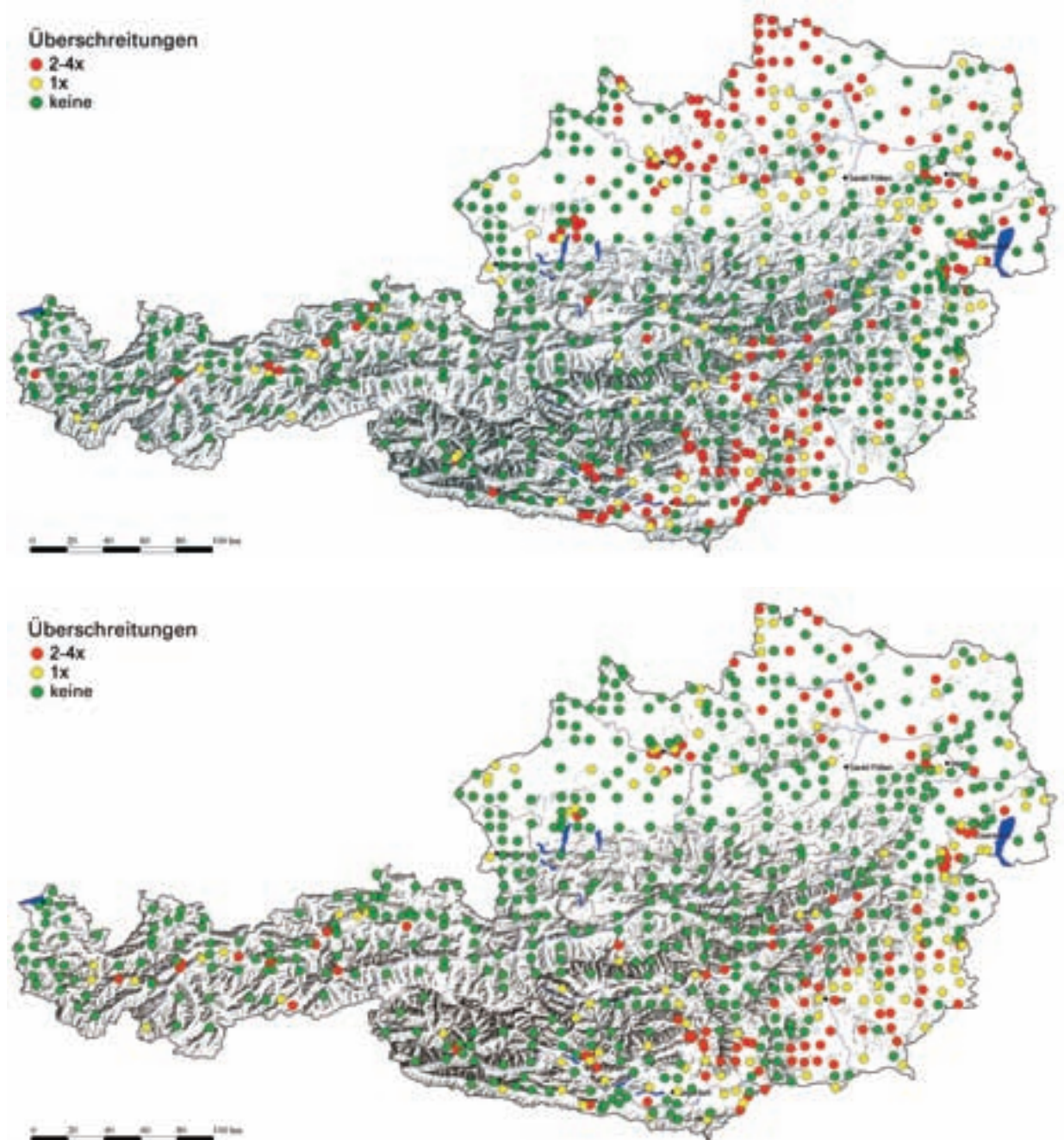


Abbildung 3-2:
Entwicklung Schwefelimporte aus Slowenien (Kraftwerk Sostanj).

Quelle: Fürst et al. 2003

hofen - Ramsau) Einflüsse saurer Luftschadstoffe vom Talboden (600 m) bis etwa 300 m über Tal; der Talbereich war geringer belastet als das Innental oder Teile der Nordalpen (Hofmann 1992).

Im **Achental**, in dem drei Transekte angelegt wurden, zeigte die Flechtenkartierung im Talbereich zwischen 830 m und 1000 m eine permanente und moderate Luftverunreinigung an, Regionen zwischen 1000 m und 1500 m waren nur leicht beeinflusst und an höher gelegenen nicht beein-

flusst. Im Vergleich zu anderen Tälern in den Zentralalpen rückten die beeinflussten Areale um 200 - 300 m weiter nach oben (Hofmann 1994).

Modellierung des Versauerungsrisikos für die Nordtiroler Kalkalpen

Die Modellierung des Versauerungsrisikos für die **Nordtiroler Kalkalpen** ergab Critical Loads zwischen 1,5 und 10 kequ ha⁻¹ a⁻¹. Demnach ist sogar das auf kristallinem Grundgestein gelegene

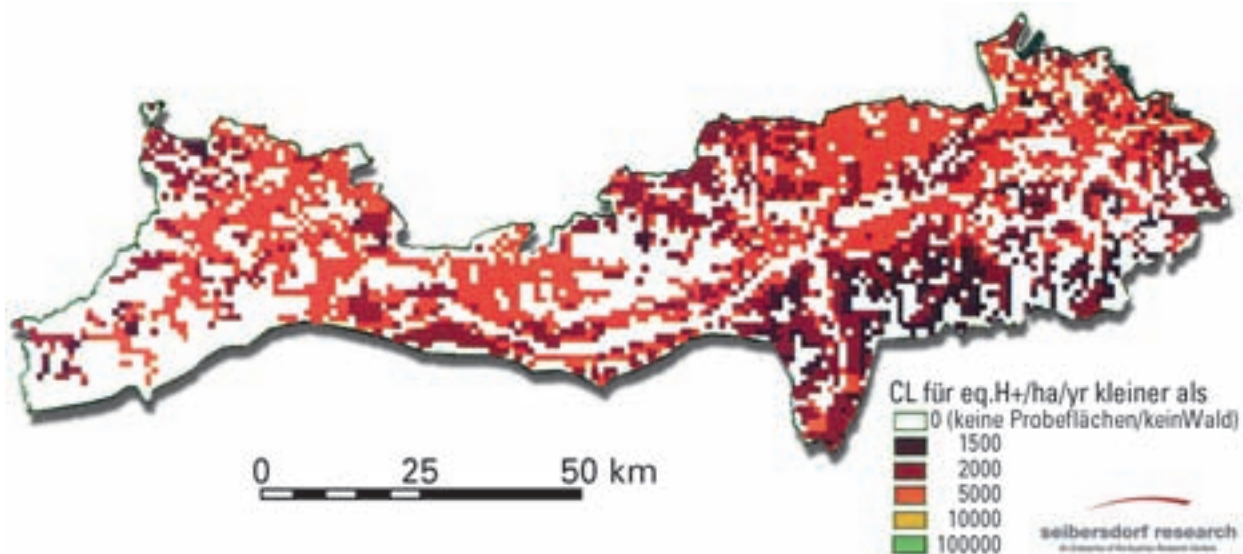


Abbildung 3-3:
Critical Loads für Säureeinträge in den Nordtiroler Kalkalpen.

Quelle: Knoflacher und Loibl 1998

und somit relativ säureempfindliche Zillertal mit $1,5 \text{ kequ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ als nicht säuregefährdet anzusehen (Knoflacher und Loibl 1998), da die Jahreseinträge unter $0,5 \text{ kequ}$ pro Jahr lagen (Abbildung 3-3). Eine geringe Säureempfindlichkeit wurde auch von Mutsch und Smidt (1994) festgestellt, welche auf der Basis der Daten der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur unterschiedlich säurebelastete Gebiete auswiesen.

Gesamtbeurteilung

Die dauerregistrierenden SO_2 -Messungen gaben in den beiden Tiroler Untersuchungsgebieten keine Hinweise auf baumschädigende SO_2 -Immissionsbelastungen, ebenso nicht die Schwefelgehalte der Nadeln. Auch Schwefelmangel (Nadelgehalte $< 0,45 \% \text{ S}$) wurde in ganz Österreich nicht registriert. Dies wird durch Analysen im Rahmen des BIN insofern bestätigt, als in Tirol Überschreitungen v. a. auf den Bereich des Inntales beschränkt sind und in den Seitentälern heute nicht mehr auftreten. Die Schwefeleinträge durch nasse Freilanddepositionen und Kronendurchlassniederschläge sind als gering anzusehen. Sie überschreiten Critical Loads auch dann nicht, wenn die Summe aus trockener, nasser und okkultur Deposition bewertet wird. Auf der Basis der Modellierung der Critical Loads für Säureeinträge sind diese in den Nordtiroler Kalkalpen nicht kritisch. Dies gilt im Prinzip auch für die übrigen Depositionsmess-

stellen in den Nordtiroler Kalkalpen: Im Rahmen von Level II (20 Messflächen) wurden 1996 - 2005 Jahreseinträge bis $10 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Freiland) bzw. $15 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Kronendurchlass) und bei den österreichischen WADOS-Stationen (ca. 35 Messstellen) 1996-2004 Werte bis $15 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ermittelt.

3.2.2. Stickstoff

Stickstoffoxide (NO_x) bilden aggressive radikalische Zwischenprodukte und zerstören Membranen und damit das Zellgefüge; sie sind Vorläufer des Ozons. Ammoniak (NH_3) ist ebenfalls ein starkes Pflanzengift; es ist toxischer als NO_2 , hat aber meist nur lokale Bedeutung. Die Einträge von Nitrat- und Ammonium-Stickstoff tragen zur Versauerung und zur Eutrophierung von Waldökosystemen bei. Da Waldökosysteme bzw. eine Reihe gefährdeter Pflanzenarten an Stickstoffarmut angepasst sind, können überhöhte Stickstoffeinträge zu nachteiligen Veränderungen führen. Die Ergebnisse des Österreichischen Bioindikatornetzes weisen hingegen auf einen weit verbreiteten Stickstoffmangel hin.

Stickstoff wird durch anthropogene Aktivitäten vor allem als NO_2 , aber auch als NH_3 und Lachgas (N_2O) emittiert. N_2O ist ein wirkungsvolles Treibhausgas. In Österreich haben die NO_x -Emissionen bis Mitte der 1990er Jahre abgenommen und danach wieder signifikant zugenommen. Die NH_3 -Emissionen gingen jedoch nur leicht zurück (Abbildung 3-4).

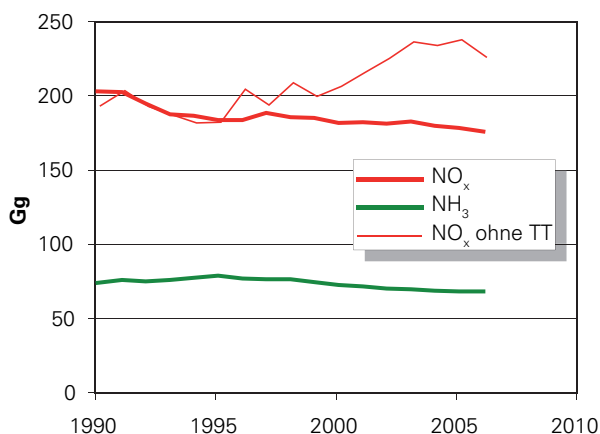


Abbildung 3-4:

Entwicklung der NO_x- und NH₃-Emissionen in Österreich (Quelle: Umweltbundesamt 2007).

Dünne rote Linie: NO_x-Emissionen ohne Berücksichtigung des Tanktourismus.

Dicke rote Linie: NO_x-Emissionen unter Berücksichtigung des Tanktourismus; durch diesen werden die in Österreich emittierten Emissionen verringert.

Stickstoffoxide

Der Jahresmittel-Grenzwert des Immissionsschutzgesetzes Luft (30 µg NO_x m⁻³; IG-L, BGBl. I 1997/115) wurde im Zillertal und im Achenental auch an den verkehrsnahen Messstationen niemals überschritten, wohl aber im unmittelbaren Nahbereich der Inntalautobahn (Vomp). Im Talbereich wurden im **Zillertal** zwischen 1986 und 1988 aber noch Überschreitungen des Zielwertes für das Tagesmittel des Immissionsschutzgesetzes Luft (80 µg m⁻³) registriert. Im **Achenental** wurden in Talnähe 1991-2000 Jahresmittelwerte bis 23 µg m⁻³ NO_x mit stark abnehmenden Trend bis 2000 (1,8 µg m⁻³ NO_x) festgestellt. An den verkehrsfernen Waldmessstationen in Österreich betragen die Konzentrationen heute unter 10 µg m⁻³ NO_x mit einem abnehmenden Trend seit 1990 (Smidt 1989; 1995).

NO_x-Konzentrationen in alpinen Tälern werden durch die lokalen Emissionen, durch photochemische Prozesse, die Temperaturschichtung der Luft und durch An- und Abtrans-

porte (Tal- bzw. Hangwindssysteme) bestimmt (Puxbaum et al. 1989). Die NO_x-Antransporte sowie Wechselwirkungen der Luftmassen des Inntales und des Achenntales konnten anhand umfangreicher meteorologischer Spezialmessungen im Achenental - z. B. Ballonsondenmessungen - und anhand der Auswertungen von Trajektorien nachgewiesen werden (Kaiser 1996). Föhnereignisse senken die NO_x-Konzentrationen im Talbereich jedoch ab, da NO_x-arme Luft aus den oberen Luftschichten in die Talatmosphäre eingemischt wird (Smidt 1989).

Ammoniak

NH₃-Konzentrationen, die im Zuge einer zweimonatigen Messkampagne mit Passivsammlern gemessen wurden, nahmen im **Zillertal** mit zunehmender Seehöhe ab, und zwar von 2,2 µg m⁻³ NH₃ (600 m) auf 0,7 µg m⁻³ NH₃ (1000 m) bzw. 0,3 µg m⁻³ NH₃ (1560 m). Die relativ hohen Werte am Talboden waren auf die Viehhaltung zurückzuführen.

Auch im Talboden des **Achenntales** wurden - in einer einjährigen Messkampagne - ebenfalls bedingt durch Viehhaltung - relativ hohe mittlere Konzentrationen von 2,9 µg m⁻³ festgestellt; diese nahmen deutlich bis 1760 m auf 0,3 µg m⁻³ ab. Phytotoxische Konzentrationen wurden in den Untersuchungsgebieten nicht erreicht (der Jahresmittelgrenzwert der WHO 2000 beträgt 8 ppb = 5,6 µg m⁻³, die Grenzwerte der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen liegen um zwei Größenordnungen darüber). Die mittleren NH₃-N-Einträge waren im Talboden mit 4,1 kg NH₃-N ha⁻¹ a⁻¹ relativ hoch und nahmen bis 1760 m 0,8 kg N ha⁻¹ a⁻¹ deutlich ab (Abbildung 3-5).

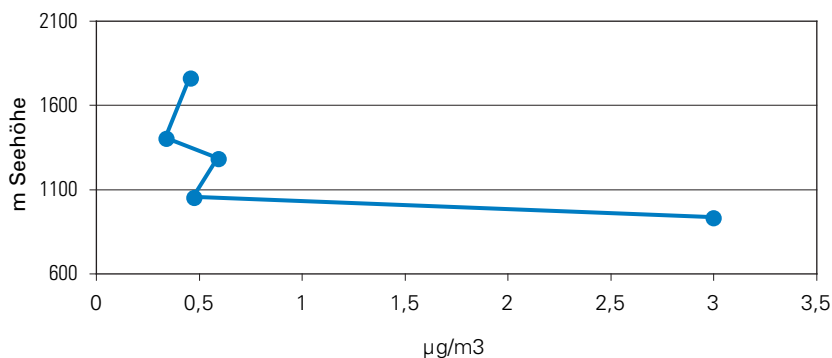


Abbildung 3-5:

Mittlere NH₃-Konzentrationen am Höhenprofil Achenkirch (µg m⁻³, Mittel November 1995 bis Oktober 1996).
Quelle: Kalina 1997

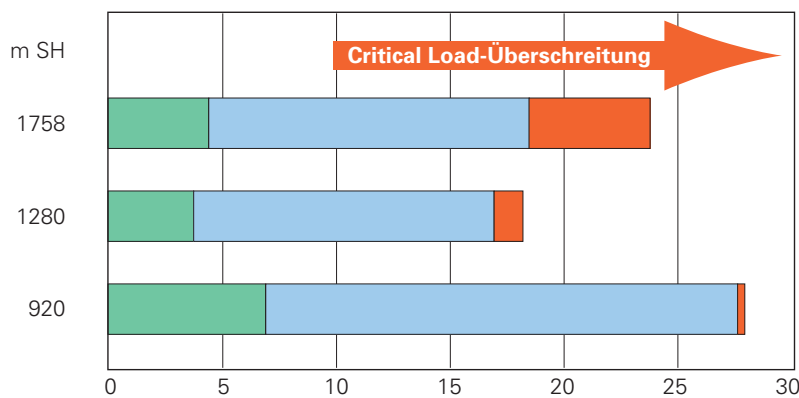


Abbildung 3-6:
Trockene (grün), nasse (blau) und okkulte Deposition (rot) von Stickstoff am Höhenprofil Achenkirch.

NH₄- und NO₃-Stickstoffeinträge

In beiden Untersuchungsgebieten wurden Stickstoffeinträge durch nasse Absetzdeposition mit Bulksammlern bzw. WADOS-Sammlern permanent gesammelt. Im **Zillertal** betrugen die Einträge 1984-1987 im Mittel 8,5 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (1000 m, 1560 m) bzw. 9,5 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (600 m; Smidt 1989). Die von Stöhr (1988) ermittelten Konzentrationen von N- und anderen Verbindungen in winterlichen Schadstoffdepositionen (Neuschnee, Reif und Rauhreifrost) ergaben im Neuschnee im Wesentlichen Abnahmen der Ionenkonzentrationen und der Einträge mit der Seehöhe. Diese waren beim Reif noch stärker ausgeprägt; uneinheitlich waren hingegen die Verläufe bei Nebelfrost. Die Ergebnisse der Einzelereignisse waren stark von der aktuellen Stabilität der Talatmosphäre zum Zeitpunkt der Probenahme geprägt.

Im **Achental** wurden 1998-2006 Jahreseinträge von 8,5 bis 12,3 kg ha⁻¹ registriert. Im Vergleich dazu lagen auf den 20 Level II-Flächen die nassen Freiland-Einträge 1996-2007 im Gesamtmittel bei 7,0 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Kronendurchlass: 9 kg N ha⁻¹ a⁻¹). Die N-Gesamtd deposition wurde im Achental in einer einjährigen Messkampagne unter Verwendung von Stackfiltern (für die Probenahme der Aerosole) und Passivsammlern (zur integrativen Messung der Gaskonzentrationen) modelliert: Der Ammonium-N-Eintrag war an allen Stationen etwas höher als der Nitrat-N-Eintrag. Wesentlich höhere Eintragswerte ergeben sich, wenn die Summe aus nasser, trockener und okkultur Deposition modelliert wurden: 28,2 (Talboden), 18,2 (1280 m) bzw. 24,4 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (1760 m). Der Anteil an reduziertem Stickstoff in der okkulter

Deposition betrug im Talboden nur 1 %, in 1280 m Seehöhe 8 % und an der Bergstation in 1758 m Höhe 22 %, die Anteile an oxidiertem Stickstoff 1 %, 7 % und 19 % (Kalina 1997). Diese Resultate zeigen, dass der Critical Load - von Bobbink et al. (2002) mit 10 - 15 kg N ha⁻¹ a⁻¹ - in nebelreichen Lagen erst durch die Einbeziehung des hohen Anteiles an okkultur Deposition markant überschritten wurde (Abbildung 3-6).

In den Jahren 1998 bis 2006 wurden im Freiland mittels WADOS im Durchschnitt 8,4 kg

N ha⁻¹ a⁻¹ und unter dem Kronendach 10,5 kg N ha⁻¹ a⁻¹ gemessen. Im Vergleich dazu betrug der Jahreseintrag auf der Level II Fläche Zillertal (1490 m) 1996-2007 im Mittel 6,9 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Freiland) bzw. 4,4 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Kronendurchlass).

Modellierung der Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge

Die Modellierung des Risikos durch eutrophierende Stickstoffeinträge für die **Nordtiroler Kalkalpen** ergab Critical Loads zwischen 10 und 32 kg N ha⁻¹ a⁻¹, somit also zum Teil deutlich höhere Werte als von Bobbink et al. (2002) angegeben. Auf Jahresbasis und regional werden in österreichischen Waldgebieten durch die nasse Deposition alleine oft mehr als 10 kg N ha⁻¹ a⁻¹ eingetragen: Auf den 20 österreichischen Level II Flächen wurden 1996-2005 Jahreswerte bis 22 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Kronendurchlass: 30 kg N ha⁻¹ a⁻¹) und WADOS-Stationen (1996-2004) bis 22 kg N ha⁻¹ a⁻¹ ermittelt (an den drei Level II Flächen in den Wuchsgebieten 2.1 und 4.1 im Freiland 5,5 - 11,1 und unter dem Kronendach 4,5 - 21,3 kg N ha⁻¹ a⁻¹). Weiters zeigte sich, dass es vor allem die Talflanken des Inntales und des Zillertales sind, die niedrige Critical Loads aufweisen und somit durch die aktuellen N-Einträge besonders gefährdet sind (Knoflacher und Loibl 1998; Abbildung 3-7).

Stickstoffflüsse

Auf dem Intensivstandort Mühleggerköpfl im Untersuchungsgebiet **Achental** wurden zwischen 1998 und 2001 alle jene Parameter erfasst, die zur Bestimmung der Stickstoffflüsse (Input, Output) und des internen Kreislaufes bzw. für die

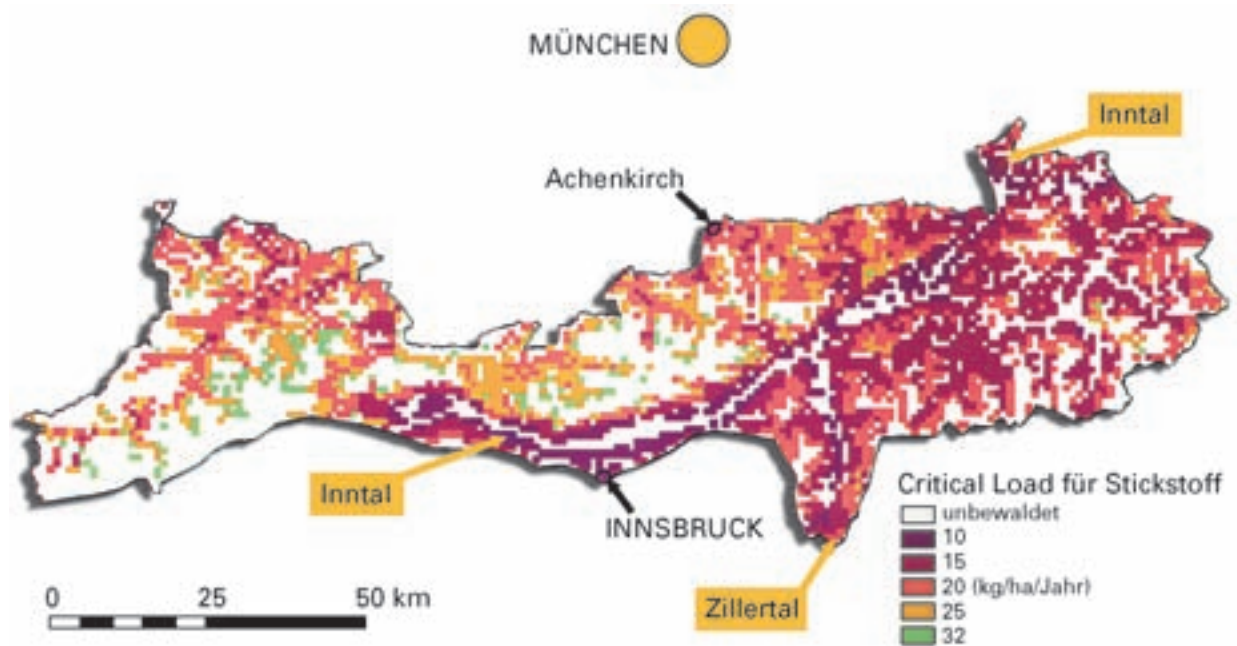


Abbildung 3-7:

Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge in den Nordtiroler Kalkalpen.

Quelle: Knoflachner und Loibl 1998

Budgetierung erforderlich sind (Smidt et al. 2002). Ferner wurde untersucht, inwieweit der Untersuchungsstandort bereits durch Stickstoff gesättigt ist und wie hoch das Risiko eines überhöhten Nitrataustrages in das Grundwasser ist.

Quantifizierung der Stoffflüsse: Im Rahmen der Stoffflussanalyse war es möglich, Eintrag, Austrag sowie interne Umsetzungsraten von Stickstoffverbindungen für den Intensivuntersuchungsstandort zu quantifizieren (Smidt et al. 2002). Hierzu wurden 1998-2001 luft-, niederschlags- und bodenwasserchemische Parameter, Bodenfeuchte, Streufall (Menge und Zusammensetzung), oberirdische Holzbiomasse und mikrobielle Biomasse sowie N_2O - und NO_x -Ausgasungen sowie alle relevanten meteorologischen Parameter kontinuierlich erfasst. Die Messergebnisse sind in Tabelle 3-1 angeführt.

In einem Lysimeterversuch (Abbildung 3-8) mit stabilen Isotopen von Stickstoff und Sauerstoff konnte nachgewiesen werden, dass der Nitratgehalt des Bodenwassers vor allem aus mikrobiologischen Bodenprozessen (Nitrifikation) und nicht nur von atmosphärischen Einträgen stammt (Haberhauer et al. 2002; Tabelle 3-1). Im Zuge der Mineralisierung

werden am Standort $242 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und bei der Nitrifikation $196 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gebildet; die mikrobielle Biomasse beträgt 516 kg N ha^{-1} , ihre Nitrataufnahme 174 kg N ha^{-1} und NH_4^+ -Aufnahme $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Werte weisen darauf hin, dass der Untersuchungsstandort noch nicht mit Stickstoff gesättigt ist.



Abbildung 3-8:

Messfläche zur Untersuchung der Stickstoffflüsse in den Nordtiroler Kalkalpen.

Vordergrund: Lysimeter (Foto: Smidt).

Tabelle 3-1:
1989-2001 gemessene Stickstoffflüsse und -pools auf der Intensivuntersuchungsfläche Mühleggerköpfl

		Flüsse (kg N ha⁻¹ a⁻¹)	Pools (kg N ha⁻¹)	
Eintrag				
Krone	Freiland	nass: 11-15 (12) trocken: 2 okkult: <1		
Krone	Kronenaufnahme	0,7		
Boden	Kronendurchlass	15		
Boden	Streufall	21,6		
Boden	Mineralisierung	Nitrifikation: 13 Ammonifikation: 14		
Allokation von Biomasse			5,1	
Pools				
Oberirdische Biomasse	gesamt			572,5
	Holz			162,2
	Borke			69,1
	Äste			59,8
	Zweige			105,5
	Nadeln			176,0
Boden	Gesamter N-Pool			15,500
Boden	NH ₄ -N-Pool			10
Boden	NO ₃ -N-Pool			1,2
Boden	pflanzenverfügbar (10 cm Bodentiefe)			36,5
Boden	extrahierbarer mineralischer N			11
Austrag				
Boden	N ₂ O-Emission			0,9
	Gesamt-N-Verlust (gasförmig)			2 - 4
Boden	Oberflächenabfluss			ca, 0
Boden	Versickerung			4 - 12
Boden	Aufnahme durch den Baum			verfügbar NH ₄ : 2 verfügbar NO ₃ : 37

Modellierung der Stickstoffflüsse anhand von Szenarien

Anhand der gemessenen Parameter wurden die N-Flüsse mit mehreren Modellen berechnet: PnET-N-DNDC berechnet die C- und N-Umsätze, BROOK90 den Wasserhaushalt, HYDRUS den horizontalen Wasserfluss und das Nitrogen Balance Model (NBM) führt die Ergebnisse zusammen und evaluiert sie. Im Zuge dessen wurden Szenarien berechnet, die die Variation der jährlichen N-Einträge und die erwartete Erhöhung der Temperatur um 3 °C in den nächsten 50 Jahren berücksichtigte.

Die wichtigsten Ergebnisse waren: Die absoluten Emissionen von Stickstoffmonoxid (NO) und Lachgas (N₂O) werden von den N-Einträgen und einer Temperaturerhöhung nur wenig beeinflusst; sie werden in Mengen von rund 1,2 kg N ha⁻¹ a⁻¹ aus dem Boden ausgegast. In wesentlich größeren Mengen - rund 16 kg N ha⁻¹ a⁻¹ - wird elementarer Stickstoff, ebenfalls wenig bestimmt von N-Einträgen und einer Temperaturerhöhung, gebildet. Der Nitrataustrag in das **Grundwasser** hingegen wird sehr stark durch die Temperatur beeinflusst, welche die Nitrifikation im Boden fördert: Die niedrigsten Austräge (ca. 5 kg NO₃-N ha⁻¹ a⁻¹) sind

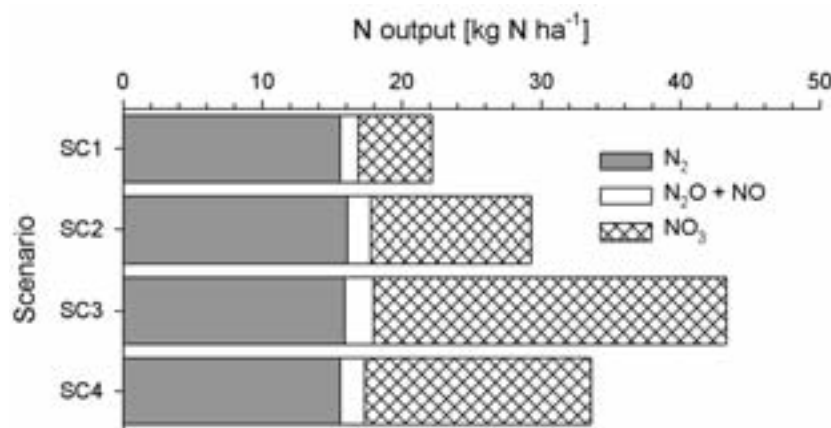


Abbildung 3-9:

Output (Ausgasung von N_2O , NO und N_2 , Austrag von Nitrat-Stickstoff) in das Grundwasser, modelliert nach vier Szenarien (SC). Quelle: Jandl et al. 2008.

SC1: aktuelle Temperatur, Eintrag 18 kg N ha⁻¹ a⁻¹

SC2: Temperatur + 3°C, Eintrag 9 kg N ha⁻¹ a⁻¹

SC3: Temperatur + 3°C, Eintrag 36 kg N ha⁻¹ a⁻¹

SC2: Temperatur + 3°C, Eintrag 18 kg N ha⁻¹ a⁻¹

bei der aktuellen Temperatur und dem aktuellen N-Eintrag, der im vorliegenden Fall mit 18 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ ha⁻¹ a⁻¹ angesetzt wurde, zu erwarten. Die erhöhte Temperatur und ein doppelter aktueller N-Eintrag (36 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ ha⁻¹ a⁻¹) führen zu einem gesteigerten Austrag von 24 kg N ha⁻¹ a⁻¹, die erhöhte Temperatur alleine führt immerhin zu einer Verdopplung des aktuellen N-Austrages.

Die Modellierung ergab bei erhöhtem N-Eintrag und bei einer erhöhten Temperatur eine Zunahme der N-Ausgasung von 1,2 kg $\text{N}_2\text{O-N}$ ha⁻¹ a⁻¹ auf 2,0 kg $\text{N}_2\text{O-N}$ ha⁻¹ a⁻¹. NO -Emissionen betrugen, ebenfalls weitgehend unabhängig vom Szenario, nur rund 0,065 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Abbildung 3-9; Jandl et al. 2008).

Bodenerwärmungsprojekt

Im Gleichgewichtszustand eines Waldökosystems halten sich die Kohlenstoffbindung und -freisetzung die Waage. Ein Klimawandel verändert diesen Gleichgewichtszustand: Der Wald kann zu einer C-Quelle oder -senke werden. Boden- und Wurzelatmung beeinflussen den C-Austrag maßgeblich, die Reaktion des enorm hohen C-Pools (in Bergwäldern bis zu 120 Tonnen pro Hektar) ist a priori nicht absehbar. Auf dem Standort, auf dem durchschnittlich 12 kg N ha⁻¹ a⁻¹ atmosphärisch eingetragen werden, wird die Ausgasung von CO_2 , N_2O , NO_x und N_2 automatisch bzw. halbautomatisch und manuell gemessen.

Der Einfluss der Bodenerwärmung wird im Rahmen eines **FWF-Projektes** seit 2004 bearbeitet,

der Abschluss ist für 2010 vorgesehen. Hierbei wird der Boden kontinuierlich in 5 cm und 15 cm Tiefe um 4 °C gegenüber der Außenluft erwärmt und die CO_2 -Ausgasung kontinuierlich gemessen.

Durch die Erwärmung wurde der C-Abbau und somit die gebildete CO_2 -Menge - bezogen auf das gesamte Jahr - um 40 % gesteigert; dies entspricht einer Ausgasung von ca. 4 Tonnen $\text{CO}_2\text{-C}$ ha⁻¹ a⁻¹ bzw. einem Plus von 2,8 Tonnen $\text{CO}_2\text{-C}$ ha⁻¹ a⁻¹. Langfristig wird unter diesen Bedingungen der Boden zu einer C-Quelle.

Parallel dazu werden im Rahmen der EU-Projekte

„**NOFRETETE**“ und „**NITREUROPE**“ seit 2002 die N_2O - und NO_x -Ausgasungen sowie die CH_4 -Aufnahme durch den Boden erfasst; die Untersuchungen werden bis 2011 laufen.

Bodentemperatur, Bodenfeuchte und N-Einträge, gefolgt von Lufttemperatur und Niederschlagsmenge, hatten den größten Einfluss auf die N-Emissionen; rund 3 % des eingetragenen N wurde als N_2O emittiert und nur 0,2 % als NO , hauptsächlich wurde N_2 gebildet (Kitzler et al. 2006). Die Bodenrespiration wurde sowohl während der Vegetationsperiode als auch im Winter - unter der Schnee- bzw. Eiskecke - gemessen. Die Wurzelrespiration (sie betrug im Winter 13-50 % der gesamten Respiration) wurde gesondert erfasst (Schindlbacher et al. 2007).

Eine Temperaturerhöhung von 4 °C bewirkte eine Steigerung der gesamten Bodenrespiration um rund 30 %; die Wurzelrespiration betrug 30-40 % der gesamten Bodenrespiration, auch sie erhöhte sich nach einer Temperaturerhöhung (Schindlbacher et al. 2008). Die Auswaschung von gelöstem Kohlenstoff aus dem Boden beträgt rund 30 kg C/ha⁻¹ a⁻¹.

Gesamtbeurteilung

Die Waldökosysteme in den Alpen sind, wie andere mitteleuropäische Waldstandorte auch, an N-Armut angepasst. Gemessen an den gemessenen N-Einträgen sind sie hypertrophiert. Mit der alleinigen Messung der nassen Absetzdeposition wird der Gesamteintrag jedoch besonders in nebelreichen

bzw. höheren Lagen um rund 25 % unterschätzt. Gefährdet sind einerseits die Talflanken der Alpen, andererseits Hochlagen mit hohen Gesamteinträgen. Die aktuellen Einträge reichen aus, um Veränderungen an Waldökosystemen hervorzurufen, was aber nicht mit Schädigungen gleichzusetzen ist. Eine künftige Zunahme der N-Einträge wird bei besonders unter dem Szenario einer zunehmenden Temperatur durch die Erhöhung der mikrobiellen Tätigkeit (Nitrifikation) im Boden zu einem deutlich erhöhten Nitrataustrag und zu einer verstärkten Ausgasung des Treibhausgases Lachgas führen. Derzeit gibt es jedoch noch keine konkreten Anzeichen für eine akute Gefährdung des Trinkwassers durch Kontamination mit Nitrat im Einzugsbereich des Untersuchungsgebietes Achenkirch.

