



BFW-DOKUMENTATION 10/2008
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft

Immissionssituation und Ernährungszustand der Wälder der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen

*Air Pollutant Situation and Nutrition
Status of the Forests of the Northern
and Southern Limestone Alps*

ST. SMIDT,
F. HERMAN,
J. PLATTNER

FDK 425.1:181.34:(436)

Empfohlene Zitierung:

Immissionsituation und Ernährungszustand der Wälder der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen / St. Smidt, F. Herman, J. Plattner / Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 2008, BFW-Dokumentation Nr. 10, 62 S.

ISSN 1811-3044

Copyright 2009 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	6
2. Material und Methodik	10
3. Ergebnisse	19
3.1. Ozon	19
3.1.1. Bewertung der Ozonbelastung	19
3.1.2. Stressfrüherkennungsparameter	21
3.1.3. Verkehrsaufkommen und Ozonbildung	23
3.2. Stickstoff	23
3.3. Schwefel	30
3.4. Schwermetalle	34
4. Schussfolgerungen	37
Literatur	39
Anhang 1: Luftdaten	43
Anhang 2: Depositionsdaten	47
Anhang 3: Nadeldaten	48

Immissionssituation und Ernährungszustand der Wälder der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen

ST. SMIDT, F. HERMAN, J. PLATTNER

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

Kurzfassung. Die Nördlichen und Südlichen Kalkalpen (Wuchsgebiete 4.1. und 6.1.) sind durch eine Reihe von Luftschadstoffen belastet. Gemessen an den aktuellen Critical Levels und Critical Loads ist vor allem Ozon ein Risikofaktor. Critical Levels bzw. die Zielwerte und Ziele des Ozongesetzes wurden an allen Messstationen deutlich überschritten. Die Konzentrationen nehmen in beiden Wuchsgebieten - entsprechend dem gesamtösterreichischen Trend - seit den 1990er Jahren zu.

Die Belastung mit Stickstoffoxiden hat großräumig deutlich abgenommen, an „Hot Spots“ im Nahbereich von Autobahnen, insbesondere nahe der Inntalautobahn, werden NO_x-Jahresmittelgrenzwerte bzw. NO₂-Zielwerte noch immer überschritten. Ammoniak spielt nur im Nahbereich von Tierintensivhaltungen eine Rolle. Die Stickstoffeinträge durch nasse Absetzdeposition (Regen, Schnee) zeigen vorwiegend abnehmende Trends, jedoch erhöhte Werte in niederschlagsreichen Regionen. Die Stickstoffeinträge sind einerseits tendenziell erhöht, andererseits weisen die Nadelanalysen des Österreichischen Bioindikatornetzes auf eine vorwiegend mangelhafte Ernährung vor allem mit Stickstoff hin. Die Ernährungssituation bezüglich der übrigen Hauptnährelemente stellt sich hingegen deutlich besser dar.

Die Schwefelemissionen, welche seit dem Beginn der 1980er Jahre wesentlich deutlicher abnahmen als jene der Stickstoffverbindungen, führten - wie anhand der Daten des Österreichischen Bioindikatornetzes nachgewiesen werden konnte - auch zu deutlich verringerten Schwefelmissionseinwirkungen.

Schwermetalleinträge, die anhand von Depositionsanalysen, Bodenanalysen und Bioindikationsmethoden untersucht wurden, stellen keine akute Bedrohung der Waldökosysteme dar. Langfristig sind jedoch - vor allem in nebelreichen Berglagen (Nebel kann stark erhöhte Konzentrationen aufweisen) - Belastungen zu erwarten.

Die Erhebungen zeigen auf, dass es in den Randalpen noch vielfältige atmogene Belastungen von Waldökosystemen gibt, die durch eine nicht optimale Ernährungssituation noch verschärft werden. Zur Entlastung derselben sind weitere gesetzliche Maßnahmen, u.a. im Zusammenhang mit dem KFZ-Verkehr, erforderlich.

Schlüsselworte: Ozon, Stickstoff, Schwefel, Schwermetalle, Stickstoffernährung, Risikobewertung, Kalkalpen

Abstract. [Air Pollutant Situation and Nutrition Status of the Forests of the Northern and Southern Limestone Alps.] The areas of the Northern and Southern Limestone Alps (“Nördliche Kalkalpen”, growth area 4.1. and “Südliche Kalkalpen”, growth area 6.1) are affected by a number of air pollutants. Especially ozone is an important factor, because limit values are exceeded all over these areas and - according to the all-Austrian trend - the concentrations keep increasing since the 1990ies.

The impact of nitrogen oxides has decreased, but near motorways - especially close to the Tyrolean „Inntal-Autobahn“ - NO_x limit values are still exceeded. Ammonia plays a role only in the neighbourhood of local emitters (animal husbandries). Deposition rates of nitrogen caused by wet deposition have decreased since the 1990ies, but elevated amounts have been found in areas with high amounts of precipitation. While the deposition rates of nitrogen are regionally too high, the needle analyses of the Austrian Bioindicator Grid demonstrated a suboptimal nutrition. The nutrition status of the other main nutrients is significantly better.

The decrease of sulphur emissions in the 1980ies (decreasing stronger than the nitrogen emissions) has considerably reduced the adverse impact on the environment by sulphur.

The deposition of heavy metals was proved by soil and deposition analyses as well as by bioindication methods. Although the deposition rates are no longer a direct threat to forest ecosystems, the accumulation over a long time may lead to negative effects in areas with high occult deposition rates.

The study revealed adverse impacts to forest ecosystems associated with airborne pollutants in the Calcareous Alps. Legal measures will be necessary, especially with regard to reduce emissions from traffic.

Keywords: Ozone, nitrogen, sulfur, heavy metals, nitrogen nutrition, risk assessment, calcareous Alps

1. Einleitung

Alpine Waldökosysteme sind durch das komplexe Zusammenwirken zahlreicher anthropogener und natürlicher Einflüsse stark gefährdet (Herman et al. 1998). Luftschadstoffe tragen wesentlich zur Belastung dieser Ökosysteme bei. Die von West- und Südströmungen beeinflussten Alpenbereiche werden dabei nicht nur durch lokale Quellen, sondern auch durch Ferntransporte belastet. Der Erforschung der Zusammenhänge zwischen den Einwirkungen und ihren Auswirkungen von Luftschadstoffen wurden in Europa besonders seit der Diskussion über die Ursachen der „Neuartigen Waldschäden“ durch zahlreiche interdisziplinäre **Forschungsprojekte** (vgl. Herman et al. 1998) und **Monitoringerhebungen** (www.icp-forests.org) Rechnung getragen.

In Österreich wurden bundesweite systematische Netze zur Überwachung des Gesundheitszustandes der Wälder und deren Entwicklung (Waldzustandsinventur, Waldschadensbeobachtungssystem, Waldbodenzustandsinventur, ICP

Forests Programm Level I) sowie zur Überwachung der Schadstoffeinträge und Immissionseinwirkungen (Österreichisches Bioindikatornetz, ICP Forests Programm Level II) eingerichtet.

Diese Monitoringerhebungen und die etwa zeitgleich begonnene interdisziplinäre Waldschadensforschung, die Luftschadstoff- und Depositionsmessungen sowie Modellberechnungen, Risikoanalysen und Bewertungen nach europäischen Luftreinhaltkriterien in den 1980er Jahren haben gezeigt, dass österreichische Wälder trotz der Reduktion von Schadstoffemissionen (Abbildung 1-1) noch immer immissionsbelastet sind (Guderian 2000 und 2001, Herman et al. 2001, Elling et al. 2007, Umweltbundesamt 2008, Smidt et al. 2008).

SO₂- und NO_x-Emissionen in Tirol und Kärnten: Entsprechend dem gesamtösterreichischen Trend (Abbildung 1-2) ist in Tirol und Kärnten eine deutliche Abnahme der SO₂-Emissionen festzustellen. Die NO_x-Emissionen hingegen nahmen bis zur Mitte der 90er Jahre ab, nach 1995 jedoch wieder deutlich zu (Tabelle 1-1).

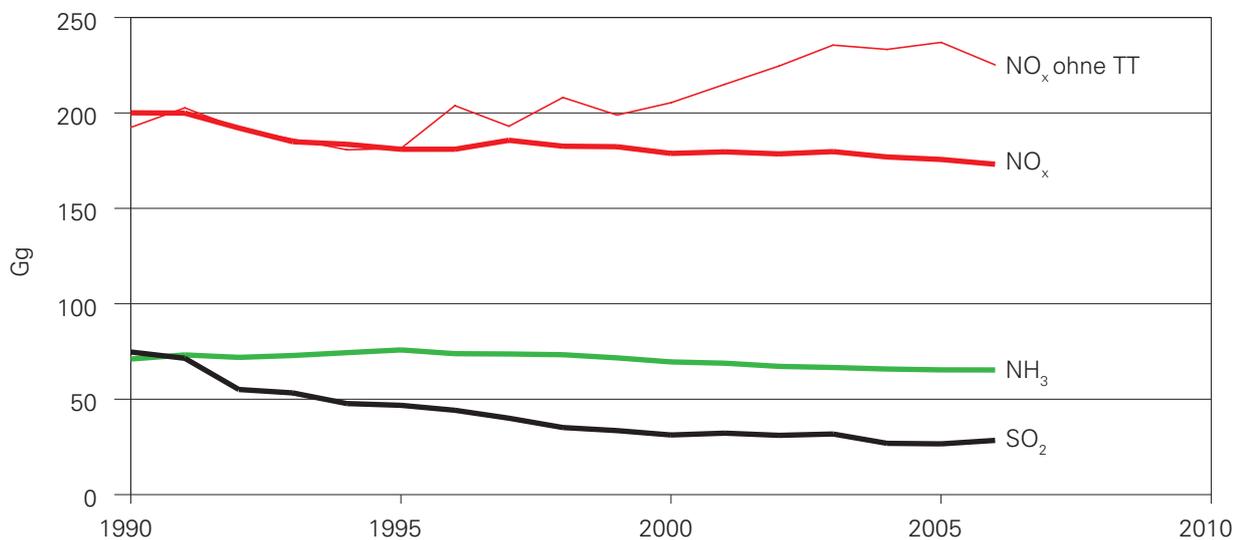


Abbildung 1-1:

Emissionstrends von NO_x, NH₃ und SO₂ in Österreich (Umweltbundesamt 2008).

Ohne Berücksichtigung des Tanktourismus (TT) nehmen die NO_x-Emissionen seit Mitte der 1990er Jahre deutlich zu. Der Tanktourismus bewirkt jedoch, dass ein Teil der KFZ-bedingten Stickstoffoxide im benachbarten Ausland emittiert werden.

Tabelle 1-1:

SO₂- und NO_x-Emissionen in den Bundesländern Tirol und Kärnten 1990 und 2003 (Bundesländer Luftschadstoffinventur 1990 bis 2003; Datenquelle: Umweltbundesamt).

	Tirol 1990	Tirol 1995	Tirol 2003	Kärnten 1990	Kärnten 1995	Kärnten 2003
NO _x -Emissionen (Tonnen)	17.857	17.331	22.337	15.305	14.367	17.797
SO ₂ -Emissionen (Tonnen)	3.941	2.803	1.699	5.947	3.391	2.539

Ozon

Ozon ist ein extrem starkes Oxidationsmittel und wirkt deshalb 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 Stoffwechselforgänge beeinträchtigen. Ozon ist jener Luftschadstoff, der gerade in Reinluftgebieten und in höheren Lagen in überhöhten Konzentrationen auftritt. In Ballungsräumen tritt es als synergistischer Faktor mit anderen Spurenstoffen, in Hintergrundgebieten v. a. gemeinsam mit natürlichen Stressfaktoren auf.

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.

In Mitteleuropa wird Ozon seit der Abnahme der Schwefeldioxid- und Stickstoffoxidemissionen in den 1980er Jahren als wesentlichster Luftschadstoff angesehen (Sandermann et al. 1997, Smidt et al. 2007, Wieser und Tausz 2006, Smidt et al. 2007). Die mittleren Ozon-Konzentrationen liegen in Österreich in tieferen Lagen zwischen 12 - 40 ppb und steigen bis zur Waldgrenze auf 40 – 50 ppb an. An Waldstationen nahmen die Jahresmittel im Zeitraum 1990 bis 2005 um durchschnittlich 0,2 ppb pro Jahr zum Teil signifikant zu (Nagl und Spangl 2006; Abbildung 1-2).

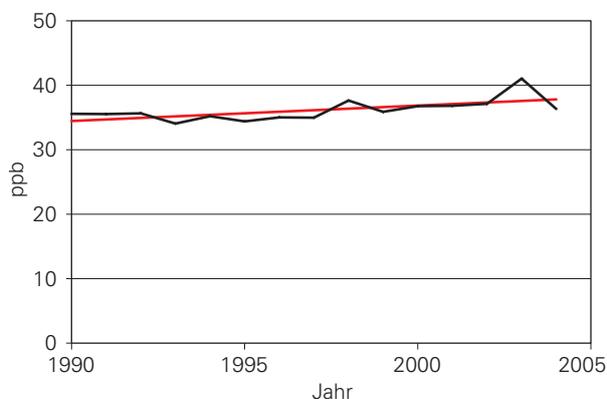


Abbildung 1-2: Trend der mittleren Ozon-Jahresmittelwerte an österreichischen Waldmessstationen (n = 24; Datenquelle: Umweltbundesamt).

Schon Untersuchungen aus den 1990er Jahren haben gezeigt, dass Grenz- und Zielwerte für Ozon in österreichischen Waldgebieten fast flächendeckend überschritten werden, der AOT40 der UNECE (1994) an der Waldgrenze sogar bis um fast Fünffache (Loibl und Smidt 1996; Herman et al. 2005).

Stickstoffverbindungen

Stickstoffoxide (NO_x) bilden in Pflanzenzellen aggressive radikalische Zwischenprodukte und zerstören Membranen und damit das Zellgefüge; sie sind Vorläufersubstanzen des Ozons. Ammoniak (NH_3) ist ebenfalls ein starkes Pflanzengift; es ist toxischer als NO_2 , hat aber meist nur Bedeutung in unmittelbarer Nähe von Emittenten. Die Einträge von Nitrat- und Ammonium-Stickstoff tragen zur Versauerung, Eutrophierung und zu Nährstoffungleichgewichten in Waldökosystemen bei. Dies kann zu nachteiligen Veränderungen führen, da Waldökosysteme bzw. eine Reihe gefährdeter Pflanzenarten an Stickstoffarmut angepasst sind.

Da Stickstoff ein Hauptnährstoff ist, ist seine immissionsökologische Rolle in Waldökosystemen auch im Hinblick auf die Ernährung zu betrachten. Die Ernährung mit Stickstoff ist in Österreichs Wäldern vorwiegend mangelhaft.

Die Stickstoffoxid-Emissionen nehmen in Österreich nach einer deutlichen Abnahme zwischen 1980 und 1995 wieder signifikant zu, wenn man annimmt, dass der in Österreich getankte Treibstoff in Österreich verbrannt wird. Dies ist jedoch wegen des in Österreich seit 1995 günstigeren Treibstoffpreises nicht der Fall, weshalb ein Teil des in Österreich getankten Treibstoffes im Ausland verbrannt wird („Tanktourismus“, zum Großteil Dieselkraftstoff für Frächter; Umweltbundesamt 2008). Unter Berücksichtigung des Tanktourismus verringern sich die NO_x -Emissionen in Österreich stetig (Abbildung 1-1). Hauptverursacher der NO_x -Emissionen ist mit derzeit fast 60 % der KFZ-Verkehr, weitere bedeutsame Quellen sind die Gasverbrennung und die Herstellung von Düngern und Chemikalien. Das im Emissionshöchstmengengesetz (EG-L, BGBl. I 2003/34) festgesetzte Ziel von 107.000 Tonnen NO_x pro Jahr wurde bisher bei weitem nicht erreicht.

Umfangreiche Studien im Zillertal und im Achantal haben gezeigt, dass lokale Quellen bzw. der KFZ-Verkehr zu überhöhten NO_x -Belastungen bzw. Zielwertüberschreitungen in Emittentennähe

führen. Der NO_x -Jahresmittelgrenzwert des Immissionsschutzgesetzes Luft (IG-L, BGBl. 298/2001) von $30 \mu\text{g m}^{-3}$ wird im Einflussbereich von Hauptverkehrsträgern und im Besonderen im Nahbereich der Inntalautobahn noch immer überschritten (Amt der Tiroler Landesregierung 2007 bzw. www.tirol.gv.at/regierung/amttirol). Zum Schutz des Menschen und der Vegetation werden deshalb auf Landesebene sektorale Verkehrsbeschränkungen verordnet.

Ammoniak, welches vorwiegend aus landwirtschaftlichen Aktivitäten stammt, ist neben NO_x vor allem durch seinen Beitrag zur Stickstoffdeposition relevant. Dieser Risikofaktor für die österreichischen Wälder ist durch die regional überhöhten Stickstoffeinträge gegeben. In Berglagen haben neben der nassen und trockenen Deposition „okkulte“ Einträge durch Nebel- und Wolkenwasser einen hohen Anteil an der Gesamtdosition. Die Gefährdung durch Stickstoffeinträge kann auf der Basis von kritischen Belastungsgrenzen für NO_x - und NH_3 (Critical Levels) und für Gesamteinträge (Critical Loads) abgeschätzt werden.

Die Critical Loads für Waldökosysteme, welche sich auf die Summe der drei Eintragsformen (trockene, nasse und okkulte Deposition) beziehen, liegen für Waldökosysteme zwischen 10 und $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Bobbink et al. 2002). Da im Rahmen des Monitorings üblicherweise nur die nasse Absetzdeposition erfasst wird, wird bei der alleinigen Messung der nassen Deposition der tatsächliche Gesamteintrag naturgemäß deutlich und regional unterschiedlich unterschätzt.

Die Ernährungssituation und ihre langfristige Entwicklung wird im Rahmen des Österreichischen Bioindikatorsnetzes seit 1983 untersucht. Dabei gilt der Stickstoffernährung besonderes Interesse, weil die österreichischen Waldökosysteme deutlich mit diesen Hauptnährstoff unterversorgt sind.

Schwefel

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

Trotz der deutlichen Reduktion der Schwefel-Emissionen seit den 1980er Jahren sind Immissionseinwirkungen auf Wälder noch immer nachweisbar.

Nach der Reduktion der Schwefel-Emissionen in Österreich auf weniger als 1/10 des Wertes von 1980 (2006: 28.460 Tonnen; das Göteborg-Ziel 2010 von 39.000 Tonnen ist damit bereits erreicht) gibt es heute keine sichtbaren Symptome durch SO_2 -Einwirkung an Blattorganen mehr. Die Einträge durch nasse Deposition weisen regional ebenfalls - nach einer deutlichen Abnahme seit den 1980er Jahren - auf keine erhöhte Belastung hin.

Das Österreichische Bioindikatorsnetz zeigt jedoch noch immer Schwefel-Immissionseinwirkungen auf, da die Schwefelgehalte in Fichtennadeln gemäß der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984) - wenn auch nur mehr in geringem Ausmaß - überschritten werden. Die Ursache sind lokale Quellen, aber auch Importe aus den Nachbarländern (Fürst et al. 2003; www.bioindikatorsnetz.at).

Schwermetalle

Schwermetalle schädigen zahlreiche Enzyme und stören so den Stoffwechsel. Böden, Pflanzen und Pilze können Schwermetalle aufnehmen und in verschiedenen Kompartimenten akkumulieren. Auch essentielle Schwermetalle (Mikronährelemente) können in erhöhten Konzentrationen Schädigungen an der Vegetation hervorrufen.

Obwohl die Emissionen einiger Schwermetalle in Österreich in den letzten 25 Jahren deutlich gesenkt werden konnten, sind Belastungen der Wälder noch immer nachweisbar.

Die Blei-Emissionen sind in Österreich stark rückläufig. Sie betragen 1985 noch 326,7 Tonnen, 2005 hingegen nur mehr 13,6 Tonnen. Der starke Rückgang der Blei-Emissionen konnte auch anhand langjähriger Messreihen unterschiedlich belasteter Untersuchungsgebiete in Österreich nachgewiesen werden (Herman 1998). Die Cadmium-Emissionen verringerten sich seit 1985 von 3,10 Tonnen auf 1,08 Tonnen. Bemerkenswert ist aber, dass die verkehrsbedingten Cadmium-Emissionen im Beobachtungszeitraum auf das Doppelte anstiegen.

Am Beispiel der in der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen enthaltenen Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink wird das Risiko für Waldökosysteme aufgezeigt. Blei ist ein wenig mobiles Akkumulationsgift, Cadmium hingegen ist mobil und noch wesentlich toxischer als Blei. Trotz deutlicher Emissionsminderungen kam es durch Anreicherung

zu hohen Blei-Gehalten in österreichischen Waldböden. Die Analysen im Rahmen der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur bzw. eine Auswertung im Rahmen von ARGE-ALP haben hierbei regionale Belastungen aufgezeigt (an der ARGE-ALP waren beteiligt der Freistaat Bayern, die Region Lombardei und die Autonomen Provinzen Bozen-Südtirol und Trient, die Kantone Graubünden, St. Gallen und Tessin die österreichischen Bundesländer Vorarlberg, Tirol und Salzburg).

Forschungstätigkeit am BFW

Am BFW haben sich die interdisziplinären Forschungen seit 1990 auf die Kalkalpen konzentriert, wobei dem Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Disposition von Waldbäumen in Österreich besondere Beachtung geschenkt wurde (Herman et al. 1998, 2005, Smidt et al. 1995, 1996, 2002; Loibl et al. 2004). Abbildung 1-3 zeigt karbonatbeeinflusste Gebiete in Österreich.

Zunächst konzentrierten sich die Erhebungen auf die **Nordtiroler Kalkalpen**. Anlass für die Untersuchungen war der schlechte Zustand der Wälder und lückenhaftes Wissen über die Belastungssituation auf Kalkstandorten der Tiroler Alpen (Herman und Smidt 1995, 1996; Smidt et al. 2008). Basierend auf einem Monitoring und auf kleinflächigen Bestandesbeschreibungen wurde die Umweltsituation anhand von Grenzwerten und Ergebnissen von Bioindikationsverfahren darge-

stellt, weiters wurde die Reaktion der Waldbäume auf die aktuelle Belastung mit Hilfe von biochemischen und physiologischen Stressfrüherkennungsparametern charakterisiert (Herman et al. 1998). Die Ergebnisse weisen die Luftschadstoffe als besonderes Risiko für Waldbäume aus (Smidt et al. 1994, 1996, 2008).

1999 wurden eine Monitoringstation und weitere Untersuchungsflächen in den **Südlichen Kalkalpen** eingerichtet, um die Belastungssituation durch Luftschadstoffe im Vergleich zu den Nordtiroler Kalkalpen eingehender zu charakterisieren. Für dieses Wuchsgebiet lagen bis dato nur wenige immissionsökologische Befunde vor.

Ziel

Auf der Basis der Ergebnisse der langjährigen interdisziplinären Forschungstätigkeit am BFW soll im vorliegenden Bericht die Belastung der Waldökosysteme durch die wesentlichsten oben angeführten Immissionseinwirkungen sowie die Stickstoffernährung der Waldbäume für die nördlichen und südlichen Kalkalpen anhand von wirkungsbezogenen Grenzwerten und Beurteilungswerten abgeschätzt und verglichen werden. Weiters soll auf die zeitliche Entwicklung der Belastung und auf den Beitrag der lokalen Verursacher an der Schadstoff-situation bzw. jener der überregionalen Antransporte vorwiegend aus den Nachbarländern für die Immissions-situation eingegangen werden.

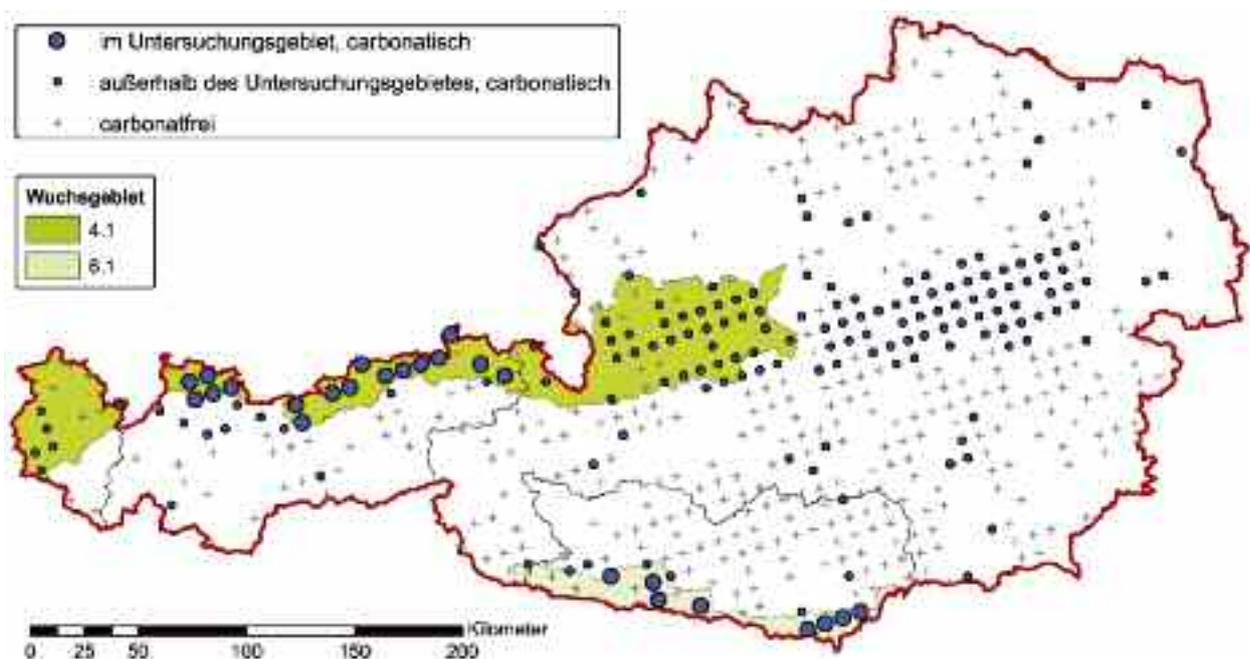


Abbildung 1-3: Karbonatbeeinflusste Gebiete in Österreich (Probepunkte der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur).

2. Material und Methodik

Die Nördlichen Kalkalpen liegen in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol und Salzburg, die Südlichen Kalkalpen in Kärnten (Abbildung 2-1). Die Gemeinsamkeit der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen (Wuchsgebiete 4.1 Nördliche Kalkalpen - Westteil bzw. 6.1 Südliche Randalpen; Kilian et al. 1994) besteht in einem vorwiegend karbonatbeeinflussten Grundgestein und einer daraus ableitbaren grundsätzlich hohen Toleranz gegenüber Säureeinträgen. Weitere vergleichbare Voraussetzungen sind in einer vergleichbar starken Exposition gegenüber fernverfrachteten Schadstoffen zu sehen.

In der Folge wird auf die Immissionsbelastung und Ernährungssituation in diesen Wuchsgebieten eingegangen. Die Bewertung der Immissionssituation basiert auf mehreren Datensätzen und auf Modellierungen. Die beiden Intensivuntersuchungsgebiete des BFW, in denen langfristige Messungen und Erhebungen durchgeführt wurden, werden beschrieben.

Waldzustand

Die Dichte des Erhebungsnetzes der Kronenzustände der EU (www.icp-forests.org) reicht für eine Aussage über den Zustand des österreichischen Waldes bzw. über jenen in den einzelnen Bundesländern nicht aus. Das für **Tirol** eingerichtete Landesnetz zeigt vor allem im Bereich nördlich des

Inns (Lechtaler Alpen, Karwendel) einen schlechten Waldzustand. Große Teile des Tiroler Waldes sind als Schutzwald ausgewiesen. Dort verschlechterte sich der Waldzustand zunehmend seit der Mitte der 90er Jahre: Der Anteil an verlichteten und geschädigten Bäumen im Schutzwald (Schädigungsstufen 3-5, Verlichtung über 25 %) betrug 13,2 % (2002) bzw. 27,5 % (2005), im Vergleich dazu in Österreich insgesamt 10,2 % (2002) bzw. 13,1 % (2004; Amt der Tiroler Landesregierung 2007).

Die Wuchsgebiete 4.1. und 6.1.

Die Waldflächen der Wuchsgebiete 4.1 und 6.1; (Abbildung 2-1) umfassen zusammen 6527 km² und repräsentieren somit 16,8 % der Waldfläche Österreichs. Beide Wuchsgebiete haben einen überdurchschnittlich hohen Waldanteil. Große Teile der Waldfläche sind gemäß Waldentwicklungsplan als Schutzwald ausgewiesen.

Das **Wuchsgebiet 4.1** erstreckt sich vom Bregenzer Wald über die Lechtaler Alpen, das Karwendelgebirge, die Kitzbühler und Nordtiroler Kalkalpen, die Salzburger Kalkalpen bis in das Reichraminger Hintergebirge. Dieses Wuchsgebiet ist durch das Inntal und durch weitere, ebenfalls stark verkehrsbelastete Nord-Süd-Alpentäler mit starkem Verkehrsaufkommen geprägt. In den Nordstaulagen werden vor allem aus dem bayerischen Raum antransportierte Luftschadstoffe verstärkt deponiert (Kaiser 1996).

Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs

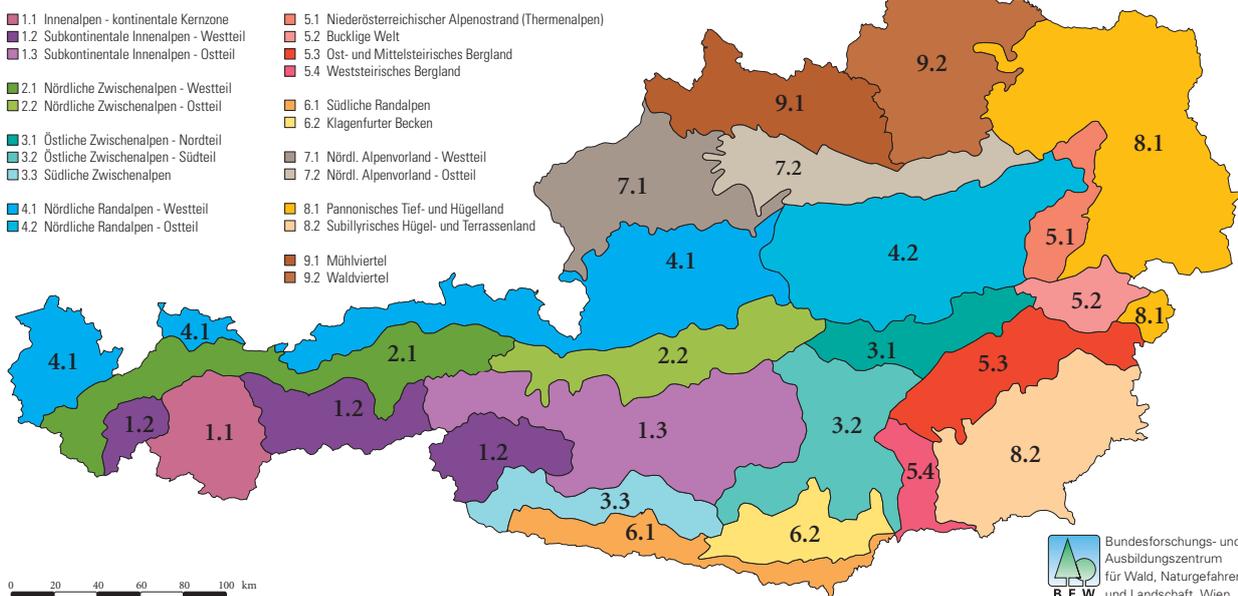


Abbildung 2-1:

Lage der Wuchsgebiete und der Intensivuntersuchungsgebiete (Kilian et al. 1994).

Tabelle 2-1:
 Kurzbeschreibung der Wuchsgebiete 4.1 und 6.1 (detaillierte Angaben siehe Kilian et al. 1994).

	Nördliche Kalkalpen - Westteil Wuchsgebiet 4.1	Südliche Randalpen Wuchsgebiet 6.1
Gesamtfläche	8639 km ²	1988 km ²
Waldfläche	5052 km ² (13,0 % der österreichischen Waldfläche)	1475 km ² (3,8 % der österreichischen Waldfläche)
Waldanteil	58,5 %	74,2 %
Leitfunktion lt. Waldentwicklungsplan		
• Nutzwirkung	41,3 %	49,8 %
• Schutzwirkung	52,3 %	47,5 %
• Erholungswirkung	0,9 %	1,0 %
• Wohlfahrtswirkung	5,5 %	1,7 %
Seehöhenbereiche (Wald)	395 – 1950 m	348 – 2000 m
Niederschlagsverteilung	ausgeprägtes sommerliches Niederschlagsmaximum, Tiefdruckeinfluss aus N/NW (Atlantikeinfluss)	Trend zu mediterranen Herbstmaximum, Südwestlagen im Herbst, Einfluss aus Italien
Niederschlag 1971-2005	Achenkirch (906 m): 1432 mm Kufstein (492 m): 1309 mm	Loibltunnel (1067 m): 2127 mm Ferlach (470 m): 1205 mm
Temperatur 1971-2005	Achenkirch: 5,7 °C Kufstein: 8,3 °C	Loibltunnel: 6,0 °C Ferlach: 8,0 °C
Voraussetzungen für Schadstoffimporte	Bayerische Alpen als 1. Prallhang für Nordwest-Tiefdruckwetterlagen vorgelagert	Venetianische und Iulische Alpen bzw. Slowenien als 1. Prallhang für südliche Tiefdrucklagen
Schadstoffimporte aus	Bayerischer Raum (NO _x); Föhn aus dem Süden (Ozon)	Slowenien (SO ₂ ; Kraftwerk Sostanj); Föhn aus dem Süden

Das **Wuchsgebiet 6.1** schließt die Karnischen Alpen, die Karawanken, das Gailtal, das Drautal und Teile der Lienzer Dolomiten ein. Das starke Verkehrsaufkommen an den Grenzübergängen nach Slowenien sowie die Schadstoffimporte tragen erheblich zur Immissionsbelastung bei.