Trotz der überhöhten Stickstoffeinträge zeigen die Untersuchungsgebiete, gemäß den Ergebnissen des Österreichischen Bioindikatornetzes, eine schlechte Ernährung mit Stickstoff. Diese scheinbare Diskrepanz kann durch die schlechte Aufnahmefähigkeit der Fichten erklärt werden.

3.2.3. Ozon

Ozon ist ein extrem starkes Oxidationsmittel und wirkt hochtoxisch auf Pflanzen. Es bildet nach dem Eintritt durch die Stomata schnell Radikale, die Membranen und Enzyme schädigen und somit die Photosynthese sowie andere wichtige Stoffwechselvorgänge stören.

Ozon ist jener Luftschadstoff, der gerade in Reinluftgebieten und in höheren Lagen in überhöhten Konzentrationen auftritt.

Die Ozonkonzentrationen steigen seit dem Beginn der Industrialisierung auf der nördlichen Halbkugel und auch in Europa deutlich an und nehmen bis zur Waldgrenze zu. Wirkungsbezogene Grenzwerte werden in österreichischen Waldgebieten großflächig überschritten. Die tages- und jahreszeitlichen Verläufe der Ozonkonzentrationen zeigen, dass hohe Konzentrationen häufig mit hohen physiologischen Aktivitäten zusammenfallen.

Ozonkonzentrationen

Die Auswertung von österreichischen Ozonmessdaten hat gezeigt, dass wirkungsbezogene Grenzwerte (UN-ECE 1995, AOT40 = 10 ppm.h; Zielwert ab 2010: 18 $\mu\text{g m}^{-3}\text{h}$, Mai bis Juli, 8.00 bis 20.00) in Waldgebieten fast flächendeckend überschritten werden. Die Jahresmittelwerte nehmen von durchschnittlich 20 ppb bis zur Waldgrenze auf über 50 ppb zu; die Bandbreite innerhalb einer Höhen-

stufe beträgt an österreichischen Waldstationen rund 25 ppb. Die jährliche Zunahme ist in Österreich rund 0,2 ppb und in Deutschland sogar das Doppelte.

AOT40 = Summe der Überschreitungen der Einstundenmittel von 40 ppb in einem bestimmten Zeitraum und für bestimmte Tageslichtzeiten (z. B. 8.00 – 20.00 MEZ). Der provisorische Grenzwert ist 10 ppm.h (April – Oktober; UN-ECE 1994), der EU-Zielwert 9 ppb.h (Mai - Juli).

Die Ozonmessdaten aus dem **Zillertal**, Inntal und Loisachtal (Bayern) aus den Jahren 1987 und 1988 haben gezeigt, dass in den Frühjahrs- und Sommermonaten in 1000 m Seehöhe höhere Ozonkonzentrationen herrschten als im Talbereich darunter und in der „unteren Troposphäre“ darüber („Ozonbauch“; Abbildung 3-10). In diesem Höhenbereich reichen die NO_x -Konzentrationen aus, um Ozon photochemisch zu bilden und dadurch den natürlichen Pegel anzuheben (Puxbaum et al. 1989).

Im Zuge der Untersuchung der lokalen Ozonbildung im Achenental wurde wochentags eine höhere Ozonproduktion aufgrund der stärkeren lokalen NO_x -Emissionen festgestellt; überdies wurde der großräumige Austausch der Luftmassen zwischen dem Inntal und dem Alpenvorland dargestellt, mit dessen Hilfe Schadstoffan- und -abtransporte erklärt werden konnten (Kaiser 1995).

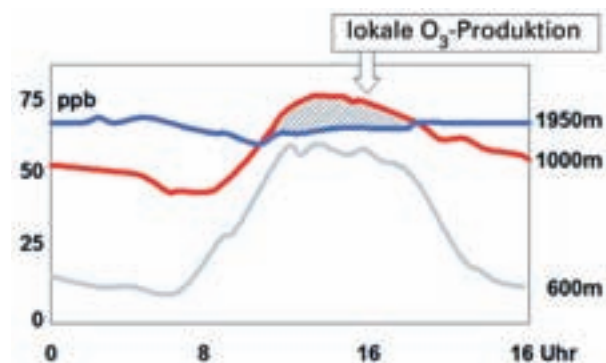


Abbildung 3-10:
Verlauf der mittleren Ozonkonzentrationen im August 1987 am Höhenprofil Zillertal.

Quelle: Puxbaum et al. 1989

Föhn

Im Herbst 1987 traten im Raum Zillertal - Inntal - Loisachtal auffallend hohe Ozonkonzentrationen auf. Dabei fiel auf, dass diese mit Föhnereignissen (Fallwind aus den südlichen Alpen mit hohen Windgeschwindigkeiten und niedriger Luftfeuchte)

gekoppelt waren. Gleichzeitig sank die NO_x -Konzentration, weil die Talatmosphäre „ausgespült“ wurde. Eine Klassifizierung der Messtage in Föhn-, Schönwetter- und sonstige Tage zeigte für diesen Untersuchungsraum, dass an Tagen mit Föhn die höchsten Ozonkonzentrationen herrschten. Dieses Phänomen konnte mit der Einmischung ozonreicherer Luft aus der „unteren Troposphäre“ erklärt werden (Smidt 1989).

Die vertikale Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluss auf die Immissionskonzentrationen untersuchte Kaiser (1994) im **Zillertal**. Ein starker Einfluss der großräumigen Wetterlage war im Tal kaum erkennbar. Anhand der Hangwindssysteme und der Temperaturschichtung konnten die Ozon- und NO_x -Tagesgänge erklärt werden, die demnach nicht nur photochemisch gesteuert werden. Deutlich unterschiedliche Voraussetzungen für die Bildung von Ozon sind im **Achental** gegeben (Kaiser 1996).

Ozoneinträge

Modellierungen der Technischen Universität Wien zeigten, dass nicht nur die Konzentrationen, sondern auch die Einträge von Ozon mit der Seehöhe zunehmen: Sie betrugen 1989/1990 im Zillertal am Talboden (600 m) $32 \text{ kg O}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, an der Mittelstation (1000 m) $50 \text{ kg O}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und an der Bergstation (1560 m) $140 \text{ kg O}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Gregori und Puxbaum 1992b).

Modellierung des AOT40 und des Ozonrisikos für österreichische Fichtenwälder

Für die Waldflächen wurden in einem Raster von $1 \times 1 \text{ km}$ in einem ersten Ansatz AOT30, AOT40 und AOT60 flächendeckend für alle Baumarten sowie der AOT40 für Fichten, Tanne, Kiefern Lärchen und Buchen, modelliert. Grundlage bildeten neben den Ozonwerten die Daten der Österreichischen Waldinventur. Es ergab sich für nahezu die gesamte mit Fichten bestockte Fläche eine Überschreitung des Grenzwertes der UN-ECE (1994) von 10 ppm.h . In erster Linie scheinen Buche und Kiefer gefährdet zu sein (Smidt und Loibl 1996, Loibl und Smidt 1996).

Da weder die Zuwachssituation der österreichischen Fichtenwälder noch ihr Gesundheitszustand auf derart hohe Ozonbelastungen, die man aufgrund der Karte vermuten müsste, schließen ließen, wurde der grundlegende AOT40-Ansatz der UN-ECE (1994) weiter entwickelt (Loibl et al. 2004).

In einem **ersten Schritt** wurde das AOT40-Bewertungskriterium unter der Annahme der Adaptation der Fichte an vorindustrielle Ozonlevels modifiziert. Im **zweiten Schritt** wurden jene Faktoren, die den stomatären Widerstand und damit die Ozonaufnahme beeinflussen (Lichtintensität und Wasserdampfdruckdefizit), berücksichtigt. Im **dritten Schritt** wurden die Ergebnisse aus den ersten beiden Schritten mit der Hemerobie Karte nach Grabherr et al. (1998) kombiniert (Hemerobie ist das Maß für die Naturnähe eines Bestandes). Für die naturnahen Waldbestände (Klassen 6-9) wurde postuliert, dass sich diese an die vorindustriellen Ozonlevels adaptiert haben. Deshalb wurden die Resultate des ersten Schritts mit der Fläche der naturnahen Wälder verschnitten, jene des zweiten Schritts mit jener für veränderte Wälder (Klassen 1-5), für welche die Ozonaufnahme das entscheidende Kriterium für eine Schädigung ist (Bolhar-Nordenkamp et al. 2004, Loibl et al. 2005); die Ergebnisse wurden als Karte dargestellt (Abbildung 3-11).

Die Modellierungen ergaben, dass 61 % der mit Fichten bestockten Flächen durch Ozon gefährdet sind, wobei besonders die nordöstlichen und östlichen Regionen der Alpen und nördlich der Donau ein relativ hohes Ozonrisiko aufweisen. Dies sind zum Teil Gebiete, in denen die Fichte bereits aufgrund der Niederschlags- und Temperaturverhältnisse keine optimalen Standortbedingungen vorfindet (Leitgeb und Englisch, 2006; Abbildung 3-12).

Bemerkenswert war, dass das größte Ozonrisiko für Fichtenwälder in Seehöhen zwischen 400 m und 1000 m besteht und nicht an der Waldgrenze, wo die höchsten Konzentrationen herrschen. Die geringere Ozonempfindlichkeit der Fichten in alpinen Hochlagen ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen: Einerseits erfolgte in höheren Lagen eine Adaption durch Selektion und Präkonditionierung, der zufolge z. B. eine erhöhte Entgiftungskapazität auftritt (Österreichische Akademie der Wissenschaften 1989, Matyssek et al. 1997, Smidt 1989, Bolhar-Nordenkamp et al. 1999). Andererseits ist die jährliche Ozonaufnahme aufgrund der verkürzten Vegetationsperiode gegenüber tieferen Lagen verringert (Wieser 1997).

Sensitivitätsstudie an Fichten

Im Zuge einer Sensitivitätsstudie wurden baumphysiologische Daten, die an Altfichten unterschiedlich ozonbelasteter Fichtenstandorte erhoben wurden, für eine Modellierung herangezogen.

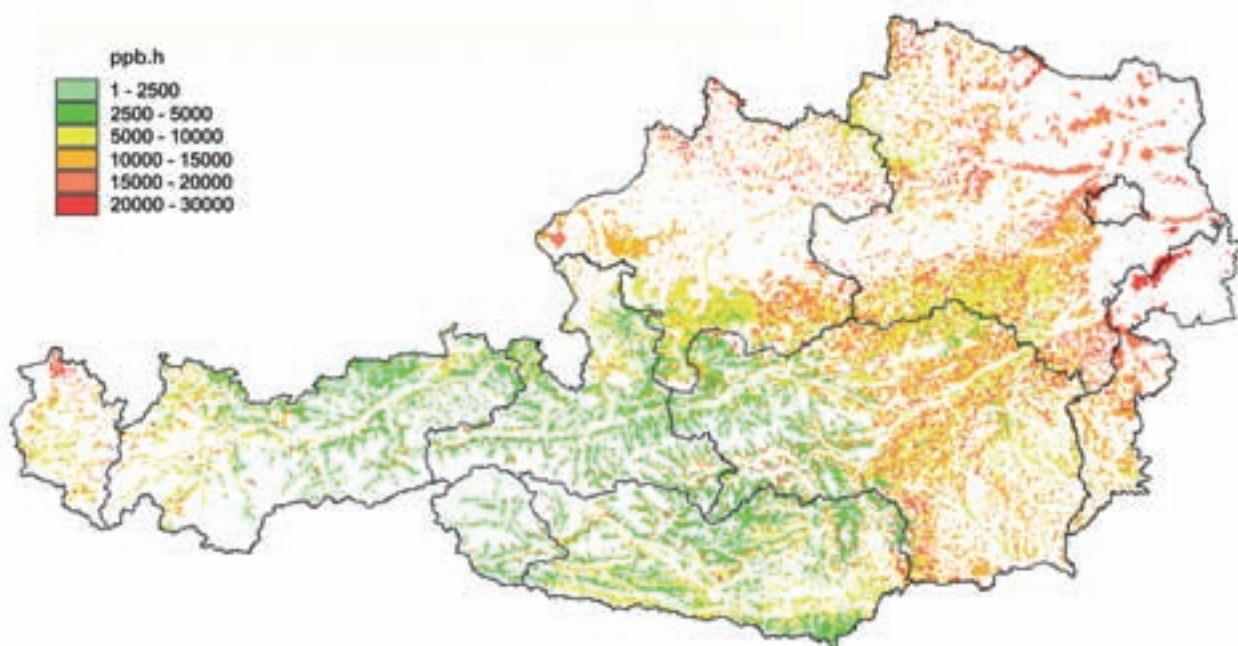


Abbildung 3-11:

Ozondosen in Waldgebieten Österreichs unter Berücksichtigung der Höhengradienten für natürliche Fichtenwälder (Hemerobieklassen 6-9) und der Einflussfaktoren auf die Stomataöffnung für beeinflusste Wälder (Hemerobieklassen 1-5).

Quelle: Herman et al. 2005

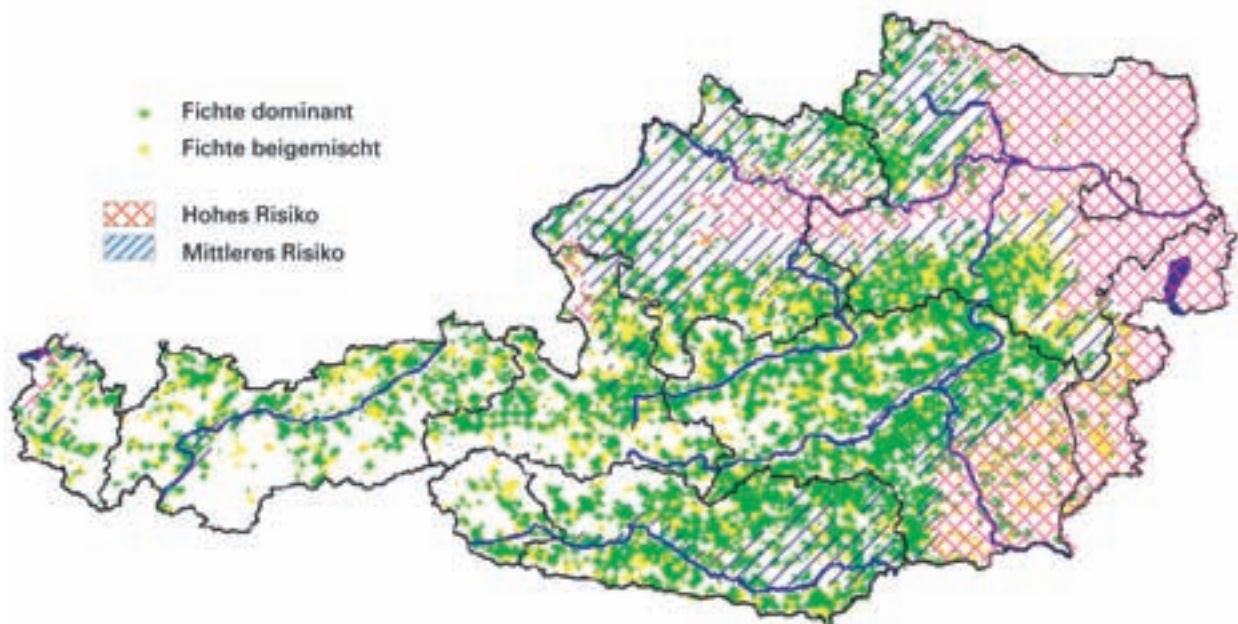


Abbildung 3-12:

Fichtenwaldgebiete Österreichs, die bei einem Klimawandel gefährdet sind.

Quelle: Leitgeb und Englisch (2006)

Ozon bewirkt eine Störung der CO_2 -Fixierung, welche der Ausgangspunkt für die Bildung von Zuckern und Stärke in der Pflanze ist. Durch Ozon werden an den verschiedenen Stellen der pflanzlichen Zelle aggressiver Radikale (reactive oxygen species, ROS) gebildet, welche durch das antioxidative System entgiftet werden können. Werden die

Entgiftungsmechanismen überlastet, erzeugen die Radikale Zellschäden, die bis zum Zelltod führen können.

In einem Ansatz wurde im sog. BGC-Modell die lichtsaturierte Photosyntheserate als wesentlicher Eingangsparameter zur Abschätzung des Ozoneinflusses auf die Bildung von Biomasse herangezogen.

Dieses komplexe, aus einer Vielzahl von Untermodeilen bestehende Modell wurde an 149 Fichtenflächen getestet und an die unterschiedlichen Klima- und Standortparameter adaptiert. Es ist besonders empfindlich für weitere Einflüsse wie z. B. die Ozonaufnahme bzw. die Änderung derselben mit der Seehöhe.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser für Fichten durchgeführten Sensitivitätsstudie sind (Hasenauer et al. 2008):

- Es konnten ozonsensitive Prozesse und Parameter, welche Eingang in das BCG-Modell finden können, ausgewiesen werden.
- Mit der Seehöhe nimmt die Ozonkonzentration, aber auch die Abwehrfähigkeit der Fichten gegenüber Ozon zu. Die von den Pflanzen aufgenommene Ozondosis zeigt jedoch keinen Zusammenhang mit der Seehöhe.
- Ein Vergleich der Fehler ergab, dass auf Standorten über 800 m Seehöhe keine Ozonwirkung auf Grund möglicher Fehlertrends festgestellt werden konnte. In Seehöhen unter 800 m zeigt sich ein signifikanter Trend der Fehler von unbelasteten gegenüber belasteten Standorten.
- Auf Basis der Fehleranalyse kann mit 95 % Sicherheit festgestellt werden, dass Fichten unterhalb von 800 m Seehöhe bei erhöhter Ozondosis mit Zuwachsverminderungen reagieren. Dabei handelt es sich um einen qualitativen und nicht um einen quantifizierbaren Nachweis des Zuwachsverlustes.

Ozonbegasungen im Freiland

Mehrmonatige Freilandbegasungen an Altfichten und Altlärchen mit Begasungsküvetten (Abbildung 3-13) während der Vegetationsperiode (Wieser und Havranek 1996) zeigten sowohl im Untersuchungsgebiet **Zillertal** als auch am Patscherkofel einen Rückgang des Gaswechsels bei Konzentrationen über 100 ppb; die höchsten Konzentrationen der Außenluft bei Schönwetterbedingungen waren häufig mit einem hohen Wasserdampfdruckdefizit und damit mit hohen stomatären Widerständen verknüpft. Die Untersuchungen gaben jedoch keinen Hinweis auf eine hohe Empfindlichkeit der Fichte und Lärche, da sichtbare Symptome nicht auftraten; die stomatäre Leitfähigkeit von Lärchen wurden auch durch doppelt so hohe Konzentrationen wie die in der Umgebungsluft nicht negativ beeinflusst; Die Ergebnisse wurden durch weitere Messreihen am Patscherkofel untermauert (Wieser 1997).



Abbildung 3-13:
Küvetten zur Begasung von Fichtenästen im Freiland
(Foto: Plattner).

Analyse der Komponenten des antioxidativen Systems in Fichtennadeln

Im Rahmen der stressphysiologischen Untersuchungen spielt die Erfassung der Komponenten des antioxidativen Systems eine große Rolle. Mit Ascorbinsäure, Glutathion, Glutathionreduktase und photosynthetischen Pigmenten wurden am Höhenprofil **Zillertal** die wichtigsten Komponenten analysiert (Bermadinger-Stabentheiner 1989). Starke Abweichungen von „Normalgehalten“ aus weitgehend unbelasteten Gebieten wurden nicht gefunden. Thiole, Ascorbinsäure und Pigmente zeigten im Zillertal einen ausgeprägten Jahresgang. Die Gehalte der in drei Seehöhen gewonnenen Fichtennadelproben wurden dahingehend interpretiert, dass im Talboden saure Luftverunreinigungen und in Seehöhen zwischen 1000 m und 1560 m oxidative und natürliche Stressoren vorherrschten (Bermadinger 1989). Im Talbereich war ein Einfluss saurer Komponenten an den geringen Ascorbat- und erhöhten Thiolgehalten erkennbar, in größeren Seehöhen ein Einfluss von Photooxidantien (hohe

Xanthophyll/Carotin-Quotienten, geringe Pigmentgehalte, maximale Ascorbinsäuregehalte).

Im **Achental** wurde an vier Standorten (920 m - 1686 m, 1991 und 1992) die Gehalte an Ascorbinsäure, löslichen Thiolen, Carotinoiden sowie die Aktivitäten der Glutathionreduktase und der Peroxidasen ermittelt; die Chlorophyllgehalte wurden als genereller Indikator für die Gesundheit von Fichten herangezogen. Eine Abhängigkeit der Gehalte bzw. der Aktivitäten vom Nadelalter und von der Seehöhe wurde hier bestätigt: Hohe Werte von Komponenten des antioxidativen Systems in größeren Seehöhen waren auf die hohe Belastung durch Oxidantien zurückzuführen. Sie waren für eine Entgiftung ausreichend, zumal die Ausstattung mit Chlorophyll dort relativ gut war. In mittleren Seehöhen waren die Thiolgehalte am niedrigsten, was durch ein relativ niedriges Stressniveau im Vergleich zu niedrigeren und höheren Seehöhen erklärt wurde. Der Quotient aus α - und β -Carotin und die Chlorophyllgehalte nahmen mit zunehmender Seehöhe ab, die Peroxidasenaktivität und Ascorbat hingegen zu, was als weiterer Hinweis auf oxidativen Stress - auch durch natürliche Faktoren - gewertet wurde (Stabentheiner und Müller 1995; Abbildung 3-14).

Die oben genannten Nadelinhaltsstoffe wurden auch herangezogen, um mit Hilfe von Modellen unterschiedlichen Immissionsmustern ausgesetzte Gebiete (Loisachtal, Achental, Glein/Stmk. und Schöneben/OÖ.) hinsichtlich ihrer Stressbelastung voneinander zu unterscheiden und die jeweils dominierenden Stresseinflüsse herauszufinden. Mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse konnte das komplexe Muster der biochemischen Variablen (hier sind das vorwiegend die Konzentrationen der gemessenen Parameter) auf jene reduziert werden, die wesentlich zur Diskriminierung beitragen. In den resultierenden Hauptkomponenten waren physiologisch sinnvolle Kombinationen der Originalparameter, z. B. in einer Hauptkomponente Pigmentkonzentrationen oder wasserlösliche Antioxidantien. Für jeden Einzelbaum erhält man Scores in den jeweiligen Hauptkomponenten, aus denen man unter Umständen Rückschlüsse auf den Stresszustand ziehen kann. Die Scores sind abgeleitete Größen, die man wie Werte einer neuen Variablen behandeln kann. In einer anschließenden Clusteranalyse konnten Fichten von verschiedenen Standorten aufgrund ihrer Scores, in den Hauptkomponenten in Cluster mit ähnlichen physiologischen Reaktionen zusammengefasst werden (Tausz et al. 1998).

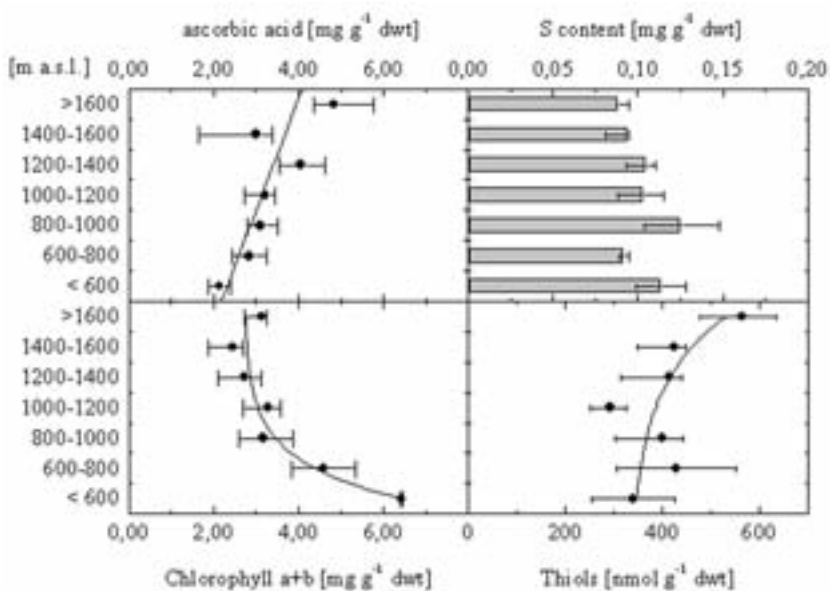


Abbildung 3-14:

Seehöhenabhängigkeit der Gehalte an Ascorbinsäure, Schwefel, Chlorophyll und Thiolen am Höhenprofil Achenkirch.

Quelle: Smidt, Herman, Tausz et al. 2003.

Ascorbic acid: Ascorbinsäure

dwt.: Trockengewicht

S content: Schwefelgehalt

thiols: lösliche Thiole

Auswirkungen von Klima und Schädlingsdruck auf die Vitalität von Lärchen an verschiedenen Hochlagenstandorten

Europäische Lärche, deren Anteil mit der Seehöhe zunimmt, ist im Bereich der Waldgrenze hohen Ozonkonzentrationen ausgesetzt. Mit Hilfe der nadelphysiologischen Parameter Chlorophyllfluoreszenz, Photosynthesepigmente, α -Tocopherol, Ascorbat, Glutathion wurde in einem Transekt Achental/T. - Haggen/T. - Patscherkofel/T. - Sauerfeld/Sbg. - Bodental/Ktn. auf die Stressbelastung unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen der Jahre 2003 und 2004 geschlossen und dabei phytopathologische Untersuchungen einbezogen. Gravierende Belastungen waren auch unter der aktuellen Belastung

durch Ozon, Strahlung und Schädlinge nicht festzustellen (Egger 2005).

Gesamtbeurteilung

Ozon ist heute in Österreich - und nicht nur dort - der für Waldbäume relevanteste Luftschadstoff. Man kann davon ausgehen, dass die Baumvegetation auf lange Sicht mit der raschen Steigerung des Ozonlevels seit dem Beginn der Industrialisierung nicht Schritt halten kann. Gemäß den Modellierungen ist der überwiegende Anteil der Fichtenbestände in den Hochlagen bzw. an der Waldgrenze nicht durch Ozon gefährdet, wo durchgehend die höchsten Konzentrationen herrschen, sondern in mittleren Lagen und vor allem im Osten und Südwesten Österreichs: Das sind dieselben Regionen, in denen die Fichte auch bei einer Klimaerwärmung gefährdet sein wird. Begasungsversuche im Freiland zeigten, dass Altbäume der Fichte (und auch der Lärche) in Lagen zwischen 1000 m und 2000 m wenig empfindlich auf die aktuellen Ozonkonzentrationen reagieren.

3.2.4. Schwermetalle

Schwermetalle schädigen zahlreiche Enzyme und stören so den Stoffwechsel. Pflanzen können Schwermetalle über Blattorgane und / oder über die Wurzeln aufnehmen und in Nadeln, Moosen und Pilzen akkumulieren. Auch essentielle Schwermetalle (Mikronährelemente) können aufgrund ihrer großräumigen Verbreitung Schädigungen an der Vegetation hervorrufen.

Obwohl die Emissionen einiger Schwermetalle in Österreich in den letzten 20 Jahren deutlich gesenkt werden konnten, sind Belastungen der Wälder noch immer nachweisbar.

Blei- und Cadmiumgehalte von Fichtennadeln Zillertal

Die mittleren Bleigehalte der Fichtennadeln nahmen vom Talboden bis zur Waldgrenze (0,1 und 1,4 mg kg⁻¹) zu; eine Zunahme war bei den Cadmiumgehalten weniger deutlich ausgeprägt (0,01 bis 0,07 mg kg⁻¹; 1991 und 1992; Herman 1995). Im **Achental** wiesen die Bleigehalte, die zwischen 0,10 und 0,46 mg kg⁻¹ lagen, keinen Höhentrend auf, wohl aber die Cadmiumgehalte (Anstieg von 0,01 auf 0,09 mg kg⁻¹).

Langzeittrends der Bleigehalte in Fichtennadeln

Anhand von 30jährigen Messreihen von Fichtennadelproben in sechs unterschiedlich immissionsbe-

lasteten Waldgebieten konnte der Rückgang der Blei-Immissionseinwirkung deutlich gemacht werden (Abbildung 3-16). Auf der Basis der Messreihen - die Bleigehalte lagen zwischen <1 und 3,5 mg kg⁻¹ - konnten Beurteilungswerte definiert werden, mit denen Waldgebiete klassifiziert werden können (Herman 1998).

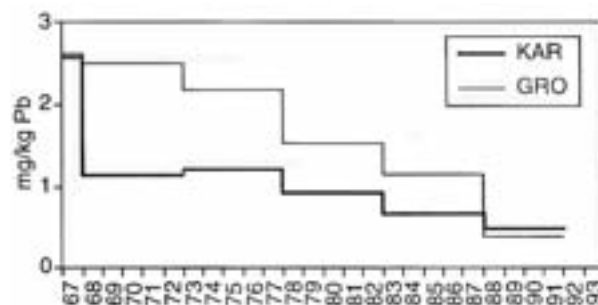


Abbildung 3-15:

5-Jahresmittel der Pb-Gehalte in Fichtennadeln an den Untersuchungsflächen Karlstift/OÖ. (KAR) und Grottenhof/Stmk. (GRO). Quelle: Herman 1998

Schwermetallkonzentrationen in Niederschlägen und Einträge

Eine einjährige Messreihe, in der die nasse, trockene und okkulte Deposition von 10 Schwermetallen in zwei Seehöhen im **Achental** (930 m, 1758 m) gemessen wurde, ergab je nach Element Konzentrationen zwischen 0,03 (Co) und 6,7 (Zn) µg L⁻¹ im Regen, zwischen 0,02 (Co) und 160 ng m⁻³ (Fe) im Aerosol und 0,7 (Co) bis 155 µg L⁻¹ (Zn) im Nebel. Die Einträge betrugen 2 (Co) bis 157 g ha⁻¹ a⁻¹ (Zn). Berücksichtigt man die höheren Einträge an Bestandesrändern, dann wird der Cd-Grenzwert der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung (CHLRVO; 7 g ha⁻¹ a⁻¹) sogar knapp überschritten, bei weitem jedoch nicht die Grenzwerte der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen für Pb, Cd, Cu und Zn (Stopper 2001).

Schwermetallgehalte von Waldböden

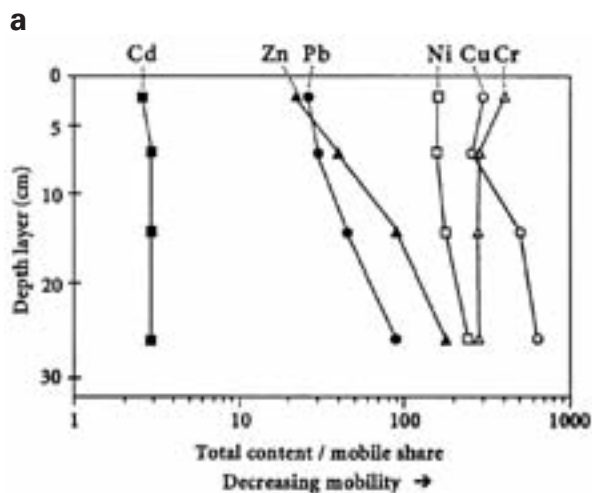
Im Zuge der ersten Beprobung der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur zeigte sich für Blei (und auch für andere Schwermetalle) eine Anreicherung in den oberen Bodenschichten über das gesamte Bundesgebiet bzw. über alle Höhenstufen („Grauschleier“; Mutsch 1992). Für die Länder der ARGE-ALP (Österreich, Bayern, Südtirol, Schweiz) wurde auf der Basis der Waldbodenzustandsinventuren ein Akkumulationsindex definiert (Quotient aus dem Bleigehalt im Ober-

boden und im Mineralboden in 10 cm Tiefe), der Auskunft über anthropogen eingetragenes Pb gibt: Mittelhohe und hohe Werte ($> 2,01 - > 4$) wurden vor allem in den Nordstaulagen gefunden (Herman et al. 2001). Eine akute Gefährdung der im Vergleich zu landwirtschaftlichen Kulturen wenig schwermetallempfindlichen Wälder kann nach

heutigem Wissensstand jedoch ausgeschlossen werden. Abbildung 3-16 zeigt die Quotienten aus Gesamtgehalt und mobilem Anteil (links) sowie Blei-Akkumulationsindices für Waldböden in den Ländern der ARGE-ALP.

Der Quotient aus dem Gesamtgehalt und mobilen Anteil stieg im Achenal bei Zn und Pb markant mit der Bodentiefe an. Der mobile Anteil war somit im Oberboden relativ hoch. Daraus kann man für diese beiden Schwermetalle - anders wie beim Cd, Ni, Cu und Cr - auf einen großräumigen Antransport der Aerosole schließen, da kleinere Partikel einerseits weiter verfrachtet werden und andererseits eine größere Oberfläche und damit auch eine bessere Löslichkeit aufweisen.

Das **Versauerungsrisiko** wurde auf der Basis der Daten der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur anhand der Parameter pH-Wert Basensättigung, Kationenaustauschkapazität und Mn-, Cu- und Zn-Gehalte dargestellt. Dabei wurden die Kalkalpen als wenig gefährdet ausgewiesen (Mutsch und Smidt 1996).