Beide Wuchsgebiete werden in Tabelle 2-1 näher charakterisiert. Im Hinblick auf die Naturnähe der Waldbestände sind beide Wuchsgebiete gut vergleichbar (Grabherr 1997). Beide Wuchsgebiete weisen gemäß Waldentwicklungsplan hohe Anteile an Schutzwald aus (Abbildung 2-2).

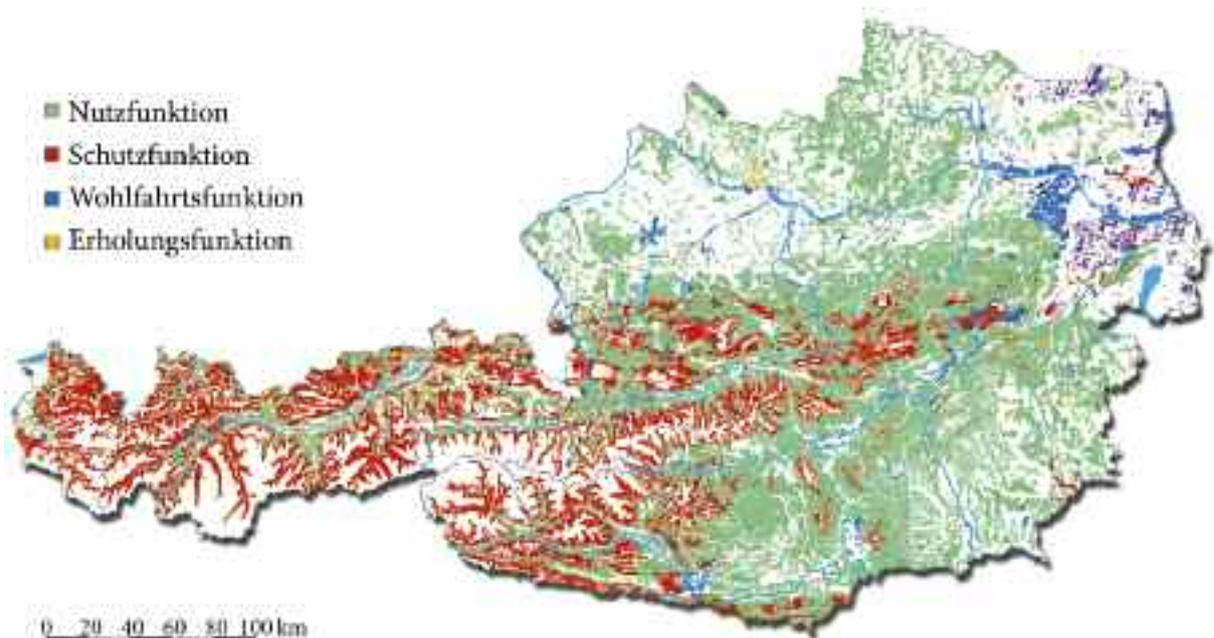


Abbildung 2-2:
 Leitfunktionen im österreichischen Wald gemäß Waldentwicklungsplan.



Abbildung 2-3:
Lage der Untersuchungsflächen im Achental und Probeflächen.

Daten aus den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1

Die Ozon-, NO_x- und SO₂-Daten entstammen den Messnetzen der Bundesländer bzw. dem Datenverbund des Umweltbundesamtes Wien. Die Depositionsdaten wurden im Rahmen des europäischen Level II Programmes der UN-ECE (Smidt 2007), welche auf 20 Flächen seit 1996 durchgeführt werden, vom BFW erhoben; eine weitere Quelle ist das WADOS-Messnetz der Bundesländer bzw. die Technische Universität Wien (Institut für Chemische Technologien und Analytik). Die Schwefel-Immissionseinwirkungen und die Stickstoffversorgung der Fichten wurden anhand der Ergebnisse des Österreichischen Bioindikatornetzes, welches seit 1983 vom BFW betrieben wird (www.bioindikatornetz.at), dargelegt und bewertet. Diese Daten wurden zum Teil für die Modellierungen herangezogen.

Intensivuntersuchungsgebiete und -flächen

Das **Achental** ist ein in Nord-Süd-Richtung verlaufendes Seitental des Inntales. Es ist durch ein starkes regionales Verkehrs- bzw. Transitaufkommen belastet. Darüber hinaus ist das Achental eine beliebte und frequentierte Winter- und Sommer-Ferienregion. Neben den lokalen Schadstoffquellen (Verkehr, Haushalte, Hotellerie, Kleinindustrie) belasten weiträumige Antransporte von Schadstoffen bzw. der Luftmassenaustausch mit dem Inntal die Luft zusätzlich. Das Untersuchungsgebiet ist mit drei Messprofilen und einer Intensivuntersuchungs-

fläche ausgestattet. Das ostexponierte Christlumprofil mit 7 Untersuchungsflächen erstreckt sich von 930 m Seehöhe bis über die Waldgrenze (1758 m Seehöhe). Das nordöstlich exponierte Schulterbergprofil reicht vom montanen bis in den subalpinen Bereich (920 m - 1686 m) und schließt drei Flächen ein: Das Nordprofil am Schulterberg umfasst sechs Probeflächen zwischen 848 m und 1650 m Seehöhe (Herman und Smidt 1996; Tabelle 2-3). Abbildung 2-3 zeigt die Lage der Untersuchungsflächen im Achental.

Die **Intensivuntersuchungsfläche Mühleggerköpfl** (920 m; Abbildung 2-4) im Achental liegt westlich der ehemaligen Zollstation Achenpass. Sie ist die nördlichste Fläche im gesamten Untersuchungsgebiet und eine gänzlich isolierte Erhebung aus Hauptdolomit, die sich etwa 120 m über den Talboden erhebt (Englisch 2001). Die Bestockung ist ein 130jähriger „warmer, mittelmontaner Fichten-Tannen-Buchenwald“ (Englisch und Starlinger 1995, 1996; Englisch 2001). Die Naturnähe beträgt 4,5 (mäßig bis stark verändert), die Oberhöhe 27,1 Meter, der Vorrat 548 Vfm ha⁻¹ und die Bonität 6 (Herman und Smidt 1995). Die Fläche wurde in den vergangenen Jahren zu einer Schwerpunktsfläche zur Erfassung der Stickstoffpools und -fluxes ausgebaut. Hierbei werden alle wesentlichen Prozesse des Stoffhaushaltes vom Wurzelraum bis zum Kronenraum erfasst und zur Bewertung der Stickstoffflüsse herangezogen. Darüber hinaus wird



Abbildung 2-4:
Intensivuntersuchungsgebiet Achenkirch

in interdisziplinären Projekten der Zusammenhang von Klimaänderungen und Ausgasungsprozessen klimarelevanter Gase aus dem Waldboden erforscht (Jandl et al. 2008, Smidt et al. 2008).

Das **Bodental** ist ein westlich des Loibtales liegendes und zu diesem parallel verlaufendes Tal am Fuß der Karawanken und liegt etwa 10 Kilometer südwestlich von Ferlach (Abbildung 2-5).

Im Vergleich zum Achenental ist das Verkehrsaufkommen dort sehr gering, und die alte Loibpass-Bundesstraße wurde durch den Bau neuer Übergänge nach Slowenien stark vom Verkehr entlastet. Im Intensivuntersuchungsgebiet Bodental wurde eine Containermessstation in 1080 m Seehöhe zur Messung der Ozon- und NO_x -Konzentrationen, der nassen Depositionen und der meteorologischen Parameter installiert (Abbildung 2-6).



Abbildung 2-5:
Intensivuntersuchungsstandort Mühleggerköpfl.

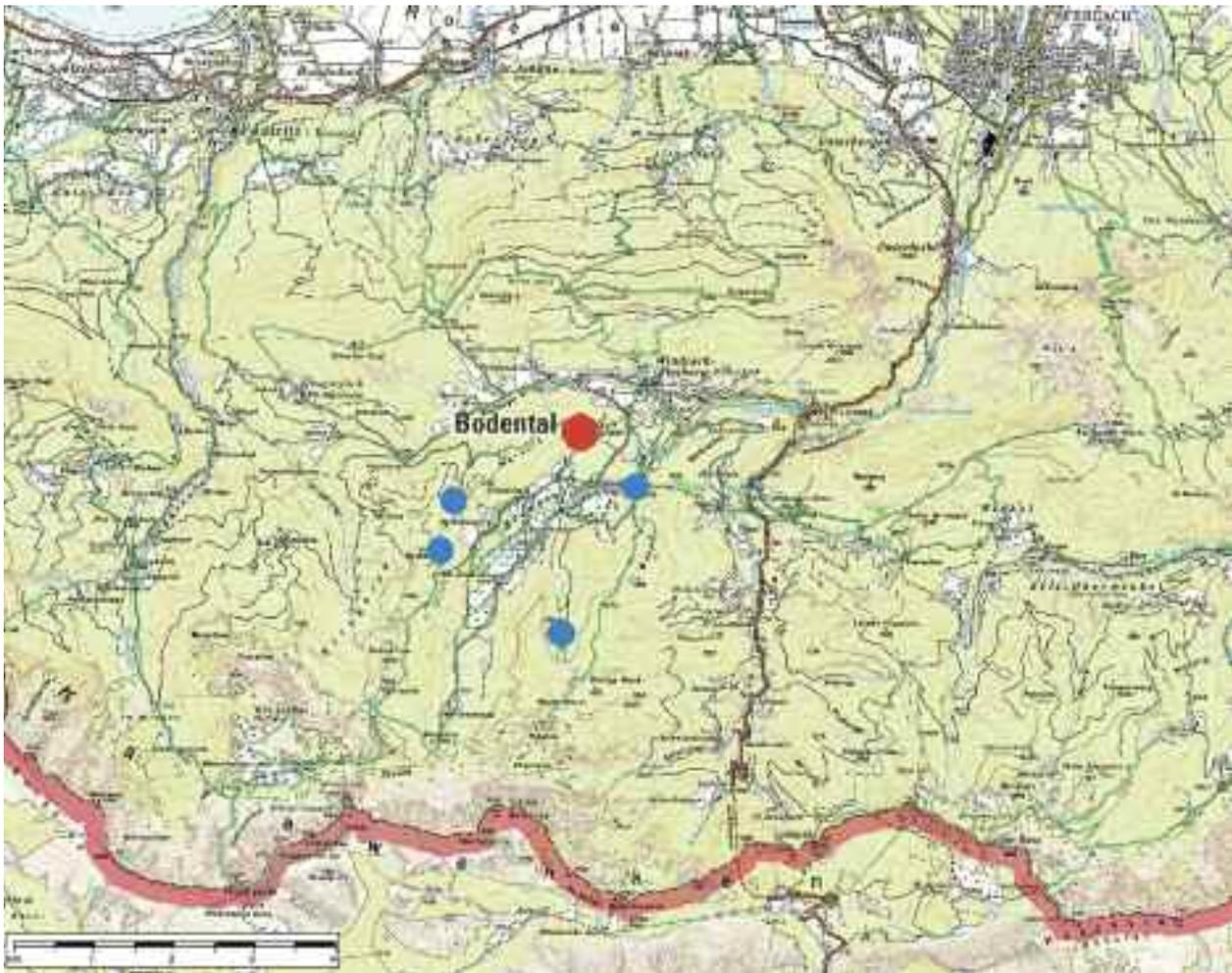


Abbildung 2-6:
Bodental (ÖK) mit Untersuchungsprofilen und Probeflächen.

Weitere vier Versuchsflächen zwischen 990 m und 1410 m Seehöhe mit nördlicher und nordwestlicher Exposition dienen der Untersuchung der Nähr- und Schadstoffgehalte in Fichtennadeln. Das Untersuchungsgebiet zeigt einen deutlich illyrischen Klimaeinfluss. Im Vergleich zu den nördlichen Kalkalpen ist es wesentlich wärmer und die Höhenstufen sind um 100 m bis 200 m höher gelegen. Die Sommertemperaturen sind relativ hoch, im Frühjahr und Herbst kann es zu Starkregenereignissen kommen, wobei extrem hohe Tagesmengen, mit bis zu 20 % des Jahresniederschlages, erreicht werden können. Die häufigsten Bodenformen sind Rendzina und Braunlehm-Rendzina (40 %) sowie Kalkbraunlehm (20 %). Das Wuchsgebiet ist durch ein optimales Wachstum der Hauptbaumarten Fichte, Tanne, Buche und Lärche charakterisiert.

Die beiden Intensivuntersuchungsgebiete Achantal und Bodental können als typisch für das jeweilige Wuchsgebiete angesehen werden; die

bodenchemischen, standörtlichen und vegetationskundlichen Erhebungen zeigten, dass die lokal gewonnenen Ergebnisse auf die entsprechenden Wuchsgebiete umgelegt werden können (Englisch und Starlinger 1995 und 1996). Durch die Kombination der kleinräumig erhobenen Daten mit Ergebnissen aus Erhebungsnetzen ist es möglich, die Gefährdung der Waldökosysteme durch anthropogene Stressoren abzuschätzen (Herman et al. 1998, 2001; Herman und Smidt 1994 und 1996, Herman et al. 2001, Smidt et al. 2002a). Die Intensivuntersuchungsgebiete werden in Tabelle 2-2, die Intensivuntersuchungsflächen sowie weitere Messstellen in Tabelle 2-3 detailliert beschrieben.

Abbildung 2-7 gibt einen Überblick über die in den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1 und in ihrer näheren Umgebung befindlichen zusätzlichen Messpunkte (Standorte der Messstellen und der Luft- und Depositionsmess-Stationen. Die Lage der BIN-Punkte ist aus Abbildung 3-10 zu ersehen.



Abbildung 2-7:
Intensivuntersuchungsstandort Bodental.

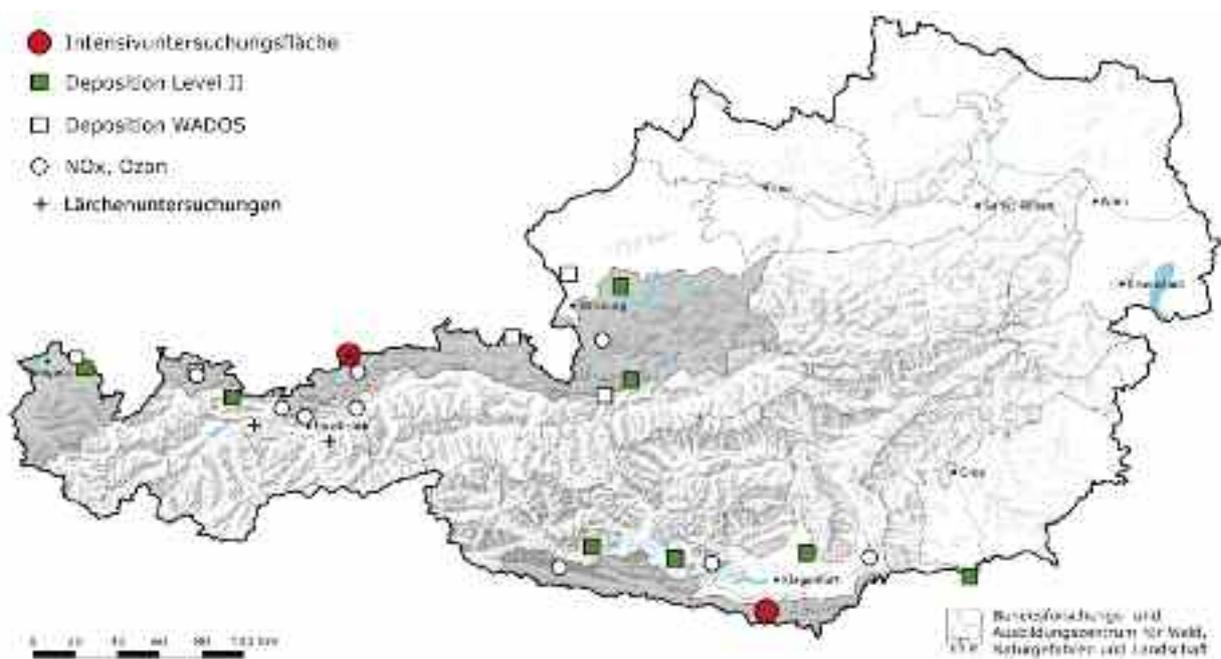


Abbildung 2-8:
Lage der Wuchsgebiete 4.1 und 6.1 (grau unterlegt)

Rote Punkte: Intensivuntersuchungsgebiete; Blaue Punkte: Luftmess-Stationen; Grüne Punkte: Depositionsmess-Stationen; Kreuze: Lärchenuntersuchungen

Tabelle 2-2:
Beschreibung der Untersuchungsgebiete und Erhebungsumfang. +: Messungen

	Achental	Bodental
Wuchsgebiet	4.1.	6.1.
Wuchsgebietscharakterisierung	Mittelmontaner Fichten-Tannen-Buchewald, verstärktes Auftreten von Licht- und Wärmezeigern. Fichte, Rotföhre und Buche dominieren. Die Böden sind hauptsächlich aus Rendzina bzw. Braunlehm-Rendzina und Pseudogley aufgebaut.	Optimales Wachstum von Fichte, Tanne, Buche, Lärche. Wichtige Nebenbaumarten: Ahorn, Esche, Bergulme. Die Tanne hat in diesem Wuchsgebiet ein Optimum. Die Böden sind hauptsächlich aus Kalk und Dolomit aufgebaut, daneben kommen auch sehr saures Kristallin und Quarzit vor.
Gebirgszug	Karwendel	Karawanken
Seehöhenbereiche	848 m bis 1758 m	990 - 1410 m
Exposition	West	Je 2 Flächen Nord und Ost
Temperaturmittel	6,4 °C (1991-1998)	Mittelmontan: 6,9 °C
Niederschlagsmenge	1395 mm (1981-1990) 1451 mm (1991-1995)	Mittelmontan: 1424 mm
Bestockung	90 % Fichte	90 % Fichte
Durchschnittliches Baumalter	130 Jahre	75 Jahre
Boden	Kalkbraunlehm-Rendzina	Kalkbraunlehm-Rendzina
KFZ-Frequenz (Fahrzeuge pro Tag, 2005)	31.000 – 68.000 (Inntal); 5400 (Achenkirch)	5.000-20.000 (Drautal);
Messjahre	1990-2006	2000-2006
Erhebungsumfang		
Meteorologie *)	+	+
Ozon	+	+
NO _x	+	
Nasse Depositionen	+	+
N-, Pb- und Cd-Gehalte in Fichtennadeln	+	+
*) Dauerregistrierende Messung von Temperatur, Luftfeuchte, Strahlung; Niederschlagsmenge, Windrichtung und Windgeschwindigkeit		

Gesetzliche Grenzwerte und Bewertungskriterien

Für die Bewertung der Luft und der Depositionen sind die Grenzwerte bzw. Beurteilungswerte in Tabelle 2-4 zusammengestellt.