Ratio of total lead content
in soil layer 0-10 cm versus 30-50 cm

- $< 1,40$ no accumulation
- $1,41-2,00$ low accumulation
- $2,01-4,00$ medium accumulation
- $> 4,00$ high accumulation

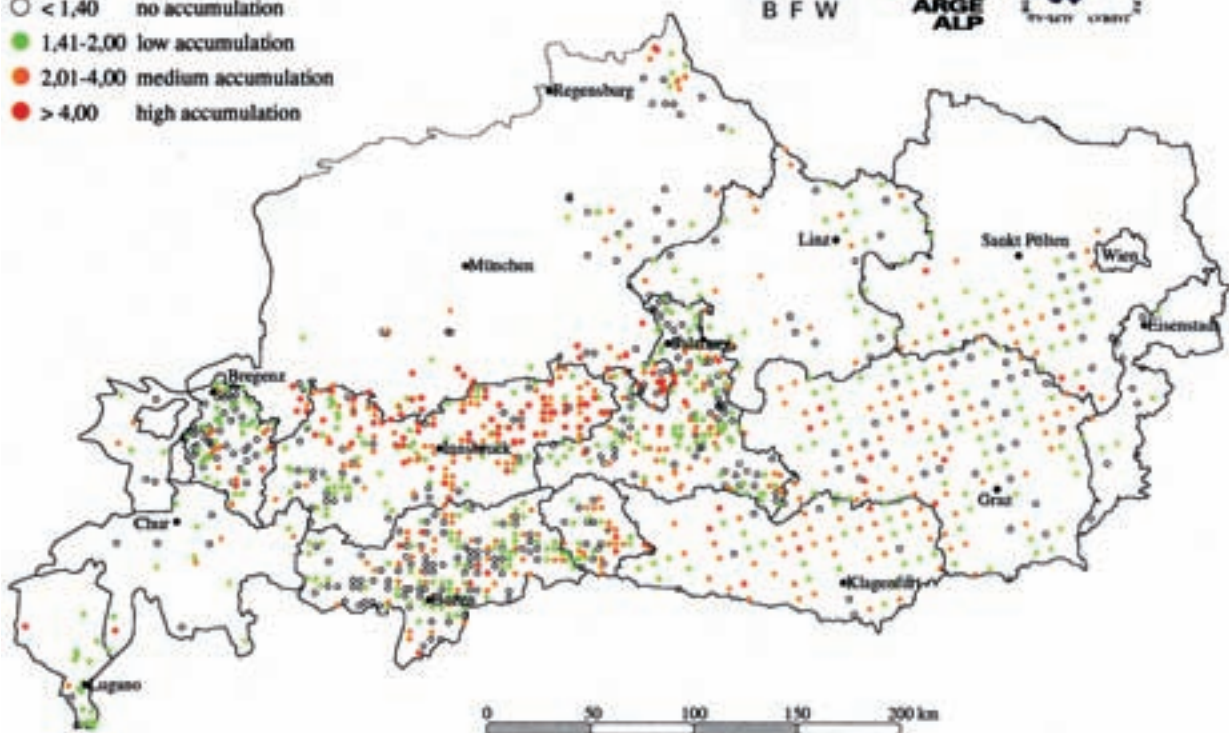


Abbildung 3-16:

(a) Quotienten aus Gesamtgehalt und mobilem Anteil (Quelle: Mutsch 1996) und
(b) Blei-Akkumulationsindices für Waldböden in den Ländern der ARGE-ALP

(Quelle: Herman et al. 2000)

Gehalte von Speisepilzen

Pilze nehmen Schwermetalle aus dem Oberboden auf und akkumulieren sie im Stiel und im Fruchtkörper. Im **Achental** wiesen 33 Basidiomycetenarten lebensmittelhygienisch bedenkliche Gehalte von Pb, Cd, Zn und Cu auf. Relativ hoch waren die Gehalte an Pb (zwischen 0,1 und 232 mg Pb kg⁻¹ Trockengewicht [TG] mit einem Median von 10, Anreicherung 2 bis 8-fach) und Cd (0,1 - 85 mg Cd kg⁻¹, Median 4,8, Anreicherung 10 bis 35-fach); sie waren für alpine Bereiche und im europäischen Vergleich hoch. Die Cu-Gehalte waren bei Gehalten zwischen 1 und 121 mg kg⁻¹ gering, die Anreicherung erreichte aber den Faktor von 55. Die Zn-Gehalte mit Werten zwischen 2 und 385 mg kg⁻¹ TG können als normal bezeichnet werden (Anreicherung: 15 bis 20-fach). Die Grenzwerte für „kommerziell produzierte Pilze“ sind mit 1 mg kg⁻¹ TG für Pb und 0,5 mg kg⁻¹ TG für Cadmium festgesetzt (Peintner und Moser 1996).

Gehalte von Moosen

Bryophyten nehmen Schwermetalle vor allem aus der Luft auf. Die Gehalte waren an einem Gradienten von vier Punkten 920 m -1660 m im **Achental** durchwegs höher als die Mittelwerte von 200 Standorten in Österreich (folgende Werte in Klammern): Pb 27,3 mg kg⁻¹ (22,8), Cd: 0,6 mg kg⁻¹ (0,5), Cu: 5,7 mg kg⁻¹ (6,4), Zn: 44,3 mg kg⁻¹ (43,1; Zechmeister 1995). Abbildung 3-17 zeigt am Beispiel der Elemente Pb, Zn und Fe die Zunahme der Gehalte mit der Seehöhe im Raum Achenkirch.

Gehalte von Mykorrhizen und Feinwurzeln

In Mykorrhizen und Feinwurzeln wurden Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb und Cd analysiert. In dem nordexponierten Höhenprofil im **Achental** (Schulterberg) wurden höhere Gehalte in Mykorrhizen als in Fein-

wurzeln gefunden. Im Bereich der durch Waldweide beeinflussten Bäume waren die Werte wesentlich höher als außerhalb. Ähnlich, aber schwächer war dies bei den Feinwurzeln ausgeprägt. Im Weidebereich zeigte sich ein Einfluss auf morphologische Merkmale oder Vitalität aufgrund mechanischer Verletzungen (Göbl 1996). Das Genus *Cortinarius* scheint für eine Bioindikation von Schwermetallen besonders gut geeignet.

Gehalte von Fichtenborken

Borken können, ebenso wie Blattorgane und Wurzeln, Schwermetalle akkumulieren. Pb- und Cd-Analysen (n=132) im Einflussbereich von Hauptverkehrswegen in Tirol (Achental, Wipptal und Seitentäler, Lechtal) und Salzburg (Gaisberg) zeigten die Eignung dieser Methode zur Beschreibung des Einflussbereiches. Die Pb-Gehalte im Raum Achenkirch lagen zwischen 2,9 und 15,4 mg kg⁻¹, die Cadmiumgehalte zwischen 0,36 - 1,55 mg kg⁻¹. Talnahe bzw. verkehrsnahe Prohebäume wiesen deutlich höhere Gehalte auf, die absolut höchsten Werte wurden im Wipptal mit 153 mg Pb kg⁻¹ bzw. 4,98 mg Cd kg⁻¹ festgestellt (Herman 1991).

Gesamtbeurteilung

Schwermetalle lassen sich in der Luft, in Niederschlägen, im Boden und in Pflanzen nachweisen. Die hohen Luftdurchsätze besonders in Berglagen bzw. in Nebellagen haben zur Folge, dass auch in Reinluftgebieten relativ hohe Quantitäten eingetragen und akkumuliert werden. Während es für eine akute Gefährdung von Waldbäumen durch Schwermetalle keine Anzeichen gibt (Ausnahme: „Hot Spots“ wie z. B. Brixlegg/T.), ist die Akkumulation in Speisepilzen bzw. in Moosen im Zusammenhang mit einer Anreicherung in der Nahrungskette als bedenklich anzusehen.

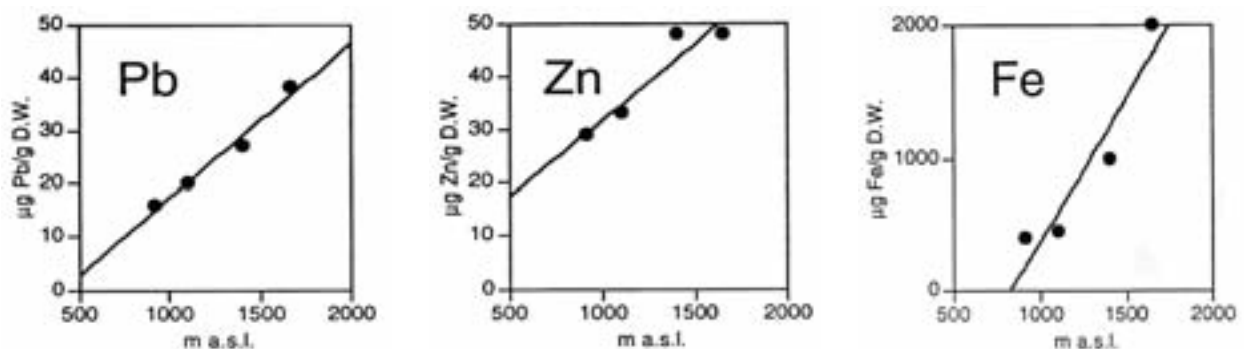


Abbildung 3-17:

Seehöhenabhängige Pb-, Zn- und Fe-Gehalte in Moosen (µg/g Trockensubstanz) aus dem Untersuchungsgebiet Achenkirch (Quelle: Zechmeister 1995).

3.2.5. Organische Luftschadstoffe

Organische Spurenstoffe haben je nach ihrer Flüchtigkeit und ihrer Reaktivität unterschiedliche Relevanz für Waldökosysteme (Smidt 1992, 1994). Es sind vor allem die indirekten Wirkungen, die die Vegetation negativ beeinflussen können: Einzelne Komponenten sind Vorläufer des troposphärischen Ozons und Mitverursacher des Treibhauseffektes, einige können zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht beitragen.

Flüchtige Kohlenwasserstoffe

Im Rahmen von zwei Messkampagnen 1991 wurden im **Zillertal** flüchtige Kohlenwasserstoffe in drei Seehöhen (600 m, 1000 m und 1560 m) gemessen und die Komponenten anthropogenen Quellen (Hausbrand, KFZ) und biogenen Quellen (Vegetation, Boden) zugeordnet. Beide trugen zu etwa gleichen Teilen zum Gesamtgehalt bei. Die durchschnittlichen Gesamt-C-Konzentrationen (ppbC) nahmen mit der Seehöhe von 262 ppbC auf 80 ppbC markant ab (König und Puxbaum 1992).

Im **Achental** wurden im Rahmen von drei Messkampagnen (Haunold et al. 1996, Rosenberg et al. 1998) 80 Komponenten an drei Stationen (920 m, 1280 m und 1758 m) gemessen und Konzentrationen zwischen 24 - 36 ppbC ermittelt. Die Gehalte nahmen mit zunehmender Seehöhe auf 1,5 bis 10 ppbC ab. Der biogene Anteil betrug während dieser Kampagnen jedoch nur 7 %. Ethen, ein Phyto- und Stresshormon, kam in den höchsten Konzentrationen (bis 15 ppbC) vor und repräsentierte 23 % der Gesamt-C-Konzentration.

In drei weiteren Messkampagnen wurden 2001 und 2002 die Konzentrationen von Ethen und Formaldehyd an zwei Stationen im Achental erfasst. Diese Komponenten waren von besonderem Interesse, weil es für diese wirkungsbezogene Grenzwerte gibt (Österreichische Akademie der Wissenschaften 1996). Während der Sommermessungen erreichten die Ethenkonzentrationen 9 ppb im Tal und 1,9 ppb an der Bergstation; geringere Konzentrationen wurden während der April- bzw. Maikampagnen ermittelt. Die Formaldehydkonzentrationen lagen durchwegs unter 0,3 ppb (Smidt et al. 2005).

Bei diesen Messungen wurde die Höhe der Jahresmittel-Grenzwerte der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (1996) für Ethen (9,4 ppb) und Formaldehyd (16 ppb) nicht erreicht.

Flüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)

CKWs können in der Kutikula um den Faktor 50 bis 500 im Vergleich zu den Umgebungskonzentrationen angereichert werden. Die in Messkampagnen ermittelten Konzentrationen flüchtiger CKWs lagen zwischen 0,2 und 2,0 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Schröder und Plümacher 1998, Plümacher et al. 1994 bzw. Schröder und Belford 1996). Überdies wurde der Zusammenhang zwischen den CKW-Gehalten in Fichtennadeln und der Aktivität der Glutathion-S-Transferase (GST), einem Entgiftungsenzym für CKWs, aufgezeigt. Die Entgiftungskapazität dieses Enzyms hängt von der jeweiligen Komponente ab; Trichlorethen wird z. B. weniger gut entgiftet als andere CKWs. Abbildung 3-18 veranschaulicht die Höhengradienten verschiedener CKWs sowie von Trichloressigsäure, der GST-Aktivitäten und der Proteingehalte.

Organische Säuren und Kohlenstoff

Die Konzentrationen der mittels Denuder (Thermomodifikationsabscheider, mit dem Spurenstoffe an einem Ringspaltsystem abgeschieden, eluiert und analysiert werden können) am Höhenprofil **Zillertal** gemessene Ameisensäure betrugen während zwei 3-tägiger Messkampagnen 3,1 bzw. 4,1 $\mu\text{g m}^{-3}$, jene der Essigsäure 0,6 bzw. 4,6 $\mu\text{g m}^{-3}$. 6-Stundenmittel erreichten Werte von 6 $\mu\text{g m}^{-3}$. Die höchsten Werte wurden am Talboden gefunden (Gregori und Puxbaum 1992).

Im Rahmen von vier weiteren Messreihen im **Achental** wurde in zwei Seehöhen (920 m, 1758 m) der Gesamt-C (TC), elementarer Kohlenstoff bzw. Ruß („black carbon“; BC) und Dicarboxylsäuren im Rahmen von vier Kampagnen (2000 - 2002) im Aerosol, im Regen und im Nebel gemessen: Oxalsäure erreichte Konzentrationen von 97 ng m^{-3} im Aerosol, 44 ng ml^{-1} im Regen und 834 ng ml^{-1} im Nebelwasser, gefolgt von Malonsäure, Bernsteinsäure, Glutarsäure, Adipinsäure und Suberinsäure, welche zusammen mehr als 90 % der Dicarbonsäuren repräsentierten. Die Depositionsraten von Kohlenstoff an der Talstation (920 m) betrug 30,49 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ und 38,27 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ an der Bergstation (1786 m), sie war somit rund 3,7 mal höher als jene von S und 1,5 mal höher als die von N. Organische Säuren waren zu etwa 1,5 % in der Kohlenstofffraktion - v. a. in der nassen Deposition - repräsentiert (Pogodina 2002).

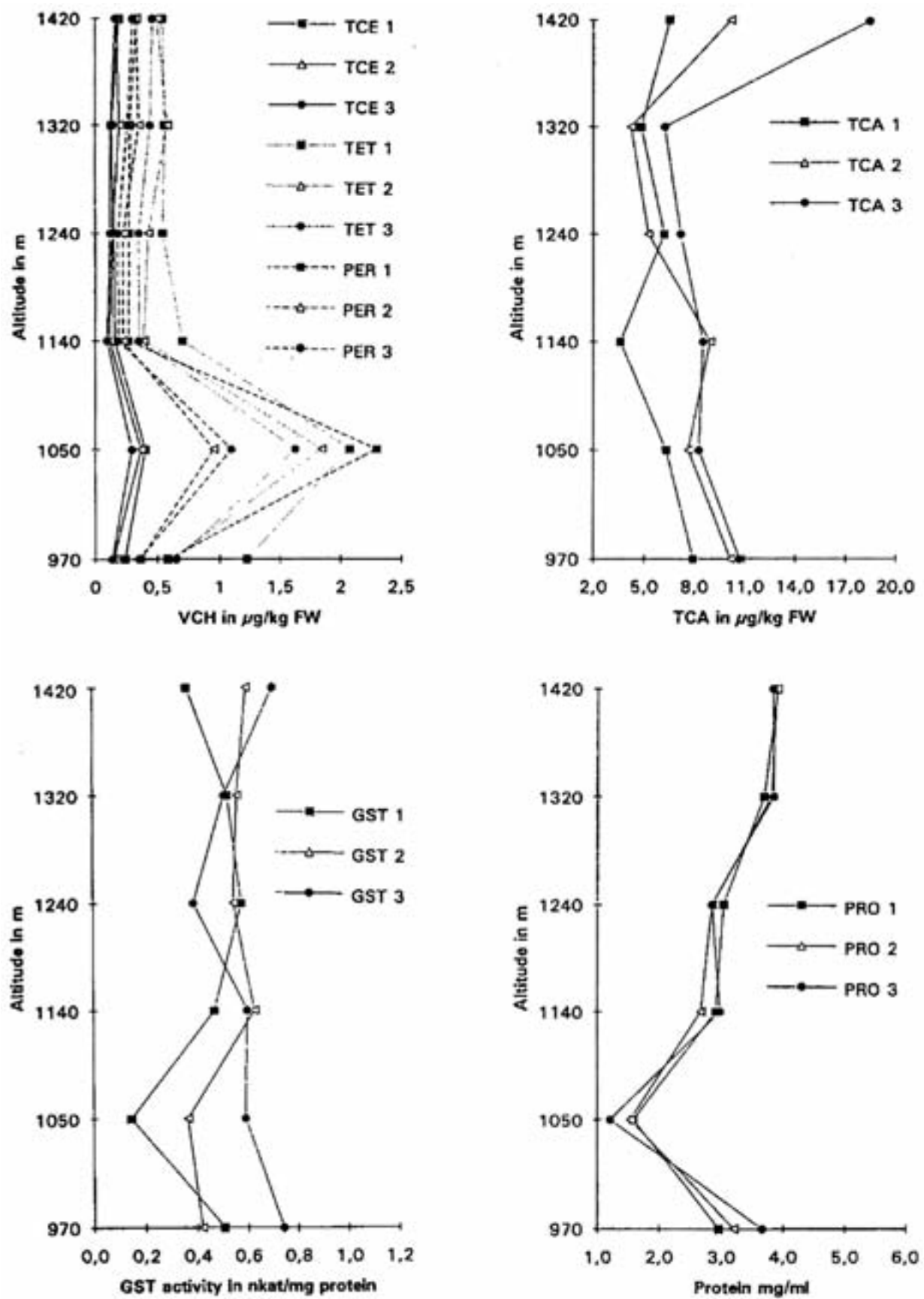


Abbildung 3-18:
Höhengradienten verschiedener CKWs sowie von Trichloressigsäure, der GST-Aktivitäten und der Proteingehalte an einem Höhenprofil in Achenkirch („Christlumpprofil“).
Quelle: Plümacher et al. 1994

Peroxide in Blattorganen

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) wird in Pflanzen nach Stress- und Ozoneinwirkung verstärkt gebildet. In Blättern von Birken, Buchen, Eichen und Fichten wurden H_2O_2 -Konzentrationen bis 35 nmol g^{-1} gefunden. Die Konzentrationen waren von den Ozondosen, die auf diese Probestämme vom Schutzhain (Achenkirch) eingewirkt haben, unabhängig. In Schneeproben (Sonnblick) wurden Gehalte bis $155 \text{ ppb H}_2\text{O}_2$ festgestellt, wobei die Werte im Sommer am höchsten waren (Moser und Puxbaum 1995).

Persistente (Chlor-)Kohlenwasserstoffe (POPs) in Fichtennadeln und im Humus

Eine Reihe persistenter und schwer flüchtiger organischer Verbindungen (Dibenzodioxine / -furane, PCDD/F; Hexachlorcyclohexan, HCH; Pentachlorphenol, PCB, polybromierte Biphenyle, PBB; Hexachlorbenzol, HCB; DDT-Metaboliten, Pentachlorphenol, PCP; und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, PAH) konnte in Fichtennadeln und in der Humusaufgabe in drei Seehöhen des Achentales (840 m, 1145 m und 1650 m) nachgewiesen werden. Bemerkenswert war, dass die maximalen Gehalte fast durchgehend an der höchstgelegenen Probenahmestelle gefunden wurden. Die Konzentrationsniveaus entsprachen anderen österreichischen Hintergrundgebieten und betrugen je nach Komponente $< 1,0$ bis 77 ng kg^{-1} (in emittentennahen Gebieten lagen die Konzentrationen um mehr als eine Größenordnung darüber). Die Untersuchungen belegen die großräumige Verbreitung dieser wenig reaktionsfreudigen und dennoch hoch humantoxischen Komponenten (Weiss et al. 1996, 1998). Konkrete Angaben über die pflanzentoxikologische Relevanz der vorgefundenen Konzentrationen fehlen jedoch in der Literatur.

Pestizide im Regenwasser

Trichloressigsäure, früher als Forstherbizid eingesetzt und mittlerweile verboten, wurde noch Anfang der 1990er Jahre ausgebracht. Im Regenproben aus Achenkirch 1991-1993 wurden Konzentrationen bis $0,42 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ gefunden. Die Konzentrationen der Pestizide Atrazin, Alachlor und γ -HCH erreichten Werte bis $0,05 / 0,25 / 0,64 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. Die umwelttoxikologische Relevanz atmosphärisch eingetragener, teilweise bereits aus dem Verkehr gezogene Pestizide ist nicht bekannt, scheint aber unerheblich zu sein.

Gesamtbeurteilung

Die Untersuchungen atmosphärischer Einträge von organischen Spurenstoffen natürlichen und anthropogenen Ursprungs gaben Aufschluss über die Levels zahlreicher VOCs in der Luft von zwei „Reinluftgebieten“, über Konzentrationsbereiche persistenter Komponenten in Fichtennadeln und im Humus. Interessanterweise werden mittlerweile längst verbotene Komponenten (z. B. das Herbizid Atrazin) noch immer gefunden. Weiters konnten Zusammenhänge zwischen VOC-Konzentrationen in Fichtennadeln und Entgiftungsmechanismen mittels Glutathion-S-Transferase gefunden werden. Direkte toxische Wirkungen können von den gemessenen Konzentrationen nicht abgeleitet werden.

3.3. Nicht immissionsbedingte Belastungsfaktoren

3.3.1. Ernährungssituation der Fichten

Auf der Basis der Grenzwerte für ausreichende, nicht ausreichende und mangelhafte Ernährung von Gussone (1964) zeigte sich am Höhenprofil **Zillertal** vor allem eine mangelhafte Ernährung mit Stickstoff, die sich mit zunehmender Seehöhe weiter verschlechterte (Herman 1992). Die Versorgung mit P, K war ausreichend und ohne Höhentrend, jene mit Ca und Mg ausreichend bis nicht ausreichend mit einer Tendenz zur Verschlechterung mit zunehmender Seehöhe.

Am Höhenprofil **Achenal** war ebenfalls Stickstoffmangel festzustellen, wobei die mittleren Stickstoffgehalte jedoch mit der Seehöhe zunahmen. Die Versorgung mit Phosphor war mangelhaft bzw. nicht ausreichend, die Gehalte nahmen mit zunehmender Seehöhe zu, die Versorgung mit Kalium war meist ausreichend mit einer Verbesserung mit zunehmender Seehöhe, die Ca- und Mg-Versorgung war ausreichend, die Gehalte nahmen aber nach oben ab.

Der Zusammenhang zwischen den Niederschlagsverhältnissen, Temperaturen und dem Ernährungsstatus wurde von Stefan und Gabler (1998) für die **Nordtiroler Kalkalpen** anhand der Klimadaten und der Daten des Österreichischen Bioindikatornetzes untersucht. Der extrem trocken-heiße Sommer 1992 wirkte sich deutlich auf die Nadelmasse und den Ernährungsstatus (N, P, K, Ca, Mg) aus. Klimadaten sind deshalb für eine Interpretation des Ernährungsstatus von (Fichten-) Wäldern wichtig.

3.3.2. Waldweide

Waldweide führt zu einer Bodenverdichtung und zu einem erhöhten Oberflächenabfluss. Die wurzelökologischen Voraussetzungen werden dadurch verschlechtert und die Mykorrhizabildung und das Sämlingsaufkommen gehemmt. Am Schulterberg (1640 m) im **Achental** wurden bodenbiologische, vegetationskundliche und wurzelökologische Untersuchungen auf qualitative und quantitative Merkmale auf beweideten und unbeweideten Flächen angestellt. Im beweideten Bereich war der Mykorrhizabesatz und die Vitalität der Feinwurzeln, ausgedrückt als Masse und -länge, aufgrund der mechanischen Belastung deutlich schlechter. Auch das Sämlingsaufkommen und die Wurzelentwicklung der Sämlinge blieb auf den Weidestandorten deutlich zurück. Weitere Folgen waren z. B. eine Verringerung der Vegetationshöhe, der Humusschicht, des Bodenporenvolumens, eine Erhöhung der Bodenstabilität und des pH-Wertes (Göbl 1995). Wenig Einfluss hatte die Beweidung auf die Artenzahl und bodenbiologische Parameter (mikrobielle Biomasse, metabolischer Quotient, C_{mic}/C_{org} , Basalatmung), wohl aber auf eine Artenverschiebung (Sobotik und Poppelbaum 1995, 1996; Insam et al. 1996).

Ein Einfluss der Beweidung auf die arbuskuläre Mykorrhiza verschiedener Gräser am Schulterberg (Achental) war nur in einzelnen Fällen feststellbar (Schweiger 1996).

3.3.3. Phytopathologische und forstentomologische Besonderheiten

Im **Zillertal** gaben entomologische die Untersuchungen keine Hinweise auf Insekten, welche Saugschäden hervorrufen (Schmutzenhofer 1989).

Die forstpathologischen Erhebungen an Fichten im **Achental** bezogen 27 biotische und abiotische

Faktoren ein, und zwar sichtbare Symptome und pathogene Organismen. An den tiefer gelegenen Probeflächen führten mechanische Schäden durch Sturm und Hagelschlag zu Kronenauflichtungen, an höher gelegenen Standorten standen Arthropodenschäden und die durch sie verursachten punktuellen Nekrosen im Vordergrund (Cech und Tomiczek 1995).

3.3.4. Nutzungskonflikte

Für den Untersuchungsraum **Achental** wurde eine Nutzungspotenzial- und Konfliktanalyse für eine Fläche von 7500 ha angewendet. Aktuelle Nutzungskonflikte entstehen durch die gleichzeitige Nachfrage nach hohen Nutzungsintensitäten unterschiedlicher Landnutzungen. So führen die Waldbeweidung auf Schutzfunktionsflächen sowie die hohe Ausstattung mit touristischer Infrastruktur und die damit einhergehende Beunruhigung des Wildes lokal zu Nutzungskonflikten (Ottitsch 1996).

3.4. Entwicklung und Anwendung anatomischer und baumphysiologischer Methoden zur Stressfrüherkennung und zur Bewertung der Disposition von Fichten

Stress bei Fichten kann festgestellt werden, noch bevor sichtbare Symptome auftreten. Hierzu werden v.a. Fichtennadeln, aber auch die Feinwurzeln herangezogen. Kaum eine Methode spricht spezifisch auf bestimmte Stressoren oder Luftschadstoffe an (bei den Luftschadstoffen sind dies lediglich akkumulierende Komponenten, deren Gehalte schadstoffspezifisch erhöht werden). Eine Kombination mehrerer Methoden lässt aber eine



Abbildung 3-19:
Gesunde (links) und geschädigte Mykorrhizen.



Fotos: Leitgeb

Stressfrüherkennung (= kausalanalytische Frühdiagnose einer Disposition zur Schadensentwicklung) zu. Basis ist die Kenntnis der baumphysiologischen Reaktionen auf verschiedene Stressoren. Die experimentellen Grundlagen hierzu wurden am Höhenprofil Zillertal erarbeitet (Bolhar-Nordenkamp 1989), später weiter entwickelt und angewendet.

Anatomische, histometrische und histochemische Untersuchungen an Fichtennadeln

Die anatomischen und histochemischen Untersuchungen an Fichtennadeln der Probestämme im **Zillertal** auf mikroskopischer Basis konzentrierten sich auf die einzelnen Gewebe: Die Anteile von Chlorenchym, Endodermis, Gefäßbündel und Xylem unterschieden sich als Folge der unterschiedlichen Belastung der Probestämme; auch die Form der Nadelquerschnitte war unterschiedlich. Geschädigte Nadeln zeigten Anhäufungen von Lipidtröpfchen, der höchstgelegene Probestaum wies Tannineinlagerungen in den Schließzellen auf (Draxler und Ruppert 1989). Deutliche Zerstörungen der Epikutikularwachse wurden am talnahen Punkt gefunden, was auf den Einfluss von sauren Luftverunreinigungen schließen lässt (Bermadinger-Stabentheiner 1989).

Trieb- und nadelbiometrische Untersuchungen

Trieb- und nadelbiometrische Untersuchungen am Höhenprofil **Achenkirch** zeigten Abnahmen der Benadelungsprozente mit der Seehöhe, aber die geringste Benadelungsdichte an der talnahen Probestfläche. Auch die Anzahl der Nadeln pro Trieb wurde als Parameter herangezogen. Konkrete Hinweise auf eine Immissionsbelastung des Schuttermasses gab es nicht (Ruppert 1996). Die geringe Aussagekraft der Methoden im Hinblick auf einen Zusammenhang mit Immissionseinwirkungen ist plausibel, weil die Gebiete wenig mit sauren Luftschadstoffen belastet sind. Puchinger et al. (1995) fanden ferner in Achenkirch im Rahmen von makroskopisch-morphologischen Untersuchungen eine Abnahme der Trieblänge und der Anteile an besetzten Nadelkissen und einen Anstieg des 100-Nadelgewichtes mit der Seehöhe (920 m - 1686 m). Nadeldichte, Nadellänge und Nadelkrümmung zeigten keine Seehöhenabhängigkeit. Das Trocken- und Fruktifikationsjahr 1992 wirkte sich markant in einer Verringerung der Spross- und Nadellänge und 100-Nadelgewicht aus. Die unterschiedliche Belastung in verschiedenen Seehöhen zeigte u. a. in den Gerbstoffgehalten (Smidt 1995) und anhand von

elektronenmikroskopischen Aufnahmen der Nadeloberfläche (Bermadinger-Stabentheiner und Müller 1995).

Feinwurzel- und Mykorrhizauntersuchungen

Feinwurzeln und Mykorrhizen erwiesen sich geeignet, die Vitalität von Probestämmen hinsichtlich einer Stressbelastung durch Schadstoffe, eine mechanische Belastung und Trockenheit anhand von Form- und Strukturänderungen zu charakterisieren und zu klassifizieren. Hierfür müssen qualitative und quantitative Merkmale herangezogen werden. Konkrete Hinweise auf Schadstoffeinwirkungen konnten an den Probestämmen im **Zillertal** nicht gefunden werden (Göbl 1989).

Im **Achental** konnten Mykorrhizen anhand spezifischer DNA-Abschnitte, welche für Glycerinaldehyd-3-Phosphat-Dehydrogenase codieren, unter Verwendung der PCR-Methode (Polymerase-Kettenreaktion) qualitativ und quantitativ bestimmt werden (Kubicek 1992 und 1994). Der Einfluss der Waldweide auf Mykorrhizen wurde von Göbl (1995 und 1996; siehe oben) dargestellt.

Lipidmuster von Fichtennadeln

Lipidmuster ändern sich wie alle Pflanzeninhaltsstoffe mit dem Entwicklungszustand und den Umweltbedingungen, also im Laufe eines Jahres und mit der Seehöhe. Die Analyse des Lipidmusters von Fichtennadeln ist z. B. im Hinblick auf Biomembranen von Bedeutung; bestimmte ungesättigte Komponenten stehen im Zusammenhang mit der Frosthärte. Hinweise auf starke Immissionseinwirkungen, wie sie Gehalte von Sterolestern geben, wurden im **Zillertal** nicht gefunden (Puchinger 1989). Die Gesamtgehalte an Lipiden wurden an 9 Punkten des **Achental** (920 m bis 1686 m) zwei Jahre lang gemessen. Die Gehalte an Ölsäure, Sterolen und Triglyzeriden (Abbildung 3-20) nahmen mit der Seehöhe zu, die Linolensäuregehalte hingegen ab.

Generell niedrigere Gehalte wurden im Fruktifikationsjahr 1992 gefunden (Puchinger und Stachelberger 1995). Die unterschiedlichen Werte wurden u. a. mit der Ernährungssituation, aber auch mit der Ozonbelastung und erhöhte Laurinsäuregehalte mit der Einwirkung von sauren Komponenten in Zusammenhang gebracht. Mit Hilfe einer Clusteranalyse der Lipidgehalte konnten unterschiedliche Waldgebiete unterschieden werden; weiters wurden natürliche und anthropogene Stressoren mit der Ernährungssituation in Zusammenhang gebracht.

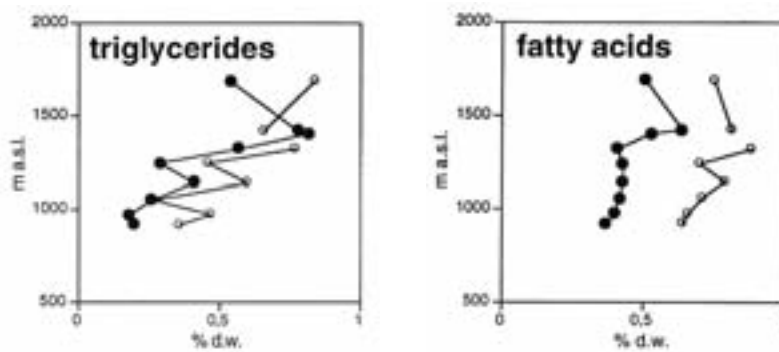


Abbildung 3-20:

(a) Triglyceridgehalte und
(b) Gesamtfettsäuregehalte am Höhenprofil Achenkirch („Christlumprofil“) 1991 (weiße Kreise) und 1992 (schwarze Punkte), bezogen auf Trockensubstanz.

Quelle: Puchinger und Stachelberger 1995

Komponenten des antioxidativen Systems in Fichtennadeln

Siehe Abschnitt 3.2.3.

Chromosomenaberrationen in Feinwurzeln

Eine erhöhte Quote an Chromosomenaberrationen in Feinwurzeln junger und alter Fichten können als Folge von Stresseinwirkungen interpretiert werden. Chromosomen reagieren schnell auf Stress. Mit der Quantifizierung der Chromosomenaberrationen wurde eine praxistaugliche, jedoch nicht stress-spezifische Methode entwickelt (Müller 1995, Müller und Bermadinger-Stabentheiner 1996, Müller et al. 1998).

Photosynthese von Fichtennadeln und Klimastressindices

Im **Zillertal** wurden die saisonalen und stressbedingten Modifikationen der photosynthetischen Kapazität von Fichten (Chlorophyllfluoreszenz und lichtabhängige CO_2 -Fixierung) an den Probebäumen verfolgt (Bolhar-Nordenkamp und Lechner 1989a) und im Rahmen einer Synopse die Eignung der angewandten physiologischen Untersuchungsmethoden zur Stressfrüherkennung bzw. Frühdiagnose einer Disposition zur Schadensentwicklung bei Fichte dargestellt (Bolhar-Nordenkamp und Lechner 1989b).

Auf der Basis der Erhebungen im Zillertal wurde auch ein Licht-, Temperatur- und Photochillingstress definiert und auch für das Achantal angewendet.

Photosynthetische Parameter

An Proben des Achantales und weiterer Untersuchungsgebiete (Wank-Profil, Ötztal, Patscherkofel) wurden natürliche und anthropogene Einflüsse auf

die Photosynthese von Fichten untersucht. Als Parameter dienten die Quotienten aus der variablen Fluoreszenz (F_v) und der maximalen Fluoreszenz (F_m); diese geben Hinweise auf die Leistung des Elektronentransportes in der Photosynthese. Diese Quotienten nahmen mit der Seehöhe ab (Abbildung 3-21; Lütz und Czapalla 1996).

Chlorophyllfluoreszenz und Sauerstoffproduktion sowie eine differenzierte Betrachtung von aufgetrennten Chlorophyll-Pro-

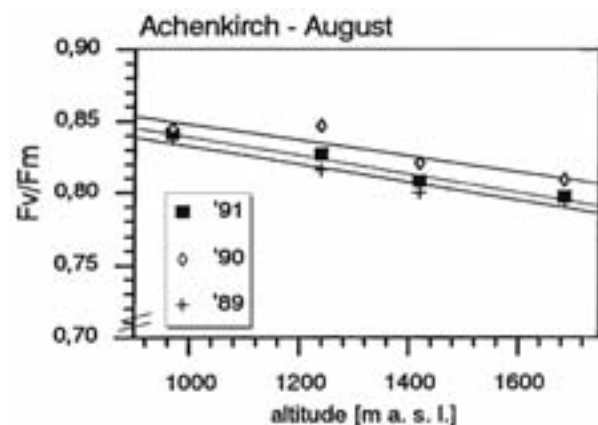


Abbildung 3-21:

Verlauf der F_v/F_m -Quotienten am Höhenprofil Achenkirch („Christlumprofil“). Als Optimum wird ein Wert von 0,85 angenommen. Quelle: Lütz und Dodell 1995

teinkomplexen aus gereinigten Thylakoiden gaben Hinweise auf den Grad der Stressbelastung. Der Vergleich mit anderen Untersuchungen legt den Schluss nahe, dass die Bäume in den Nordtiroler Kalkalpen unter stärkerem Stress leiden als in den Zentralalpen (Lütz et al. 1998).

Expertensystem

Anhand der Messdaten aus dem Forschungsgebiet Achantal wurde ein Entitäten-Relationsmodell (Entität ist ein eindeutig zu bestimmendes Objekt, dem Informationen zugeordnet werden) aufgebaut und ein multikausales Expertensystem entwickelt, das auf einer Mustererkennung (Fähigkeit, in einer Menge von Daten Regelmäßigkeiten, Wiederholungen, Ähnlichkeiten oder Gesetzmäßigkeiten zu erkennen) zur Evaluierung und Verknüpfung von Daten beruht. Mit diesem interaktiven Computerprogramm werden alle erhobenen Parameter

verknüpft. Mit Hilfe des Mustererkennungssystems, das auf Expertenwissen basiert und die Abschätzung und Prognose von Waldschaden erlaubt, es möglich, die für den „physiologischen Status“ aussagekräftigsten Parameter herauszufiltern. Schließlich wurde aus der gesamten Bandbreite der Erhebungen jene Datensätze ausgewiesen, welche im Hinblick auf eine Gesamtrisikoaabschätzung die

größte Aussagekraft besitzen. Es sind dies: Luftqualitätsdaten, meteorologische Daten, Nadelgewicht und Nadellänge, Chlorophyll und Carotinoidgehalte, C- und N-Gehalte und Quotienten, Photosyntheserate, Schwefelgehalt (löslich, unlöslich), Gehalt an reduzierten und oxidierten Sulfhydrylgruppen, Ascorbatgehalt und die Peroxidasenaktivität (Guttenberger und Mayrhofer 1996).

Tabelle 3-2:
Schematische und vereinfachte Darstellung der Seehöhenabhängigkeit verschiedener Untersuchungsparameter in den Untersuchungsgebieten Zillertal und Achantal.

↑: Zunahme mit der Seehöhe ↓: Abnahme mit der Seehöhe -: keine Seehöhenabhängigkeit (↑) bzw. (↓): schwache Zunahme bzw. Abnahme mit der Seehöhe n.b.: nicht bestimmt		
	Zillertal	Achantal
Luftschadstoffe		
NO _x - und SO ₂ -Konzentrationen	↓	↓
Ozonkonzentrationen	↑	↑
Ionengehalte in nassen Niederschlägen	↓	↓
H-Konzentrationen im nassen Niederschlag	↑	↓
Protoneneinträge	↑	(↑) / -
Schwefel- und Stickstoffeinträge	-	↓
Flüchtige organische Komponenten (VOC)	↓	↓
Trichloressigsäure (TCA)	↓	-
Pb in Fichtennadeln	↓	(↑)
Cd in Fichtennadeln	↓	(↑) / -
Pb und Cd in Fichtenborken	↓	↓
Schwermetallgehalte in Moosen	n.b.	↑
Klimastress		
Temperaturstress, Starklichtstress, Andauer der Schneedecke	↑	↑
Andauer der Vegetationsperiode	↓	↓
Physiologische Parameter (Fichtennadeln)		
N-Versorgung	↓	↑
P-Versorgung	-	↑
K-Versorgung	-	↑
Ca-Versorgung	↓	↓
Mg-Versorgung	↓	(↓)
Pigmentgehalte	↓	↓
Gesamtfettsäuregehalt	n.b.	↑
Peroxidasen (POD)	↑	↑
Ascorbat	(↓)	↑
Glutathionreduktase, lösliche Thiole	n.b.	(↑)
Beeinflussung der Flechtengemeinschaften durch saure Gase	↓	↓
Glutathion-S-Transferase-Aktivität	n.b.	-
F _v /F _m	↓	↓
α/β-Carotinoide	↓	(↓)
Thylakoidproteine	(↓)	(↓)
Nadellängen, 100-Nadelgewichte, yellow mottling	n.b.	↑

Natürliche Bandbreiten der physiologischen Parameter zur Stressbeurteilung bei Fichten

Für folgende Komponenten bzw. Parameter konnten für Fichtennadeln Bandbreiten definiert werden (Smidt 1994, Herman und Smidt 1994):

- Photosynthetische Kapazität
- Komponenten des antioxidativen Systems bzw. Detoxifikationskomponenten: Thiole, Ascorbinsäure, Aktivität von Peroxidasen und Glutathionreduktase
- Gesamtchlorophyllgehalt
- Lipoidgehalte: Gesamtfettsäuren, ungesättigte Fettsäuren, Linolsäure, Ölsäure, Sterole, Triglyceride
- Feinwurzeln (cytogenetischer Standortsindex)

Tabelle 3-2 zeigt vereinfacht die Seehöhenabhängigkeit verschiedener Parameter in den Untersuchungsgebieten Zillertal und Achental. Unterschiede ergaben sich vor allem bei den Protoneneinträgen und bei der Stickstoffversorgung.

4. Schlussfolgerungen

Die breit angelegten Untersuchungen lieferten ein umfassendes Bild über die Belastungssituation und erlaubten eine Risikoabschätzung für die Intensivuntersuchungsgebiete und für die Wuchsräume. Dies war möglich durch kontinuierliche Messreihen, durch weitere Datensätze, Bioindikationsmethoden und durch die Anwendung von Modellen.

Differenzierte Beschreibung der Immissionsbelastung

Die Auswertung der Luftmessdaten (SO_2 , NO_x , Ozon; nasse Depositionen) anhand von wirkungsbezogenen **Grenzwerten** (Critical Levels, Critical Loads) bzw. gesetzlichen Grenzwerten, Zielwerten und Zielen ermöglichte eine langfristige und hoch aufgelöste Beschreibung der Immissionssituation alpiner Täler im Laufe eines Jahres, im Laufe der Messperiode und in Abhängigkeit von der Seehöhe. Die Einbeziehung externer Daten diente der Relativierung und der Untermauerung der aufgestellten Thesen. Mit Hilfe von Modellierungen der Ozon-, Stickstoff- und Säureeinträge konnte die Belastungssituation unter Einbeziehung „flächendeckender“ Datensätze auf größere Waldgebiete umgelegt werden.

Aufzeigen spezieller Belastungen in „Reinluftgebieten“

Die Untersuchungsschwerpunkte wurden bewusst außerhalb von klassischen Immissionsgebieten bzw. stark immissionsbelasteten Gebieten gewählt. Sie sind repräsentativer für den österreichischen Wald als unmittelbar immissionsgefährdete Gebiete. In ihnen können weiters Hintergrundbelastungen und Antransporte besser untersucht werden. Zahlreiche Ergebnisse wiesen darauf hin, dass es aufgrund von Ferntransporten bedeutsame Belastungen gibt, etwa durch Ozon, Schwermetalle und persistente organische Verbindungen.

Einsatz, Weiterentwicklung und Etablierung von Bioindikationsmethoden

Eine Reihe von Bioindikationsmethoden konnte neu entwickelt und etabliert werden. Es waren dies sowohl Akkumulationsindikatoren (z. B. Fichtenborke und Fichtennadeln für Schwermetalleinträge, Fichtennadeln für Chlorkohlenwasserstoffe und POPs) als auch Wirkungsindikatoren (z. B. Fichtennadeln zum Nachweis von Ozonstress, Feinwurzeln und Mykorrhizen zum Nachweis von allgemeinem Stress, Moose und Pilze zum Nachweis von Schwermetalleinträgen, Flechten zum Nachweis von Säureeintrag). So war es möglich, die Immissions- und Stressbelastung von Fichten differenzierter zu beschreiben.

Risikoabschätzung für Waldökosysteme

Die ganzheitliche Bewertung der gemessenen Schadstoffkonzentrationen und -einträge sowie der Bioindikationsmethoden, gestützt durch Literaturrecherchen, erlaubte eine umfangreiche Darstellung und Abschätzung der Gefährdung durch Immissionseinwirkungen. In diesem Zusammenhang wurden jene Beurteilungswerte herangezogen, die im Rahmen der Bioindikationsmethoden definiert wurden.

Verbreiterung der Aussagen durch Einbeziehung von externen Monitoringergebnissen

Die Daten des Österreichischen Bioindikatornetzes, die Depositionsergebnisse der Level II-Flächen, der Tiroler Waldzustandsinventur, des Datenverbundes der Luftschadstoffmessungen, der Österreichischen Waldinventur und der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur erlaubten es, die Ergebnisse von den Intensivuntersuchungsflächen auf größere Gebiete zu projizieren. Die erreichte Auflösung der kartenmäßigen Darstellungen machte auch eine

kleinräumige Bewertung der Säure- und eutrophierenden Einträge, etwa für die Seitentäler des Inntales, möglich.

Modellierungen von Stickstoffumsetzungen unter dem Aspekt zukünftig höherer N-Einträge und erhöhter Temperaturen

Die für einen Standort in den Nordtiroler Kalkalpen durchgeführte Modellierung des Stickstoffkreislaufes unter verschiedenen möglichen bzw. absehbaren Szenarien machte deutlich, dass durch eine Klimaerwärmung und die damit im Zusammenhang stehende Ankurbelung der Nitrat- und Lachgasbildung im Boden weitreichende Konsequenzen für die Trinkwasserqualität und die Treibhausgasbildung haben könnten.

Aufzeigen von gesetzlichen Lücken

Anhand der aktuellen Immissionssituation, aus den Erkenntnissen der gegenständlichen Projekte - es wurden mehr als 600 Arbeiten publiziert - und der Literatur wurde aufgezeigt, dass die gesetzlichen Grundlagen in Europa und in Österreich für einen umfassenden Schutz des Waldes nicht ausreichen. Die wissenschaftlichen Arbeiten lieferten weitere Grundlagen zur Verschärfung gesetzlicher Maßnahmen zum Schutz des Waldes. Diese Erkenntnisse konnten auch in die Diskussionen des Österreichischen Walddialogs eingebracht werden.

Grundlage für internationale Kooperation

Durch die gegebene Infrastruktur im Versuchsfeld Achenkirch (Intensivuntersuchungsstandort Mühleggerköpfl) sowie die langjährigen Datensätze liegt für laufende und weitere Untersuchungen eine fundierte Basis für Auswertungen vor. Darüber hinaus bieten sich vielfältige Möglichkeiten der studentischen Ausbildung und der internationalen Kooperation.

Ausblick und offene Fragen

Im Vergleich zu den 70er, 80er und 90er Jahren haben sich die mit Immissionen im Zusammenhang stehenden Forschungserfordernisse stark gewandelt: Bis zum Ende der 1970er Jahre stand die Erforschung der klassischen Immissionsschäden („Rauchschäden“) im Vordergrund. In den 1980er Jahren waren es Forschungen zu „neuartigen“ und durch Immissionen mit bedingter Waldschäden. Hinzu kamen Modellierungen für größere Waldgebiete, wobei Datensätze aus bundesweiten Erhebungen einbezogen wurden. Im aktuellen Jahrhundert rücken die Einflüsse eines (möglichen) Klimawandels mehr und mehr in den Mittelpunkt des Interesses. Bei den direkt wirksamen Immissionen stehen Ozon und Stickstoffeinträge im Vordergrund. Diesen Aspekten wurde im Rahmen der Forschungen im Raum Zillertal/T., Bodental/Ktn. und Achenal/T. Rechnung getragen.

Aktualisierte Modellierungen mit den Hauptbelastungsfaktoren, Zusammenhänge zwischen den Stickstoffeinträgen und der Stickstoffernährung, ein quantitativer Zusammenhang zwischen Ozonbelastung und Zuwachs bei Fichten, eine aktualisierte Definition von kritischen Einträgen von Schwermetallen wären künftige Fragestellungen, auf die es noch keine Antwort gibt. Schließlich müssen noch die Aspekte des Beitrages des Waldes zum Klimawandel und Beeinflussung des Waldes durch den Klimawandel mit den komplexen Wechselwirkungen, im Speziellen die Untersuchung von N- und C-Flüssen (Ausgasung von Treibhausgasen unter wärmeren Bedingungen), berücksichtigt werden.

Danksagung

bei Margarete Breitenbach, Karl Gabler und Christian Lackner für wertvolle Hinweise.

Verfasser: Univ.DoZ. DI Dr. Stefan Smidt
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Waldschutz
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien
E-Mail: stefan.smidt@bfw.gv.at

Johann Pausch
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Rennweg 1
A-6020 Innsbruck
E-Mail: johann.pausch@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. Friedl Herman
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Waldschutz
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien

Ing. Josef Plattner
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Waldschutz
Rennweg 1
A-6020 Innsbruck
E-Mail: johann.pausch@uibk.ac.at

5. BFW-Projekte bis 2007

Jahr	Projekt KOTR	Bezeichnung (alte Projektnummern)
Bis 2001	G3	Ökosystemare Studien im Zillertal / in den Nordtiroler Kalkalpen (F. Herman)
Bis 2001	P/6/1	Luftschadstoffmessungen in Waldgebieten Österreichs (St. Smidt)
Bis 2001	P/6/9	Depositionsmessungen in Waldgebieten Österreichs (St. Smidt)
Bis 2001	P/6/10	Nachweis von Schwermetall-Immissionseinwirkungen (F. Herman)
1996-	1522	National Focal Centre Level II - Depositionsmessungen (St. Smidt)
2002, 2003	2124	Statistische Auswertung von Messergebnissen und Darstellung von Trends der Gefährdung von Waldökosystemen durch Luftschadstoffe (St. Smidt)
2006	2127	Bewertung der Eignung von biochemischen Parametern zur Stressfrüherkennung (M. Breitenbach)
2002, 2003	2129	Bewertung von sauren Schadstoffdepositionen in österreichischen Waldökosystemen (St. Smidt)
2002-2007	2147	Modellierung des Ozonrisikos für Fichtenwälder Österreichs und Weiterentwicklung des Critical Level Konzeptes - Teilprojekt 3 unter Einbeziehung der Hemerobie (2910, 2920, 3910) (F. Herman)
2002-2007	2154	Modellierung des Stickstoffhaushaltes in einem Waldökosystem in den Nordtiroler Kalkalpen und szenariobasierte Risikobewertung unter veränderlichen Umweltbedingungen (M. Lexer, Universität für Bodenkultur; F. Herman)
2002-2006	2160	Risikoabschätzung der synergistischen Wirkung von Ozonbelastungen und Klimastress auf die Schutzfunktion alpiner Lärchenbestände in Österreich (2147, 2910, 2920, 3910) (C. Lütz, Universität Innsbruck; F. Herman)
2002-2005	2161	Atmosphärischer Eintrag von potenziell phytotoxischen organischen Verbindungen im Höhenprofil Achenkirch (2147, 2910, 2920, 3910)
2002	2162	Modellierung des Stickstoffhaushaltes (2147, 2910, 2920, 3910) (F. Herman)
2006 -	2193	Mineralisation von Bodenkohlenstoff in Bergwäldern infolge der Klimaänderung (R. Jandl, F. Herman)
	2723	Nitrogen cycle and its influence on the European greenhouse gas balance / NITREUROPE (S. Zechmeister)
2004	3036	Bewertung Luft und Deposition (St. Smidt)
2002-2005	3720	Datenbank für Stoffflussdaten (St. Smidt)
2002-2005	3910	Langfristiges Monitoring auf Intensivuntersuchungsflächen im Kalkalpin der Nord- und Südalpen (J. Plattner)
	3919	Aerobiologisches Monitoring und Reproduktionsverhalten windblütiger Pflanzen (R. Litschauer)
2002-2005	3920	Nachweis von Schwermetall-Immissionseinwirkungen (F. Herman)
2005ff	7180	Bodenerwärmung Achenkirch (2. Phase; R. Jandl)

6. Projekte mit externer Finanzierung (BM LFWUW, BMWF)

Autoren	Institution	Berichts-jahr	Titel
Albert R., Hübler K.M.	Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie	1988	Mineralstoff- und Ionenhaushalt von Fichten entlang eines Höhenprofils im Zillertal.
Werner R.	Vorarlberger Umweltschutzanstalt	1989	Meteorologie und Ozon am Hangprofil. Endbericht.
Bolhar-Nordenkamp H.R., Götzl M.	Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie	1990	Stressphysiologische Charakterisierung von Fichtenbeständen mit Hilfe der Kennwerte der Chlorophyllfluoreszenz.
Kaiser A.	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik	1990	Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die gemessene Immissionsbelastung im Bereich des Höhenprofils Zillertal.
Gregori M., Puxbaum H.	Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie	1991	Forschungsprojekt Trockene Deposition Zillertal. Teil A: Messergebnisse. Bericht 1/91.
Hofmann P.	Universität Salzburg	1991	Immissionsökologisch orientierte Flechtenkartierung des Talprofils Achental (Tirol) im Sommer 1991.
Puchinger L., Edl M., Petrovic V.	Technische Universität Wien, Institut für Chemische Technologien und Analytik	1992	Bewertung des baumphysiologischen Zustandes einer Auswahl von Fichten im Höhenprofil Achenkirch durch Bestimmung der Lipidzusammensetzung ihrer Nadeln.
Insam H., Rangger A.	Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie	1993	Bodenmikrobiologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes G3, Höhenprofil Achenkirch. Endbericht.
Moser M., Peintner U.	Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie	1993	Mykosoziologische Untersuchungen im Projektgebiet Achenkirch mit besonderer Berücksichtigung von Schadstoffeinträgen.
Müller M.	Universität Graz, Institut für Pflanzenphysiologie	1993	Cytogenetische Bioindikation zur Früherkennung von Vegetationsschäden.
Puchinger L.	Institut für Angewandte Botanik, Technische Mikroskopie und Organische Rohstofflehre, Technische Universität Wien	1993	Anatomische und histochemische Untersuchungen im Raum Achenkirch.
Berger T., Glatzel G.	Universität für Bodenkultur, Institut für Forstökologie	1994	Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldökosystemen der Nordtiroler Kalkalpen.
Kubicek C.P., Gruber F., Haudek S., Kreuzinger N., Podeu R.	Technische Universität Wien, Institut für Biochemische Technologie und Mikrobiologie	1994	Identifizierung und Quantifizierung von Mykorrhizapilzen anhand spezifischer, PCR-amplifizierter DNA-Sequenzen. Abschlussbericht.
Lütz C.	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Oberschleißheim	1994	Standort- und jahreszeitabhängige Änderung im Photosyntheseapparat von Fichtennadeln im Rahmen des Achenkirchprojektes.
Petrovic V., Edl M.	Institut für Angewandte Botanik, Technische Mikroskopie und Organische Rohstofflehre, Technische Universität Wien	1994	Bewertung des baumphysiologischen Zustandes einer Auswahl von Fichten im Höhenprofil Achenkirch durch Bestimmung der Lipidzusammensetzung ihrer Nadeln
Puchinger L., Edl M.	Institut für Angewandte Botanik, Technische Mikroskopie und Organische Rohstofflehre, Technische Universität Wien	1994	Vergleichende morphologische, anatomische sowie histochemische Studien an Fichtennadeln aus dem orthogonalen Doppelprofil Achenkirch.

Autoren	Institution	Berichts- jahr	Titel
Schröder P.	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Ober-schleißheim	1994	Immission, Aufnahme und Entgiftung von Xenobiotika in Fichten am Schwerpunktstandort Achenkirch.
Bermadinger-Stabentheiner E., Müller M.	Universität Graz, Institut für Pflanzenphysiologie	1995	Pflanzenphysiologisch - biochemische, rasterelektronen-mikroskopische und cytogenetische Untersuchungen an den Höhenprofilen Achenkirch.
Gruber F., Haudek S., Kreuzinger N., Podeu R.	Technische Universität Wien, Institut für Biochemische Technologie und Mikrobiologie	1995	Identifizierung und Quantifizierung von Mykorrhizapilzen anhand spezifischer, PCR-amplifizierter DNA-Sequenzen.
Kaiser A..	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien	1995	Analyse der meteorologischen Verhältnisse im Raum Achenkirch und ihr Einfluss auf die gemessene Immissionsbelastung.
Kalina M., Zambo E., Puxbaum H.	Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie	1995	Okkulte Deposition in Achenkirch.
Kalina M., Zambo E., Stopper S., Garmroudi Y., Puxbaum H.	Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie	1995	Okkulte Deposition in Achenkirch. 2. Zwischenbericht.
Lütz C.	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit	1995	Untersuchung der Photosynthese als Vitalitätsfaktor für Buchen im Höhenprofil Achenkirch.
Puxbaum H., Moser M.	Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie	1995	Vorkommen von Peroxiden im Bereich des Höhenprofils Achenkirch
Ruppert W., Novak H., Halbwachs G.	Universität für Bodenkultur, Zentrum für Umwelt und Naturschutz	1995	Anatomische und histochemische Untersuchungen im Raum Achenkirch.
Schröder P.	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit	1995	Immission, Aufnahme und Entgiftung von Xenobiotika in Fichten am Schwerpunktstandort Achenkirch.
Schweiger P.	Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie	1995	Untersuchungen der arbuskulären Mykorrhiza an beweideten und unbeweideten Waldstandorten auf Karbonat.
Sobotik M.	Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein	1995	Veränderung der Bodenvegetation nach Ausschaltung der Waldweide im Projektgebiet Schulterberg unter besonderer Berücksichtigung der Wurzelentwicklung, der Naturverjüngung von Fichte sowie der Wurzelkonkurrenz.
Stabentheiner E., Grill D.	Universität Graz, Institut für Pflanzenphysiologie	1995	Pflanzenphysiologische Untersuchungen im Höhenprofil Achenkirch.
Guttenberger H.	Universität Graz, Institut für Pflanzenphysiologie	1996	Risiko- und Einflussbewertung von Schadfaktoren sowie Zustandsbeurteilung des Waldökosystems Achenkirch anhand von ausgesuchten und repräsentativen abiotischen und biotischen Faktoren- Computermodell und Mustererkennung.
Knoflacher M.	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf	1996	Synthese flächenbezogener Risikofaktoren für das Untersuchungsgebiet Achenkirch und Untersuchung deren Bedeutung für das Kalkalpin am Beispiel der Wuchsgebiete 2.1 und 4.1.
Gerzabek M.	Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf	1998	Stickstoffflüsse an einem Waldstandort am Mühleggerköpfl - Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und Sauerstoffs.
Haunold A., Schubert P., Rosenberg E., Grasserbauer M.	Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie	1997	Auftreten flüchtiger organischer Kohlenwasserstoffe (VOCs) und deren Auswirkung auf die alpine Vegetation.
Puxbaum H.	Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie	1997	Atmosphärischer Eintrag von Schwermetallen durch trockene, nasse und okkulte Deposition im Höhenprofil Achenkirch.

Autoren	Institution	Berichts-jahr	Titel
Knoflacher M., Kopcsa A., Loibl W., Züger J.	Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf	1998	Räumliche Feindifferenzierung von Risikomodellen für Wälder auf kalkalpinen Standorten.
Kubicek C.P., Grillenberger S., Göbl F.	Technische Universität Wien, Institut für Biochemische Technologie und Mikrobiologie	1998	Bestandsaufnahme mykorrhizenbildender Pilze im Unter- suchungsgebiet Achenkirch unter Verwendung molekular- biologischer Untersuchungsmethoden.
Rigler E., Haberhauer G., Gerzabek M.H., Krenn A., Pichlmayer F.	Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf	1998	Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort am Mühleggerköpfel zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers in einem Waldökosystem.
Bolhar-Nordenkamp H.R.	Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie	1999	Pflanzenphysiologische Untersuchungen zur Evaluierung der baumspezifischen Belastungskarte unter Berücksichtigung standortspezifischer Stressfaktorenmuster.
Loibl W., Kopcsa A., Züger J.	Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf	1999	Critical Levels-Karten für Ozon für ausgewählte Waldgebiete: Berechnung eines modifizierten AOT40. Level II-Ozонаuf- nahme abhängig von Witterungsbedingungen.
Loibl W.	Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf	1999	Neuberechnung von Critical-Level Karten der Ozonbelastung für ausgewählte Waldgebiete: Berechnung eines modi- fizierten AOT40 Level II für Ozon Aufnahme abhängig von Witterungsbedingungen Berücksichtigung der Wasserver- fügbarkeit im Boden.
Bolhar-Nordenkamp H.R., Gatscher B., Kropf B., Mei- ster M., Postl W., Preinl N.	Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie	2000	Pflanzenphysiologische Untersuchungen zur Evaluierung der baumspezifischen Belastungskarte unter Berücksichtigung standortspezifischer Stressfaktorenmuster, im Auftrag des
Knoflacher H.M., Gebetsroither E.	Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf	2000	Modellhafte Risikobewertung für Wälder auf kalkalpinen Standorten mit Lösungsansätzen für die sozioökonomische Ebene.
Pogodina O., Pustogow V., Bauer H., Puxbaum H.	Technische Universität Wien, Institut für Chemische Techno- logien und Analytik	2002	Atmosphärischer Eintrag von potentiell phytotoxischen organischen Verbindungen im Höhenprofil Achenkirch.
Lexer M.J., Butterbach- Bahl K., Englisch M., Gebetsroither E., Gerzabek M., Härtel E., Herman F., Hobbie R., Jandl R., Katzensteiner K., Smidt St., Spögl H., Strebl F., Zechmeister S.	Universität für Bodenkultur, Österreichisches Forschungs- zentrum Seibersdorf, BFW	2003	Modellierung des Stickstoffhaushaltes in einem Waldöko- system in den Nordtiroler Kalkalpen und szenariobasierte Ri- sikobewertung unter veränderlichen Umweltbedingungen.
Hasenauer H., Bolhar-Nordenkamp H.R., Herman F.	Universität für Bodenkultur, In- stitut für Waldwachstumsfor- schung	2006	Wachstumsänderungen durch Ozon: Eine Sensitivitätsstudie.
Jandl R., Zechmeister-Boltenstern S., Sessitsch A.	FWF-Projekt	2006- 2011	Climate change effects on forest soil respiration: Interaction of soil temperature and precipitation.
Zechmeister-Boltenstern S., Kitzler B.	NITREUROPE (EU-Projekt)	2007- 2009	The nitrogen cycle and its influence on the European green- house gas balance.
Zechmeister-Boltenstern S., Kitzler B.	NOFRETETE (EU-Projekt)	2002- 2011	Nitrogen oxides emissions from European forest eco- systems.

7. Literatur

7.1. Untersuchungen 1984-1990 Projektgebiet Zillertal

Sammelbände aus dem Projektgebiet Zillertal

- BOLHAR-NORDENKAMPF H., (Hrsg.) 1989. Stressphysiologische Ökosystemforschung Höhenprofil Zillertal. *Phyton* 29 (3). 302 Seiten (18 Beiträge).
- GLATTES F., SMIDT S., DRESCHER A., MAJER C., MUTSCH F., 1985. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. *FBVA-Berichte* 9, 81 Seiten.
- GLATTES F., SMIDT S., 1987. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. *FBVA-Berichte* 20 (65 Seiten).
- HERMAN F., SMIDT S., (Hrsg.) 1992. Endbericht Projekt Zillertal. "Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal" - Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofil Zillertal". *FBVA-Berichte* Nr. 67, 152 Seiten (16 Beiträge).

Einzelarbeiten aus dem Projektgebiet Zillertal

- ALBERT R., HÜBLER K.M., 1988. Mineralstoff- und Ionenhaushalt von Fichten entlang eines Höhenprofils im Zillertal. Zwischenbericht. *FIW-Projekt* Zl. 36.009/1-23/84 bis 86.
- ALBERT R., 1989. Mineralstoff- und Ionenhaushalt von Fichten entlang eines Höhenprofils im Zillertal. *Phyton* (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 111-132.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1986. Zustand der Tiroler Wälder, Bericht an den Tiroler Landtag für das Jahr 1985.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1987. Zustand der Tiroler Wälder, Bericht an den Tiroler Landtag für das Jahr 1986.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1988. Zustand der Tiroler Wälder, Bericht an den Tiroler Landtag für das Jahr 1987.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1989. Zustand der Tiroler Wälder, Bericht an den Tiroler Landtag für das Jahr 1988.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1990. Zustand der Tiroler Wälder, Bericht an den Tiroler Landtag für das Jahr 1989.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1991. Auswirkungen des Straßenverkehrs auf die Umwelt. Teilbericht Luft - Vegetation - Boden. Bericht an den Tiroler Landtag.
- BERMADINGER E., GRILL D., GUTTENBERGER H., 1989. Thiole, Ascorbinsäure, Pigmente und Epikutikularwachse in Fichtennadeln aus dem Höhenprofil „Zillertal“. *Phyton* (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 163-186.
- BERMADINGER-STABENTHEINER E., GRILL D., KERN T., 1991. Physiologisch-biochemische Stressindikation an Fichten aus verschiedenen Höhenlagen. *VDI-Berichte* 901, 391-406.
- BERMADINGER-STABENTHEINER E., GRILL D., 1992. Pflanzenphysiologische Untersuchungen am Höhenprofil Zillertal. *FBVA-Berichte* 67, 87-94.

- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., LECHNER E.G., POSTL W., 1988. Perspektiven der Photosyntheseforschung zur Kausalität der neuartigen Waldschäden. *Forschungsinitiative gegen das Waldsterben*, Symposium 27./28.10.1988, Univ. f. Bodenkultur, Tagungsband, 151-165.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., 1989. Stressphysiologisches Konzept einer kausalanalytischen Waldschadensforschung. *Phyton* (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 11-14.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., LECHNER E.G., 1989. Saisonale und stressbedingte Modifikationen der photosynthetischen Kapazität von Fichten im Höhenprofil „Zillertal“. B. Lichtabhängige CO₂-Fixierung. *Phyton* (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 207-228.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., LECHNER E.G., 1989. Synopse Stressbedingter Modifikationen der Anatomie und Physiologie von Nadeln als Frühdiagnose einer Disposition zur Schadensentwicklung bei Fichte. *Phyton* (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 255-302.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., LONG S.P., LECHNER E.G., 1989. Die Bestimmung der Photosynthesekapazität über die Chlorophyllfluoreszenz als Maß für die Stressbelastung von Bäumen. *Phyton* 29 (1), 119-135.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., 1990. Stressphysiologische Untersuchungen im Höhenprofil Zillertal. Endbericht, Universität Wien, im Auftrag des BMWF und BMLF. 56.810/15-VAZ/88.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., GÖTZL M., 1990. Stressphysiologische Charakterisierung von Fichtenbeständen mit Hilfe der Kennwerte der Chlorophyllfluoreszenz. Endbericht, Universität Wien, im Auftrag des BMLF. GZ. 56.810-VA2/88.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H., GÖTZL M., 1992. Chlorophyllfluoreszenz als Indikator der mit der Höhenlage zunehmenden Stressbelastung von Fichtennadeln. *FBVA-Berichte* 67, 119-132.
- DONAUBAUER E., 1971. Über ein Triebsterben in Hochlagenaufforstungen. *Centralbl. f. d. Ges. Forstwes.* 88 (2), 65-72.
- DONAUBAUER E., 1980. Über Pilzkrankheiten in Hochlagenaufforstungen. *Mitt. Forstl. Bundesvers.Anst.* 129, 51-62.
- DONAUBAUER E., 1983. Experiences with *Scleroderris canker* on *Pinus cembra* L. in afforestations of high altitude. *Symp. über das Kiefernsterben, Scleroderris lagerbergii* Gr., Syracuse, N.Y., 17. - 24. 6. 1983.
- DONAUBAUER E., 1985. Zur Schadstoffbelastung im Gebirgswald. *Allg. Forstztg.* 96 (10).
- DRAXLER G., RUPPERT W., 1989. Anatomische Studien an geschädigten Fichtennadeln aus dem Höhenprofil „Zillertal“. *Phyton* (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 133-146.
- EMBERSON L.D., WIESER G., ASHMORE M.R., 2000. Modelling of stomatal conductance and ozone flux of Norway spruce: comparison with field data. *Environmental Pollution* 109 (3), 393-402.
- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT, 1989. Höhenprofil Zillertal. Poster, 6. Wissenschaftsmesse, Austriacenter 18.-22.6.1989.

- GABLER K., 1990. Verhalten von Ozon in Alpentälern. Vortrag, Gesellschaft Österreichischer Chemiker, 13.11.1990 (Tagungsband, 149 - 167).
- GABLER K., SMIDT S., PUXBAUM H., 1990. Ozone profiles in Alpine valleys. Summary Euroanalysis VII (Tagungsband).
- GABLER K., SMIDT S., PUXBAUM H., 1990. Ozone profiles in Alpine valleys. Euroanalysis VII, Poster.
- GLATTES F., 1985. Schwermetall- und Ozongehalte in Waldökosystemen. Beiträge zur Umweltgestaltung, Alpine Umweltprobleme, 77-87. Erich Schmidt Verlag.
- GLATTES F., 1985. Schwermetall- und Ozongehalte in Waldökosystemen. Allg. Forstztg., 96. Jg., Folge 10, 268-270.
- GLATTES F., SMIDT S., 1987. Höhenprofil Zillertal, Ergebnisse 1985. FBVA-Berichte Nr. 20.
- GLATTES F., 1988. Ein Beitrag zur Waldschadensforschung in Tirol - Das Höhenprofil Zillertal. Tiroler Forstdienst, 31. Jg., Nr.1, 9-10.
- GLATTES F., SMIDT S., 1988. Immissionsökologische Untersuchungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Projekt Zillertal/Tirol (Austria). Poster Intern. Symposium „Verteilung und Wirkung von Photooxidantien im Alpenraum“, Garmisch Partenkirchen 11.-15.4.1988.
- GLATTES F., SMIDT S., 1988. Immissionsökologische Untersuchungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Projekt Zillertal/Tirol (Austria). Poster-Langfassung (Intern. Symposium „Verteilung und Wirkung von Photooxidantien im Alpenraum“ in Garmisch Partenkirchen, 11.-15.4.1988; Tagungsband, 558-566.
- GLATTES F., BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., GABLER K., LEITNER J., MAJER C., PLATTNER J., ZWERGER P., 1989. Die Biotope der Probestämme im Höhenprofil „Zillertal“. Phytion (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 15-38.
- GLATTES F., 1989. Nähr- und Schadstoffgehalte von Nadelproben aus dem Höhenprofil „Zillertal“. Phytion (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 103-110.
- GLATZEL G., KATZENSTEINER K., KAZDA M., KÜHNERT M., MARKART G., STÖHR D., 1988. Eintrag atmosphärischer Spurenstoffe in österreichische Wälder; Ergebnisse aus vier Jahren Depositionsmessung. Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Symposium 27.-28.10.1988. Univ. f. Bodenkultur, Tagungsband, 60-72.
- GÖBL F., 1965. Mykorrhizauntersuchungen in einem subalpinen Fichtenwald. Mitt. Forstl.Bundesvers.Anst. 66, 173-195.
- GÖBL F., 1989. Mykorrhiza- und Feinwurzelausbildung von Probestämmen des Höhenprofils „Zillertal“. Phytion (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 97-102.
- GÖBL F., 1992. Mykorrhiza- und Feinwurzelausbildung an Waldstandorten im Bereich des Höhenprofils Zillertal. FBVA-Berichte 67, 105-112.
- GREGORI M., PUXBAUM H., 1991. Forschungsprojekt Trockene Deposition Zillertal. Teil A: Messergebnisse. Bericht 1/91 Institut für Analytische Chemie, Technische Universität Wien. Im Auftrag des BMLF.
- GREGORI M., 1992. Höhenabhängigkeit der trockenen Deposition von Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie Ozon in einem Alpental. Dissertation, Technische Universität Wien, Institut f. Analytische Chemie.
- GREGORI M., PUXBAUM H., 1992. Forschungsprojekt trockene Deposition Zillertal. Teil B: Trockene Deposition, Datenanhang. Technische Universität Wien, Institut f. Analytische Chemie, Bericht 1/92.
- GREGORI M., PUXBAUM H., 1992. Konzentrationsverteilung von Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie organischen Säuren am Höhenprofil Zillertal. FBVA-Berichte 67, 39-42.
- GREGORI M., PUXBAUM H., 1992. Trocken Deposition im Zillertal. Schwerpunkt Ozon. Endbericht, Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLF.
- HAVRANEK W. M., WIESER G., 1989. Zum Wasserhaushalt dreier Probestämme (*Picea abies*) im Höhenprofil „Zillertal“. Phytion (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 229-232.
- HAVRANEK W.M., WIESER G., 1990. Research design to measure ozone uptake and its effects on gas exchange of spruce in the field. In: Payer H.P. Pfirrmant, Mhohy P. (eds.), Environmental research with plants in closed chambers. Air Pollution Res. Rept. 26, 148-152.
- HAVRANEK W. M., 1991. Auswirkungen von Ozon auf den Gasaustausch von Fichten - Ergebnisse von Ozonbegasungen im Freiland. FIW-Forschungsberichte 1991/2 (FIW-Seminare „Blaue Serie“), 4-10.
- HAVRANEK W.M., WIESER G., 1992. Wirkung verschiedener Ozonkonzentrationen bei Fichten. Österr. Forstztg. 5/92, 20.
- HAVRANEK, W. M., WIESER G., 1993: Effects of Long-Term Ozone fumigation on trees of *Picea abies* and *Larix decidua* in the field / Ecologia Delle Foreste di Alta Quota Ecologia delle Foreste die Alta Quota. Atti del XXX Corso. Pubblicazioni del Corso di Cultura in Ecologia, 130-141.
- HAVRANEK, W.M., WIESER, G., 1994. Zur Ozontoleranz der europäischen Lärche (*Larix decidua* Mill.). Forstwissenschaftliches Centralblatt 112 (1/2), 56-64.
- HERMAN F., SMIDT S., 1991. Altitude Profile Zillertal. Ecosystem Research of the Federal Forest Research Center. First European Symposium on Terrestrial Ecosystems: Forests and Woodlands. Workshop II „Forest Response to Acid/Nitrogen and Heavy Metals Deposition and Implication in Ecosystem Functioning and Management“. Florenz 20.-24. 5. 1991 (Working Paper).
- HERMAN F., 1991. Luftschadstoffe in höheren Lagen - das Projekt „Höhenprofil Zillertal“. Förderungsdienst 9/1991, 39. Jg., 254-257.
- HERMAN F., 1992. Das Projekt „Höhenprofil Zillertal“. FBVA-Berichte 67, 7-12.
- HERMAN F., 1992. Nähr- und Schadstoffgehalte der Nadelproben des Höhenprofils Zillertal. FBVA-Berichte 67, 79-86.
- HERMAN F., STEFAN K., 1992. Zusammenschau. FBVA-Bericht „Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal - Ergebnisse aus dem Projekt „Höhenprofil Zillertal“. FBVA-Berichte 67, 139-147.