Tabelle 2-3:
Intensivuntersuchungsgebiete sowie zusätzliche für die Auswertung herangezogene Messstellen.
 *) In der Nähe der Wuchsgebiete 6.1. gelegen.

	m Seehöhe	Messung	Länge – Breite bzw. Ost - Nord
Wuchsgebiet 4.1			
Intensivuntersuchungsfläche Achenkirch Mühleggerköpfl (BFW)	920		
Mühleggerköpfl (1991 - 2006)	920	1 Fichtenfläche	11:38:21 47:34:50
Christlumprofil (1991 - 2006)	930 - 1758	7 Fichtenflächen	
Schulterbergprofil (1991 - 2006)	1030 - 1686	3 Fichtenflächen	
Ehrwald (18); Level II, Probefläche 18	1020	Deposition (Bulk)	10:55:00 47:23:00
Hochhädrich (20); Level II, Probefläche 20	1320	Deposition (Bulk)	09:59:00 47:29:00
Lungötz (12); Level II, Probefläche 12	920	Deposition (Bulk)	13:25:00 47:29:00
Mondsee (11); Level II, Probefläche 11	860	Deposition (Bulk)	13:21:00 47:53:00
Haunsberg	730	Deposition (WADOS)	13:01:00 47:56:00
Kufstein	550	Deposition (WADOS)	12:40:00 47:40:00
Reutte	930	Deposition (WADOS)	10:41:00 47:29:00
Werfenweng	940	Deposition (WADOS)	13:15:00 47:25:00
Achenkirch-Zenzfeld (UBA)	940	Ozon	11:42:01 47:30:11
Höfen	880	Ozon	10:40:57 47:28:13
Karwendel West	1730	Ozon	11:13:43 47:20:34
Nordkette	1910	NO _x , Ozon	11:22:40 47:18:22
St. Kolomann	1020	NO _x , Ozon	13:14:00 47:39:02
Sulzberg	1020	NO _x , Ozon	09:55:36 47:31:45
Vomp A12	560	NO _x	11:41:35 47:20:57
Vomp an der Leiten	560	NO _x	11:41:30 47:20:49
Wuchsgebiet 6.1			
Intensivuntersuchungsfläche Bodental	1010		14:14:46 46:29:08
Moschitz, Verteische, Brand, Ogrisspitz (1999 - 2006)	990 - 1400	24 Fichten	
Haggen	1715 - 1950	Lärchen	11:16:00 47:13:00
Patscherkofel	1950	Lärchen	11:04:00 47:12:00
Achenkirch (Schulterberg)	1180	Lärchen	11:39:00 47:33:00
Brückl (3) *)	930	Deposition (Level II)	14:30:00 46:44:00
Fresach (5) *)	720	Deposition (Level II)	13:41:00 46:43:00
Greifenburg (4) *)	1190	Deposition (Level II)	13:10:00 46:46:00
Leutschach (13) *)	670	Deposition (Level II)	15:30:00 46:37:00
Gerlitzten *)	1895	Ozon	13:54:54 46:41:37
St. Georgen *)	540	NO _x , Ozon	14:53:30 46:42:30
Vorhegg *)	1020	NO _x , Ozon	12:58:19 46:40:47

Tabelle 2-4:
Grenzwerte bzw. Beurteilungswerte zur Risikoabschätzung.

Parameter	Grenzwerte / Bewertungskriterien	Literatur															
SO ₂	SO ₂ -Grenzwert (Jahresmittel und Winterhalbjahr): 20 µg m ⁻³ SO ₂ -Zielwert (Tagesmittel): 50 µg m ⁻³	Immissionsschutzgesetz Luft (BGBl. 298/2001)															
Ozon	Provisorischer AOT40 der UN-ECE: 10.000 ppb.h für die Vegetationsperiode (Summe der Überschreitungen des 1h-Mittelwertes von 40 ppb)	UN-ECE (1994), WHO (2000)															
Ozon	AOT40 EU-Zielwert ab 2010: AOT40 von 9.000 ppb.h, berechnet aus den Einstundenmittelwerten Mai bis Juli, 8.00 – 20.00 MEZ, gemittelt über 5 Jahre. Langfristiges Ziel ab 2020: AOT40 von 3.000 ppb.h, berechnet aus den Einstundenmittelwerten Mai bis Juli, 8.00 – 20.00 MEZ	Ozongesetz (BGBl. 34/2003)															
NO _x NO ₂	NO _x -Grenzwert (Jahresmittel): 30 µg m ⁻³ NO ₂ -Zielwert (Tagesmittel): 80 µg m ⁻³	Immissionsschutzgesetz Luft (BGBl. 298/2001)															
Stickstoff	Stickstoffeinträge: Critical Loads für Waldökosysteme: 10-15 kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Bobbink et al. (2002)															
Stickstoff	Gehalte in Fichtennadeln Nadeljahrgang 1: < 1,31 % = Mangel	Gussone (1964)															
Schwefel	Schwefelgehalte in Fichtennadeln Nadeljahrgang 1: 0,08 % Nadeljahrgang 2: 0,11 %	Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen BGBl. 199/1984, Fürst et al. (2003)															
Schwefel	Klassifikation für Schwefelgehalte in Fichtennadeln (Nadeljahrgänge 1 und 2)	Stefan und Fürst (1998)															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Klasse</th> <th>Nadeljahrgang 1</th> <th>Nadeljahrgang 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>< 0,081</td> <td>< 0,101</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,081 – 0,110</td> <td>0,101 – 0,140</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,111 – 0,150</td> <td>0,141 – 0,190</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>> 0,150</td> <td>> 0,190</td> </tr> </tbody> </table>	Klasse	Nadeljahrgang 1	Nadeljahrgang 2	1	< 0,081	< 0,101	2	0,081 – 0,110	0,101 – 0,140	3	0,111 – 0,150	0,141 – 0,190	4	> 0,150	> 0,190	
Klasse	Nadeljahrgang 1	Nadeljahrgang 2															
1	< 0,081	< 0,101															
2	0,081 – 0,110	0,101 – 0,140															
3	0,111 – 0,150	0,141 – 0,190															
4	> 0,150	> 0,190															
	Summe der Klassenwerte gemäß obenstehender Tabelle: GK1: 2, SO ₂ -Immissionseinwirkung auszuschließen GK2: 3, 4 SO ₂ -Immissionseinwirkung möglich GK3: 5, 6 SO ₂ -Immissionseinwirkung vorhanden GK4: 7, 8 SO ₂ -Immissionseinwirkung stark																
Schwefel	Critical Load für Einträge auf Kalkstandorten > 32 kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	UN-ECE (1988)															
Pb, Cd, Cu, Zn	Grenzwerte für Einträge Pb: 2500 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Cd: 50 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Cu: 2500 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Zn: 10.000 g ha ⁻¹ a ⁻¹	Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984)															
Pb, Cd, Cu, Zn	Grenzwerte für Einträge Pb: 365 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Cd: 7,3 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Zn: 1460 g ha ⁻¹ a ⁻¹	Schweizerische Luftreinhalteverordnung 1985															
Pb, Cd, Cu, Zn	Critical Loads auf der Basis No Effect Level (CL-NOEC) Pb: 5,8 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Cd: 0,55 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Cu: 12,5 g ha ⁻¹ a ⁻¹ Zn: 11,2 g ha ⁻¹ a ⁻¹	Smeets et al. (2000)															
Pb	Pb-Gehalte in Fichtennadeln Nadeljahrgang 1 0,1 - 8 mg kg ⁻¹ : keine Immissionseinwirkung 8,1 - 21,0 mg kg ⁻¹ : mögliche Immissionseinwirkung > 32 mg kg ⁻¹ : Immissionseinwirkung	Herman (1994)															
Cd	Cd-Gehalte in Fichtennadeln Nadeljahrgang 1 0,05 - 0,6 mg kg ⁻¹ : keine Immissionseinwirkung 0,61 - 0,8 mg kg ⁻¹ : mögliche Immissionseinwirkung > 0,8 mg kg ⁻¹ : Immissionseinwirkung	Herman (1994)															
Pb	Boden Akkumulationsindex: Quotient aus dem Pb-Gehalt im Oberboden und dem Pb-Gehalt im Mineralboden < 1,4: keine Akkumulation 1,41 - 2: geringe Akkumulation 2,01 - 4: mittlere Akkumulation, > 4: starke Akkumulation	Herman et al. (2001)															

3. Ergebnisse

3.1. Ozon

3.1.1. Bewertung der Ozonbelastung

Die Ozonbelastung in den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen wurde auf der Basis der in Tabelle 2-4 angegebenen Grenzwerte für die verfügbaren Waldmessstationen bewertet.

Die Bandbreiten der Jahresmittel, die Trends der Jahresmittelwerten sowie die AOT40 Werte des Ziel-

wertes und des langfristigen Ziels sind in Tabelle 3-1 wiedergegeben, Jahresmittelwerte, AOT40-Werte und Monatsmittelwerte im Anhang 1.

An den 10 dauerregistrierenden Stationen dieser beiden Wuchsgebiete lagen die Ozon-Jahresmittel zwischen 25 bis 50 ppb.

Die Grenzwerte wurden an allen Stationen überschritten. Tabelle 3-1 zeigt zusätzlich die signifikant zunehmenden Trends der Ozongehalte im Wuchsgebiet 4.1. In den Südlichen Kalkalpen zeigte sich jedoch eine Stagnation, allerdings auf einem hohen Level (Abbildung 3-1).

Tabelle 3-1:
Ozonjahreswerte (ppb), AOT40-Werte (ppb.h) für 3 und 6 Monate sowie Trends der Jahresmittelwerte in den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1. 1990-2006 (vgl. Tabelle 2-4).

Datenquelle: Umweltbundesamt Wien.

#) Berechnung nicht sinnvoll, da Restvarianz größer ist als die Varianz der abhängigen Variablen.

Station Seehöhe		Bandbreiten der Jahresmittel (Anzahl Jahre)	Anzahl der Messjahre	Mittlere jährliche Änderung	Signifikanz- niveau
Wuchsgebiet 4.1					
Achenkirch	Jahresmittel	26,5 – 30,5 (9)	-	+ 0,64	0,073 (*)
Tirol (930 m)	AOT40 (6 Monate)	7.146 – 24.945 (10)	9	+ 905	0,02 *
	AOT40 (3 Monate)	4.702 – 10.137 (10)	1	#	0,56 n.s.
Höfen	Jahresmittel	24,5 – 34,0 (15)	-	+ 0,85	0,00 ***
Tirol (880 m)	AOT40 (6 Monate)	9.954 – 23.501 (15)	14	+ 376	0,06 (*)
	AOT40 (3 Monate)	5.377 – 13.600 (16)	7	#	0,52 n.s.
Karwendel West	Jahresmittel	41,5 – 51,0 (17)	-	+ 0,60	0,00 **
Tirol (1730 m)	AOT40 (6 Monate)	21.545 – 46.787 (17)	17	#	0,44 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	11.196 – 19.517 (17)	17	+ 101	0,22 n.s.
Nordkette	Jahresmittel	40,2 -51,3 (17)	-	+ 0,79	0,01 *
Tirol (1910 m)	AOT40 (6 Monate)	19.990 – 45.351 (17)	17	#	0,42 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	9.894 – 22.013 (17)	17	+ 188	0,25 n.s.
St. Kolomann	Jahresmittel	35,9 – 43,8 (16)	-	0,47	0,02 *
Salzburg (1020 m)	AOT40 (6 Monate)	15.405 – 37.224 (16)	16	#	0,97 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	8.834 – 19.766 (17)	15	#	0,34 n.s.
Sulzberg	Jahresmittel	38,0 – 46,1 (17)	-	#	0,55 n.s.
Vorarlberg (1020 m)	AOT40 (6 Monate)	18.850 – 40.396 (17)	17	- 366	0,25 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	10.915 – 22.025 (17)	17	- 116	- 0,28 n.s.
Wuchsgebiet 6.1					
St. Georgen	Jahresmittel	24,7 – 30,1 (16)	-	- 0,29	0,11 n.s.
Kärnten (540 m)	AOT40 (6 Monate)	7.791 – 22.459 (16)	15	- 253	0,31 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	4.937 – 16.085 (16)	11	- 254	0,31 n.s.
Gerlitzten	Jahresmittel	45,4 – 50,5 (15)	-	#	0,84 n.s.
Kärnten (1895 m)	AOT40 (6 Monate)	21.126 – 47.287 (15)	15	- 521	0,23 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	11.556 – 23.305 (16)	16	- 522	0,23 n.s.
Vorhegg	Jahresmittel	35,2 – 39,5 (15)	-	#	0,55 n.s.
Kärnten (1020 m)	AOT40 (6 Monate)	13.641 – 25.214 (16)	16	#	0,76 n.s.
	AOT40 (3 Monate)	8.061 – 16.239 (15)	14	+ 126	0,76 n.s.
Bodental	Jahresmittel	37,7 - 44,4 (5)	-		
Kärnten (1010 m)	Jahresmittel	19.980 - 35.610 (7) 7.650 - 13.409 (7)	5	+ 0,5	0,70 n.s.

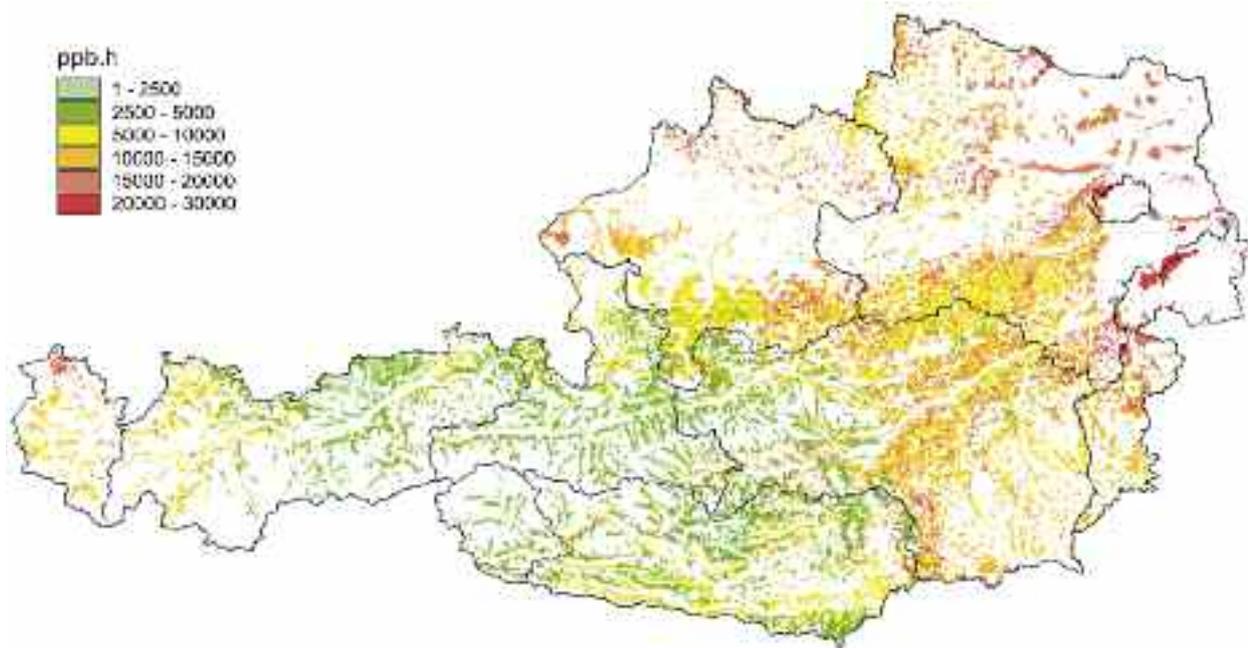


Abbildung 3-1:

Ozondosen (ppb.h) 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; Herman et al. 2005).