- HOFMANN P., 1992. Immissionsbezogene Flechtenkartierung im Zillertal. FBVA-Berichte 67, 133-138.
- KAISER A., 1989. Die vertikale Temperaturstruktur der Atmosphäre im Zillertal. Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 49-62.
- KAISER A., 1989. Ozon in einem Alpental. Poster Wissenschaftsmesse Austrocenter, 18.-22.6.1989.
- KAISER A., 1990. Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die gemessene Immissionsbelastung im Bereich des Höhenprofils Zillertal. Abschlussbericht (GZ 56.810/02-VA2/90).
- KAISER A., 1992. Analyse der vertikalen Temperaturstruktur im Zillertal anhand von Fesselballon-, SODAR- und Hangmessungen. FBVA-Berichte 67, 51-64.
- KARRER G., MUTSCH F., 1992. Vergleich chemischer Analysendaten von Pflanzen und Böden an drei Waldstandorten am Höhenprofil Zillertal. FBVA-Berichte 67, 65-78.
- KÖNIG G., 1991. Untersuchung der Höhenverteilung von biogenen und anthropogenen Kohlenwasserstoffen in einem Alpental. Diplomarbeit, Technische Universität Wien.
- KÖNIG G., PUXBAUM H., 1991. Höhenprofil Zillertal - Ozonpräkursoren, Kohlenwasserstoffe. Bericht 18/91, Institut für Analytische Chemie, Technische Universität Wien.
- KÖNIG G., PUXBAUM H., 1992. Kohlenwasserstoffmessungen am Höhenprofil Zillertal. FBVA-Berichte 67, 39-39-41.
- KOLB H., BOGNER M., 1988. Ozonbelastung an den FIW-Stützpunkten - eine Betrachtung im synoptischen Scale. Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Symposium 27./28.10.1988, Univ. f. Bodenkultur, Tagungsband 73-86.
- KREHAN H., 1990. Fichtennadelpilz *Chrysomyxa rhododendri* (DC.) de Bari. Forstschutz Aktuell 1/1990.
- KREHAN H., 1990. Fichtennadelrostpilz *Chrysomyxa rhododendri* (DC.) de Bari, Streifentaxation Zillertal/Tirol - Verbreitung in Österreich. Forstschutz Aktuell 12/1990.
- KREHAN H., 1991. *Chrysomyxa* Fichtennadelrost im Zillertal. Forstschutz Aktuell 12/1991.
- KRISTÖFEL F., 1992. Terrestrische Kronenzustandsinventur am Höhenprofil Zillertal. FBVA-Berichte 67, 113-118.
- LECHNER E., BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., 1989. Fallstudie „Höhenprofil Zillertal“, Chlorophyllfluoreszenz- und CO₂-Gasstoffwechselfmessungen zur Detektion von saisonalen Modifikationen der photosynthetischen Kapazität bei *Picea abies*. Int. Kongr. Waldschadensforschung, Friedrichshafen, Posterkurzfassungen Bd. 1, S. 210.
- LECHNER E.G., BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., 1989. Saisonale und Stressbedingte Modifikationen der photosynthetischen Kapazität von Fichten im Höhenprofil „Zillertal“. A. Induktionscharakteristika der Chlorophyllfluoreszenz. Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 187-206.
- LINHART R., 1987. Immissionsökologische Untersuchungen der FBVA am Höhenprofil Zillertal. Österr. Forstztg. 10/1987, 45.
- LINHART R., 1988. „Höhenprofil Zillertal“: Frühes Erkennen von Baumschäden. Die Presse, 16./17. 4. 1988.
- MAJER C., 1989. Bodenkundliche Untersuchungen an drei ausgewählten Messpunkten des Höhenprofils „Zillertal“. Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 39-48.
- MANDLER B., 1989. Jahresdynamik von Fichtennadeln im Höhenprofil Zillertal. Histochemische Untersuchung von Lipiden. Diplomarbeit, Technische Universität Wien.
- MATYSSEK R., HAVRANEK W. M., WIESER G., 1997. Ozone and the Forests in Austria and Switzerland. In: Sandermann H., Wellburn A.R., Heath R.L. [Eds], Forest Decline and Ozone, Ecological Studies, 127, 95-134.
- MONITOR LABS, 1988. Was sagt uns der Wald im Gebirge? Luftanalyse im Höhenprofil am Schwendberg im Zillertal. Monitor Labs Aktiv, Juni 1988.
- NEUWINGER J., 1967. Zum Nährstoffgehalt in Vegetationseinheiten der subalpinen Entwaldungszone. Mitt. FBVA 75.
- N.N., 1985. Bäumen wird jetzt „Fieber“ gemessen. Im Zillertal entsteht das erste Waldlabor Österreichs. IBF-Spektrum, 1. 9. 1985.
- PLATTNER J., PAUSCH J., 1992. Aufbau und Betreuung von alpinen Luftmessstationen. FBVA-Berichte 67, 13-20.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1989. Standortabhängigkeit der Lipiddynamik von Fichtennadeln. Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 233-254.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1991. Erkennung von Waldschäden am Muster der Nadellipide. FIW Forschungsberichte 1991/2 („Blaue Serie“) 71-77.
- PUXBAUM H., GABLER K., SMIDT S., 1989. A one year record of ozone profiles in an Alpine valley. Abstracts Internat. Conference on the Generation of Oxidants on Regional and Global Scales, Tagungsband Norwich, 3. - 7.7.1989.
- PUXBAUM H., GABLER K., SMIDT S., GLATTES F., 1990. A one year record of ozone profiles in an Alpine valley. Atmospheric Environment 25A, Nr. 9, 1759-1765.
- PUXBAUM H., 1991. Erfassung der trockenen Deposition von Schwefel- und Stickstoffverbindungen im Höhenprofil Zillertal unter Anwendung des Big Leaf Modells. Endbericht, Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLF.
- RUHM F., 1989. Das Höhenprofil Zillertal. Österr. Forstztg. 10/1989, 37.
- RUHM F., 1990. Ergebnisse 1989. Interdisziplinäre Projekte. Österr. Forstztg. 1/1990, 52.
- SCARDELLI U., 1991. Pflanzenphysiologische Kriterien zur Beurteilung der Stressbelastung der Fichte. FIW Forschungsberichte 1991/2 („Blaue Serie“), 52-70.
- SCHIECHTL H.M., 1968. Auswirkungen der Ast- und Bodenstreunutzung in Fichtenwäldern des Zillertales. Bericht der Int. Pfl.Soc. Ostalp. Dinar. Arge., Tagung 1968 (unveröff. Manuskript).
- SCHIECHTL H.M., NEUWINGER J., 1980. Regeneration von Vegetation und Boden in einem zentralalpinen Hochlagen-Aufforstungsgebiet. Mitt. FBVA 129, 63-80.
- SCHMUTZENHOFER H., 1989. Forstentomologische Untersuchungen der Fauna von Fichtenkronen im Höhenprofil „Zillertal“. Phyton (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 63-68.

- SMIDT S., 1985. Schadstoffeintrag durch nasse Deposition in verschiedenen Höhenlagen. In: Führer (Hrsg.), Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, FIW-Bericht 1985, 120-129.
- SMIDT S., 1986. Bulk-Messungen an drei Höhenprofilen. Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung (Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16), Band 12: „Workshop „Saure Depositionen“, Salzburg 16.-17.9. 1985, 195-214.
- SMIDT S., 1986. Depositionsmessungen in verschiedenen Höhenlagen. Beiträge zur Umweltgestaltung, Heft A 98: Alpine Umweltprobleme, Facharbeitstagung Achenkirch „Der Wald als Lebensraum“, 88-97. Erich Schmidt Verlag.
- SMIDT S., 1986. Niederschlagsmessungen in Tirol. Tiroler Forstdienst, 29 (3), 9-10.
- SMIDT S., 1986. Bulk-Niederschlagsmessungen in Waldgebieten Österreichs, Ergebnisse 1984 und 1985. Allg. Forstztg., 97. Jg., 236. Folge, 339-341.
- SMIDT S., 1986. Bulkmessungen in Waldgebieten Österreichs. FBVA-Berichte 13.
- SMIDT S., 1988. Messungen der nassen Deposition in Österreich. FBVA-Berichte 27.
- SMIDT S., 1988. Monitoring in österreichischen Waldgebieten. Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, FIW-Symposium 27./28.10.1988, Univ. f. Bodenkultur, Tagungsband 39-59.
- SMIDT S., GLATTES F., LEITNER J., 1988. Höhenprofil Zillertal - Messbericht 1986 (Luftschadstoffmessungen, meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen). FBVA-Berichte 26.
- SMIDT S., GLATTES F., LEITNER J., 1988. Höhenprofil Zillertal - Messbericht 1987 (Luftschadstoffmessungen, meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen). FBVA-Berichte 32.
- SMIDT S., GLATTES F., 1988. Höhenprofil Zillertal - Ein wichtiger Beitrag zur Frühdiagnose von Waldschäden. Österr. Forstztg. 8/1988, 53-55.
- SMIDT S., GLATTES F., 1988. Immissionsökologische Untersuchungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt: Projekt Höhenprofil Zillertal. Poster, Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Symposium 27./28.10.1988, Univ. f. Bodenkultur, Tagungsband, 301-302.
- SMIDT S., 1989. Luftschadstoffmessungen am Höhenprofil „Zillertal“. Phytion (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 69-84.
- SMIDT S., 1989. Messungen der nassen Freilanddeposition am Höhenprofil „Zillertal“. Phytion (Austria) 29 (3, Sonderband „Zillertal“), 85-96.
- SMIDT S., 1990. Alpentalstudie „Höhenprofil Zillertal“. Symposium „Bodennahes Ozon“, Ges. Österr. Chemiker, 12.-13.11.1990, Tagungsband, 128-148.
- SMIDT S., PUXBAUM H., GABLER K., 1990. Zur zeitlichen und vertikalen Zunahme der Ozonkonzentrationen. Österreichische Forstzeitung, Informationsdienst, 247. Folge, 58-60.
- SMIDT S., GABLER K., PUXBAUM H., 1990. Über die zeitliche und vertikale Ozonzunahme. Forstschutz Aktuell Nr. 4 (Juni 1990).
- SMIDT S., GABLER K., PUXBAUM H., 1990. Über die zeitliche und vertikale Ozonzunahme. Salzburger Berg- und Naturwacht, 12. Jg., Heft 4, 17-18.
- SMIDT S., HERMAN F., LEITNER J., 1990. Höhenprofil Zillertal - Messbericht 1988 (Luftschadstoffmessungen, meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen). FBVA-Berichte 44.
- SMIDT S., 1991. Beurteilung von Ozonmessdaten aus Oberösterreich und Tirol nach verschiedenen Luftqualitätskriterien. FBVA-Berichte 47.
- SMIDT S., 1991. Immissionsmessung nasse Depositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. FBVA-Berichte 50.
- SMIDT S., GABLER K., HALBWACHS G., 1991. Auswertung von österreichischen Ozonmessdaten nach VDI 2310. Staub Reinhaltung der Luft 51, 43-49.
- SMIDT S., HERMAN F., 1991. Projekt „Höhenprofil Zillertal/Tirol“. Proceedings zum 2. Statusseminar der PBWU zum Forschungsschwerpunkt „Waldschäden“, 4.-6. 2. 1991 Neuherberg, 265-281.
- SMIDT S., HERMAN F., 1991. Die Eignung alpiner Höhenprofile für die Untersuchung organischer Komponenten in der Luft und in Pflanzenmaterial. Poster, präsentiert am Workshop „Ökotoxikologie organischer Chemikalien in terrestrischen Systemen“, 7. und 8. 10. 1991 in Schmallenberg (BRD).
- SMIDT S., LINHART R., 1991. Bildet Ozon eine ernste Gefahr - vor allem für Lärchen? - Die Presse 11./12.5.1991, Spektrum, S. 13.
- SMIDT S., 1992. Messung nasser Freilanddepositionen am Höhenprofil Zillertal. FBVA-Berichte 67, 43-50.
- SMIDT S., HERMAN F., 1992. Ecosystem studies at different elevations in an Alpine valley. Phytion 32 (2), 177-200.
- SMIDT S., LEITNER J., 1992. Luftschadstoffmessungen am Höhenprofil Zillertal. FBVA-Berichte 67, 21-28.
- SMIDT S., PUCHINGER L., 1992. Saisonale Veränderungen meteorologischer, luftchemischer und biochemischer Parameter. Poster, 10. Tagung des Österr. Arbeitskreises für Pflanzenphysiologie, 27.-31.5.1992.
- SMIDT S., GABLER K., 1994. Konzentrationsentwicklung bodennahen Ozons in Österreich. Österr. Forstzeitung 4, 17-18.
- STEFAN K., 1983. Schadstoffbelastung von Schnee - Ergebnisse der bundesweiten Stichprobenuntersuchungen 1983. Forstliche BVA, interner Bericht.
- STÖHR D., 1987. Schadstoffbelastung durch Reifdeposition entlang eines Höhenprofils im Zillertal. Bericht Workshop der FIW, 5.-6.3.1987, Universität für Bodenkultur.
- STÖHR D., GLATZEL G., 1987. Inorganic trace constituents of hoarfrost and freshly fallen snow in an inner-alpine valley in Austria. Water, Air and Soil Pollution.
- STÖHR D., GLATZEL G., 1987. Anorganic constituents of hoarfrost and freshly fallen snow in an inner-alpine valley in Austria. In: Glatzel G., M. Kazda, K. Katzensteiner, M. Kühnert, G. Markart 1987. Schadstoffdeposition in österreichischen Waldökosystemen. Zwischenbericht über das Arbeitsjahr 1986, Forschungsinitiative gegen das Waldsterben.

- STÖHR D.; GLATZEL G., 1987. Anorganic trace constituents of hoarfrost and freshly fallen snow in an inneralpine valley in Austria. – 1987. In: Schadstoffdeposition in österreichischen Waldökosystemen: FIW Forschungsauftrag: Zwischenbericht über das Arbeitsjahr 1986 (Glatzel G., Hrsg.), Wien, 1-13.
- STÖHR D., 1988. Winterliche Schadstoffdeposition in einem inneralpinen Tal am Beispiel des Zillertales. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien.
- STOKMAR C., 1991. Chloroplastenisolierung aus Proben im Höhenprofil Zillertal (Arbeitstitel). Dissertation, Technische Universität Wien.
- WANDALLER C., 1989. Jahresdynamik von Fichtennadeln im Höhenprofil Zillertal. Histochemische Untersuchungen von Stärke und Gerbstoffen. Diplomarbeit, Technische Universität Wien.
- WEIH M., WIESER G., HAVRANEK W.M., 1994. Photosynthese, Transpiration und Atmung von Sonnenzweigen einer Fichte (*Picea abies* L. Karst) im Freiland nach unterschiedlicher Ozonbegasung. Centralbl. f.d. ges. Forstwes. 111 (3), 197-209.
- WERNER R., 1989. Meteorologie und Ozon am Hangprofil. Endbericht, Vorarlberger Umweltschutzanstalt, im Auftrag des BMLF.
- WERTHER F., HAVRANEK W.M., 1999. Effects of nutrient-deficient soil on gas exchange, chlorophyll fluorescence and C-allocation in young *Picea abies* (L.) Karst. EUROSILVA, Proceedings.
- WIESER G., HAVRANEK W.M., 1992. Die Ozonaufnahme in der Sonnen- und Schattenkrone von Fichten. FBVA-Berichte 67, 95-103.
- WIESER G., HAVRANEK W.M., 1994. Stomatal control of ozone uptake in Norway spruce. UN-ECE Workshop Critical Levels for ozone. Schriftenreihe der FAC Nr. 16 (Fuhrer J. and Achermann B., Hrsg.), 236-239.
- WIESER G., HAVRANEK W.M., 1995. Evaluation of ozone impact on mature spruce and larch in the field. J. Plant Physiology 148 (1/2), 189-194.
- WIESER G., HAVRANEK W.M., 1996. Effects of ambient and above ambient ozone concentrations on mature conifers in the field. Workshop Kuopio, 13.-17.4.1996, 183-190.
- WIESER G., 1997. Ozone impact on photosynthetic capacity of mature and young Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.): external versus internal exposure. Phytos 37, 297-302.
- WIESER G., 1998. Sind Fichten in Hochlagen durch Ozon gefährdet? Ergebnisse von Freilandexperimenten. AFZ 53 (8), 432-433.
- WIESER G., HÄSLER R., GÖTZ B., KOCH W., HAVRANEK W.M., 1999. Seasonal ozone uptake of mature evergreen conifers at different altitudes. Phytos 39 (4), 223-240.
- WIESER G., 1999. Evaluation of the impact of ozone on conifers in the Alps: A case study on spruce, pine and larch in the Austrian Alps. Phytos, 39 (Spezial Issue 4), 241-252.

7.2. Untersuchungen seit 1990 Projektgebiete Achenal und Bodental

Sammelbände aus dem Projektgebiet Achenal

- CECH T., TOMICZEK C., 1995. Forstpathologische Erhebungen im Gebiet Achenal. FBVA-Berichte (Federal Forest Research Center, 3 Beiträge) 86 (46 Seiten).
- FEDERAL MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY, ENVIRONMENT AND WATER MANAGEMENT; Federal Forest Research Center; University of Agricultural Sciences, 2000. The sustainable future of mountain forests in Europe. 2nd International Workshop Igls/Tyrol, May 3-5, 2000.
- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT (Hrsg.), 1997. Risikofaktoren für alpine Waldökosysteme. Ergebnisse aus zwei interdisziplinären Projekten. Symposiumsmappe.
- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT (Hrsg.), 2000. Workshop „Risikofaktoren für alpine Waldökosysteme - Wissensstand und Forschungsbedarf. Tagungsband.
- HERMAN F., 2000. Forschungsergebnisse und Forschungsbedarf zum Thema „Sustainable Future of Mountain Forests in Europe“. FBVA-Berichte 113 (83 Seiten).
- HERMAN F., LÜTZ C., SMIDT S., 1998. Description and evaluation of pollution impacts on forest ecosystems - results of long-term Austrian field experiments. Environmental Science and Pollution Research, Special Issue 1., 104 Seiten (15 Beiträge).
- HERMAN F., SMIDT S. (Hrsg.), 1992. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Projekt Erste Ergebnisse aus dem Projekt „Höhenprofile Achenkirch“. FBVA-Berichte Nr. 70 („Achenkirch I“), 101 Seiten (7 Beiträge).
- HERMAN F., SMIDT S. (Hrsg.), 1994. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Höhenprofile Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. FBVA-Berichte Nr. 78 („Achenkirch II“), 134 Seiten (15 Beiträge).
- HERMAN F., SMIDT S. (Hrsg.), 1995. Höhenprofile Achenkirch - Ergebnisse aus dem Bereich Rhizosphäre. FBVA-Berichte 87 („Achenkirch III“), 288 Seiten (22 Beiträge).
- HERMAN F., SMIDT S. (Hrsg.), 1996. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. FBVA-Berichte 94. „Achenkirch IV“. 291 Seiten (22 Beiträge).
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M. (eds.), 2001. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Stickstoffflüsse - erste Ergebnisse. FBVA-Berichte 119 (15 Beiträge).
- SMIDT S., HERMAN F. (Hrsg.), KAISER A., 1994. Höhenprofil Zillertal: Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die Immissionskonzentrationen. FBVA-Berichte 77, 95 Seiten.
- SMIDT S., HERMAN F., ENGLISCH M., 2002. Nitrogen Fluxes in the Tyrolean Limestone Alps. ESPR Special Issue 2 (9 Beiträge).

SMIDT S., HERMAN F., GRILL D., GUTTENBERGER H. (eds.), 1994. Studies of Ecosystems in the Limestone Alps - "Achenkirch Altitude Profiles" (Phyllosphere). Sonderband Phytion 34 (3); 192 Seiten (14 Beiträge).

SMIDT S., HERMAN F., GRILL D., GUTTENBERGER H. (eds.), 1996. Studies of Ecosystems in the Limestone Alps - "Achenkirch Altitude Profiles" (Rhizosphere). 300 Seiten (20 Beiträge). Sonderband Phytion 36 (4).

Einzelarbeiten aus dem Projektgebiet Achtal

AMBUS P., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., 2005. Sources of nitrous oxide among European coniferous and deciduous forest types. Geophysical Research Abstracts 7, 2033.

AMBUS P., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2005. Sources of nitrous oxide emitted from European forest soils. Biogeosciences, submitted.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG und TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN, Institut für Analytische Chemie 1985 - 1994. Berichte Immissionsmessungen "Nasser Niederschlag" in Tirol.

AICHINGER H., 1986. Schadstoffimmission an österreichischen Hintergrund Messstationen. Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung (Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16), vol. 12: Workshop "Saure Depositionen", Salzburg, Sept. 16-17, 1985; 17-22.

BAUER H., SMIDT S., STOPPER S., HERMAN F., PUXBAUM H., 2008. Schwermetalleinträge in den Nordtiroler Kalkalpen. Centralblatt f.d. ges. Forstwesen, 125 (2), 103-120.

BERGER T., GLATZEL G., 1994. Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldökosystemen der Nordtiroler Kalkalpen. 2nd Interim Report (March 1994). Institut für Forstökologie, Universität für Bodenkultur Wien.

BERGER T., GLATZEL G., 1994. Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldökosystemen der Nordtiroler Kalkalpen. Abschlussbericht. Institut für Forstökologie, Universität für Bodenkultur Wien. GZ 56.810/18-VA2/92.

BERGER T., 1995. Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldökosystemen der Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 87, 133-144.

BERGER T.W., GLATZEL G., 1995. Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldökosysteme der Nordtiroler Kalkalpen. Endbericht, Universität für Bodenkultur, im Auftrag des BMLF. GZ 56.810/18-VA2/92.

BERGER T., KATZENSTEINER K., 1996. Deposition of atmospheric pollutants and its impacts of forest ecosystems of the Northern Tyrolean Limestone Alps. Phytion (Horn, Austria) 36 (4), 131-144.

BERMADINGER - STABENTHEINER E., 1994. Untersuchungen zum antioxidativen Schutzsystem von Fichten an den "Höhenprofilen Achenkirch". FBVA-Berichte 78, 73-82.

BERMADINGER - STABENTHEINER E., 1994. Epikutikularwachse von Fichtennadeln an den "Höhenprofilen Achenkirch". FBVA Berichte 78, 117-120.

BERMADINGER - STABENTHEINER E., 1994. Stress-physiological investigations on spruce trees (*Picea abies* L.) from the "Achenkirch Altitude Profiles". Phytion (Horn, Austria) 34 (3), 97-111.

BERMADINGER - STABENTHEINER E., MÜLLER M., 1995. Pflanzenphysiologisch - biochemische, rasterelektronen-mikroskopische und cytogenetische Untersuchungen an den Höhenprofilen Achenkirch. Abschlussbericht, Universität Graz, im Auftrag des BMLFUW. GZ 56.810/02-VA2/91.

BERMADINGER-STABENTHEINER E., 1996. Influence of altitude, sampling year and needle age class on stress-physiological reactions of spruce needles investigated on an Alpine altitude profile. J. Plant Physiol., 148 (3,4), 339-344.

BERMADINGER-STABENTHEINER E., 1996. Stressphysiologische Untersuchungen von Fichtennadeln am Schulterbergprofil. FBVA-Berichte 94, 207-212.

BOLHAR-NORDENKAMPF H., LOIBL W., GATSCHER B., SMIDT S., 1999. Adaption to pre-industrial ozone concentrations - the cause for a fundamental change in the Austrian ozone risk map. In: Fuhrer J., Achermann B. (eds.), Critical Levels for ozone - Level II. Environmental Documentation No. 115, 55-61. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern, Switzerland.

BOLHAR-NORDENKAMPF H., LOIBL W., GATSCHER B., 1999. Adaption to pre-industrial ozone concentrations - the cause for a fundamental change in the Austrian ozone risk map. Critical Levels for ozone - Level II. Workshop Gerzensee, Switzerland, April 11-15. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern, Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture, Institute of Environmental Protection and Agriculture, Switzerland.

BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., 1999. Pflanzenphysiologische Untersuchungen zur Evaluierung der baumspezifischen Belastungskarte unter Berücksichtigung standortspezifischer Stressfaktorenmuster. Vorläufiger Endbericht, Universität Wien, im Auftrag des BMLFUW. GZ 56.810/02-VA2b/98.

BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., GATSCHER B., KROPF B., MEISTER M., POSTL W., PREINL N., 2000. Pflanzenphysiologische Untersuchungen zur Evaluierung der baumspezifischen Belastungskarte unter Berücksichtigung standortspezifischer Stressfaktorenmuster. Endbericht, Universität Wien, im Auftrag des BMLFUW. GZ 56.810/02-VA2b/98.

BOLHAR-NORDENKAMPF H., LOIBL W., HERMAN F., SMIDT S., 2005. Evaluation of the ozone-related risk for *Picea abies* in Austria - Development of the AOT40 concept. Poster, XVII. International Botanical Congress, 17-23 July 2005.

BOLHAR-NORDENKAMPF H., LOIBL W., HERMAN F., SMIDT S., 2005. Evaluation of the ozone-related risk for *Picea abies* in Austria - Development of the AOT40 concept. XVII. International Botanical Congress, 17-23 July 2005, Abstractband.

BOLHAR-NORDENKAMPF H., MEISTER M., HAUMANN J.I., HERMAN F., 2005. Preconditioning of alpine forest to tolerate ozone. 17th Int. Botanical Congress Vienna/Austria, Austria Center Vienna, 17-23 July 2005, Abstracts p. 33, 2.9.4.

- BOLHAR-NORDENKAMPF H., HAUMANN J., HERMAN F., SMIDT S., MEISTER M., PLATTNER J., LOIBL W., GATSCHER B., POSTL W., 2006. Verification of the ozone risk for Austrian spruce forests through tree-physiological field measurements. Ozon Workshop Obergurgl 15-19 November. "Critical Levels for ozone: further applying and developing the flux-based concept (G. Wieser & M. Tausz, eds.). Proceedings on the workshop, 179-184.
- BREITENBACH-DORFER M., 1994. Isoenzymanalyse von 3 Fichtenbeständen des Schulterbergprofils. Poster "Achenkirchtag", March 24, 1994 (FBVA, Wien).
- BREITENBACH-DORFER M., 1994. Genetische Analyse autochthoner und naturnaher Fichtenbestände am Schulterberg. FBVA-Berichte 78, 109-116.
- BREITENBACH-DORFER M., 1994. Genetic analysis of spruce stands in the limestone area - a pilot study. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 23-32.
- BREITENBACH-DORFER M., PINSKER W., MÜLLER F., HACKER R., 1994. Genetic Variation in *Abies alba* Investigated by Alloenzyme Analysis. Poster "Achenkirchtag", March 24, 1994 (Federal Forest Research Center).
- BREITENBACH-DORFER M., 1994. Genetic Analysis of Autochthonous and Nature-conforming Spruce Stands on the Schulterberg. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 25-32.
- BREITENBACH-DORFER M., 1995. Genetische Analyse von Fichtenbeständen im Kalkalpin - eine Pilotstudie. FBVA-Berichte 87, 19-24.
- BREITENBACH-DORFER M., 1996. Genetische Analyse von Fichten- und Tannenpopulationen aus dem Achenal im Nordtiroler Kalkalpin. FBVA-Berichte 94, 101-110.
- CECH T., 1992. Phytopathologische Untersuchungen an Fichtenästen." Poster Workshop „Ecosystematic Forestry Research in Achenkirch“, November 1992.
- CECH T., 1995. Differentialdiagnostische Untersuchung an Fichtenästen in Achenkirch. FBVA-Berichte 86, 5-36.
- CECH T., SMIDT S., 2004. Immissionsschäden richtig erkennen. BFW Praxis-Info Nr. 5, 19-22.
- CECH T., SMIDT S., HERMAN F., 2007. Ozonsymptome an österreichischen Waldbäumen und Sträuchern. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- DÍAZ-PINÉS E., SCHINDLBACHER A., JANDL R., SANCHEZ A.R., 2007. I trenching como método de separación de las componentes de la respiración de suelos forestales. Poster bei COST 639 Plenary meeting, Barcelona, 29.-31. Oktober 2007.
- DONAUBAUER E., ABBAS-ESMAILI S., 1986. Fallstudie zur Wassergüte im Raum Achenkirch. Contributions on Environment Management, Berlin, no. A110/1, 261-274.
- EDL M., PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1994. Anatomisch-histochemische Untersuchungen von Fichtennadeln. Poster "Achenkirchtag", 24.3.1994 (Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien).
- EGGER J., 2005: Auswirkungen von Klima und Schädlingsdruck auf die Vitalität der Europäischen Lärche an verschiedenen Hochlagenstandorten. Diplomarbeit Universität Innsbruck, Institut für Botanik.
- ENGLISCH M., 1992. Standörtliche Grundlagen im Bereich der Höhenprofile Achenkirch. FBVA-Berichte 70, 13-18.
- ENGLISCH M., STARLINGER F., 1994. Transect site mapping along altitude profiles in Tyrol (Austria). Conference and workshop „Global to local. Ecological land classification“, Thunder Bay, Canada, 15.-17.8.1994. Program and abstracts, p. 50.
- ENGLISCH M., STARLINGER F., 1995. Waldgesellschaften und Standorte im Bereich der Höhenprofile Achenkirch. FBVA-Berichte 87, 25-54.
- ENGLISCH M., STARLINGER F., 1996. Woodland communities and sites at two altitude profiles near Achenkirch (The Tyrol). *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 33-54.
- ENGLISCH M., 2001. Standorts- und bodenkundliche Eigenschaften der Intensivuntersuchungsfläche Mühleggerköpfl. FBVA-Berichte 119, 21-29.
- FEICHTINGER F., SCHEIDL A., 2001. Die Erfassung des Bodenwassers als Grundlage für die Quantifizierung von Sickerfrachten: Messmethoden, Versuchsaufbau und erste Ergebnisse. FBVA-Berichte 119, 41-52.
- FEICHTINGER F., SMIDT S., KLAGHOFER E., 2002. Water and nitrate fluxes at a forest site in the North Tyrolean Limestone Alps. *Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue 2*, 31-36.
- FRISCHMANN H., 1990. Kartierung der potentiellen Vegetation im Raum Achenkirch - Abschlussbericht. Forschungsverein für Umweltstudien.
- GARTNER M., 2001. Terrestrische Kronenbeurteilung der Probestämme der Höhenprofile in Achenkirch. FBVA-Berichte 119, 17-19.
- GARTNER K., 1996. Bodenfeuchteverhältnisse an zwei ausgewählten Probestflächen des Schulterberggipfels. FBVA-Berichte 94, 111-122.
- GATTERMAYR W., 2001. Hydrometeorologische Erhebungen am Mühleggerköpfl / Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 119, 53- 59.
- GERZABEK M.H., KIRCHMANN H., HABERHAUER G., PICHLMAYER F., KRENN A., 1999. Nitrogen dynamics and ¹⁵N natural abundance in a long-term field experiment. Proceedings of the 10th N-workshop, Copenhagen, III-22.
- GERZABEK M.H., HABERHAUER G., KRENN A., RIGLER E., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2000. Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort am Mühleggerköpfl zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers in einem Waldökosystem. OEFZS-Report-L-0377.
- GERZABEK M.H., G. HABERHAUER, A. KRENN, T. SHINONAGA, 2001. Use of nuclear techniques in environmental and pollution studies. IAEA Proceedings.
- GLATTES F., TOMICZEK C., 1984. Klärschlammasbringung – eine mögliche Ursache für erhöhte Schwermetallgehalte forstlicher Ökosysteme sowie freilebender Tiere. *Allg. Forstztg., Information Service*, 224.
- GLATTES F., 1986. Schwermetall- und Ozongehalte in Waldökosystemen. Problems Encountered in Alpine Environments. Achenkirch Expert Meeting "Forests and their Function as Habitats", 77-87. Erich Schmidt Verlag.

- GLATZEL G., 1995. Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Schadstoffe in Waldökosystemen der Nordtiroler Kalkalpen. *Förderungsdienst* 12 (43. Jg.), 387-388.
- GÖBL F., 1995. Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen in einem Wald-Weidegebiet. *FBVA-Berichte* 87, 201-214.
- GÖBL F., THURNER S., 1995. Bewertung von Waldstandorten durch eine Zustandserhebung von Mykorrhizen und Feinwurzeln. *FBVA-Berichte* 87, 105-112.
- GÖBL F., 1996. Evaluation of Forest Sites by Means of Condition Assessment of Mycorrhizae and Fine Roots. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 95-108.
- GÖBL F., 1996. Investigations on Mycorrhizae and Fine Roots in an Area used as Forest Pasture. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 193-204.
- GÖBL F., 1996. Schwermetallgehalte von Mykorrhizen und Feinwurzeln verschiedener Kleinstandorte. *FBVA-Berichte* 94, 175-184.
- GONZALO C. DE, SCHINDLBACHER A., SANCHEZ A. R., JANDL R., 2007. Effect of temperature on soil heterotrophic respiration along an altitudinal gradient in the Alps. Poster bei COST 639 Plenary meeting, Barcelona, 29.-31. Oktober 2007.
- GRUBER F., HAUDEK S., KREUZINGER N., PODEU R., 1995. Identifizierung und Quantifizierung von Mykorrhizapilzen anhand spezifischer, PCR-amplifizierter DNA-Sequenzen. Endbericht, Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLFUW. GZ 56.810/39-VA2/91.
- GRUBER F., KREUZINGER N., PODEU R., HAUDEK S.B., GÖBL F., KUBICEK C.P., 1995. Identifizierung und Quantifizierung von mykorrhizabildenden Basidiomyceten an Hand ihres Glycerinaldehyd-3-Phosphat Dehydrogenase (gpdA) Gens. *FBVA-Berichte* 87, 113-120.
- GUTTENBERGER H., 1996. Risiko- und Einflußbewertung von Schadfaktoren sowie Zustandsbeurteilung des Waldökosystems Achenkirch anhand von ausgesuchten und repräsentativen abiotischen und biotischen Faktoren-Computermodell und Mustererkennung. Endbericht, Universität Graz, im Auftrag des BMLFUW.
- GUTTENBERGER H., MAYRHOFER E., 1996. Risikoabschätzung der Belastung von Waldökosystemen durch verschiedene Stressfaktoren unter Zuhilfenahme von Computermodellen - Untersuchungsansatz. *FBVA-Berichte* 94, 271-276.
- GUTTENBERGER H., KÖGL G., 1998. Risiko- und Einflußbewertung von Schadfaktoren sowie Zustandsbeurteilung des Waldökosystems Achenkirch anhand von ausgesuchten und repräsentativen abiotischen und biotischen Faktoren - Computermodell und Mustererkennung. Endbericht Projekt GZ. 56.810/16-VA2b/96.
- HABERHAUER A., KRENN A., BLOCHBERGER K., GERZABEK M.H., 1999. Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort am Mühleggerköpfl zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers in einem Waldökosystem. *Österr. Forschungszentrum Seibersdorf, Zwischenbericht* 03/99.
- HABERHAUER G., BLOCHBERGER K., 1999. A simple clean up method for the isolation of nitrate from natural water samples for O -isotope analysis. *Analytical Chemistry*, 71, 3587-3590.
- HABERHAUER G., GERZABEK M.H., 1999. Modern spectroscopic analysis of soils and their implications in studying soil dynamic processes. 3rd Euroconference on Environmental Analytical Chemistry, Chalkidiki, Greece.
- HABERHAUER G., BLOCHBERGER K., GERZABEK M.H., RIGLER E., KRENN A., PICHLMAYER F., 1998/1999. Stabilisotopen Analytik von Nitrat zur Abschätzung der N-Dynamik im Waldboden und N-Belastung des Bodenwassers an dem Standort Mühleggerköpfl (Kalkalpin). *Zwischenbericht ÖFZS* 03/98 und 03/99.
- HABERHAUER G., BLOCHBERGER K., GERZABEK M.H., 2000. Application of a simple clean up technique for O and N isotope analysis of nitrate in natural water samples. IAEA - Symposium Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Management, Vienna.
- HABERHAUER G., GERZABEK M.H., KRENN A., 2000. Nitrate dynamics in an Alpine forest site: O and N stable isotope analysis in natural water samples. 1st French Meeting on Stable Isotopes, Nancy.
- HABERHAUER A., GERZABEK M.H., KRENN A., RIGLER E., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2000. Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort am Mühleggerköpfl zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers in einem Waldökosystem. *Österr. Forschungszentrum Seibersdorf, Endbericht*.
- HABERHAUER G., GERZABEK M.H., BLOCHBERGER K., KRENN A., 2001. Stabilisotopen Analytik von Nitrat zur Abschätzung der N-Dynamik im Waldboden und N-Belastung des Bodenwassers an dem Standort Mühleggerköpfl (Kalkalpin). *FBVA-Berichte* 119, 99-109.
- HABERHAUER G., BLOCHBERGER K., GERZABEK M.H., 2001. Application of a simple clean up technique for O and N isotope analysis of nitrate in natural water samples. IAEA Proceedings.
- HABERHAUER G., GERZABEK M., KRENN A., 2002. Nitrate dynamics in an Alpine forest site (Mühleggerköpfl): O and N stable isotope analysis in natural water samples. *Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue* 2, 37-41.
- HÄRTEL E., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., GERZABEK M., 2002. Gaseous nitrogen losses from a forest site in the North Tyrolean Limestone Alps. *Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue* 2, 23-30.
- HASENAUER H., BOLHAR-NORDENKAMPE, H.R., HERMAN F., 2006. Wachstumsänderungen durch Ozon: Eine Sensitivitätsstudie. *Zwischenbericht. GZ. BMVIT-333.591/003-II/ST-ALG/2006*.
- HASENAUER H., PIETSCH S., BOLHAR-NORDENKAMPF H., DURSTBERGER T., HERMAN F., SMIDT S., 2007. Wachstumsänderungen durch Ozon - eine Sensitivitätsstudie. *Endbericht GZ. BMVIT-333.591/003-II/ST-ALG/2006*.
- HASENAUER H., PIETSCH S., BOLHAR-NORDENKAMPF H., DURSTBERGER T., HERMAN F., SMIDT S., 2008. Wachstumsänderungen durch Ozon - eine Sensitivitätsstudie. *BMVIT-Straßenforschung, Heft* 573.
- HAUDEK S.B., KREUZINGER N., PODEU R., GÖBL F., GRUBER F., KUBICEK C.P., 1993. Detection and identification of mycorrhizal fungi by PCR.9. *NACOM GUELPH, Canada, August* 1993.

- HAUDEK S.B., 1996. Untersuchungen an Ektomykorrhizen mit Hilfe der PAPD-Methode. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Inst. f. Biochemische Technologie und Mikrobiologie.
- HAUDEK S.B., GRUBER F., KREUZINGER N., GÖBL F., KUBICEK C.P., 1996. Strain typing of ectomycorrhizal Basidiomycetes from subalpine Tyrolean forest areas by random amplified polymorphic DNA Analysis. *Mycorrhiza* 6, 35-41.
- HAUNOLD A., ROSENBERG E., GRASSERBAUER M., 1996. Messung flüchtiger organischer Komponenten (VOCs) am Nordostprofil des Schulterberges. *FBVA-Berichte* 94, 61-74.
- HAUNOLD A., ROSENBERG E., GRASSERBAUER M., 1996. An improved sampling strategy for the measurement of volatile organic compounds in air based on cooled sampling and analysis by thermodesorption, GC, MS / FID. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 62.
- HAUNOLD A., 1997. Entwicklung und Einsatz einer Analysenstrategie für die Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen am Höhenprofil Schulterberg in Achenkirch (Tirol). Dissertation, Technical University Vienna, Inst. f. Analytical Chemistry.
- HAUNOLD A., SCHUBERT P., ROSENBERG E., GRASSERBAUER M., 1997. Auftreten flüchtiger organischer Kohlenwasserstoffe (VOCs) und deren Auswirkung auf die alpine Vegetation. Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie. Endbericht, im Auftrag des BMLF.
- HERMAN F., 1991. Schwermetallgehalte von Fichtenborken als Indikator für anthropogene Luftverunreinigungen. *VDI-Berichte* 901, 375-389.
- HERMAN F., 1992. Höhenprofile Achenkirch - Ökosystemare Studien im Kalkalpin. *FBVA-Berichte* 78, 5-12.
- HERMAN F., 1992. Nährstoffgehalte von Fichtennadeln sowie Schadstoffgehalte in Fichtennadel- und -borkenproben des Untersuchungsgebietes Achenkirch. *FBVA-Berichte* 70, 83-90.
- HERMAN F., LEITNER J., LÜTZ C., PLÜMACHER J., PUCHINGER L., STABENTHEINER E., SMIDT S., 1992. Schadstoffgehalte in der Luft, in Fichtennadeln und -borken sowie Inhaltsstoffe in Fichtennadeln des Untersuchungsraumes. Poster Workshop "Ecosystematic Forestry Research in Achenkirch", Nov., 19, 1992.
- HERMAN F., SMIDT S., 1992. Gesetzliche Regelungen, Grenzkonzentrationen und Beurteilungskriterien für Luft, Boden, und Blattorgane. Poster Workshop "Ecosystematic Forestry Research in Achenkirch", Nov. 19, 1992.
- HERMAN F., SMIDT S., 1992. Forest ecosystem research in Tyrol/Austria. Poster Intern. Symposium Euromab Temperate Forest Ecosystems: Results-Networks-Future Activities. 21 - 24.9. 92, Österreichische Akademie der Wissenschaften.
- HERMAN F., LEITNER J., LÜTZ C., PLATTNER J., PLÜMACHER J., SCHRÖDER P., SMIDT S., STABENTHEINER E., 1992. Höhenprofile Achenkirch - Höhenverläufe verschiedener Untersuchungsparameter. Poster "Ecosystematic Forestry Research in Achenkirch", ACHENKIRCH, NOV. 19, 1992.
- HERMAN F., 1993. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. *GSF-Berichte* 39/93, 406-415.
- HERMAN F., 1993. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - "Höhenprofile Achenkirch". 23th Annual Meeting of the Society of Ecology, 6.-9.Sept.1993 Innsbruck. Proceedings.
- HERMAN F., LEITNER J., SMIDT S., 1993. Höhenprofile Achenkirch - Messbericht 1992. Bericht G3-1/1993.
- HERMAN F., SMIDT S., 1993. Forest ecosystem research in the Tyrol / Austria ("Zillertal Altitude Profile", "Achenkirch Altitude Profiles"). Poster Int. Conference "Oxygen and Environmental Stress in Plants", University of St. Andrews (Scotland), Sept. 6-10, 1993.
- HERMAN F., SMIDT S., 1993. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Poster 23th annual meeting of the Society of Ecology, held Sept. 6-9, 1993, in Innsbruck, Proceedings.
- HERMAN F., SMIDT S., 1993. Oxidants and plant physiology in Alpine valleys - some results of the projects "Zillertal Altitude Profile", "Achenkirch Altitude Profiles" (Tyrol, Austria). Poster Int. Conference "Oxygen and Environmental Stress in Plants", University of St. Andrews (Scotland), Sept. 6-10, 1993.
- HERMAN F. ET AL., 1993. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Poster Int. GSF Symposium "Stoffeinträge aus der Atmosphäre und Waldbodenbelastung in den Ländern von ARGE ALP und ALPEN-ADRIA", April 27-29, 1993.
- HERMAN F., 1994. Nährstoffgehalte von Fichtennadeln sowie Schadstoffgehalte in Fichtennadel- und -borkenproben des Untersuchungsgebietes Achenkirch. *FBVA-Berichte* 78, 59-71.
- HERMAN F., 1994. Nutrient content of spruce needles and content of pollutants in spruce needles and barks from the Achenkirch investigation area. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 85-96.
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Höhenprofile Achenkirch. *FBVA-Berichte* 78, 9-15.
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Zusammenschau aus den Bereichen: Integrated Monitoring, Bioindikatoren und Zeigerwerte zur Charakterisierung des physiologischen Zustandes der Bäume. *FBVA-Berichte* 78, 121-129.
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Forest ecosystem research in the Tyrol/austria. Poster "Achenkirchtag", March 24, 1994, Federal Forest Research Center.
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Oxidants and plant physiology in alpine valleys. Poster "Achenkirchtag", March 24, 1994 (Federal Forest Research Center).
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Ecosystem research in a limestone area - "Achenkirch Altitude Profiles". *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 9-24.
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Results from the fields of integrated monitoring, bioindicators, and indicator values for the characterization of the physiological condition of trees. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 169-192.
- HERMAN F., SMIDT S., 1994. Results from the fields of integrated monitoring, bioindicators, and indicator values for the characterization of the physiological condition of trees. 16. IUFRO Kongress Fredericton, Nouveau-Brunswick, Canada, Sept. 7-9, 1994. Proceedings 233-243.

- HERMAN F., 1995. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Österr. Forstztg. 11/1995, 31.
- HERMAN F., SMIDT S., 1995. Integrated research approach to the evaluation of the danger of airborne pollutants to forest ecosystems. 10th Word Espoo, Finland. Air Congress (May 28 - June 2, 1995), Proceedings, vol. 3 Impacts and Management, 424-427.
- HERMAN F., SMIDT S., 1995. Einleitung und Zielsetzungen. FBVA-Berichte 87, 9-18.
- HERMAN F., SMIDT S., 1995. Zusammenschau. FBVA-Berichte 87, 263-276.
- HERMAN F., 1996. Stress assessment of mountain forests in Central Europe. Poster zum 28th Annual Air Pollution Workshop, North Carolina, U.S., 1.4.1996.
- HERMAN F., LOIBL W., KNOFLACHER H.M., SMIDT S., 1996. Risk assessment of air pollutants in alpine forest ecosystems. ISEAC 26: 26th Int. Sympos. on Environmental Analytical Chemistry, April 9-12. Book of Abstracts. Technical University Vienna.
- HERMAN F., SMIDT S., 1996. Ecosystem studies in a limestone area - „Achenkirch Altitude Profiles“. Introduction and Objectives. Phytos (Horn, Austria) 36 (4), 9-22.
- HERMAN F., SMIDT S., 1996. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen. Beschreibung des Projektes und Zielsetzungen. FBVA-Berichte 94, 7-22.
- HERMAN F., SMIDT S., 1996. Comparison of ozone impacts on trees in laboratory and field experiments. Poster: Plant-physiological reactions of Norway spruce - results from Austria and Germany. Poster, 28th Annual Air Pollution Workshop Raleigh, North Carolina, U.S.A., April 15-18, 1996.
- HERMAN F., LEITNER J., SMIDT S., PLATTNER J., PAUSCH J. Höhenprofile Achenkirch - Messbericht 1996. Luftschadstoffmessungen 1996. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie. G3 1/1997.
- HERMAN F., SMIDT S., 1996. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen. Zusammenschau. FBVA-Berichte 94, 277-291.
- HERMAN F., SMIDT S., 1997. Belastung alpiner Waldökosysteme. Posterserie (7 Poster) Symposium „Risikofaktoren für alpine Waldökosysteme“. FBVA, Mariabrunn, 12. Februar 1997.
- HERMAN F., KNOFLACHER M., LOIBL W., KALINA M., SMIDT S., 1997. Assessment of risk due to nitrogen input in the European Alps. 4th Int. Symp. on „Responses of Plant and Global Change“, April 1-5, 1997, Egmond aan Zee, Niederlande. Summary für den Tagungsband und Bericht für den Proceedings-Band.
- HERMAN F., KALINA M., KNOFLACHER M., LOIBL W., 1997. Wet, dry and occult deposition in alpine forests. Tagung „Integrated Monitoring in alpine forest ecosystems“, Bozen, Oct. 29-31, 1997.
- HERMAN F., LÜTZ C., SMIDT S., 1998. Description and evaluation of pollution impacts on forest ecosystems - results of long-term Austrian field experiments. Introduction. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 16-24.
- HERMAN F., 1998. Investigation of the lead content of spruce needles in remote and rural areas over a 30 year period. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 70-74.
- HERMAN F., LÜTZ C., SMIDT S., 1998. Pollution-related stress factors for forest ecosystems - Synopsis. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 2-15.
- HERMAN F., KNOFLACHER M., LOIBL W., KALINA M., SMIDT S., 1997. Assessment risk by nitrogen input in the European Alps. In: Responses of plant metabolism to air pollution. de Kok L.J., Stulen I. (eds.), Backhuys Publishers. Herman F., Smidt S., 1998. Waldschadensforschung belegt: Grenzwerte aktualisieren. Österr. Forstztg. 7/97, 13-14.
- HERMAN F., SMIDT S., 1998. Forest damage research and monitoring in the Tyrolean Alps - Results of long-term field experiments. In: Research and monitoring as key elements for the sustainable development of the limestone Alps, European Strategies. October 11-13, 1998, Bled/Slovenja, 133-141.
- HERMAN F., SMIDT S., 1998. Pollution-related stress factors for forest ecosystems - Results of long-term Austrian field experiments. Proceedings 11th World Clean Air, Environment Congress, Durban/South Africa, Sept. 13-18, 1998, Vol. 3, 8A-11, 5pp.
- HERMAN F., SMIDT S., HUBER S., ENGLISCH M., KNOFLACHER M., 2000. Evaluation of pollution-related stress factors for forest ecosystems in Central Europe. Environ. Sci. & Pollut. Res., 8 (4), 231-242.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., 2001. Stickstoffflüsse an einem kalkalpinen Standort. FBVA-Berichte 119, 5-15.
- HERMAN F., ENGLISCH M., SMIDT S., 2001. Stickstoffflüsse an einem kalkalpinen Standort - Zusammenschau. FBVA-Berichte 119, 129-135.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., 2001. Untersuchungen von Stickstoffflüssen im Tiroler Kalkalpin - Ziele und methodischer Ansatz. Poster, 75 Jahre Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Jahrestagung 2001, 1.-9.9.2001, Wien.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., 2001. Untersuchung von Stickstoffflüssen im Tiroler Kalkalpin - Ziele und methodischer Ansatz. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundliche Gesellschaft, Jahrestagung 2001, 1.-9.9.2001, Wien, Bd. 96/Heft 1, 203-204.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., GARTNER M., JANDL R., MUTSCH F., GATTERMAYR W., 2002. Nitrogen fluxes on an intensive investigation plot in the North Tyrolean Limestone Alps. Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue 2, 3-9.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., FEICHTINGER F., GERZABEK M., HABERHAUER G., JANDL R., KALINA M., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2002. Investigations of nitrogen fluxes and pools on a limestone site in the Alps. Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue 2, 46-52.
- HERMAN F., SMIDT S., 2003. Ozon – die Nr. 1 der Luftschadstoffe in Österreich. Poster AUSTROFOMA Aigen/Schlägl, 8. und 9.10. 2003.

- HERMAN F., SMIDT S., JANDL R., ENGLISCH M., 2003. Flux studies in the North Tyrolean Limestone Alps. Poster, Conference on Water and Society – Needs, Challenges, and Restrictions. Nov. 19-21, 2003, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- HERMAN F., SMIDT S., JANDL R., 2003. Flux Studies in the North Tyrolean Limestone Alps Challenges, and Restrictions. 19-21 November 2003, 3 days conference and 1 day field trip. Abstracts. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien, 54.
- HERMAN F., SMIDT S., 2003. Adapting the management of mountain forests to new environmental conditions – Results and research needs. Mountain Research and Development, 23 (4), 381-383.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., JANDL R., 2004. Nitrogen Flux Studies in the North Tyrolean Limestone Alps. Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur 18, 154-168.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., JANDL R., 2004. Der österreichische Wald ist durch Luftschadstoffe gefährdet. Beitrag zum österreichischen Walddialog. <http://bfw.ac.at/600/pdf/2232.pdf>.
- HERMAN F., SMIDT S., FÜRST A., BREITENBACH M., PLATTNER J. (Hrsg.), 2004. Waldschädigende Luftverunreinigungen. BFW Praxis-Info Nr. 5.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., 2004. Investigation of nitrogen fluxes and pools – model approaches and results. Pre-workshop Symposium “Interactions of elevated CO₂ and O₃”. Holiday Inn Express, Wisconsin River/Pelican River Room. April 26, 2004, Rhineland, Wisconsin.
- HERMAN F., SMIDT S., 2004. Der österreichische Wald ist durch Luftschadstoffe gefährdet. Beitrag zum österreichischen Walddialog. <http://bfw.ac.at/600/pdf/2232.pdf>
- HERMAN F., SMIDT S., 2004. Forest ecosystem research in Tyrol. Poster BFW.
- HERMAN F., SMIDT S., 2004. Immissionsforschung. BFW Praxis-Info Nr. 5, 8-12.
- HERMAN F., SMIDT S., 2004. Immissionsschutz – Gesetzliche Grundlagen zum Schutz des Waldes vor Immissionen und kritische Belastungen. BFW Praxis-Info Nr. 5, 7.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., 2004. Investigation of nitrogen fluxes and pools – model approaches and results. Pre-workshop Symposium “Interactions of elevated CO₂ and O₃”. Holiday Inn Express, Wisconsin River/Pelican River Room. April 26, 2004, Rhineland, Wisconsin.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., JANDL R., 2004. Nitrogen Flux Studies in the North Tyrolean Limestone Alps. Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur 18, 154-168.
- HERMAN F., SMIDT S., LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., 2005. Evaluation of the ozone-related risk for Austrian forests. In: Plant responses to air pollution and Global Change (k. Omasa, I. Nouchi, L.J. De Kok, eds.), 53-61. Springer.
- HERMAN F., 2005. Modelling of ozone and nitrogen risk for Austrian forests. 37th Air Pollution Workshop and International Symposium, Banff, Alberta, Canada, 25.-28.4.2005. Tagungsband.
- HERMAN F., STREBL F., LEXER W., ENGLISCH M., JANDL R., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., RIGLER E., KATZENSTEINER K., SMIDT S., 2005. Modelling of nitrogen risk under climatic scenarios for a spruce stand in the Austrian Alps. Poster, 37th Air Pollution Workshop and International Symposium, Banff, Alberta, Canada, April 25-28, 2005.
- HERMAN F., SMIDT S., FÜRST A., 2005. The nitrogen risk for Austrian forest ecosystems. Phytion, 45 (3), 385-393.
- HERMAN F., SMIDT S., STOPPER S., 2005. Pb and Cd input by wet, dry and occult deposition in the Tyrolean Limestone Alps. Workshop “Metal fluxes and stresses in terrestrial ecosystems”. Ascona/Switzerland, Oct. 15-20, 2005.
- HERMAN F., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., GERZABEK M., HABERHAUER G., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., SMIDT S., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2006. Investigations of nitrogen pools and fluxes in a Limestone Site in the Tyrolean Alps. 9. Österreichischer Klimatag “Klima, Klimawandel und Auswirkungen”, March 16-17, 2006, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna. Posterabstract, Proceedings.
- HERMAN F., SMIDT S., STOPPER S., MUTSCH F., 2006. Cadmium in depositions and soils in the Tyrolean Limestone Alps. Jahrestagung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, May 4-5, 2006, Rust/Bgld.
- HERMAN F., ENGLISCH M., JANDL R., SMIDT S., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2006. Vortrag: Beiträge zur Working Group Forest Fluxes. 2. Umweltbeobachtungskonferenz, Wien 2006.
- HERMAN F., SMIDT S., STOPPER S., MUTSCH F., 2006. Pb and Cd input by wet, dry and occult deposition in the Tyrolean Limestone Alps. Poster: Symposium on Air Pollution and Vegetation Effects Research in National Parks and Natural Areas: Implications for Science, Policy and Management, April 10, The 38th Air Pollution Workshop, April 11-13 Charlottesville, VA, 2006.
- HERMAN F., SMIDT S., 2006. Bioindication methods as early warning system for heavy metal and stress impact for forest ecosystems. Poster: Symposium on Air Pollution and Vegetation Effects Research in National Parks and Natural Areas: Implications for Science, Policy and Management, April 10, The 38th Air Pollution Workshop, April 11-13, Charlottesville, VA, 2006.
- HERMAN F., SMIDT S., STOPPER S., MUTSCH F., 2006. Cd input by wet, dry and occult deposition in Alpine forest ecosystems. Poster: Tagung Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft. Rust, May 4-5, 2006.
- HERMAN F., SMIDT S., 2006. Air pollutants – risk for forests. Poster: EU-Forstdirektorenkonferenz Gmunden, 26.-30.6.2006.
- HERMAN F., SMIDT S., 2006. Modelling of nitrogen dynamics in an Alpine forest ecosystem on calcareous soils: A scenario-based risk assessment under changing environmental conditions. Poster: 22th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems, September 10-15, 2006. Riverside, CA.

- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Measuring and modelling of the nitrogen cycle in the North Tyrolean Limestone Alps. Poster Internationale Konferenz „Diffuse Einträge in das Grundwasser. Monitoring, Modellierung, Management“. Graz, January 29-31, 2007.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Measuring and modelling of the nitrogen cycle in the North Tyrolean Limestone Alps. Abstract Internationale Konferenz „Diffuse Einträge in das Grundwasser. Monitoring, Modellierung, Management“. Graz, 29.-31.1.2007.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER S., 2007. Modellierung der Stickstoffdynamik in den Kalkalpen. http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/luftverunreinigungen/index.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., HOBIE E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Modelling of nitrogen dynamics in an Alpine forest ecosystem on calcareous soils: A scenario-based risk assessment under changing environmental conditions. *The Scientific World Journal* 7 (2007), 159-165.
- HERMAN F., SMIDT S., 2007. Air pollutants – risk for forests. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Measuring and modelling of the nitrogen cycle in the North Tyrolean Limestone Alps. Poster Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, May 10-11, 2007, St. Peter/OÖ.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Measuring and modelling of the nitrogen cycle in the North Tyrolean Limestone Alps. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- HERMAN F., SMIDT S., STOPPER S., 2007. Pb und Cd Eintrag durch trockene, nasse und okkulte Deposition in den Tiroler Kalkalpen. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- HERMAN F., SMIDT S., 2007. Bioindikationsmethoden für Waldökosysteme als Stress-Frühwarnsystem. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Abstract „Effects of increasing temperature and nitrogen deposition on nitrogen output in mountain forests“ von Herman et al. Tagung „Managing Alpine Future“ (Oct. 15-16, 2007), Innsbruck, p. 57.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Poster „Effects of increasing temperature and nitrogen input on nitrogen output in Alpine forests“ „Managing Alpine Future“ (15./16.10.2007) in Innsbruck.
- HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., JANDL R., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2007. Modelling of nitrogen dynamics in an Austrian alpine forest ecosystem on calcareous soils: A scenario-based risk assessment under changing environmental conditions. *The Scientific World, Short Communication. TheScientificWorldJournal*, New York, 7(S1), 159-165.
- HOFMANN P., 1991. Immissionsökologisch orientierte Flechtenkartierung des Talprofils Achenal. Endbericht, Universität Salzburg, im Auftrag des BMLF.
- HOFMANN P., 1992. Flechtenkartierung im Raum Achenkirch. Poster „Achenkirchtag“ „Ecosystematic Research in Achenkirch“, Achenkirch, Nov. 19, 1992.
- HOFMANN P., 1992. Immissionsökologisch orientierte Flechtenkartierung im Raum Achenkirch. FBVA-Berichte 70, 91-101.
- HOFMANN P., 1994. Pollutant-related mapping of lichens in the area of Achenkirch. *Phyton (Horn, Austria)* 34 (3), 71-83.
- HUMER G., EILMSTEINER W., LORBEER G., 1995. Lindan im Niederschlag. Umweltbundesamt, UBA-BE-010.
- INSAM H., RANGGER A., 1993. Bodenmikrobiologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes G3, Höhenprofil Achenkirch. Endbericht, Universität Innsbruck, im Auftrag des BMLF. 56.840/40-VA26/94.
- INSAM H., RANGGER A., GÖBL F., 1995. Bodenmikrobielle Untersuchungen auf beweideten und nicht beweideten Flächen Schulterberg. FBVA-Berichte 87, 215-220.
- INSAM H., 1996. Bodenmikrobiologische Untersuchungen zur Wald/ Weideproblematik im Raum Achenkirch. Endbericht, Universität Innsbruck, im Auftrag des BMLFUW.
- INSAM H., RANGGER A., HENRICH M., HITZL W., 1996. The effect of grazing and soil-microbial biomass and community on alpine pastures. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (4), 205-216.
- JANDL R., ZOTRIN R., 2000. Wasserhaushalt und Stoffbilanz von Wäldern. *Österreichische Forstzeitung* 111 (7), 8-9.
- JANDL R., 2001. Bilanzierungsansatz für Stoffflüsse mit einem Simulationsmodell. FBVA-Berichte 119, 117-127.
- JANDL R., HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., FEICHTINGER F., GERZABEK M., HABERHAUER G., HÄRTEL E., KALINA M., MUTSCH F., ZECHMEISTER S., 2001. Untersuchungen von Stickstoffflüssen im Tiroler Kalkalpin. Erste Ergebnisse. Poster, 75 Jahre Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Jahrestagung 2001, 1.-9.9.2001, Wien.
- JANDL R., SPÖGLER H., SIMUNEK J., HENG L.K., 2002. Simulation of soil hydrology and establishment of a nitrogen budget of a mountain forest. *Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue* 2, 42-45.

- JANDL R., HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M., FEICHTINGER F., GERZABEK M., HABERHAUER G., HÄRTEL E., KALINA M., MUTSCH F., ZECHMEISTER S., 2001. Untersuchung von Stickstoffflüssen im Tiroler Kalkalpin. Erste Ergebnisse. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundliche Gesellschaft, Jahrestagung 2001, 1.-9.9.2001, Wien, 96 (1), 207-208.
- JANDL R., KNOCH R., KATZENSTEINER K., 2003. Forest hydrology and climate change - Case study Mühleggerköpfl. Poster-präsentation Tagung Water and Society, November 19-21, 2003.
- JANDL R., KNOCH R., KATZENSTEINER K., 2004. Forest hydrology and climate change - Case study Mühleggerköpfl. Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur 18, 169-180.
- JANDL R., HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2008. Modelling of nitrogen dynamics in an Alpine forest ecosystem on calcareous soils: A scenario-based risk assessment under changing environmental conditions. *Environmental Pollution*, 155, 512-516.
- JANDL R., 2007. Kann der Wald einen Beitrag zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls liefern? Vortrag Umweltprobleme im Alpenraum, 15. Mai 2007, Achenkirch.
- KAISER A., 1990. Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluss auf die gemessene Immissionsbelastung im Bereich des Höhenprofils Zillertal. Endbericht, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Auftrag des BMLF.
- KAISER A., 1994. Immissionsmeteorologische Analyse Achenkirch. Interim Report, Center of Meteorology and Geodynamics.
- KAISER A., JARITZ M., POSPISIL B., 1995. Analyse der meteorologischen Verhältnisse im Raum Achenkirch und ihr Einfluß auf die gemessene Immissionsbelastung. Endbericht, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Auftrag des BMLF.
- KAISER A., 1995. Analyse der meteorologischen Verhältnisse im Raum Achenkirch und ihr Einfluß auf die gemessene Immissionsbelastung. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien. Teil I Abschlussbericht GZ 56.810/08-VA2/93). Teil II: Abbildungen.
- KAISER A., 1996: Analysis of the vertical temperature- and wind structure in Alpine valleys and their effects on air pollutants. *Proceedings of ICAM 96*, Bled, Slovenia, 312-319.
- KAISER A., 1996. Die meteorologischen Verhältnisse im Achenental und ihre Auswirkungen auf die gemessenen Immissionskonzentrationen. *FBVA-Berichte* 94, 23-46.
- KALINA M., ZAMBO E., PUXBAUM H., 1995. Okkulte Deposition in Achenkirch. 1. Zwischenbericht. Institut für Analytische Chemie, TU Wien, 2/95. Im Auftrag des BMLF. 56.840/37-VA26/95.
- KALINA M., ZAMBO E., STOPPER S., GARMROUDI Y., PUXBAUM H., 1995. Okkulte Deposition in Achenkirch. 2. Zwischenbericht. Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie, 1/96. Im Auftrag des BMLF. GZ. 56.840/53-VA2b/95.
- KALINA M., STOPPER S., ZAMBO E., PUXBAUM H., 1996. Cloudwater chemistry at a mountain site (1280 m a.s.l.) in the Area of Achenkirch. Poster 26th Int. Symp. on Environ. Anal. Chem. Vienna, April 9-12, 1996.
- KALINA M., STOPPER S., ZAMBO E., PUXBAUM H., 1996. Zusammensetzung des Nebelwassers in Achenkirch - Ergebnisse einer einjährigen Messperiode. *FBVA-Berichte* 94, 47-60.
- KALINA M., PUXBAUM H., 1996. Okkulte Deposition in Achenkirch. 3. Zwischenbericht. Institut für Analytische Chemie, TU Wien, 3/96. Im Auftrag des BMLF. 56.840/53-VA2b/95.
- KALINA M., 1997. Atmosphärischer Eintrag von N- und S-Verbindungen durch trockene, nasse und okkulte Deposition im Höhenprofil Achenkirch. Dissertation Technische Universität Wien.
- KALINA M.F., PUXBAUM H., 1997. Atmosphärischer Eintrag von Stickstoff- und Schwefelverbindungen durch trockene, nasse und okkulte Deposition im Höhenprofil Achenkirch. Endbericht, Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie. Im Auftrag des BMLFUW. GZ. 56.840/53-VA2b/95.
- KALINA M. F., PUXBAUM H., 1998. Elevational profiles of sulfur and nitrogen compounds in fog/cloudwater in an Alpine valley (Achenkirch, Tyrol, Austria), 28th International Symposium on Environmental Analytical Chemistry, Geneva, Switzerland, March 1-5.
- KALINA M., ZAMBO E., PUXBAUM H., 1998. Assessment of wet, dry and occult deposition of sulphur and nitrogen at an alpine site. *Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue* 1, 53-58.
- KALINA M. F., ZAMBO E., PUXBAUM H., 1998. Cloud water chemistry and impact on total deposition of sulfur and nitrogen at different elevational levels in an alpine valley (Achenkirch, 930 - 1758 m a.s.l., Tyrol, Austria), *Proceedings: First International Conference on Fog and Fog Collection*, Vancouver, Canada, 19-24 July, 1998-06-11, ed. Robert S. Schemenauer and Howard Bridbman, IDRC, Ottawa, Canada (ISBN 0-9683887-0-1), 57-60.
- KALINA M. F., KRONEIS W., ZAMBO E., PUXBAUM H., 1998. Design and testing of an automated cloudwater collector for use in alpine environments, *First International Conference on Fog and Fog Collection*, 19-24 July 1998, Vancouver, Canada.
- KALINA M. F., PUXBAUM H., 1998. Elevational profiles of sulfur and nitrogen compounds in fog/cloudwater in an Alpine valley (Achenkirch, Tyrol, Austria), 28th International Symposium on Environmental Analytical Chemistry, Geneva, Switzerland, March 1-5.
- KALINA M. F., PUXBAUM H., 2000. Elevational profiles of sulfur and nitrogen compounds in aerosol and cloudwater samples in an Alpine valley (Achenkirch, Austria). Poster Conference on Visibility, Aerosols, and atmospheric Optics. Vienna, Sept. 11-15, 2000.
- KALINA M. F., STOPPER S., ZAMBO E., PUXBAUM H., 2000. Nitrogen deposition in Alpine ecosystems (920, 1758m a.s.l., Achenkirch, Austria). Poster Euroanalysis XI, Sept. 3-9, Lisboa/Portugal. Book of Abstracts P-357.