Modellierung der Ozonbelastung

Ozongefährdungskarte für Österreich: Eine Risikoabschätzung für österreichische Fichtenwaldgebiete durch Modellierung wurde in Weiterführung des ursprünglichen AOT40-Ansatzes gemäß UN-ECE (1994; Loibl und Smidt 1996) in Form von hoch aufgelösten Karten durchgeführt. Hierzu wurde das Critical Level-Konzept (Berechnung des „AOT40“) weiter entwickelt, indem die vorindustriellen Ozonlevels, die Naturnähe der Fichtenbestände und die Aufnahme beeinflussenden Parameter herangezogen wurde („AOTX-Konzept“).

Die Ozonbelastung wurde nun für die österreichischen Fichtenwaldgebiete modelliert und als Karte mit einer Rastergröße von 1 km dargestellt. Es zeigte sich, dass der Grenzwert in allen Waldgebieten überschritten wurde; 61 % der mit Fichten bestockten Waldflächen können als „Ozonrisikoflächen“ betrachtet werden (Loibl et al. 2004, Bolhar-Nordenkampf et al. 2005; Abbildung 3-1). „Hot Spots“ ergaben sich innerhalb der beiden Wuchsgebiete vor allem in Vorarlberg; ansonsten ist dort - verglichen mit dem sommerwarmen Osten - die Ozonbelastung mit meist unter 10.000 ppm.h eher gering.

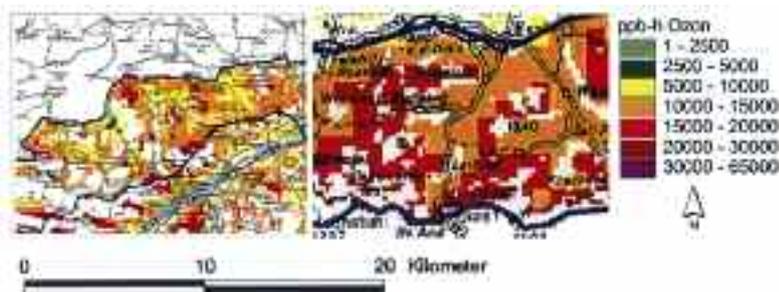


Abbildung 3-2:

AOT40 Werte 1994 im Bereich der Intensivuntersuchungsflächen Achenal (Wuchsgebiet 4.1., links) und Bodental (Wuchsgebiet 6.1., rechts). Berechnet wurde der AOT40 für Tageslichtstunden unter Berücksichtigung der Stomataöffnung (Quelle: Loibl et al. 1999).

Ozongefährdungskarte für die Intensivuntersuchungsgebiete in Achenkirch und im Bodental: Abbildung 3-2 gibt die unter Zugrundelegung der Ozonaufnahme in das Blattinnere modellierten Risikokarten für die Umgebung der Intensivuntersuchungsflächen am Beispiel des Jahres 1994 in einer erhöhten Auflösung wieder. Diese Detailkarten von der näheren Umgebung der beiden Intensivstandorte ergaben für Achenkirch Dosen zwischen

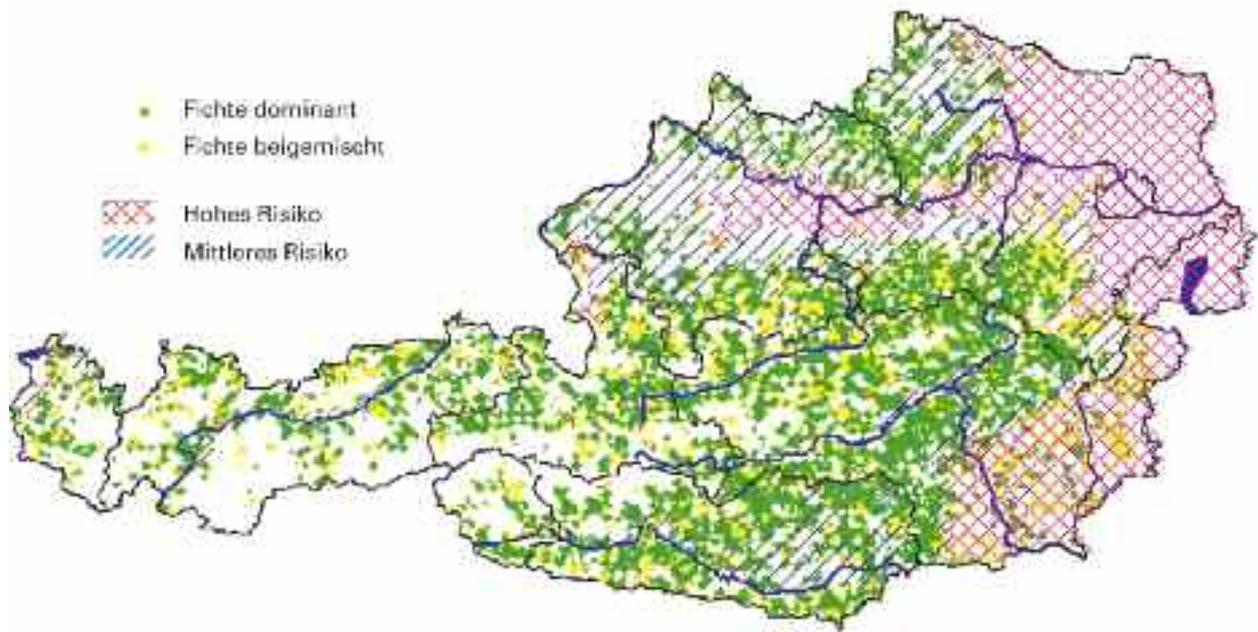


Abbildung 3-3: Fichtenwaldgebiete Österreichs, die bei einem Klimawandel gefährdet sind (Quelle: Leitgeb und Englisch 2006).

5.000 und 15.000 ppm.h und für das Bodental 10.000 bis 20.000 ppm.h. Die Detailkarten belegen somit für diese Vegetationsperiode eine höhere Ozonbelastung im Teilbereich des Wuchsgebietes 6.1 im Vergleich zur Detailfläche im Wuchsgebiet 4.1 (Loibl et al. 1999).

Ozon- und Klimastress: Die Modellierungen ergaben, dass 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. Eine gemeinsame Betrachtung der oben erwähnten Ozon-Risikokarte für Österreich und der Gefährdungskarte für Fichten bei einer Klimaänderung (Leitgeb und Englisch 2006; Abbildung 3-3) zeigt, dass die Klimaerwärmung in diesen beiden Wuchsgebieten, in denen autochthone Fichtenbestände dominieren, keinen gravierenden Einfluss auf die österreichische Hauptbaumart erwarten lässt. Tatsächlich steigen die mittleren Temperaturen seit 1971 an den Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und

Station (Seehöhe)	Zeitraum	Mittelwert (°C)	Mittlere jährliche Änderung (°C p.a.; R ²)
Wuchsgebiet 4.1			
Loferer Alm (1623 m)	1995 - 2006	4,3	0,025 (0,02)
Schröcken (1263 m)	1971 - 2006	5,5	0,048 (0,37)
Achenkirch (906 m)	1971 - 2006	5,7	0,024 (0,16)
Alberschwede (721 m)	1982 - 2006	7,7	0,045 (0,30)
Kufstein (492 m)	1971 - 2006	8,3	0,051 (0,46)
Wuchsgebiet 6.1.			
Villacher Alpe (2140 m)	1971 - 2005	0,6	0,040 (0,33)
Loibl-Tunnel (1067 m)	1971 - 2005	6,0	0,021 (0,13)
Bad Bleiberg (907 m)	1971 - 2005	6,1	0,045 (0,42)
Eisenkappl (623 m)	1975 - 2005	7,5	0,043 (0,30)

Geodynamik durchschnittlich um 0,02 bis 0,05°C pro Jahr.

3.1.2. Stressfrüherkennungsparameter

Komponenten des antioxidativen Systems und Hauptkomponentenanalyse bei Fichten

Im **Achental** wurde an vier Standorten (920 m - 1686 m, 1991 und 1992) Ascorbinsäure, lösliche Thiole, Carotinoide, Glutathionreduktase und Peroxidase sowie Chlorophyll als genereller Indikator für die Gesundheit von Fichten herangezogen. Eine Abhängigkeit der Gehalte bzw. der

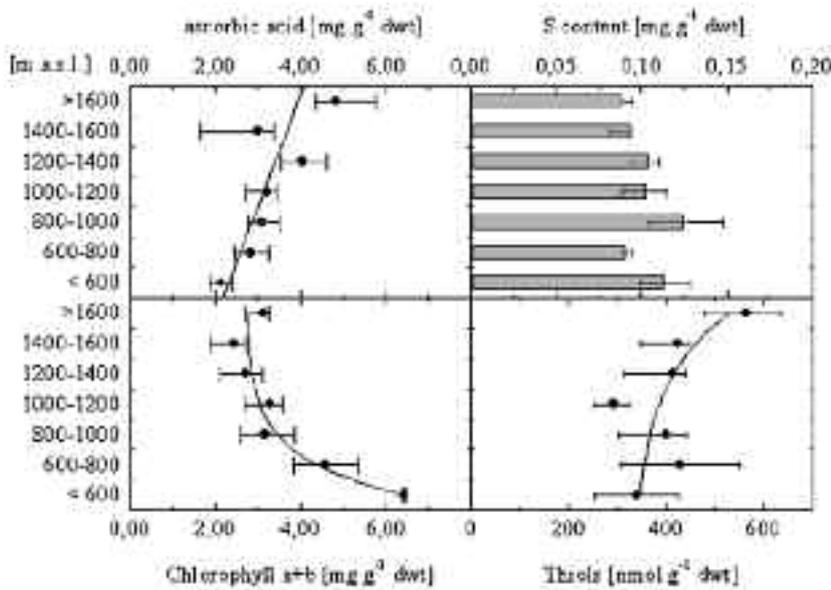


Abbildung 3-4:
Seehöhenabhängigkeit der Gehalte an Ascorbinsäure, Schwefel, Chlorophyll und Thiolen am Höhenprofil Achenkirch (Quelle: Smidt et al. 2002b).
Ascorbic acid: Ascorbinsäure; dwt: Trockengewicht; S content: Schwefelgehalt; Thiols: lösliche Thiole.

Aktivitäten vom Nadelalter und von der Seehöhe wurden hier bestätigt: Hohe Werte von Komponenten des antioxidativen Systems in größeren Seehöhen können mit der hohen Belastung durch Oxidantien bzw. mit einer Anpassung an diese Belastung in Zusammenhang gebracht werden (Bermadinger-Stabentheiner 1996). Sie waren für eine Entgiftung ausreichend, zumal die Ausstattung mit Chlorophyll dort relativ gut waren. 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 werden kann (Abbildung 3-4).

Die oben genannten Nadelinhaltsstoffe wurden herangezogen, um mit Hilfe von Modellen Gebiete (Loisachtal, Achenkirch, Glein/Stmk. und Schöneben/OÖ.), die unterschiedlichen Stressmustern ausgesetzt sind, voneinander zu unterscheiden und die jeweils dominierenden Stresseinflüsse herauszufinden. Mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse wurden die Pigmentgehalte sowie die Gehalte an Komponenten des antioxidativen Systems mit Hilfe einer Clusteranalyse klassifiziert. Hierbei wurden

z.B. die Gebiete Glein (Höhenbereich 1500 m) und Achenkirch in 1000 m Seehöhe als mittelstark oxidativ gestresst und das Loisachtal sowie das Achenkirch in 1500 m als oxidativ gestresst ausgewiesen (Tausz et al. 1998).

Antioxidatives System bei Lärchen

Im Rahmen einer Studie zur Untersuchung der Vitalität der Lärchen wurden an insgesamt sieben Standorten in einem Alpenstranekt (je ein Standort in den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen) Komponenten des antioxidativen Systems bzw. Pigmente (Xanthophylle, β -Carotin und α -Tocopherol, Chlorophyll) sowie die Chlorophyllfluoreszenz als Maß für die Aktivität des Photosystems II analysiert. Da

die Lärche beim Austrieb häufig sehr hohen Ozonkonzentrationen ausgesetzt ist, bilden die Nadeln als Reaktion auf den Stress Komponenten des antioxidativen Systems. Es konnte gezeigt werden, dass die Lärche über ein hohes Anpassungsspektrum verfügt und den vorgegebenen oxidativen Stress gut bewältigen kann, was auf Grund der guten Benadelung plausibel ist (Egger 2005, Lütz 2005).

Bestimmung von Plant Traits in Fichtennadeln

Im Rahmen eines baumphysiologischen Untersuchungsprogrammes der Universität Wien an drei Standorten in Österreich (Achenkirch/Tirol, Bodental/Kärnten, Vorau/Stmk.), welche unterschiedlich mit Ozon belastet sind, wurden an Fichtennadeln baumphysiologische und biometrische Attribute („Plant Traits“) auf ihre Aussagekraft hinsichtlich der Ozonbelastung getestet. Aus den zwanzig erhobenen Parametern konnte aufgrund einer statistischen Analyse und eines Auswahlverfahrens eine Kombination aus fünf Parametern ausgeschieden werden, die zur Ozonbelastung in Bezug gesetzt werden konnte: Transpirationsrate, lichtgesättigte Elektronentransportrate, gesättigtes Frischgewicht der Nadeln, Reparaturkapazität geschädigter Photosysteme und Trockengewicht (Bolhar-Nordenkamp et al. 2005; Herman et al. 2005).

3.1.3. Verkehrsaufkommen und Ozonbildung

Ozon entsteht auf photochemischem Weg aus den von Verkehrsträgern freigesetzten Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Stickstoffoxiden. Neben dem lokal gebildeten Ozon spielt der großräumige Antransport sowie der horizontale Austausch von Luftmassen zwischen dem Achenental und dem Inntal sowie der vertikale Antransport aus höheren und ozonreicheren Luftschichten eine Rolle.

Kaiser (1996) zeigte im Rahmen einer Studie über die meteorologischen Verhältnisse des Achentals, dass die NO_x - und Ozon-Konzentrationen an Werktagen höher sind als an Sonn- und Feiertagen, was sich durch ein stärkeres Verkehrsaufkommen und die darauf folgende lokale Bildung von Ozon erklären lässt.

Eine Auswertung der NO_x - und Ozondaten, die an der Achenentaler Straße (1996: 4.374, 2004: 5.509 KFZ pro Tag) nahe der ehemaligen Zollstation gemessen wurden, bestätigte die Erkenntnisse insofern, als die höchsten NO_x - und Ozonkonzentrationen an Werktagen gemessen wurden (Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2:

Mittlere Konzentrationen von NO und Ozon (ppb) im Zeitraum 1.12.2005 bis 23.1.2007 (16.306 Datensätze).

	NO	Ozon
Werktage ohne Samstag	14,4	19,2
Samstag	13,4	16,7
Sonntag	13,0	16,1
Feiertag	8,8	18,5

Tabelle 3-3a:

Bandbreiten der NO_x -Jahresmittel (ppb; 1990-2006) und Trends der Jahresmittel und der maximalen Tagesmittel. Datenquelle: BFW (Mühleggerköpfl) und Umweltbundesamt Wien.

#) Berechnung nicht sinnvoll, da Restvarianz größer ist als die Varianz der abhängigen Variablen.

Auf das Basis von NO_x -Messungen in Österreich beträgt bei einer NO_x -Konzentration von $30 \mu\text{g m}^{-3}$ die NO_2 -Konzentration $20 \mu\text{g m}^{-3}$.

Station (Seehöhe)	Bandbreiten der Jahresmittel (Anzahl Jahre)	Mittlere jährliche Änderung	Signifikanzniveau
Wuchsgebiet 1.4			
Nordkette /Tirol (1910 m)	2,5 – 5,6 (17)	- 0,11	0,00 **
St. Kolomann / Sbg.(1020 m)	3,4 – 6,2 (5)	- 0,19	0,13 n.s.
Sulzberg / Vbg. (1020 m)	2,4 – 3,8 (8)	#	0,64 n.s.
Vomp A12 / Tirol (560 m)	32,1 – 185,1 (9)	+ 7,11	0,28 n.s.
Vomp an der Leiten /Tirol (545 m)	77,4 – 82,5 (6)	#	0,70 n.s.
Mühleggerköpfl / Tirol (930 m)	1,5 – 4,6 (8)	+ 0,11	0,33 n.s.
Wuchsgebiet 1.6			
St. Georgen / Ktn. (540 m)	5,7 – 10,0 (15)	+ 0,16	0,01 *
Vorhegg / Ktn. (1020 m)	1,5 – 4,5 (12)	- 0,10	0,02 *

Bei der Beurteilung des Zusammenhanges zwischen den Vorläufersubstanzen für Ozon aus dem Verkehr ist zu berücksichtigen, dass es Abhängigkeiten der gemessenen Immissionskonzentrationen von der großräumigen Wetterlage gibt. So wurde für das Achenental berechnet, dass ein Antransport NO_x -reicher Luft aus den nördlich gelegenen Gebieten erfolgt, dass hingegen die Ozonkonzentrationen bei Strömungen aus dem Südsektor durch den Antransport aus dem Mittelmeerraum beeinflusst werden (Kaiser 1996).