- KALINA M.F., STOPPER S., ZAMBO E., PUXBAUM H., 2001. Eintrag von N-Verbindungen durch trockene, nasse und okkulte Deposition an zwei Höhenstufen in Achenkirch/Tirol. FBVA-Berichte 119, 73- 83.
- KALINA M., STOPPER S., ZAMBO E., PUXBAUM H., 2002. Altitude-dependent wet, dry and occult deposition in an Alpine region (Achenkirch, Austria, 920m – 1758m a.s.l.). Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue 2, 16-22.
- KESIK M., AMBUS P., BARITZ R., BRÜGGEMANN N., BUTTERBACH-BAHL K., DAMM M., DUYZER J., HORVÁTH L., KIESE R., KITZLER B., LEIP A., LI C., PIHLATIE M., PILEGAARD K., SEUFERT G., SIMPSON D., SKIBA U., SMIAŁEK G., VESALA T., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2006. Inventories of N₂O and NO emissions from European forest soils. Biogeosciences 2, 353-375.
- KITZLER B., 2006. Nitrous oxides emissions from Austrian forest ecosystems. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, 152 S.
- KITZLER B., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., HOLTERMANN C., SKIBA U., BUTTERBACH-BAHL K., 2006. Controls over N₂O, NO_x and CO₂ fluxes in a calcareous mountain forest soil. Biogeosciences 3, 383-395.
- KITZLER B., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., HOLTERMANN C., SKIBA U., BUTTERBACH-BAHL K., 2006. Controls over N₂O, NO_x and CO₂ fluxes in a calcareous mountain forest soil. Biogeosciences 3, 383-395.
- KNOFLACHER M., 1996. Synthese flächenbezogener Risikofaktoren für das Untersuchungsgebiet Achenkirch und Untersuchung deren Bedeutung für das Kalkalpin am Beispiel der Wuchsgebiete 2.1 und 4.1. Endbericht, Austrian Research Centers Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW.
- KNOFLACHER H.M., LOIBL W., 1996. Flächenbezogene Abschätzung des Risikos durch Protonen- und Stickstoffeinträge für Waldböden des Tiroler Kalkalpin. FBVA-Berichte 94, 231-254.
- KNOFLACHER H.M., LOIBL W., 1996. Flächenbezogene Abschätzung des Risikos durch Protonen- und Stickstoffeinträge für Waldböden des Tiroler Kalkalpin. Österreichische Forschungszentrum Seibersdorf, OEFZS-A-3870.
- KNOFLACHER H.M., LOIBL W., 1996. Flächenbezogene Abschätzung des Risikos durch H- und N-Einträge für Waldböden des Tiroler Kalkalpin. Endbericht, Austrian Research Centers Seibersdorf. Im Auftrag des BMLFUW.
- KNOFLACHER M., 1997. Räumliche Feindifferenzierung von Risikomodellen in kalkalpinen Standorten. Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, OEFZS-A-4269.
- KNOFLACHER M., LOIBL W., 1998. Calculation and mapping of Critical Loads for protons and nitrogen on forest ecosystems in the Northern Tyrolean Limestone Alps. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 75-80.
- KNOFLACHER M., KOPCSA A., LOIBL W., ZÜGER J., 1998. Räumliche Feindifferenzierung von Risikomodellen für Wälder auf kalkalpinen Standorten. Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Report ÖFZS-A-4529. BMLF.
- KNOFLACHER H.M., KOPCSA A., LOIBL W., ZÜGER J., 1998. Räumliche Feindifferenzierung von Risikomodellen für Wälder auf kalkalpinen Standorten. Endbericht, Austrian Research Centers Seibersdorf. Im Auftrag des BMLFUW.
- KNOFLACHER H.M., 1999. Interaction between social and ecological systems – an approach for understanding essentials of sustainable development. In: Wiman R., Partonen T. (eds.): Putting people at the center of sustainable development. Proceedings of the expert meeting on the social dimension in sustainable development. Helsinki, October 15-17 1998, Stakes.
- KNOFLACHER H.M., 2000. Modellhafte Risikobewertung für Wälder auf kalkalpinen Standorten mit Lösungsansätzen für die sozioökonomische Ebene. Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, OEFZS—S-0068. GZ 56.810/11-VA2b/99.
- KNOFLACHER H.M., GEBETSTOITHER E., 2000. Modellhafte Risikobewertung für Wälder auf kalkalpinen Standorten mit Lösungsansätzen für die sozioökonomische Ebene. Endbericht, Austrian Research Centers Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW.
- KREHAN H., TOMICZEK C., 1992. Forstliche Beschreibung der Probestflächen und Kronenzustände der Probebäume an den Höhenprofilen Achenkirch. FBVA-Berichte 70, 19-24.
- KRENN A., HABERHAUER G., GERZABEK M.H., 1999. Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort im Kalkalpin zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers. Zwischenbericht GZ. 56.810/14-VA2b/97, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- KRENN A., HABERHAUER G., GERZABEK M.H., 2001. Bodenwasseruntersuchungen mit Lysimetern am Standort Mühleggerköpfl (Kalkalpin): Messmethoden und Versuchsaufbau. FBVA – Berichte 119, 93-99.
- KRENN A., HABERHAUER G., GERZABEK M.H., 1999. Lysimeter study for the determination of ¹⁵N-nitrate leaching in an Alpine forest. Proceedings of the 10th N-workshop, Copenhagen.
- KRENN A., HABERHAUER G., GERZABEK M.H., 1999. Konstruktion eines Waldlysimeters zur Untersuchung des Stickstoffhaushaltes mit ¹⁵N. Proceedings of the 8th Lysimetertagung Gumpenstein. BAL, Irding, 101-103.
- KESIK M., AMBUS P., BARITZ R., BRÜGGEMANN N., BUTTERBACH-BAHL K., DAMM M., DUYZER J., HORVÁTH L., KIESE R., KITZLER B., LEIP A., LI C., PIHLATIE M., PILEGAARD K., SEUFERT S., SIMPSON D., SKIBA U., SMIAŁEK G., VESALA T., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2005: Inventories of N₂O and NO emissions from European forest soils, Biogeosciences, 2, 353-375.
- KREUZINGER N., 1993. Isolierung, Charakterisierung und Vergleich des gdp-Gens aus den Mykorrhizapilzen *Amantia muscaria*, *Boletus edulis* und *Lactarius deterrimus*. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Inst. f. Biochemische Technologie und Mikrobiologie.

- KREUZINGER N., PODEU R., HAUDEK S., GRUBER F., GÖBL F., KUBICEK C.P., 1993. Detection of mycorrhizal fungi via PCR. 23th annual meeting of the Society of Ecology, held Sept. 6-9, 1993, in Innsbruck. Proceedings.
- KREUZINGER N., PODEU R., GÖBL F., GRUBER F., KUBICEK C.P., 1996. Identification of some ectomycorrhizal basidiomycetes by PCR-amplification of their gpd-Genes. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 109-118.
- KUBICEK C.P., GRUBER F., HAUDEK S., KREUZINGER N., PODEU R., 1992-1994. Identifizierung und Quantifizierung von Mykorrhizapilzen anhand spezifischer, PCR-amplifizierter DNA-Sequenzen. Abschlussbericht Institut für Biochemische Technologie und Mikrobiologie, Technische Universität Wien. GZ. 56.810/39-VA2/91.
- KUBICEK C.P., GRILLENBERGER S., GÖBL F., 1998. Bestandsaufnahme mykorrhizenbildender Pilze im Untersuchungsgebiet Achenkirch unter Verwendung molekularbiologischer Untersuchungsmethoden. Zwischenbericht, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. GZ. 56.840/50-VA2b/96.
- KUBICEK C.P., GRILLENBERGER S., GÖBL F., 1999. Bestandsaufnahme mykorrhizenbildender Pilze im Untersuchungsgebiet Achenkirch unter Verwendung molekularbiologischer Untersuchungsmethoden. Endbericht Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLFUW. GZ. 56.840/50-VA2b/96.
- LEITNER J., SMIDT S., HERMAN F., PLATTNER J., PAUSCH J., 1996. Höhenprofile Achenkirch. Messbericht 1995. Luftschadstoffmessungen. Bericht G3-1/1996.
- LEXER M.J., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., GERZABEK M., HÄRTEL E., HERMAN F., HOBIE R., JANDL R., KATZENSTEINER K., SMIDT S., SPÖGLER H., STREBL F., ZECHMEISTER S., 2001/2002/2003. Modellierung des Stickstoffhaushaltes in einem Waldökosystem in den Nordtiroler Kalkalpen und szenariobasierte Risikobewertung unter veränderlichen Umweltbedingungen. 1., 2. und 3. Zwischenbericht, Universität für Bodenkultur, ARCS, BFW, im Auftrag des BMLFUW. GZ. 56.810/34-VA2b/2000.
- LEXER M.J., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., GEBETSROITHER E., GERZABEK M., HÄRTEL E., HERMAN F., HOBIE R., JANDL R., KATZENSTEINER K., SMIDT S., SPÖGLER H., STREBL F., ZECHMEISTER S., 2004. Modellierung des Stickstoffhaushaltes in einem Waldökosystem in den Nordtiroler Kalkalpen und szenariobasierte Risikobewertung unter veränderlichen Umweltbedingungen. Endbericht, Universität für Bodenkultur, ARCS, BFW, im Auftrag des BMLFUW. GZ. 56.810/34-VA2b/2000.
- LITSCHAUER R., 1996. Blüte und Fruktifikation der Waldbaumarten am Schulterberg - Erste Ergebnisse. FBVA-Berichte 94, 145-156.
- LÖFLUND M., KASPER-GIEBL A., STOPPER S., URBAN H., BIEBL P., KIRCHNER M., BRÄUTIGAM S., PUXBAUM H., 2002. Monitoring ammonia in urban, inner alpine and pre-alpine air. *J. Environ. Monit.* 4, 205-209.
- LOIBL W., 1996. Spatial modelling of accumulated ozone exposure in alpine regions considering daytime and elevation-dependence - Comparison of different ozone exposure patterns. Proceedings of the Workshop on Critical Levels for ozone in Europe: Testing and finalising the concept. Univ. of Kuopio, Finland.
- LOIBL W., 1997. Modelling tropospheric ozone distribution considering the spatio-temporal dependencies within complex terrain. In: J. Kraak, M. Molenaar (eds.), *Advances in GIS Research II*. Taylor, Francis Ltd. London, 667-678.
- LOIBL W., 1999. Neuberechnung von Critical-Level Karten der Ozonbelastung für ausgewählte Waldgebiete. Berechnung eines modifizierten Critical Level II für Ozonaufnahme unter Berücksichtigung der Wasserverfügbarkeit im Boden. Endbericht, Austrian Research Centers Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW. 56.840/02-VA2b/98
- LOIBL W., KOPCSA A., ZÜGER J., 1999. Critical Levels-Karten für Ozon für ausgewählte Waldgebiete: Berechnung eines modifizierten AOT40. Level II-Ozonaufnahme abhängig von Witterungsbedingungen. Austrian Research Centers, OEFZS-S-0042. Endbericht, im Auftrag des BMLFUW 56.810/03-VA2/98.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., SMIDT S., 2000. Risk assessment of ozone impact to forest areas in Austria. Poster 3rd Int. Workshop Igls/Tirol, May 3-5, 2000.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2004. Modelling Critical Levels of Ozone for the Forested Area of Austria - Modification of the AOT40 Concept. *Env. Sci. & Pollut. Res.* 11 (3), 171-180.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2004. Modelling Critical Levels of ozone for the forested area of Austria - Modifications of the AOT40 concept. Poster zum Meeting "Forests under changing climate, enhanced UV and air pollution. Oulu/Finnland, August 25-30, 2004.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2004. Modelling Critical Levels of ozone for the forested area of Austria - modification of the AOT40 concept. *Env. Sci. & Pollut. Res.* 11 (3), 171-180.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2005. Modelling Critical Levels of ozone for the forested area of Austria - Modifications of the AOT40 concept. Abstractband Meeting "Forests under changing climate, enhanced UV and air pollution. Oulu/Finnland, August 25-30, 2004. Proceedings (H. Kinnunen, S. Huttunen, eds.) 52-54.
- LORBEER G., KOHLERT R., 1994. Messungen der Trichloressigsäure im Regenwasser von Achenkirch (Mühleggerköpf) - erste Ergebnisse. FBVA-Berichte 78, 39-40.
- LORBEER G., HARTL W., KOHLERT R., 1994. Determination of trichloroacetic acid in rainwater from Achenkirch and other Austrian sites. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 57-61.
- LÜTZ C., 1994. Standort- und jahreszeitabhängige Änderung im Photosyntheseapparat von Fichtennadeln im Rahmen des Achenkirchprojektes. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Oberschleißheim. Zwischenbericht im Auftrag des BMLF. GZ. 56.810/42-VA2/92.

- LÜTZ C., DODELL B., RICKE E., 1994. Photosynthetische Untersuchungen an Fichten ausgewählter Standorte in den Bergwäldern bei Achenkirch. FBVA-Berichte 78, 91-100.
- LÜTZ C., DODELL B., 1994. Photosynthetic performance of spruce trees from selected research areas of the mountain forests near Achenkirch. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 127-140.
- LÜTZ C., CZAPALLA S., DARCHINGER I., KUHNKE R., 1995. Standort- und jahreszeitabhängige Änderungen im Photosyntheseapparat von Fichtennadeln im Rahmen des Achenkirchprojektes. Abschlussbericht Proj. 56.810/42-VA2/92.
- LÜTZ C., CZAPALLA S., 1996. Standort- und jahreszeitabhängige Änderungen im Photosyntheseapparat von Fichtennadeln am Schulterbergprofil. FBVA-Berichte 94, 213-230.
- LÜTZ C., CZAPALLA S., DARCHINGER I., KUHNKE R., 1996. Standort- und jahreszeitabhängige Änderungen im Photosyntheseapparat von Fichtennadeln im Rahmen des Achenkirchprojektes. Endbericht des GSF Forschungszentrums München, im Auftrag des BMLF.
- LÜTZ C., 1997. Untersuchung der Photosynthese als Vitalitätsindikator für Buchen im Höhenprofil Achenkirch. Zwischenberichte 1996 und 1997, GZ. 820/27-VA2b/95, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- LÜTZ C., KUHNKE-THOSS R., THIEL S., 1998. Natural and anthropogenic influences on photosynthesis in trees of alpine forests. *Environ. Sci. & Poll. Res.*, Special Issue 1, 88-95.
- LÜTZ C., 1999. Untersuchungen der Photosynthese als Vitalitätsindikator für Buchen im Höhenprofil Achenkirch. Endbericht des GSF Forschungszentrums München, im Auftrag des BMLF.
- LÜTZ C., CECHE T., 2002-2005. Risikoabschätzung der synergistischen Wirkung von Ozonbelastungen und Klimastress auf die Schutzfunktion alpiner Lärchenbestände in Österreich. Zwischenberichte 1-3 zum Forschungsprojekt Nr. 56.810/22-IV2/2001.
- LÜTZ C., EGGER J., REMIAS D., DI PIAZZA L., CECHE T., 2005. Risikoabschätzung der synergistischen Wirkung von Ozonbelastungen und Klimastress auf die Schutzfunktion alpiner Lärchenbestände in Österreich. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Nr. 56.810/22-IV2/2001.
- LÜTZ C., DI PIAZZA L., EGGER J., HERMAN F., REMIAS D., SMIDT S., 2006. Lärchen aus verschiedenen Hochlagen in Österreich: Gefährdung durch Klima- und Ozonstress. Tagungsband zur 16. Tagung des Österreichischen Arbeitskreises für Pflanzenphysiologen. Mauterndorf, 15.-18.6. 2006, Seite 67.
- LÜTZ C., DI PIAZZA L., EGGER J., HERMAN F., REMIAS D., SMIDT S., 2006. Lärchen aus verschiedenen Hochlagen in Österreich: Gefährdung durch Klima- und Ozonstress. Poster: 16. Tagung des Österreichischen Arbeitskreises für Pflanzenphysiologen. Mauterndorf, 15.-18.6. 2006.
- MARGL H., 1994. Klimadaten aus dem Raum Achenkirch. FBVA-Berichte 78, 17-25.
- MEISTER I., 1992. Vergleich der Schwermetallkonzentrationen in Flechten und in Organen von Wildtieren im selben Biotop. Diplomarbeit, Veterinärmedizinische Universität Wien.
- MOSER M., PEINTNER U., 1993. Mykosoziologische Untersuchungen im Projektgebiet Achenkirch mit besonderer Berücksichtigung von Schadstoffeinträgen. Endbericht, Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie. Im Auftrag des BMLF 56.840-35.
- MÜLLER M., 1993. Cytogenetische Bioindikation zur Früherkennung von Vegetationsschäden. Endbericht, Universität Graz, im Auftrag des BMLF.
- MÜLLER M., 1995. Cytogenetische Bioindikation an den „Höhenprofilen Achenkirch“ - Untersuchungen von Chromosomen-Aberrationen in Wurzelmeristemen der Fichten. FBVA-Berichte 87, 169-176.
- MÜLLER M., BERMADINGER-STABENTHEINER E., 1996. Investigations of chromosomal aberrations in the root tip meristems of spruce trees from the „Achenkirch Altitude Profiles“. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 163-176.
- MÜLLER M., TAUSZ M., GUTTENBERGER H., GRILL D., 1998. Early detection of environmental influences by recording chromosomal defects in root tip meristems of spruce trees. *Environ. Sci. & Poll. Res.*, Special Issue 1, 101-104.
- MUTSCH F., SMIDT S., 1993. Waldbodenzustandsinventur und Protoneneinträge. Poster Int. GSF-Symposium „Stoffeinträge aus der Atmosphäre und Waldbodenbelastung in den Ländern von ARGE ALP und ALPEN-ADRIA“, 27-29. März 1993.
- MUTSCH F., 1995. Einstufung der Böden im Raum Achenkirch nach chemischen Parametern. FBVA-Berichte 87, 55-68.
- MUTSCH F., 1995. Schwermetalle im Boden als Immissionsindikatoren auf einem Prallhang im Raum Achenkirch. FBVA-Berichte 87, 145-152.
- MUTSCH F., 1996. Classification of the soils in the area of Achenkirch according to chemical parameters. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 55-64.
- MUTSCH F., 1996. The use of heavy metals detected in the soil as air-pollution indicators on a stemming slope in the Achenkirch Area. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 145-154.
- MUTSCH F., 1998. Indication of long range transport of heavy metals based on the Austrian Forest Soil Monitoring System. *Environ. Sci. & Poll. Res.*, Special Issue 1, 81-87.
- MUTSCH F., 2001. Bodenchemische Charakterisierung des Mühleggerköpfls im Rahmen einer Untersuchung über N-Flüsse in den Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 119, 33-40.
- ONDERSCHKEA K., TATARUCH F., STEINECK T., 1991. Überprüfung des Nährstoffwechsels des Rot-, Reh- und Gamswildes im Lebensraum Achenkirch einschließlich der Belastung dieser Tiere mit Umweltschadstoffen. Veterinärmedizinische Universität, Abschlussbericht an das BMLF.
- ONDERSCHKEA K., VAVRA I., KLANSEK E., 1991. Ergebnisse der botanischen Analyse der Panseninhalte bei Gams-, Reh- und Rotwild im FUST-Revier Achenkirch (1989-1991). Eigenverlag Forsch. Inst. f. Wildtierkunde und Ökologie.
- OTTITSCH A., 1995. Erstellung einer Nutzungspotentialanalyse für den Raum Achenkirch. FBVA-Berichte 87, 121-132.

- OTTITSCH A., 1996. Land use potential analysis Achenkirch. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 119-130.
- PEINTNER U., 1991. Mykosoziologische Untersuchungen des Projektgebietes Achenkirch unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffeinträgen. Zwischenbericht im Auftrag des BMLF. GZ 56.840-35.
- PEINTNER U., MOSER M., 1993. Pilze als Bioindikatoren für Blei und Cadmium. 23th annual meeting of the Society of Ecology, Sept. 6-9, 1993, in Innsbruck. Proceedings.
- PEINTNER U., MOSER M., 1994. Mykosoziologische Untersuchung des Projektgebietes Achenkirch unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffeinträgen. Report Institute of Microbiology, University of Innsbruck.
- PEINTNER U., MOSER M., 1995. Artenvielfalt und Abundanz von Basidiomyceten im Projektgebiet Achenkirch. FBVA-Berichte 87, 69-94.
- PEINTNER U., 1995. Schwermetallgehalte von Basidiomyceten und deren Eignung als Bioindikatoren. FBVA-Berichte 87, 161-168.
- PEINTNER U., 1995. Mykosoziologische Untersuchungen im Projektgebiet Achenkirch unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffeinträgen. Dissertation, Universität Innsbruck.
- PEINTNER U., 1995. Mykosoziologische Untersuchungen des Projektgebietes Achenkirch unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffeinträgen. Endbericht, Universität Innsbruck, im Auftrag des BMLF.
- PEINTNER U., MOSER M., 1996. The mycobiota (Basidiomycetes) of an Alpine Tyrolean Valley. *Phyton* (Horn, Austria) 26 (4), 65-82.
- PEINTNER U., MOSER M., 1996. Survey of heavy metal deposition at the Schulterberg („Achenkirch Altitude Profiles“) by using Basidiomycetes as Bioindicators. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 155-162.
- PETROVIC V., EDL M., 1994. Bewertung des baumphysiologischen Zustands einer Auswahl von Fichten im Höhenprofil Achenkirch durch Bestimmung der Lipidzusammensetzung ihrer Nadeln. Endbericht Institut für Angewandte Botanik, Technische Mikroskopie und Organische Rohstofflehre, Technische Universität Wien Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLFUW. GZ. 56.810/03-VA2/91.
- PFEFFER M., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., SKIBA U., BUTTERBACH-BAHL K., 2005. Nitrogen deposition affects microbial communities in European forests. *Biogeosciences*, submitted.
- PILEGAARD K., BUTTERBACH-BAHL K., SKIBA U., DUYZER J., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., VESALA T., SEUFERT G., HORVAT L., 2004. Nitrogen load and forest type determine soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O). *Geophysical Research Abstracts* 6, 5693.
- PILEGAARD K., BUTTERBACH-BAHL K., SKIBA U., DUYZER J., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., VESALA T., SEUFERT G., HORVAT L., 2005. Characterisation of N-trace gas fluxes in forests growing in different climatic zones, *Geophysical Research Abstracts*, 5 (12601).
- PIZZININI E., GRILLENBERGER S., GÖBL F., KUBICEK C.P., 1996. Identifizierung von Fichten-Ektomykorrhizen des Schulterberges mit Hilfe der Polymerase-Kettenreaktion. FBVA-Berichte 94, 137-144.
- PIZZININI E., 1996. Untersuchungen an Ektomykorrhizen mit molekularbiologischen Methoden. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Inst. f. Biochemische Technologie und Mikrobiologie.
- PLATTNER J., PAUSCH J., 1994. Ozon, Schwefeldioxid und Inversionen. Poster „Achenkirchtag“, Achenkirch, 24 März 1994, Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- PLATTNER J., SMIDT S., HERMAN F., 2007. Messeinrichtungen am Intensivuntersuchungsstandort Mühleggerköpfl / Achenkirch. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- PLÜMACHER J., SCHRÖDER P., 1992. Luftgetragene organische Schadstoffe und ihre mögliche Entgiftung in Fichtennadeln des „Höhenprofil Achenkirch“. Poster „Achenkirchtag“ „Ecosystematic Research in Achenkirch“, Achenkirch, Nov. 19, 1992.
- PLÜMACHER J., SCHRÖDER P., 1993. Accumulation and fate of C₁/C₂-chlorocarbons and TCA in spruce needles from an Austrian mountain site. Poster Dioxin-Congress, Technical University Vienna, Sept. 20-24, 1993.
- PLÜMACHER J., SCHRÖDER P., 1994. Aufnahme und Verbleib von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen und Trichloroessigsäure - erste Untersuchungsergebnisse von Fichtennadeln am Christlumpprofil. FBVA-Berichte 78, 101-108.
- PLÜMACHER J., WOLF A., SCHRÖDER P., 1994. Accumulation of C₁/C₂-chlorocarbons and trichloroacetic acid and a possible correlation with glutathione S-transferases acid in conifer needles. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 141-154.
- PODEU R., 1993. Nicht radioaktive DNA Hybridisierungsverfahren als Werkzeug zum Nachweis und zur Unterscheidung von Mykorrhizapilzen. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Inst. f. Biochemische Technologie und Mikrobiologie.
- POGODINA O., PUSTOGOW V., BAUER H., PUXBAUM H., 2002. Atmosphärischer Eintrag von potenziell phytotoxischen organischen Verbindungen im Höhenprofil Achenkirch. Zwischenbericht, Technische Universität Wien, Institut für Chemische Technologien und Analytik. Im Auftrag des BMLFUW. GZ. 56.810/09 VA2b/2000.
- POGODINA O.A., PUSTOGOV V.V., H BAUER, PUXBAUM H., 2004. Atmosphärischer Eintrag von potentiell phytotoxischen organischen Verbindungen im Höhenprofil Achenkirch. Endbericht, GZ. 56.810/09 – VA 2b/2000.
- POGODINA O.A., PUSTOGOV V.V., DE MELAS F., HABERHAUER-TROYER C., ROSENBERG E., PUXBAUM H., INBERG A., CROITORU N., MIZAIOFF B., 2004. Combination of sorption-tube sampling and thermal desorption with hollow waveguide FT-IR spectroscopy for atmospheric trace gas analysis: Determination of atmospheric ethene at the lower ppb level. *Anal. Chem.* 76, 464-468.
- PUCHINGER L., EDL M., 1992. Vergleichende morphologische, anatomische sowie histochemische Studien an Fichtennadeln aus dem „Höhenprofil Achenkirch“. Poster „Achenkirchtag“ „Ecosystematic Research in Achenkirch“, Achenkirch, 19.11.1992.

- PUCHINGER L., EDL M., PETROVIC V., 1992. Bewertung des baumphysiologischen Zustandes einer Auswahl von Fichten im Höhenprofil Achenkirch durch Bestimmung der Lipidzusammensetzung ihrer Nadeln. Technische Universität Wien, Institut für Chemische Technologien und Analytik Zwischenbericht. Im Auftrag des BMLF. GZ. 56.810/03-VA2/91.
- PUCHINGER L., 1993. Bestimmung des Lipidmusters sowie der chemischen Zusammensetzung der löslichen Oberflächenwache zur Bewertung von Nadelproben aus höhen-differenzierten Fichtenbeständen Achenkirchs. Endbericht, Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLF.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1993. Anatomisch-biochemische Untersuchungen von Fichtennadeln. Poster 49th DGF-Congress Karlsruhe, Sept. 1 - 2, 1993.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1993. Bioindikation von Pflanzenstress anhand des Lipidmusters. Poster 49th DGF-Congress Karlsruhe, Sept. 1 - 2, 1993.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1993. Lipide Substanzen als Stressmarker von Fichtennadeln. Poster 49th DGF-Congress Karlsruhe, Sept. 1-2, 1993.
- PUCHINGER L., 1994. Bewertung des baumphysiologischen Zustands einer Auswahl von Fichten im Höhenprofil Achenkirch durch Bestimmung der Lipidzusammensetzung ihrer Nadeln. Endbericht Institut f. Angewandte Botanik, Technische Mikroskopie und Organische Rohstofflehre, Technische Universität Wien. GZ. 56.810/03-VA2/91.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1994. Bestimmung der Nadel lipide zur Bewertung der Stresssituation von Fichtenbeständen in den "Höhenprofilen Achenkirch". FBVA-Berichte 78, 83-90.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1994. Höhenprofile Achenkirch - Lipide Substanzen als Stressmarker von Fichtennadeln. Poster "Achenkirchtag", 24.3.1994 (Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien).
- PUCHINGER L., EDL M., 1994. Vergleichende morphologische, anatomische sowie histochemische Studien an Fichtennadeln aus dem orthogonalen Doppelprofil Achenkirch. Endbericht, im Auftrag des BMLF. GZ: 56.810/27-VA2/92.
- PUCHINGER L., EDL M., STACHELBERGER H., 1994. Makroskopisch-morphologische Untersuchungen an Fichtennadeln aus den "Höhenprofilen Achenkirch". FBVA-Berichte 78, 49-58.
- PUCHINGER L., STACHELBERGER H., 1994. Determination of lipids in spruce needles as stress indicators in the "Achenkirch Altitude Profiles". *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 113-126.
- PUCHINGER L., EDL M., STACHELBERGER H., 1994. Macroscopic-morphological studies of spruce needles from the "Achenkirch Altitude Profiles". *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 155-167.
- PUXBAUM H., MOSER M., 1995. Vorkommen von Peroxiden im Bereich des Höhenprofils Achenkirch. Endbericht, Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLF.
- PUXBAUM H., 1997. Atmosphärischer Eintrag von Schwermetallen durch trockene, nasse und okkulte Deposition im Höhenprofil Achenkirch. Endbericht, Technische Universität Wien, im Auftrag des BMLFUW.
- RANGGER A., INSAM H., HASELWANDTER, 1993. Mikrobielle Aktivitäten und Biomasse entlang eines Höhengradienten in den nördlichen Kalkalpen. 23th Annual Meeting of the Society of Ecology, held Sept. 6-9, 1993, in Innsbruck. Proceedings.
- RANGGER A., INSAM H., 1995. Mikrobielle Aktivitäten und Biomasse entlang eines Höhenprofils in den Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 87, 95-104.
- RANGGER A., INSAM H., 1996. Microbial activities and biomass along an altitudinal profile in the Northern Tyrolean Limestone Alps. *Phyton* (Horn, Austria) 36 (4), 83-94.
- E., HABERHAUER G., GERZABEK M.H., KRENN A., PICHLMAYER F., 1998. Untersuchung der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort am Mühleggerköpfl zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers in einem Waldökosystem. Zwischenbericht 03/98 der ARC Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW.
- RIGLER E., HABERHAUER G., GERZABEK M.H., KRENN A., PICHLMAYER F., 2000. Untersuchungen der stabilen Isotope des Stickstoffs und des Sauerstoffs an einem Waldstandort am Mühleggerköpfl zur Abschätzung der Belastung des Bodenwassers. Endbericht der ARC Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW.
- RIGLER-HÄRTEL E., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., GERZABEK M.H., 2001. Gasförmige N-Verluste aus einem Waldstandort in den Kalkalpen. FBVA-Berichte 119, 85-92.
- ROSENBERG E., HAUNOLD A., SCHUBERT P., GRASSERBAUER M., 1998. Measurement of volatile organic compound (VOC) concentrations along an altitude profile. *Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1*, 32-37.
- ROSENBERG E., SCHUBERT P., HAUNOLD A., GRASSERBAUER M., 1999. Analysis of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of a forest area in Achenkirch/Tyrol by thermodesorption-GC-MS-FID. In: *Organic xenobiotics and plants: Impact, metabolism and toxicity*. Proc. 4th IMTOX-Workshop, Sept. 25-26, 1997, 5-18. Umweltbundesamt / Weiss P. et al. (eds.).
- RUPPERT W., NOVAK H., HALBWACHS G., 1994. Höhenprofile Achenkirch - Schulterbergprofil. Biometrie, Anatomie und Histochemie. Zwischenbericht. Zentrum für Umwelt- und Naturschutz.
- RUPPERT W., HALBWACHS G., 1995. Höhenprofile Achenkirch - Biometrie, Anatomie und Histochemie. Endbericht, Zentrum für Umwelt- und Naturschutz.
- RUPPERT W., NOVAK H., HALBWACHS G., 1995. Anatomische und histochemische Untersuchungen im Raum Achenkirch. Endbericht, Universität für Bodenkultur, im Auftrag des BMLF.
- RUPPERT W., 1996. Trieb- und nadelbiometrische Untersuchungen an Fichten des Schulterberges. FBVA-Berichte 94, 193-198.
- RUPPERT W., 1996. Histologische und histochemische Untersuchungen an Fichtennadelquerschnitten des Schulterberges. FBVA-Berichte 94, 199-206.

- SATTELBERGER R., GÖTZ B., RISS A., LORBEER G., STEINER E., 1999. Nitrophenols and trichloroacetic acid (TCA) in precipitation in Austria. In: Organic xenobiotics and plants: Impact, metabolism and toxicity. Proc. 4th IMTOX-Workshop, Sept. 25-26, 1997, 33-37. Umweltbundesamt / Weiss P. et al. (eds.).
- SCHADAUER K., 1995. Beschreibung der Nordtiroler Kalkalpen anhand der Parameter der Österreichischen Waldinventur. FBVA-Berichte 87, 221-230.
- SCHADAUER K., 1996. Description of the Northern Tyrolean Limestone Alps with the help of the parameters from the austrian forest inventory. Phytion (Horn, Austria) 36 (4), 217-230.
- SCHAFER H., 2001. Verwaltung der Daten Projektes „Stickstoffflüsse am Mühleggerköpfl in den Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 119, 111-116.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., BUTTERBACH-BAHL K., 2004. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂ and N₂O emissions from European forest soils. Journal of Geophysical Research 109 (17), 1-12.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., BUTTERBACH-BAHL K., 2005. Temperature and moisture effects on nitrogen oxides emissions from different European forest soils. Geophysical Research Abstracts 7, 1733.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., JANDL R., 2005. Experimental soil warming effects on forest soil CO₂ release: A new measuring system with high temporal resolution. International Forestry Review 7 (5), 79.
- SCHRIFTENREIHE ALPINE UMWELTPROBLEME. Beiträge zur Umweltgestaltung, Erich Schmidt Verlag: Alpen – Umwelt ohne Zukunft - Entwicklung und Zwischenergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch, vol. A37, Ergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch, Parts I-IV, vol. A62 (1977), Ergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch, Parts V und VI, vol. A67 (1978), Ergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch, vol. A78, Expert meeting on “Der Wald als Lebensraum”, vol. A98 (1986), Ergebnisse des Forschungsprojektes Achenkirch, Part XXIX, vol. 110/1 (1989).
- SCHINDLBACHER A., JANDL R., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., GLATZEL G., 2006. Soil warming in a mountain forest ecosystem. Geophysical Research Abstracts: European Geoscience Union General Assembly, ISSN 1029-7006.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., JANDL R., 2007. Experimental soil warming effects on forest soil CO₂ release: a new measuring system with high temporal resolution. International Forestry Review, 7 (5), 79.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., GLATZEL G., JANDL R., 2007. Winter soil respiration from an Austrian mountain forest. Agricultural and Forest Meteorology, 146, 205-215.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., KITZLER B., JANDL R., 2008. Experimental forest soil warming: response of autotrophic and heterotrophic soil respiration to a short-term 10°C temperature rise. Plant and Soil, pp. DOI 10.1007/s11104-007-9511-2.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., GLATZEL G., JANDL R., 2007. Winter soil respiration from an Austrian mountain forest, Agric. Forest Meteorol. doi:10.1016/j.agrformet. 2007.06.001.
- SCHINDLBACHER A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., BUTTERBACH-BAHL K., 2004. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂ and N₂O emissions from European forest soils. Journal of Geophysical Research 109 (17), 1-12.
- SCHRÖDER P., 1993. Immission, Aufnahme und Entgiftung von Xenobiotika in Fichten am Schwerpunktstandort Achenkirch. Zwischenbericht Fraunhofer Institut und GSF München. GZ. 56.840/48-VA2/93.
- SCHRÖDER P., 1994. Deposition, Akkumulation und Entgiftung anthropogen emittierter halogenierter Kohlenwasserstoffe in Fichten. Fraunhofer Gesellschaft, Progress Report 1992, 95-100.
- SCHRÖDER P., 1994. Immission, Aufnahme und Entgiftung von Xenobiotika in Fichten am Schwerpunktstandort Achenkirch. Zwischenbericht Fraunhofer Institut und GSF München. GZ. 56.810/04-VA2/93.
- SCHRÖDER P., HERMAN F., HAUNOLD A., SMIDT S., 1994. Organic air pollutants as a potential stress factor in Alpine valleys of Bavaria (Germany) and the Tyrol (Austria). Poster 16. IUFRO Kongress Fredericton, Nouveau-Brunswick, Canada, 7.-9.9.1994, Proceedings 373-376.
- SCHRÖDER P., 1995. Immission, Aufnahme und Entgiftung von Xenobiotika in Fichten am Schwerpunktstandort Achenkirch. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Oberschleißheim, Institut für Biochemische Pflanzenphysiologie, Endbericht. GZ 56.810/04-VA2/93.
- SCHRÖDER P., BELFORD E.J., 1996. Untersuchung der Aktivität von Glutathion-S-Transferase in Nadeln von Fichten am Schulterberg-Nordostprofil und am Christlumpprofil. FBVA-Berichte 94, 75-82.
- SCHRÖDER P., PLÜMACHER J., 1998. Evaluation of the impact of volatile chlorinated hydrocarbons on forest trees based on air and needle measurement data and the toxification capacity of spruce needles. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 38-45.
- SCHUBERT P., 1996. Untersuchung flüchtiger organischer Verbindungen in der Atmosphäre eines Waldgebietes in Achenkirch / Tirol. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie.
- SCHWEIGER P., 1995. Untersuchungen der arbuskulären Mykorrhiza an beweideten und unbeweideten Waldstandorten auf Karbonat. Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie. Endbericht. Im Auftrag des BMLFUW. GZ. 38.027/1-IV/6/95.
- SCHWEIGER P., 1996. Beeinflussung der arbuskulären Mykorrhiza durch Beweidung an einem subalpinen Standort der Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 94, 123-136.
- SERRANO P.G., SCHINDLBACHER A., MEZQUIDA E. T., INCLÁN R., JANDL R., SANCHEZ A.R., 2007. Influence of temperature and altitude on soil respiration in a mediterranean mountain forest. Poster bei COST 639 Plenary meeting, Barcelona, Oct. 29-31, 2007.
- SMIDT S., 1982. Untersuchungen über das Auftreten von Ozon, seine kombinierte Wirkung mit SO₂ auf Fichte und das Vorkommen von sauren Niederschlägen in Österreich. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.

- SMIDT S., 1983. Untersuchungen über das Auftreten von sauren Niederschlägen in österreichischen Waldgebieten. Allg. Forstztg., vol. 94 (1), Bd. 216.
- SMIDT S., 1983. Untersuchungen über das Auftreten von sauren Niederschlägen in Österreich. Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. (Federal Forest Research Center) 150.
- SMIDT S., 1984. Analysen von Niederschlagsproben aus Waldgebieten Österreichs. Allg. Forstztg., vol. 95 (1) Information Service, Bd. 221, 13-15.
- SMIDT S., 1984. Analysen von Niederschlagsproben aus Waldgebieten Österreichs. Allg. Forstztg., vol. 95 (12) Information Service, Bd. 227.
- SMIDT S., 1985. Schadstoffeintrag durch nasse Deposition in verschiedenen Höhenlagen. Führer (ed.), Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, 120-129.
- SMIDT S., 1986. Bulk-Messungen an drei Höhenprofilen. Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung (Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16), vol. 12: "Workshop "Saure Depositionen", Salzburg, 16.-17.Sept. 1985, 195-214.
- SMIDT S., 1986. Depositionsmessungen in verschiedenen Höhenlagen. Beiträge zur Umweltgestaltung, vol. A 98: Problems Encountered in Alpine Environments (Alpine Umweltprobleme), Achenkirch Expert Meeting on "Forests and their Function as Habitats", 88-97, Erich Schmidt Verlag.
- SMIDT S., 1986. Bulk-Niederschlagsmessungen in Waldgebieten Österreichs, Ergebnisse 1984 und 1985. Allg. Forstztg. 97 (236), 339-341.
- SMIDT S., 1986. Bulkmessungen in Waldgebieten Österreichs. FBVA-Berichte 13.
- SMIDT S., 1988. Messungen der nassen Deposition in Österreich. FBVA-Berichte 27.
- SMIDT S., 1988. Luftschadstoffmonitoring in österreichischen Waldgebieten. Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Symposium 27.-28. Okt. 1988. Universität für Bodenkultur, Proceedings 39-59.
- SMIDT S., 1989. Messungen der nassen Depositionen und der Ozonkonzentrationen im Raum Achenkirch. Problems Encountered in Alpine Environments (Alpine Umweltprobleme) 110 (1), 277-296.
- SMIDT S., 1991. Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. FBVA-Berichte 50.
- SMIDT S., 1992. Analysen nasser Depositionen im Bereich der Höhenprofile Achenkirch. FBVA-Berichte 70, 77-81.
- SMIDT S., 1992. Luftschadstoffmessungen im Raum Achenkirch. Poster „Achenkirchtag“ "Ecosystematic Research in Achenkirch", Achenkirch, 19. Nov. 1992.
- SMIDT S., HERMAN F., 1992. Ecosystem studies at different elevations in an alpine valley - The Zillertal Altitude Profile (Tyrol/Austria). Phytion (Horn, Austria) 32 (2), 177-200.
- SMIDT S., HERMAN F., 1992. Stressbelastung alpiner Waldökosysteme. Poster „Achenkirchtag“ "Ecosystematic Research in Achenkirch", Achenkirch, 19. Nov. 1992.
- SMIDT S., HERMAN F., 1992. Möglichkeiten der Feststellung der Belastung von Waldökosystemen. Poster „Achenkirchtag“ "Ecosystematic Research in Achenkirch", Achenkirch, 19. Nov. 1992.
- SMIDT S., LEITNER J., 1992. Luftschadstoffmessungen im Bereich der Höhenprofile Achenkirch. FBVA-Berichte 70, 25-75.
- SMIDT S., 1993. Reaktionen von Forstbäumen auf kombinierte Einwirkungen von Luftschadstoffen in Begasungsversuchen. Federal Forest Research Center, Report XIb - 1/1993.
- SMIDT S., 1993. Die Ozonsituation in alpinen Tälern Österreichs. Centralblatt f. d. Gesamte Forstwesen 110, 205-220.
- SMIDT S., MUTSCH F., 1993. Messungen der nassen Freilanddepositionen an alpinen Höhenprofilen. Poster Int. GSF-Symposium "Stoffeinträge aus der Atmosphäre und Waldbodenbelastung in den Ländern von ARGE ALP und ALPEN-ADRIA", 27.-29. April 1993.
- SMIDT S., MUTSCH F., 1993. Messungen der nassen Freilanddepositionen an alpinen Höhenprofilen. Proceedings Int. GSF-Symposium "Stoffeinträge aus der Atmosphäre und Waldbodenbelastung in den Ländern von ARGE ALP und ALPEN-ADRIA". GSF-Berichte 39/93, 21-29.
- SMIDT S., 1994. Höhenprofile Achenkirch. Messbericht 1993.
- SMIDT S., GABLER K., 1994. SO₂, NO_x, and ozone records along the "Achenkirch Altitude Profiles". Phytion (Horn, Austria) 34 (3), 33-44.
- SMIDT S., BERMADINGER-STABENTHEINER E., HERMAN F., 1994. Altitude-dependent ozone concentrations and changes of ozone-related plant-physiological parameters in the needles of Norway spruce. Proc. of the Royal Society of Edinburgh 102B, 113-117.
- SMIDT S., HERMAN F., 1994. Waldökosystemforschung in inneralpinen Tälern Tirols. Z. Umweltchemie und Ökotoxikologie 6 (4), 203-208.
- SMIDT S., LEITNER J., 1994. Luftschadstoffmessungen im Raum Achenkirch - Ergebnisse 1992. FBVA-Berichte 78, 27-32.
- SMIDT S., MUTSCH F., 1994. Messung nasser Freilanddepositionen an alpinen Höhenprofilen. Poster "Achenkirchtag", March 24, 1994 (Federal Forest Research Center).
- SMIDT S., RENDL J., 1994. Depositionsmessungen im Raum Achenkirch. FBVA-Berichte 78, 33-38.
- SMIDT E., 1995. Histochemische und histometrische Untersuchungen an Fichtennadeln zweier Versuchsflächen im Raum Achenkirch. Diplomarbeit Technische Universität Wien, Inst. f. Angewandte Botanik, Technische Mikroskopie und Organische Rohstofflehre.
- SMIDT S., 1995. Measurement of field depositions in the area of Achenkirch. Phytion (Horn, Austria) 34 (3), 45-56.
- SMIDT S., 1995. The ozone situation in Alpine valleys of Austria and Bavaria. Spatial and temporal assessment of air pollutant impact on ecosystems: Interpretation of exceedances of Critical Loads / Critical levels. Int. Workshop, Nov. 22-24, 1995, Vienna. Background paper. Österreichische Akademie der Wissenschaften.

- SMIDT S., HERMAN F., LEITNER J., 1995. Höhenprofile Achenkirch, Messbericht 1994. Federal Forest Research Center, Report G3-1/1995.
- SMIDT S., KNOFLACHER K., MUTSCH F., STEFAN K., HERMAN F., 1995. Belastung der Nordtiroler Kalkalpen durch Schadstoffdepositionen. FBVA-Berichte 87, 245-262.
- SMIDT S., WOMASTEK R., LORBEER G., 1995. Pestizideinträge durch nasse Depositionen. FBVA-Berichte 87, 145-152.
- SMIDT S., 1996. The ozone situation in Alpine Valleys. In: Exceedance of Critical Loads and Levels (M. Knoflacher, J. Schneider, G. Soja, eds.). Umweltbundesamt, Tagungsberichte 15/1996, 90-96.
- SMIDT S., 1996. Bewertung der Luftschadstoff- und Depositionsmessergebnisse im Raum Achenkirch (1990-1995). FBVA-Berichte 94, 157-174.
- SMIDT S., 1996. Assessment of air pollution stress on forest ecosystems by the example of the Northern Tyrolean Limestone Alps. *J. Plant Physiol.* 148, 287-295.
- SMIDT S., LOIBL W., GABLER K., 1996. Potential ozone risk for selected tree species in Austria. 26th Int. Sympos. on Environmental Analytical Chemistry, April 9-12. Book of Abstracts. Technische Universität Wien.
- SMIDT S., LOIBL W., GABLER K., 1996. Potential ozone risk for selected tree species in Austria. 26th Int. Sympos. on Environmental Analytical Chemistry, April 9-12. Poster Technical University Vienna.
- SMIDT S., MUTSCH F., KNOFLACHER M.H., STEFAN K., HERMAN F., 1996. Stress on the Northern Tyrolean Limestone Alps by the deposition of pollutants. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (4), 245-270.
- SMIDT S., HERMAN F., 1996. Description of the Northern Tyrolean Limestone Alps and assessment of risks - Synopsis. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (4), 271-294.
- SMIDT S., LOIBL W., 1996. Baumartenspezifische Darstellung ozonbelasteter Waldgebiete. FBVA-Berichte 94, 255-270.
- SMIDT S., HERMAN F., 1997. Risikoabschätzung von Säure- und Stickstoffeinträgen in den Nordtiroler Kalkalpen. *Allg. Forstztg.* 6/1997, S. 20.
- SMIDT S., 1998. Risk assessment of air pollutants for forested areas in Austria, Bavaria and Switzerland. *Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue* 1, 25-31.
- SMIDT S., HERMAN F., PLATTNER J., PAUSCH J., LEITNER J., 2000. Messbericht (Monats- und Jahreswerte). Höhenprofil Achenkirch (1991-1999), Bodental/Ktn. (1999). Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht G3-1/2000.
- SMIDT S., HERMAN F., PLATTNER J., PAUSCH J., 2001. Messbericht (Monats- und Jahreswerte). Höhenprofil Achenkirch (1991-2000), Bodental/Ktn. (1999). Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht G3-1/2001.
- SMIDT S., 2001. Luft, Depositions- und Bodenwasseranalysen am Mühleggerköpfl. FBVA-Berichte 119, 61-72.
- SMIDT S., 2001. Luftschadstoffbelastung österreichischer Wälder. In: Österreichischer Waldbericht 2001, Kriterium 2, S. 47.
- SMIDT S., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., ENGLISCH M., FEICHTINGER F., 2001. Glossar. FBVA-Berichte 119, 137-144.
- SMIDT S., 2002. Analyses of NO_x and wet depositions at Mühleggerköpfl, North Tyrolean Limestone Alps. *Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue* 2, 10-15.
- SMIDT S., HERMAN F., 2002. Pollution-related risk factors to Austrian Alpine forest ecosystems. In: Effects of air pollution on forest health and biodiversity in forests of the Carpathian Mountains (Szaro R.C., Bytnerowicz A., Oszlany J., eds.). NATO Science Series, IOS Press Ohmsha, Amsterdam, 271-284.
- SMIDT S., HERMAN F., 2003. Evaluation of Air Pollution-Related Risks for Austrian Mountain Forests. *Environmental Pollution* 130, 99-112.
- SMIDT S., BAUER H., POGODINA O., PUXBAUM H., 2005. Concentrations of ethene and formaldehyde at a valley and a mountain top site in the Austrian Alps. 37th Air Pollution Workshop and International Symposium, Poster, Banff (Alberta, Canada), April 25-28, 2005.
- SMIDT S., BAUER H., POGODINA O., PUXBAUM H., 2005. Concentrations of ethene and formaldehyde at a valley and a mountain top site in the Austrian Alps. *Atmospheric Environment* 39, 4087-4091.
- SMIDT S., HERMAN F., 2004. Waldgefährdung trotz Emissionsminderungen. *ÖFZ*, April 2004.
- SMIDT S., BAUER H., POGODINA O., PUXBAUM H., 2005. Concentrations of ethene and formaldehyde at a valley and a mountain top site in the Austrian Alps. 37th Air Pollution Workshop and International Symposium, Banff, Alberta, Canada, 25.-28.4.2005.
- SMIDT S., BAUER H., POGODINA O., PUXBAUM H., 2005. Concentrations of ethene and formaldehyde at a valley and a mountain top site in the Austrian Alps. *Atmospheric Environment* 39, 4087-4091.
- SMIDT S., HERMAN F., FÜRST A., 2005. The nitrogen risk for Austrian forest ecosystems. 10th International Meeting of the Working Group of Experimental Ecology within the German Society of Ecology, Essen, March 14-18, 2005. Abstracts.
- SMIDT S., HERMAN F., 2005. Bio-Indication methods as early warning systems for heavy metal and stress impact for forest ecosystems. International Conference on Ecological Remediation and using of Bioindication Methods. Velenje/Slovenia, August 25-26, 2005.
- SMIDT S., HERMAN F., 2005. Bio-Indication methods as early warning systems for heavy metal and stress impact for forest ecosystems. International Conference on Ecological Remediation and using of Bioindication Methods. Velenje/Slovenia, August 25-26, 2005, Posterabstract.
- SMIDT S., HERMAN F., 2006. Was können Pflanzenphysiologen zur Luftreinhaltung beitragen? Abstract zum Vortrag: ÖAPP-Tagung Mauterndorf, 15.-18.6.2006. Abstractband, S. 90.
- SMIDT S., 2006. Was können Pflanzenphysiologen zur Luftreinhaltung beitragen? Vortrag: ÖAPP-Tagung Mauterndorf, 15.-18.6.2006. Abstractband, S. 90.
- SMIDT S., 2006. Edition des Tagungsbandes zur 16. Tagung des Österreichischen Arbeitskreises für Pflanzenphysiologen. Mauterndorf, 15.-18.6. 2006.

- SMIDT S., HERMAN F., 2006. Fichtenwälder sind durch Ozon und Klimaänderung gefährdet. *Forstschutz Aktuell* 36, 27-29, 2006.
- SMIDT S., 2006. Die Ozonbelastung österreichischer Wälder. Vortrag: Studienlehrgang mit der Universität Wien (Department für Ökophysiologie und funktionelle Anatomie der Pflanzen / BFW) in Achenkirch 2. – 7. 7. 2006, Achenkirch.
- SMIDT S., HERMAN F., 2007. Blei- und Cadmumeinträge mit dem Nebel. *Österreichische Forstzeitung* 118, 2, 2-3.
- SMIDT S., HERMAN F., 2007. Bedeutsame Pb- und Cd-Einträge mit dem Nebel in höheren Lagen. http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web_print?dok=3495 (BFW).
- SMIDT S., HERMAN F., 2007. Blei- und Cadmumeinträge mit dem Nebel. http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/luftverunreinigungen/bfw_schwermetalle_2007_DE/printerfriendly?start=0 (www. Waldwissen.net)
- SMIDT S., 2007. Stickstoffdepositionen weiterhin walddrelevant. *Österreichische Forstzeitung* 118, 3, 12-14.
- SMIDT S., 2007. 10 Jahre Depositionsmessungen im Rahmen des europäischen Waldschadensmonitorings. *Ergebnisse 1996-2005. BFW-Berichte* 138.
- SMIDT S., HERMAN F., 2007. Fichtenwälder sind durch Ozon und Klimaänderung gefährdet. Poster zur Tagung: Umweltprobleme im Alpenraum. Achenkirch, 15.5.2007.
- SMIDT S., BOLHAR NORDENKAMPE, H.R. HERMAN F., 2007. Das Ozonrisiko für österreichische Fichtenwälder. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 124 (1), 1-34.
- SMIDT S., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., 2007. Ozon bedeutet Stress für Waldbäume. http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/luftverunreinigungen/bfw_ozon_stress_2007_DE?start=0&
- SMIDT S., 2008. Pflanzenphysiologische Konsequenzen von Stickstoffeinträgen. Abstract Tagungsband, Poster: 17. Tagung der Austrian Society of Plant Biology, Stainz/Stmk., 21. - 23.5.2008, S.43-44.
- SMIDT S., HERMAN F., 2008: Altitude-related impact of air pollutants on Austrian forest ecosystems. Abstract. In: Schaub M., Dobbertin K., Steiner D. (eds.) 2008. Air Pollution and Climate Change at Contrasting Altitude and Latitude. 23rd IUFRO Conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change on Forest Ecosystems. Murten, Switzerland, 7-12 September 2008. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, 59.
- SMIDT S., 2008: Die pflanzenphysiologische Relevanz der Immissionseinwirkungen von Stickstoffverbindungen. Poster 17. Tagung der Austrian Society of Plant Biology, Stainz/Stmk., 21. - 23.5.2008.
- SMIDT S., 2008: Pflanzenphysiologische Konsequenzen von Stickstoffverbindungen. Abstract Tagungsband 17. Tagung der Austrian Society of Plant Biology, Stainz/Stmk., 21. - 23.5.2008, 43-44.
- SOBOTIK M., 1995. Veränderung der Bodenvegetation nach Ausschaltung der Waldweide im Projektgebiet Schulterberg unter besonderer Berücksichtigung der Wurzelentwicklung, der Naturverjüngung von Fichte sowie der Wurzelkonkurrenz. Endbericht, BAL Gumpenstein, im Auftrag des BMLUFW und der FBVA.
- SOBOTIK M., POPPELBAUM M., 1995. Vegetationskundliche und wurzelökologische Untersuchungen auf Weideflächen der Nordtiroler Kalkalpen. *FBVA-Berichte* 87, 177-200.
- SOBOTIK M., POPPELBAUM C., 1996. Vegetational and root-ecological investigations on forest pasturing and pure pasturing areas of the Northern Tyrolean Limestone Alps. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (4), 177-192.
- STABENTHEINER E., 1992. Pflanzenphysiologisch-biochemische, rasterelektronenmikroskopische und cytogenetische Untersuchungen an Fichten. 1. Zwischenbericht GZ.56.810/02-VA2/91.
- STABENTHEINER E., 1993. Pflanzenphysiologisch-biochemische, rasterelektronenmikroskopische und cytogenetische Untersuchungen an Fichten. 2. Zwischenbericht GZ.56.810/02-VA2/91.
- STABENTHEINER E., 1992. Wachsstrukturen von Fichtennadeln am Höhenprofil Achenkirch. Poster Workshop "Ecosystematic Forestry Research in Achenkirch", Nov. 19, 1992.
- STABENTHEINER E., GRILL D., 1994. Pflanzenphysiologische Untersuchungen im Höhenprofil Achenkirch. Endbericht, Universität Graz, im Auftrag des BMLF.
- STAGL W.G., HACKER R., 1991. Weiden als Proßhölzer zur Äsungsverbesserung. *FBVA-Berichte* 58.
- STEFAN K., 1983. Schadstoffbelastung von Schnee – Ergebnisse der bundesweiten Stichprobenuntersuchungen 1983. *Forstliche Bundesversuchsanstalt, Interner Bericht*.
- STEFAN K., HERMAN F., 1995. Ergebnisse chemischer Nadelanalysen aus dem Tiroler Kalkalpin von 1983-1992. *FBVA-Berichte* 87, 231-244.
- STEFAN K., 1996. Nutrient Contents of Spruce Needles from the Tyrolean Limestone Alps. *Phyton (Horn, Austria)* 36 (4), 231-244.
- STEFAN K., GABLER K., 1998. Connections between climatic conditions and the nutritional status of spruce needles determined from the Austrian Bioindicator grid. *Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue* 1, 59-62.
- STEFAN K., FÜRST F., 1998. Indication of S and N inputs by means of needle analyses based on the Austrian Bioindicator Grid. *Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue* 1, 63-69.
- STOPPER S., 1996. Konzentrationsverteilung von Luftschadstoffen am Höhenprofil Achenkirch. Diplomarbeit Technische Universität Wien, Inst. f. Analytische Chemie.
- STOPPER S., PUXBAUM H., PROHASKA T., 1998. Schwermetalldeposition in Achenkirch. 1. Zwischenbericht, TU-IAC, Bericht 4/98. GZ. 56.810/23-VA2b/96.
- STOPPER S., PUXBAUM H., 1998. Schwermetall-Deposition Achenkirch. Bericht 4/98, Vorläufiger Endbericht. Institut für Analytische Chemie, Abteilung Umweltanalytik, Technische Universität Wien. GZ. 56.810/23-VA2b/96.
- STOPPER S., PUXBAUM H., 1999. Atmosphärischer Eintrag von Schwermetallen durch trockene, nasse und okkulte Deposition im Höhenprofil Achenkirch. Endbericht 10/99, Institut für Analytische Chemie, Abteilung Umweltanalytik, Technische Universität Wien. GZ. 56.810/23-VA2b/96.

- STOPPER S., ZAMBO E., KALINA M., PROHASKA T., PUXBAUM H., 2000. Height dependence of atmospheric deposition of heavy metals due to dry, wet and occult deposition in an Alpine valley (Achenkirch, Tyrol, 940 and 1760m a.s.l.). Vortrag Euroanalysis XI, Sept. 3-9, Lisboa, Portugal. Book of Abstracts, OC-72.
- STOPPER S., 2001. Atmosphärischer Eintrag von Schwermetallen durch trockene, nasse und okkulte Deposition im Höhenprofil Achenkirch. Dissertation Technische Universität Wien.
- TATARUCH F., 1993. Vergleichende Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Rot-, Reh- und Gamswild. Z. Jagdwiss. 39, 190-200.
- TAUSZ M., STABENTHEINER E., WONISCH A., GRILL D., 1998. Classification of biochemical response patterns for the assessment of environmental stress to Norway spruce. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 96-100.
- TOMICZEK C., 1992. Vitalitätsmessungen am Höhenprofil Achenkirch. Poster Workshop "Ecosystematic Forestry Research in Achenkirch", 19.11.1992.
- TOMICZEK C., 1995. Fäulebestimmung an Probestämmen des Achenkirchprofils mittels Impulsstrommethode. FBVA-Berichte 86, 37-40.
- TOMICZEK C., 1995. Bestimmung der „relativen Vitalität“ von Probestämmen mittels Impulsstrommethode. FBVA-Berichte 86, 41-46.
- TRIMBACHER C., 1996. Die Wachsqualität von Fichtennadeln am Schulterberg-Nordprofil. FBVA-Berichte 94, 185-192.
- TURNER D., HAUDEK S., KREUZINGER N., GÖBL F., GRUBER F., KUBICEK C.P., 1994. Fingerprinting zur taxonomischen Unterscheidung mykorrhizenbildender Basidiomyceten. Poster "Achenkirchtag", 24.3.1994 an der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.
- WEBER D., PACK I., GASSEBNER H., 1985. Nasse Deposition und Waldzustand in Tirol. Tiroler Forstdienst vol. 8, Dec. 2-3, 1985.
- WEBER D., PACK I., GASSEBNER H., 1986. Nasse Deposition und Waldzustand in Tirol. Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung (Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16), vol. 12. Workshop "Saure Depositionen", Salzburg, 16. - 17. Sept. 1985, 229-232.
- WEISS P., LORBEER G., SCHARF S., 1996. Persistente organische Schadstoffe in Fichtennadeln und im Auflagehumus des Schulterberg-Nordprofils. FBVA-Berichte 94, 83-100.
- WEISS P., LORBEER G., SCHARF S., 1998. Persistent organic pollutants in remote Austrian forests - altitude related results. Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 46-52.
- WEISS P., LORBEER G., STEPHAN C., SVABENICKY F., 1999. Short chain aliphatic halocarbons, TCA and nitrophenols in spruce needles of Austrian background forest sites. In: Organic xenobiotics and plants: Impact, metabolism and toxicity. Proc. 4th IMTOX-Workshop, Sept. 25-26, 1997, 49-64. Umweltbundesamt / Weiss P. et al. (eds.).
- WEISS P., LORBEER G., SCHARF S., MOCHE W., SEIF P., SVABENICKY F., 1999. Semivolatile organic compounds in spruce needles of Austrian background forest sites. In: Organic xenobiotics and plants: Impact, metabolism and toxicity. Proc. 4th IMTOX-Workshop, Sept. 25-26, 1997, 79-84. Umweltbundesamt / Weiss P. et al. (eds.).
- ZECHMEISTER H., 1994. Die Erfassung der atmosphärischen Schwermetalldeposition mittels Bryophyten entlang des Schulterberg-Profiles. FBVA-Berichte 78, 41-47.
- ZECHMEISTER H., 1994. Survey of heavy metal deposition by using Bryophytes as biomonitors at the Schulterberg profile. Phytol. (Horn, Austria) 34 (3), 63-70.
- ZECHMEISTER H., 1995. Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Alps. Environmental Pollution 89, 73-80.
- ZECHMEISTER H., 1997. Schwermetalldeposition in Österreich. Umweltbundesamt, Monographien Bd. 94.
- ZECHMEISTER S., SMIDT S., 2001. Belastung von österreichischen Wäldern mit Stickstoffeinträgen. Poster, 75 Jahre Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Jahrestagung 2001, 1.-9.9.2001, Wien.
- ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., 2004. How can microbes cope with excess nitrogen? Abstract Mini-Symposiumon Microbial Ecology: from ecosystems functioning to biotechnology application. March 22, 2004, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., SCHINDLBACHER A., AMBUS P., BUTTERBACH-BAHL K., 2004. Nitrogen oxides emissions in relation to microbial parameters at 13 European forest sites. Geophysical Research Abstracts 6, 5151.
- ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S., SCHINDLBACHER A., AMBUS P., BUTTERBACH-BAHL K., 2004. Microbial processes and nitrogen oxides emissions from forest soils. Abstract Eurosoil 2004, Sept. 6-12, 2004. Freiburg, Germany.

Einzelarbeiten aus dem Projektgebiet Bodental

- BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., GATSCHER B., KROPF B., MEISTER M., POSTL W., PREINL N., 2000. Pflanzenphysiologische Untersuchungen zur Evaluierung der baumspezifischen Belastungskarte unter Berücksichtigung standortspezifischer Stressfaktorenmuster. Endbericht, Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie. Im Auftrag des BMLFUW. 56.810/02-VA2b/98.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H., HAUMANN J., HERMAN F., SMIDT S., MEISTER M., PLATTNER J., LOIBL W., GATSCHER B., POSTL W., 2005. Verification of the ozone risk for Austrian spruce forests through tree-physiological field measurements. Poster, Ozon Workshop Obergurgl 15-19 November. "Critical Levels for ozone: further applying and developing the flux-based concept".
- BOLHAR-NORDENKAMPF H., HAUMANN J., HERMAN F., SMIDT S., MEISTER M., PLATTNER J., LOIBL W., GATSCHER B., POSTL W., 2005. Verification of the ozone risk for Austrian spruce forests through tree-physiological field measurements. Ozon Workshop Obergurgl, November 15-19. "Critical Levels for ozone: further applying and developing the flux-based concept, Abstractband, pp. 20-25.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H., LOIBL W., HERMAN F., SMIDT S., 2005. Evaluation of the ozone-related risk for *Picea abies* in Austria – Development of the AOT40 concept. XVII. International Botanical Congress, July 17-23, 2005.

- BOLHAR-NORDENKAMPF H., LOIBL W., HERMAN F., SMIDT S., 2005. Evaluation of the ozone-related risk for *Picea abies* in Austria – Development of the AOT40 concept. XVII. International Botanical Congress, July 17-23, 2005, Abstracts.
- BOLHAR-NORDENKAMPF H., MEISTER M., HAUMANN J.I., HERMAN F., 2005. Preconditioning of alpine forest to tolerate ozone. 17th Int. Botanical Congress Vienna/Austria, Austria Center Vienna, 17-23 July 2005, Abstracts p. 33, 2.9.4.
- LOIBL W., 1999. Neuberechnung von Critical-Level Karten der Ozonbelastung für ausgewählte Waldgebiete. Berechnung eines modifizierten Critical Level II für Ozonaufnahme unter Berücksichtigung der Wasserverfügbarkeit im Boden. Endbericht, Austrian Research Centers Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW.
- LOIBL W., KOPCSA A., ZÜGER J., 1999. Critical Levels-Karten für Ozon für ausgewählte Waldgebiete: Berechnung eines modifizierten AOT40. Level II-Ozonaufnahme abhängig von Witterungsbedingungen. Austrian Research Centers, OEFZS-S-0042. Endbericht Austrian Research Centers Seibersdorf, im Auftrag des BMLFUW.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., SMIDT S., 2000. Risk assessment of ozone impact to forest areas in Austria. Poster 3rd Int. Workshop Igls/Tyrol, May 3-5, 2000 „The sustainable future of mountain forests in Europe“.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2004. Modelling Critical Levels of ozone for the forested area of Austria – Modification of the AOT40 concept. Env. Sci. & Pollut. Res. 11 (3), 171-180.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2004. Modelling Critical Levels of ozone for the forested area of Austria – Modifications of the AOT40 concept. Poster zum Meeting „Forests under changing climate, enhanced UV and air pollution“. Oulu/Finnland, 25.-30.8.2004.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H., HERMAN F., SMIDT S., 2005. Modelling Critical Levels of ozone for the forested area of Austria – Modifications of the AOT40 concept. Abstractband Meeting „Forests under changing climate, enhanced UV and air pollution. Oulu/Finnland, 25.-30.8.2004. Proceedings (H. Kinnunen, S. Huttunen, eds.) 52-54.
- SMIDT S., HERMAN F., PLATTNER J., PAUSCH J., 2001. Messbericht (Monats- und Jahreswerte). Höhenprofil Achenkirch (1991-2000), Bodental/Ktn. (1999). Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht G3-1/2001.
- LEITGEB E., ENGLISCH M., 2006: Klimawandel - standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft. In: Klimawandel - Auswirkungen auf die Forstwirtschaft. BFW-Praxisinformation, Wien, (10), 9-11.
- SMIDT S., 1994. Gefährdung von Waldökosystemen durch flüchtige organische Verbindungen Z. Pfl. Krankh. Pfl.schutz. 101 (4), 423-445.
- SMIDT S., 2007. 10 Jahre Depositionsmessungen im Rahmen des europäischen Waldschadensmonitorings. Ergebnisse 1996-2005. BFW-Berichte 138.
- SMIDT S., 1993. Reaktionen von Forstbäumen auf kombinierte Einwirkungen von Luftschadstoffen in Begasungsversuchen Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Berichte XIb - 1/1993, 40 Seiten.
- SMIDT S., OBERSTEINER E., 2007. 10 Jahre Depositionsmessung im Rahmen des europäischen Waldschadensmonitorings. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 124 (2) 83-104.
- WIESER G., 1997. Wirkungen von natürlichen und anthropogenen Umweltfaktoren auf Koniferen der montanen und subalpinen Stufe. Habilitationsschrift Universität Innsbruck.
- UMWELTBUNDESAMT, 2008. Emissionstrends 1990-2006. Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2008). Report REP-0161. http://www.umweltbundesamt.at/presse/lastnews/newsarchiv_2008/news080702/

7.3 Weitere, im Rahmen der vorliegenden Arbeit zitierte Literatur

- GUSSONE H.A., 1963. Ergebnisse eines Düngungsversuches an Kiefern auf nährstoffarmen Böden Norddeutschlands. Allg. Forst- und Jagdztg. 2, 45-53.
- HERMAN F., 1991. Schwermetallgehalte von Fichtenborken als Indikator für anthropogene Luftverunreinigungen. VDI-Berichte 901, Bd.1, 375-390.
- HERMAN F., 1994. Schwermetallgehalte von Fichtennadeln als Kriterium zur Beschreibung der Umweltsituation Dissertation, Universität für Bodenkultur, 113 S

8. Zusammenfassung

Als Anfang der 1980er Jahre die Diskussion um die Ursachen der „Neuartigen Waldschäden“ begann, stellte sich für die damalige Forstliche Bundesversuchsanstalt die Aufgabe, einen Beitrag zur Klärung dieses umfangreichen Fragenkomplexes zu leisten. In Weiterführung der Untersuchung von „klassischen Rauchschäden“, die am BFW eine lange Tradition hat, wurden nach den europaweiten Befürchtungen eines großflächigen „Waldsterbens“ Untersuchungen in nicht unmittelbar von Großemittenten belasteten Gebieten gestartet, da es sich um komplexe Schäden handelte, deren Ursache auf einer wesentlich breiteren Basis untersucht werden musste. Die Alpen, auf denen ein Großteil des österreichischen Waldes stocken, waren dabei von besonderem Interesse, weil sie durch eine ganze Palette von Stressoren belastet sind und der „Stellenwert“ der Immissionseinwirkungen weitgehend unbekannt war. Im Gegensatz zur „klassischen Rauchschadensforschung“ wurden hier wenig belastete Gebiete und die unterschiedlichen Dispositionen der Bäume entlang von Höhengradienten untersucht. Diesen Untersuchungen gingen Luft-

und Depositionsmessungen in Kärnten, Tirol, der Steiermark und Niederösterreich voraus.

In der ersten Phase (1984-1990) wurden am „**Höhenprofil Zillertal**“ (Kristallin) die natürlichen und anthropogenen Belastungen zwischen dem Talboden und der Waldgrenze unter besonderer Berücksichtigung der Immissionsbelastung untersucht. Ein wesentlicher Schwerpunkt war die Stressfrüherkennung an Fichten. Durch eine Reihe von Spezialerhebungen - etwa der Untersuchung der Talatmosphäre - wurde das Wissen über die Schadstoffausbreitung vertieft. Die dauerregistrierenden Messungen in drei Seehöhen (600 m, 1000 m, 1560 m) gaben einen Einblick in den tages- und jahreszeitlichen Verlauf der Belastungen (Smidt und Herman 1992).

Im Anschluss wurden 1990 im Raum Achenkirch drei Höhenprofile eingerichtet („**Höhenprofil Achenkirch**“), weil die Waldschäden gerade im Kalkalpin dramatisch zugenommen hatten. Zudem wurde der Erhebungsumfang durch die Einbeziehung weiterer Luftschadstoffe und durch die Entwicklung von neuen Bioindikationsmethoden stark erweitert. Mit Hilfe von Modellierungen der Critical Loads und des Risikos durch Ozon waren Aussagen über die Gefährdung größerer Gebiete möglich. Dem Aspekt der Klimaerwärmung und der erhöhten Stickstoffeinträge wurde mit einer gesonderten Szenario-Modellierung Rechnung getragen. Auch der Aspekt nicht immissionsbedingter Belastungen, etwa durch Waldweide, wurde untersucht. Zur Erfassung des Ozonrisikos wurden neben dauerregistrierenden Ozonmessungen gezielt eingesetzte baumphysiologische Untersuchungsmethoden an drei unterschiedlich mit Ozon belasteten Standorten in Tirol, in der Steiermark und in Kärnten durchgeführt.

Basis war eine umfangreiche Charakterisierung der Gebiete bzw. der Waldbestockung (meteorologische Messungen, Waldgesellschaften, Bodencharakteristika, genetische Charakterisierung u.v.m.). Die Forschungsergebnisse geben einen tieferen Einblick in die Belastungssituation und die Reaktionen der Bäume, v.a. der Hauptbaumart Fichte, weiters wurde die Grundlage für strengere gesetzlichen Maßnahmen gelegt.

Summary

In the early 1980ies, when the discussion about the risks of “forest decline” has started, the challenge for

the Federal Forest and Training Centre for Forests, Natural Hazards (BFW) was to contribute to the clarification of the arising questions. Investigations on the traditional scientific field of classic “smoke damage” were extended to less polluted areas, where symptoms of “novel forest decline” occurred. Complex influences required adequate methods. Forest ecosystems in the Alps were of special interest, because they are influenced by many stressors but an unknown contribution of “classical air pollutants”. In contrast to the hitherto existing pollution research, areas with almost no impact of air pollution were selected to investigate the variation of the disposition of trees along altitudinal profiles.

During the first phase/period (1984-1990) natural and anthropogenic stressors, especially air pollutants, were investigated from the valley bottom up to the forest limit in the **Ziller Valley**. Physiological investigations of trees focussed on early stress detection on Norway spruce trees. Based on special measurements, e.g. the analysis of the valley atmosphere, the knowledge about the distribution of air pollutants was deepened. The permanent registration of air pollutants at three levels (600 m, 1000 m, 1560 m) provided insight into the daily and monthly course of air pollutant stressors.

In the 1990's, the investigations were continued in the **Achen Valley** near the border with Bavaria because forest damage increased especially in the North Tyrolean Limestone Alps. Additionally, the amount of the investigations (pollutants, bioindication methods) was extended. Modelling of Critical Levels and Critical Loads enabled statements about ozone and nitrogen risk to forest ecosystems. The aspects of global warming and increasing nitrogen deposition were tackled by a scenario-based model of nitrogen inputs and outputs. Non-pollutant stressors as well as forest grazing were included into the investigation program.

For the assessment of the ozone risk intensive physiological measurements on Norway spruce trees at three plots in differently ozone-polluted areas in Styria, Tyrol and Carinthia were performed.

Comprehensive measurements and surveys (meteorology, forest climax, soil characteristics, genetical characteristics etc.) provided the basis for the assessment of the most important stress factors and risks, especially for Norway spruce. Updated basic information for more rigorous legal measures was also provided.