3.2. Stickstoff

Die NO_x -Konzentrationen (Jahresmittelwerte) wurden auf der Basis des Jahresmittelgrenzwertes des Immissionsschutzgesetz Luft beurteilt, die Depositionsraten anhand der Critical Loads (Tabelle 2-4). Weiters wurden Critical Loads basierend auf den Ergebnissen der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur errechnet (Obersteiner und Offenthaler 2005). Die Bewertung der Ernährungssituation der Fichten hat die Grenzwerte von Gussone (1964; Tabelle 2-4) als Grundlage.

NO_x -Konzentrationen

Die Bandbreite der NO_x -Jahresmittel von fünf Mess-Stationen im Wuchsgebiet 4.1 und zwei Mess-Stationen im Wuchsgebiet 6.1 sind in Tabelle 3-3a angeführt (Jahresmittel und Monatsmittel siehe Anhang 1). Deutliche Überschreitungen des NO_x -Grenzwertes wurden lediglich an den beiden Mess-Stationen Vomp registriert, die im unmittelbaren

Tabelle 3-3b:

Maximale NO₂-Tagesmittelwerte (ppb).Der Zielwert des Immissionsschutzgesetzes beträgt 30 µg m⁻³ NO₂ (entsprechend 15,9 ppb)

Jahr	St. Georgen	Vorhegg	Nordkette	Sulzberg	St. Koloman	Vomp A12	Vomp an der Leiten
1990		10,4	14,2		25,2		
1991	30,5	18,0	16,9		18,0		
1992	24,8	7,4	11,3		21,4		
1993	26,5	9,8	10,8		18,5		
1994	23,3	13,5	6,9		7,6		
1995	23,7	10,3	4,8		14,0		
1996	24,8	14,9	13,5		16,0		
1997	27,4	8,3	11,7		11,4	43,1	
1998	22,1	12,2	10,1	16,8	21,7	68,6	
1999	25,5	6,8	7,0	12,2	11,3	77,9	
2000	27,6	7,4	12,3	12,8	18,8	65,8	
2001	25,4	9,9	8,4	19,3	18,2	57,7	48,1
2002	30,6	11,4	9,8	13,6	16,1	59,7	53,3
2003	25,7	9,2	8,7	16,7	25,2	69,3	54,5
2004	33,5	11,7	7,2	12,5	15,2	68,9	58,5
2005	33,5	11,1	9,5	13,4		74,9	57,2
2006	32,4	11,4	10,6			90,9	75,2

Nahbereich der Inntalautobahn liegt. Der Zielwert für das Tagesmittel wurde an den verfügbaren Stationen in den beiden Wuchsgebieten sehr häufig überschritten (Tabelle 3-3b).

Durch die steigende Frequenz der Schwerverkehrfahrzeuge hat sich speziell im Nahbereich der Inntalautobahn die Immissionssituation in den letzten Jahren deutlich verschärft. An den wenigen „waldrelevanten“ Luftmessstationen in den beiden Wuchsgebieten zeigen sich (mit Ausnahme der Nordkette) leichte NO_x-Zunahmen zwischen 1990 und 2006; extrem war die Zunahme an der autobahnnahen Station Vomp A12.

Stickstoffdepositionen

Level II- und WADOS-Ergebnisse: Die Stickstoffeinträge (nasse Bulk-Freilanddepositionen, Level II Messnetz, Mittel 1996-2005) lagen im Wuchsgebiet 4.1 (4 Stationen) zwischen rund 5,5 und 16,4 kg N ha⁻¹ a⁻¹. An vier Stationen, die etwas nördlich des Wuchsgebietes 6.1 gelegen sind, wurden mittlere Einträge zwischen 4,7 und 7,2 kg N ha⁻¹ a⁻¹ gemessen (Smidt 2007).

An zwei Level II-Stationen (Hochhädrich/Vbg. und Mondsee/Sbg.) sowie in Kufstein (Tirol) überschritten die mittleren Einträge die Untergrenze der Bandbreite der Critical Loads für Waldhabitats, Bodenprozesse und Bodenvegetation (diese liegt

nach Bobbink et al. 2002 bei 10 kg ha⁻¹ a⁻¹; Tabelle 3-4). Tendenziell waren an den 20 österreichischen Level II-Stationen die Ammoniumstickstoffeinträge um über 20 % höher als die Nitratstickstoffeinträge; demgegenüber waren unter dem Kronendach die Nitratstickstoffeinträge um rund 10 % erhöht. Jahresmittelwerte bzw. -summen an den Intensivuntersuchungsstandorten sind im Anhang 2 enthalten.

Auf den 20 österreichischen Level II-Flächen wurden 1996-2005 - ebenso wie an den WADOS-Stationen - Höchstwerte von 22 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Kronendurchlass: 30 kg N ha⁻¹ a⁻¹) erreicht (1996-2004; Smidt 2007).

Modellierung auf der Basis von WADOS-

Messungen: Aus einer modellierten Darstellung der Stickstoffeinträge in Österreich aus dem Jahre 1994 (Schneider 1998) geht hervor, dass im Wuchsgebiet 6.1 12 - 20 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Summe aus Nitrat- und Ammonium-N) deponiert wurden, im Wuchsgebiet 4.1 waren es sogar bis über 24 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Abbildung 3-5).

Modellierung der Critical Loads auf der Basis der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur:

Eine Bewertung der N-Einträge erfolgte durch einen Vergleich der aktuellen Einträge mit den aus

Tabelle 3-4:
 Stickstoffeinträge (kg ha⁻¹a⁻¹; Freiland) und Trends der Stickstoffeinträge auf den Level II-Flächen (Freiland; 1996-2005; Smidt 2007), den WADOS-Stationen (Technische Universität Wien, 1996-2004; Leber, Technische Universität Wien, pers. Mitt.) und am Mühleggerköpfl (1998-2006).
 #) Berechnung nicht sinnvoll, da Restvarianz größer ist als die Varianz der abhängigen Variablen.
 n.s.: nicht signifikant; *: signifikant (P < 0,05).
 Critical Loads: 10 - 15 kg N ha⁻¹ a⁻¹.

Station		Anzahl der Messjahre	Critical Load (Obersteiner und Offenthaler 2005)	Gesamt-mittel	Mittlere jährliche Änderung (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)	Signifikanz-niveau
Wuchsgebiet 4.1						
Hochhädrich (1320 m)	Bulk	10	12,0	11,1	+ 0,20	n.s.
Ehrwald (1020 m)	Bulk	10	8,5	5,5	- 0,14	*
Mondsee (860 m)	Bulk	10	9,6	16,4	- 0,25	n.s.
Lungötz (920 m)	Bulk	10	10,6	6,2	- 0,53	*
Kufstein (680 m)	WADOS	10	-	12,1	- 0,21	*
Reutte (930 m)	WADOS	10	-	9,4	- 0,12	n.s.
Werfenweng (940 m)	WADOS	10	-	6,0	- 0,15	*
Haunsberg (730 m)	WADOS	10	-	8,7	- 0,31	n.s.
Mühleggerköpfl (930 m)	WADOS	9	-	9,3	#	0,73 n.s.
Wuchsgebiet 6.1						
Greifenburg (1190 m)	Bulk	10	11,3	7,2	- 0,27	n.s.
Fresach (720 m)	Bulk	10	9,9	4,7	+ 0,12	n.s.
Brückl (930 m)	Bulk	10	10,2	5,8	+ 0,05	n.s.
Leutschach (670 m)	Bulk	10	10,3	6,3	- 0,15	n.s.
Bodental (1010 m)	Bulk	4	-	9,7	#	0,50 n.s.

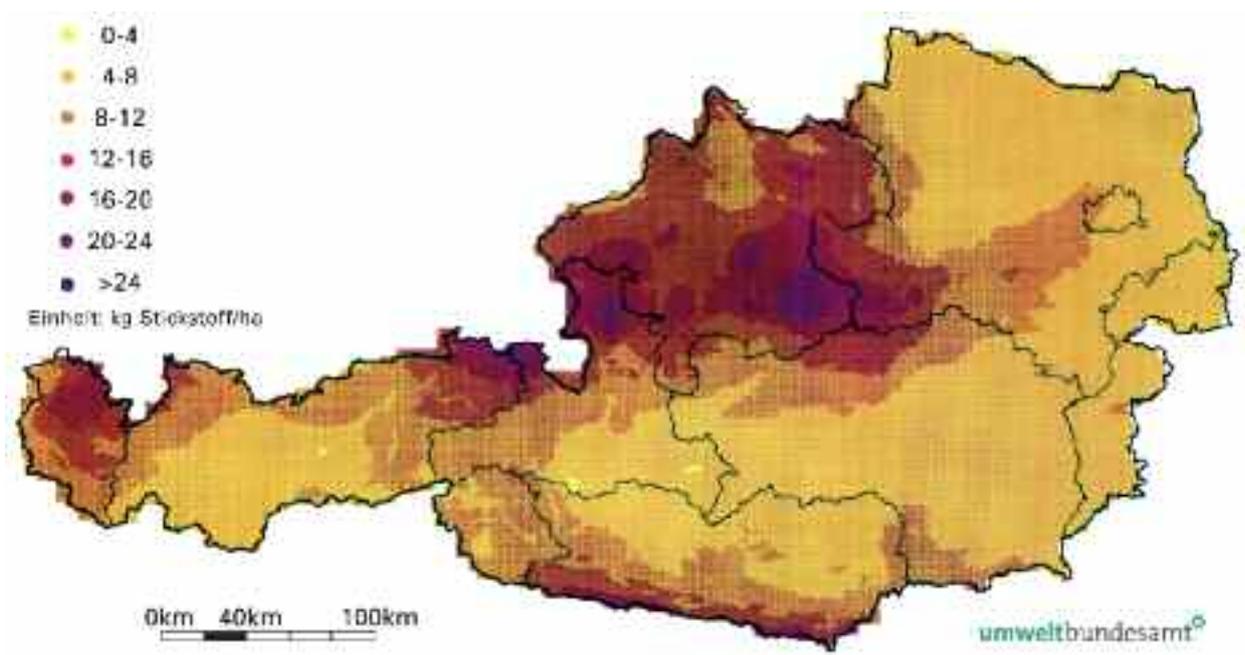


Abbildung 3-5:
 Nasse Deposition von Stickstoff 1994 (Schneider 1998). Die Darstellung basiert auf den Ergebnissen der WADOS-Messungen der Bundesländer.

Grundgesteins- und anderen Basisdaten errechneten Critical Loads: Eine bundesweite Auswertung der Daten der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur (WBZI) durch Obersteiner und Offenthaler (2005) ergab, dass die Critical Loads für Stickstoff-Einträge für das Wuchsgebiet 4.1. zwischen 9,4 – 10,2 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und für das Wuchsgebiet 6.1 zwischen 9,4 und 10,0 kg N ha⁻¹ a⁻¹ liegen; die Studie ergab ferner eine Gefährdung auf 97 % der Flächen (Abbildung 3-7). Somit wurden in einzelnen Jahren sowie auch im Mittel über 10 Jahre im Wuchsgebiet 4.1 die N Einträge auf den Level II-Flächen Mondsee und Hochhädrich und auf der WADOS-Station Kufstein überschritten.

Wird neben der nassen auch die trockene und okkulte Deposition einbezogen, erhöhen sich die Werte vor allem in den nebelreichen Hochlagen noch wesentlich. Eine einjährige Messkampagne im Achenal in 1686 m Seehöhe ergab, dass die okkulte

Deposition rund 25 % der Gesamtdeposition ausmachte (Kalina 1997; Kalina et al. 2002).

Modellierung der Critical Loads für Eutrophierung für die Nordtiroler Kalkalpen:

Modellierungen des Risikos durch eutrophierende Stickstoffeinträge in den Nordtiroler Kalkalpen (360.000 ha) ergaben Critical Loads zwischen 10 und 32 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Es zeigte sich, dass besonders die Talflanken des Inntales und des Zillertales durch Stickstoffeinträge gefährdet sind (Knoflacher und Loibl 1998).

Säureempfindlichkeit

Im Zuge der Auswertung der Daten der Österreichischen Waldbodenzustandsinventur wurden die Bodendaten auch auf eine Gefährdung durch Säureeinträge untersucht (Mutsch und Smidt 1994). Hierzu wurden die im Zusammenhang mit einer Säurege-

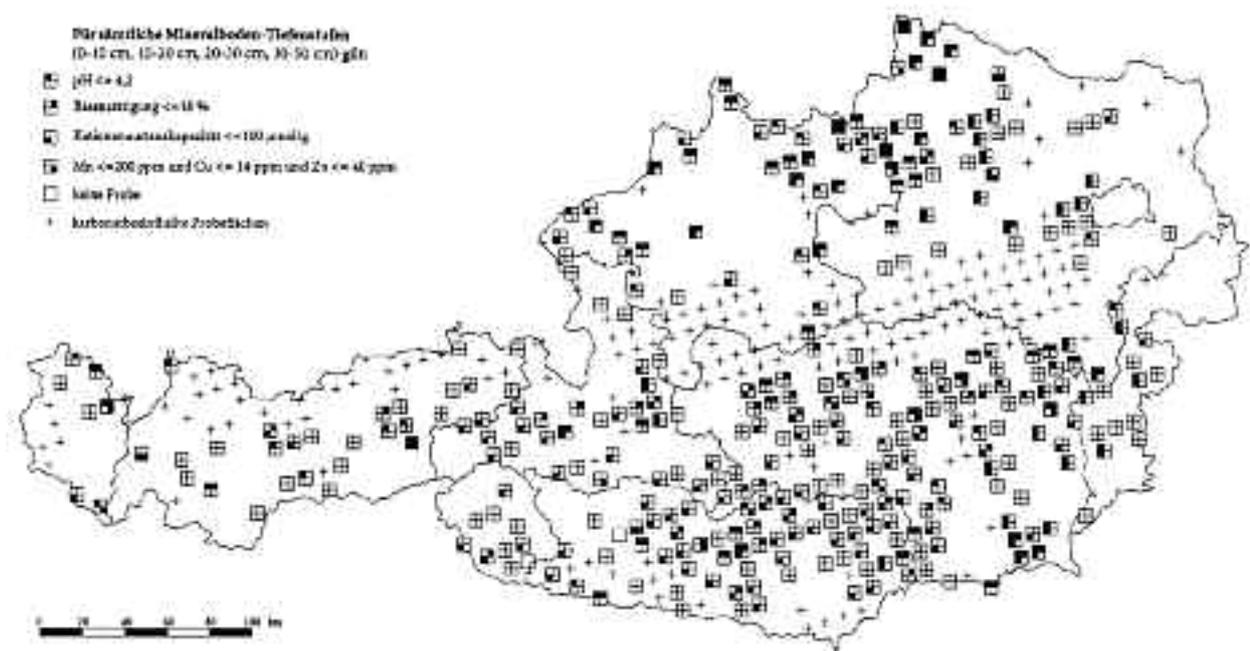


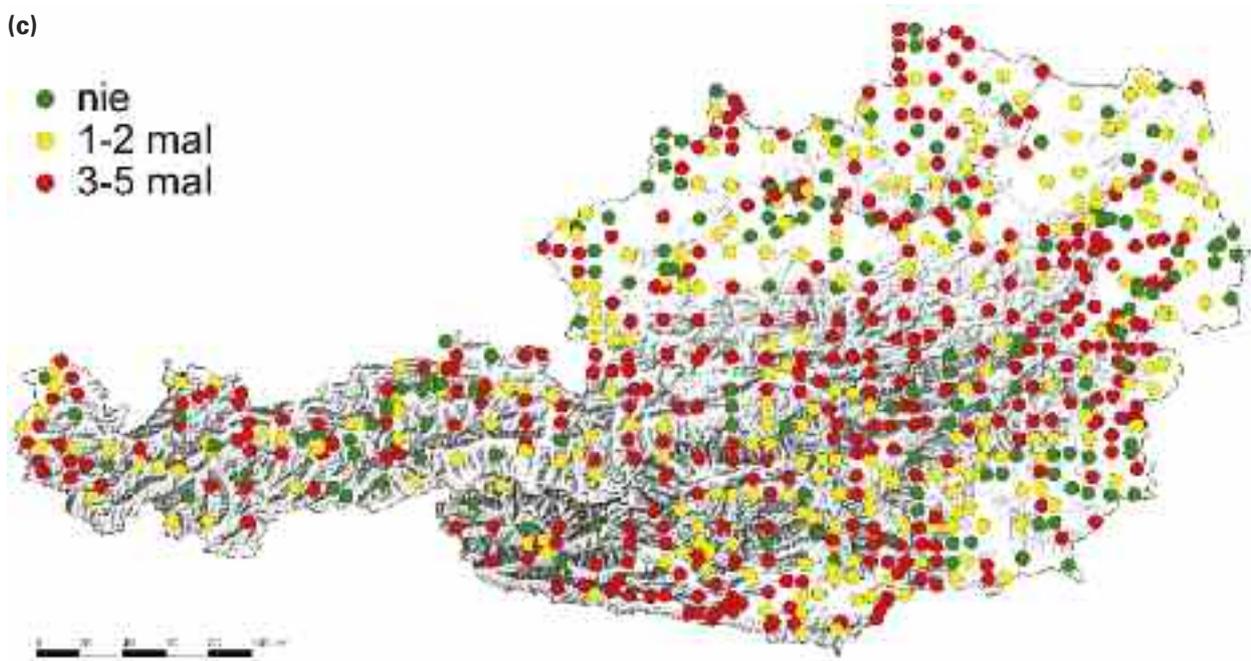
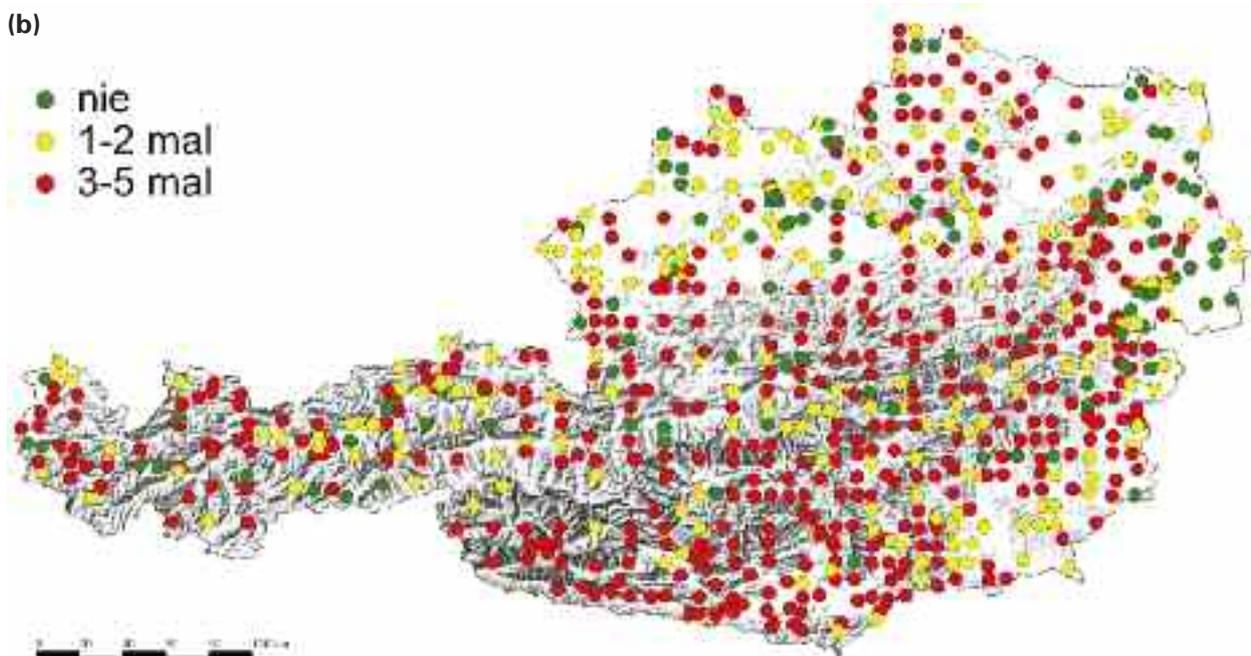
Abbildung 3-6: Unterschreitung von Richtwerten für pH-Wert, Basensättigung, Kationenaustauschkapazität und Gehalte an Mn, Cu und Zn, integriert über alle vier Tiefenstufen des Mineralbodens (0 - 50 cm).

Quadratfarbe	Weiß in zumindest einer Tiefenstufe	Schwarz in sämtlichen Tiefenstufen	Lage im Quadrat
pH-Werte	> 4,2	≤ 4,2	Links oben
Basensättigung	> 18%	≤ 18%	Rechts oben
Kationenaustauschkapazität	> 100 µmol g ⁻¹	≤ 100 µmol g ⁻¹	Links unten
Mn	> 200 ppm	≤ 200 ppm	Rechts unten
Cu	> 14 ppm	14 ppm	Rechts unten
Zn	> 40 ppm	40 ppm	Rechts unten



Abbildung 3-8:
Ernährungssituation von Fichten hinsichtlich der Hauptnährstoffe (a) und hinsichtlich des Hauptnährelementes Stickstoff (b, c) gemäß den Grenzwerten von Gussone (1964) im Rahmen des Österreichischen Bioindikatoretnetzes (Gesamtnetz, 1983-2003; www.bioindikatoretnetz.at).

- (a) Mittlere Nährstoffversorgung 1983 - 2003
- (b) Mittlere Nährstoffversorgung 1990 - 1994
- (c) Mittlere Nährstoffversorgung 2002 - 2006



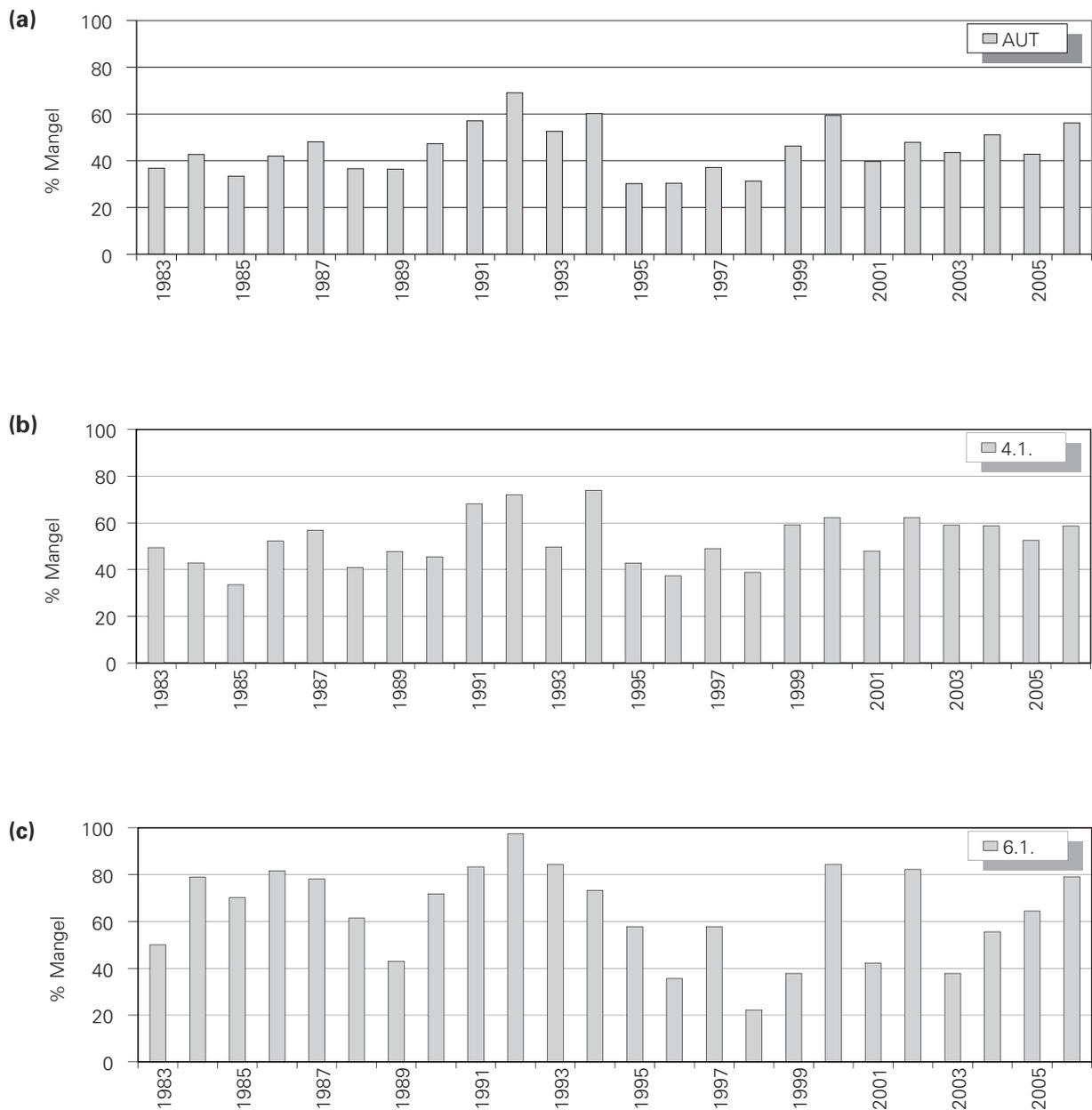


Abbildung 3-9: Entwicklung der Anteile an N-Mangelpunkten in den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1 in den Jahren 1983-2006 (Datenquelle: Österreichisches Bioindikatornetz, www.bioindikatornetz.at) sowie statistische Auswertung der Trends (***: P < 0,001).

- (a) Österreich, Gesamtnetz (n=760)
- (b) Wuchsgebiet 4.1 (n=74)
- (c) Wuchsgebiet 6.1 (n=20)

Gebiet	Anteil an Punkten mit Mangel	Mittlere jährliche Zunahme (%)	R ² und Signifikanz
Gesamtnetz (n=760)	45 %	0,02	0,95 ***
nördliche Kalkalpen (n=74)	52,5 %	0,03	0,96 ***
südliche Kalkalpen (n=20)	63,8 %	0,03	0,92 ***

Tabelle 3-5:
Anzahl und Prozentanteile von Probebäumen mit Stickstoffmangel ($< 1,31\% \text{N}$) bei Fichten (NJ. 1) nach Gussone (1964) auf den Punkten des Österreichischen Bioindikatornetzes (<http://www.bioindikatornetz.at>) und auf den beiden Intensivuntersuchungsflächen.

Gebiet (Anzahl der beprobten Bäume)	Jahre	Prozent der Probebäume mit Mangel
BIN, Gesamtnetz, alle Wuchsgebiete	1983 - 2006	44,9
Wuchsgebiet 4.1		
BIN, Nördliche Kalkalpen	1983 - 2005	52,5
Mühleggerköpfl (103)	1991-2005	75,7
Christlumpprofil (370)	1983-2005	93,5
Schulterberg (100)	1991 - 2005	59,0
Wuchsgebiet 6.1		
BIN, Südliche Kalkalpen	1983 - 2005	63,8
Bodental (49)	2001 - 2005	46,9

3.3. Schwefel

Schwefeldioxid

An den walddahen Luftmessstationen der Bundesländer wurden keine Überschreitungen des SO_2 -Jahresmittel-Grenzwertes ($20 \mu\text{g m}^{-3}$) festgestellt. Drei der verfügbaren vier Messreihen zeigten sehr geringe, aber signifikante Abnahmen der Jahresmittelwerte (die Gesamt- SO_2 -Emissionen nahmen in Österreich in den 1980er Jahren deutlich stärker ab

Tabelle 3-6:
 SO_2 -Jahresmittelwerte ($\mu\text{g m}^{-3}$) und Trends an walddahen Stationen der Wuchsgebiete 4.1 und 6.1. (1990-2006).

Datenquelle: Umweltbundesamt Wien.

n.s.: nicht signifikant; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$.

Station	Anzahl der Messjahre	Bandbreiten der Jahresmittel (Anzahl Jahre)	Mittlere jährliche Änderung	Signifikanzniveau
Wuchsgebiet 4.1				
St. Kolomann (1020 m)	5	0,6 – 3,5 (5)	- 0,27	0,01 **
Sulzberg (1020 m)	5	0,6 – 1,0 (5)	#	0,56 n.s.
Vomp A12 (560 m)	3	9,2 – 10,6 (3)	#	-
Wuchsgebiet 6.1				
Vorhegg (1020 m)	12	0,6 – 5,2 (12)	- 0,30	0,00 ***
St. Georgen (540 m)	16	2,4 – 14,2 (16)	- 0,82	0,00 ***

als danach: 1985: 180.000 t, 1995: 47.000 t und 2005: 27.000 t; Tabelle 3-6).

Schwefeleinträge durch nasse Deposition

Die zu den Säureeinträgen proportionalen Critical Loads für Schwefeleinträge (Bulk-Freilanddeposition) von $> 32 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für Kalkstandorte werden an keiner österreichischen Station überschritten (vgl. Obersteiner und Offenthaler 2005), der maximale Jahreseintrag auf Kalkstandorten war im Zeitraum 1996-2005 $6,8 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, der maximale Jahreseintrag an allen 20 Level II-Standorten $10 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Auf nahezu allen Level II-Flächen wurden in den letzten 10 Jahren Abnahmen verzeichnet, von denen die meisten signifikant waren (Smidt 2007; Tabelle 3-7). Während die Stickstoffeinträge v.a. in niederschlagsreichen Gebieten zu Überschreitungen der Critical Loads für Stickstoff geführt haben, ist eine Gefährdung an karbonatbeeinflussten Standorten durch Säureeinträge wegen des guten Pufferungsvermögens des Bodens bzw. des Grundgesteines nicht zu erwarten.

Tabelle 3-7:

Mittlere Schwefeleinträge ($\text{kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; Freiland) und Trends auf den Level II-Flächen (1996-2005; Smidt 2007) sowie auf WADOS-Stationen (Technische Universität Wien, 1996-2004; Leber, pers. Mitt.).

Critical Load für Schwefeleinträge: $> 32 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Station		Anzahl der Messjahre	Gesamtmittel	Mittlere jährliche Änderung ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	Signifikanzniveau
Wuchsgebiet 4.1					
Hochhädrich (1320 m)	Bulk	10	5,4	- 0,26	*
Ehrwald (1020 m)	Bulk	10	3,2	- 0,32	**
Mondsee (860 m)	Bulk	10	6,8	- 0,48	*
Lungötz (920 m)	Bulk	10	3,9	- 0,19	n.s.
Kufstein (680 m)	WADOS	10	4,7	- 0,10	n.s.
Reutte (930 m)	WADOS	10	3,9	- 0,23	**
Werfenweng (940 m)	WADOS	10	3,3	- 0,13	*
Haunsberg (730 m)	WADOS	10	3,7	- 0,15	n.s.
Mühleggerköpfl (930 m)	WADOS	9	3,8	- 0,31	0,05 *
Wuchsgebiet 6.1					
Greifenburg (1190 m)	Bulk	10	4,0	- 0,19	*
Fresach (720 m)	Bulk	10	3,7	- 0,11	*
Brückl (930 m)	Bulk	10	3,8	- 0,15	*
Leutschach (670 m)	Bulk	10	6,2	- 0,27	*
Bodental (1010 m)	Bulk	4	4,6	#	0,58 n.s.

Schwefelmissionseinwirkungen (Fichten)

Die maximalen **Schwefelgehalte** der Fichtennadeln, v. a. im Nadeljahrgang 2, haben sich im Grundnetz seit 1983 deutlich verringert (Abbildung 3-10a), während sich die Mittelwerte nur geringfügig veränderten (dies hängt damit zusammen, dass die Besetzung der Klassen mit hohen Gehalten zwar stark abnahm, dass aber in den Klassen mit niedrigen Werten zunehmend höhere Werte gemessen wurden). Das Niveau der Schwefelgehalte

war im Wuchsgebiet 4.1. deutlich unter dem österreichischen Niveau, im Wuchsgebiet 6.1 hingegen darüber (Abbildung 3-10b, c). Die zum Teil starken Schwankungen von Jahr zu Jahr sind vor allem auf die jeweiligen Witterungsbedingungen bzw. Niederschlagsverhältnisse während der Vegetationsperioden zurückzuführen.

Noch deutlicher zeigen sich die Auswirkungen der Emissionsreduktionen von SO₂ im zeitlichen Verlauf der Überschreitungen der Schwefelgrenzwerte (Gesamtklassifikation 3 und 4) bei der Gegenüberstellung zweier 5-Jahresperioden (Abbildung 3-11). In Österreich überschritten 1983 - 2006 (Gesamtnetz, Fichte) im Gesamtdurchschnitt 14,1 % der Werte die Grenzwerte (Gesamtklassifikation 3+4 nach Stefan und Fürst 1998), im Wuchsgebiet 4.1 waren es 3,1 % und im Wuchsgebiet 6.1 22,4 %. Die Tendenz ist nach 1993 fallend.

Besonders im Wuchsgebiet 6.1 zeigt sich eine deutliche Verbesserung zwischen den beiden Beobachtungszeiträumen, was teilweise auf die verringerten Schwefelimporte aus dem benachbarten Slowenien zurückzuführen ist.

Trotz der starken Schwankungen der mittleren Schwefelgehalte von Jahr zu Jahr ist ein Rückgang der Überschreitungen besonders seit 1989 deutlich. Das Wuchsgebiet 6.1. unterscheidet sich vom übrigen Bundesgebiet dadurch, dass es einen nur geringen Anteil an deutlichen Überschreitungen aufweist (Abbildung 3-12).

In den Intensivuntersuchungsgebieten wurde lediglich der jüngste Nadeljahrgang analysiert. Die mittleren Gehalte im Wuchsgebiet 6.1 lagen über dem österreichischen Durchschnitt, jene im Wuchsgebiet 4.1 darunter. Tabelle 3-8 zeigt die Mittelwerte und Bandbreiten der Schwefelgehalte.

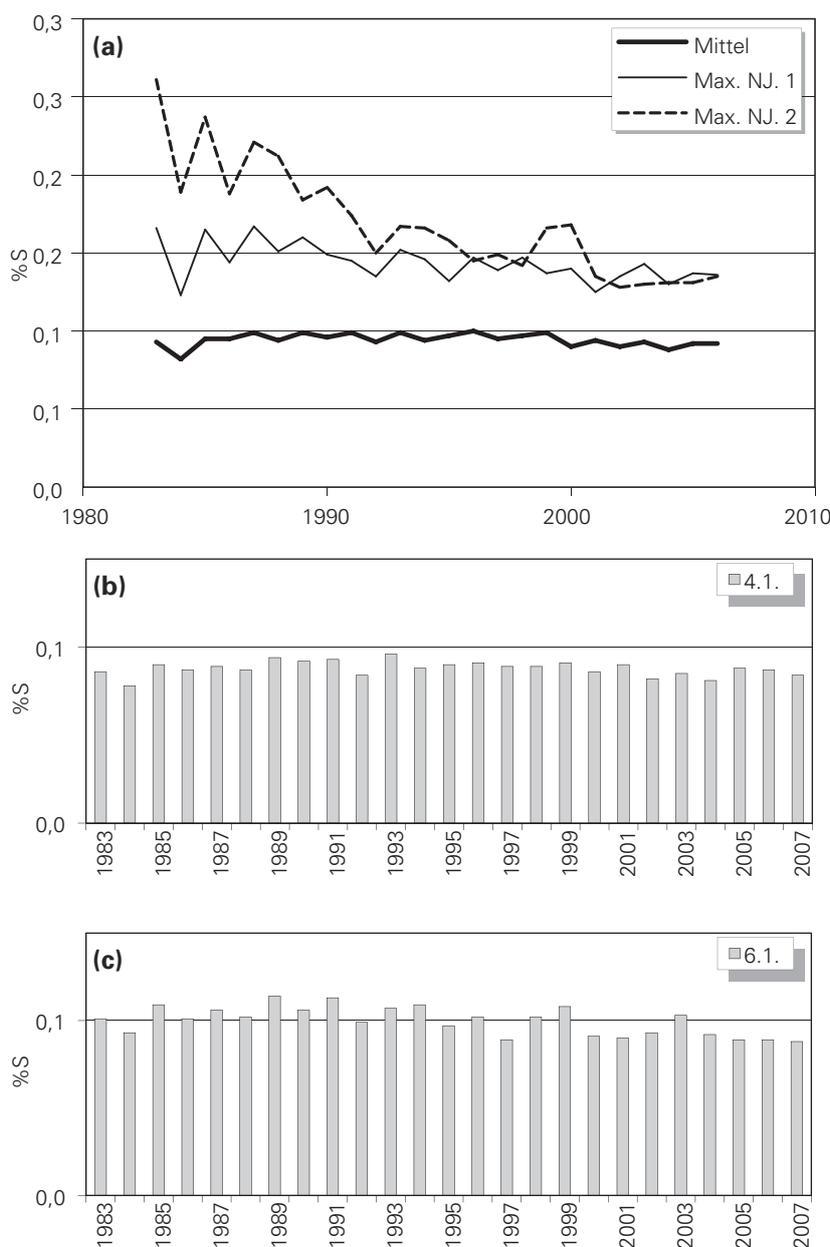


Abbildung 3-10: Österreichisches Bioindikatornetz: Entwicklung der mittleren Schwefelgehalte (Gesamtnetz, Baumart Fichte, Nadeljahrgang 1).

- (a) BIN-Grundnetz Österreich (Baumart Fichte, n = 319)
- (b) Wuchsgebiet 4.1. (n = 74)
- (c) Wuchsgebiet 6.1 (n = 20)

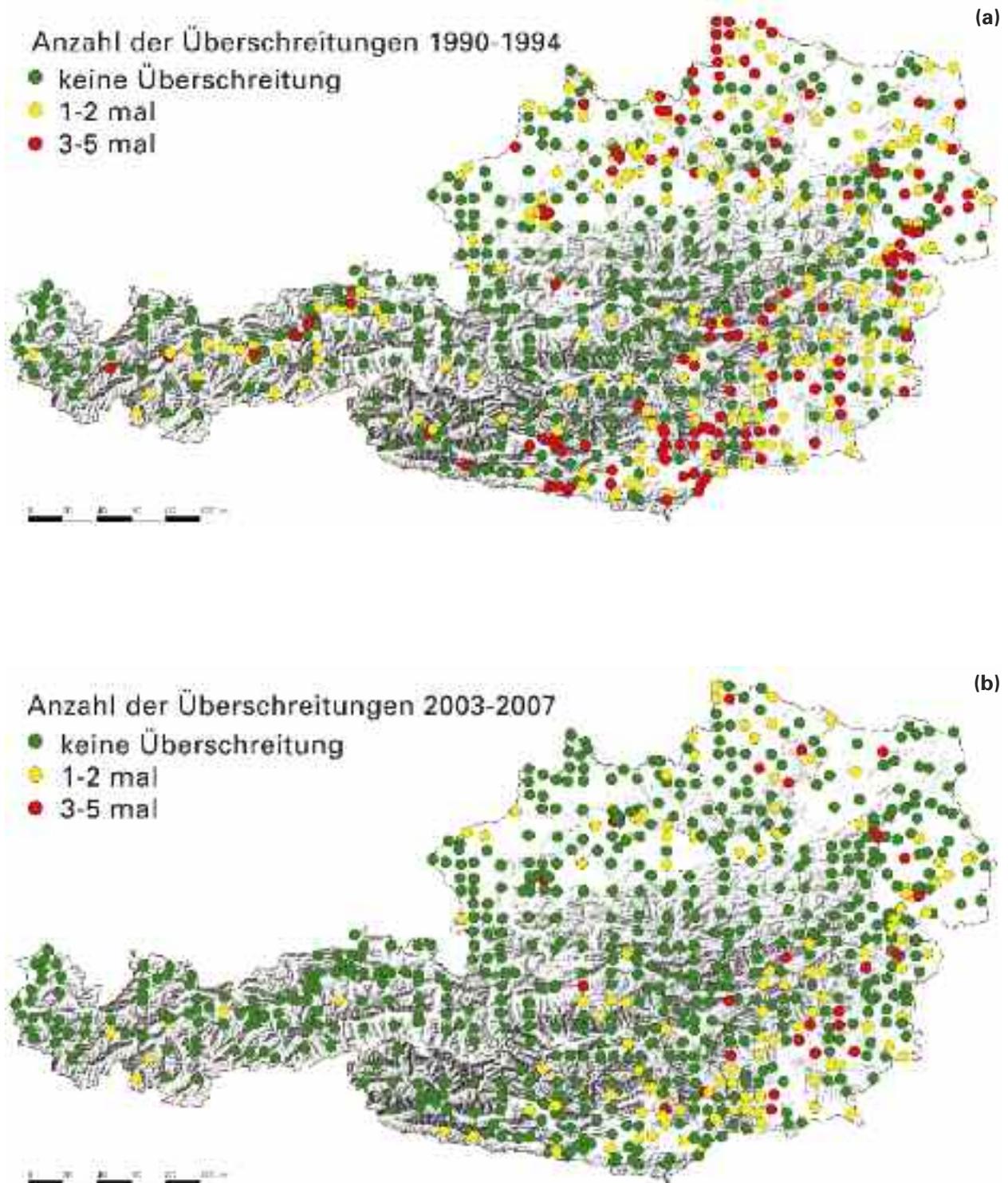


Abbildung 3-11:
 Österreichisches Bioindikatornetz: Entwicklung der mittleren Schwefelgehalte in Österreich und in den Wuchs-
 gebieten 4.1 und 6.1. (Gesamtnetz, Baumart Fichte); <http://www.bioindikatornetz.at>.

- (a) Beobachtungszeitraum 1990 - 1994
 (b) Beobachtungszeitraum 2003 - 2007

Tabelle 3-8:
Schwefelgehalte (% Trockensubstanz im Nadeljahrgang 1) in den Probebäumen des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN) 1985-2006 (Gesamtnetz, Fichte; www.bioindikatornetz.at) sowie in den Wuchsgebieten (WG) und Intensivuntersuchungsgebieten.

Wuchsgebiete	Mittelwert im Nadeljahrgang 1 (Anzahl der Probebäume)	Bandbreite der Einzelwerte
Bioindikatornetz (BIN)		
BIN-Österreich (1983 - 2006)	0,10 (634)	0,05 - 0,30
BIN-Wuchsgebiet 4.1 (1983 - 2006)	0,09 (173)	0,05 - 0,16
BIN-Wuchsgebiet 6.1 (1983 - 2006)	0,10 (65)	0,06 - 0,23
Intensivuntersuchungsgebiete		
Mühleggerköpfl (1991 - 2005), WG. 4.1	0,08 (102)	0,06 - 0,13
Christlumprofil (1983 - 2005), WG. 4.1	0,08 (369)	0,05 - 0,12
Schulterbergprofil (1991 - 2005), WG. 4.1	0,09 (99)	0,07 - 0,11
Bodental (2001 - 2005), WG. 6.1	0,09 (48)	0,07 - 0,13

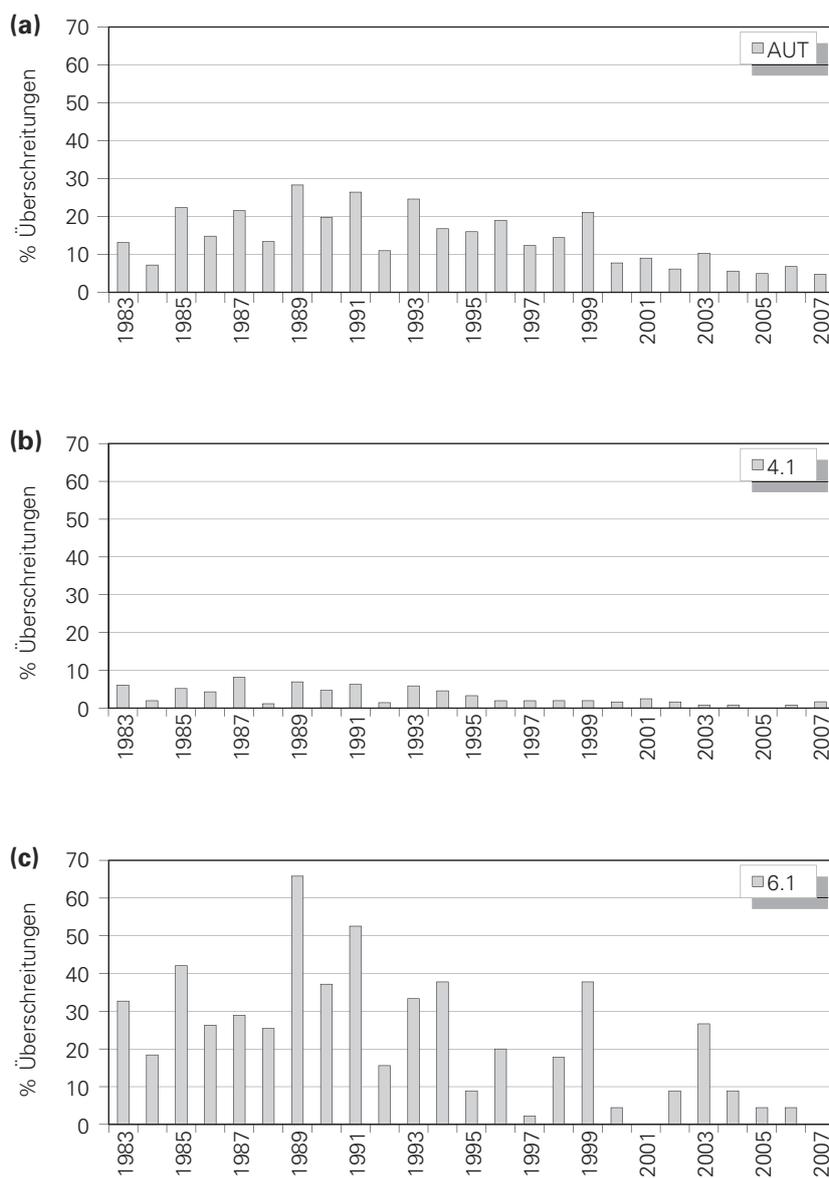


Abbildung 3-12:
Österreichisches Bioindikatornetz: Entwicklung der Prozentanteile der „Überschreitungen“ und der „deutlichen Überschreitungen“ der Schwefelgrenzwerte gemäß Stefan und Fürst 1989 (Fichte, betreffend die Nadeljahrgänge 1 und 2, das Gesamtnetz und die Wuchsgebiete 4.1 und 6.1; www.bioindikatornetz.at).

- (a) BIN-Gesamtnetz Österreich (Baumart Fichte, n = 760)
- (b) Wuchsgebiet 4.1 (n = 74)
- (c) Wuchsgebiet 6.1 (n = 20)

3.4. Schwermetalle

Die Einträge von Blei und Cadmium werden auf der Basis der Grenzwerte von Österreich und der Schweiz bewertet; zusätzlich stehen Bewertungskriterien für Fichtennadelgehalte und der Akkumulationsindex für Blei (Boden) zur Verfügung (Tabelle 2-4).

Bewertung der Blei- und Cadmumeinträge

Einträge durch nasse, trockene und okkulte Deposition: Um die ökologische Relevanz einiger Schwermetalle für die Nordtiroler Kalkalpen abschätzen zu können, wurden an einer Bergstation im Intensivuntersuchungsgebiet Achenkirch (1758 m; Hintergrund) und an einer Talstation (920 m, rural) die Konzentrationen von 10 Schwer-

metallen, unter ihnen Pb und Cd, im Regen, Schnee, Aerosol und Nebel gemessen und die Depositionsraten modelliert. Die Nebelwasserproben wurden mit einem Nebelsammler gewonnen, die Proben von Oktober 1997 bis September 1998 durchgehend gesammelt und analysiert. Die Gesamtdeposition wurde mit dem „Big Leaf Modell“ (Hick's-Modell) berechnet (Bauer et al. 2008). Die mittleren Konzentrationen und Jahreseinträge aus dieser Messreihe sind in Tabelle 3-9 wiedergegeben.

Eine geringfügige Überschreitung des Grenzwertes gemäß Schweizerischer Luftreinhalteverordnung (1985) wurde lediglich beim Cd an der Bergstation in 1758 m Seehöhe beobachtet, wenn man den erhöhten Eintrag am Bestandesrand berücksichtigte. Im Untersuchungsgebiet waren die übrigen Schwermetalleinträge, verglichen mit

Tabelle 3-9:

Mittlere Pb-, Cd-, Cu- und Zn-Konzentrationen in der nassen, trockenen und okkulten Deposition sowie Jahreseinträge an zwei Stationen im Achenental (Bauer et al. 2008).

Der „Edge-Effekt“ berücksichtigt die Tatsache, dass der Trauf (Bestandesrand mit Ästen bis zur Bodennähe) eines Waldbestandes Schadstoffe effizienter auskämmt als Kronen im Bestand.

	Pb	Cd	Cu	Zn
Mittlere Konzentration Bergstation (1758 m)				
Nass ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,64	0,06	0,79	6,68
Trocken (ng L^{-1})	1,70	0,02	1,50	12,20
Okkult ($\mu\text{g L}^{-1}$)	6,84	4,63	34,40	95,10
Mittlere Konzentration Talstation (920 m)				
Nass ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,64	0,06	0,79	6,68
Trocken (ng L^{-1})	1,70	0,05	1,50	12,20
Okkult ($\mu\text{g L}^{-1}$)	3,57	5,85	17,30	155,00
Eintrag Bergstation (1758 m; $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$)				
Nass	14,07	1,42	17,61	145,04
Trocken	0,35	0,01	1,02	3,31
Okkult	4,20	3,58	15,74	57,89
Gesamt ohne Edge-Effekt	18,62	5,01	34,37	157,25
Gesamt mit Edge-Effekt	22,12	8,23	46,33	254,14
Eintrag Talstation (920 m; a^{-1})				
Nass	9,32	0,94	11,66	96,05
Trocken	0,12	0,003	0,14	1,36
Okkult	0,04	0,10	0,24	2,27
Gesamt ohne Edge-Effekt	9,48	1,04	12,04	99,68
Gesamt mit Edge-Effekt	9,49	1,06	12,08	100,08
Grenzwerte Zweite VO gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984) für Staubbiederschläge ($\text{g ha}^{-1} \text{a}^{-1}$)	2500	50	2500	10.000
Grenzwerte Schweizerische Luftreinhalteverordnung (1985) für Staubbiederschläge ($\text{g ha}^{-1} \text{a}^{-1}$)	365	7,3	-	1460
Critical Load auf der Basis "Lowest Observed Concentration" (CL-LOEC) $\text{g ha}^{-1} \text{a}^{-1}$; Smeets et al. 2000)	5.800	550	12.500	11.200

anderen (Wald-)Gebieten, gering (Bauer et al. 2008). Die Pb-, Cd-, Zn- und Cu-Einträge lagen weit unter den Grenzwerten der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984).

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen:

- Die Hauptkomponenten der im Untersuchungsgebiet analysierten Schwermetalle waren im Nebel und Aerosol Fe, Ni, Cu, Zn und im Regen Fe, Mn und Zn.
- An der Bergstation (1758 m) repräsentiert die okkulte Deposition der untersuchten Schwermetalle im Mittel mehr als 50 % des Gesamteintrages. Dieser Anteil ist, verglichen mit dem N- und S-Eintrag, hoch. An der talnahen und nebelarmen Station Mühleggerköpfl (920 m) überwiegt hingegen der nasse Eintrag deutlich.
- Trotz der geringen jährlichen Einträge führt die Akkumulation von Pb und anderen Schwermetallen langfristig zu negativen Auswirkungen speziell an Mykorrhizen. Auch Speisepilze akkumulieren Pb, Zn, Cu and Cd und überschreiten auch in Reinluftgebieten den Grenzwert für Champignons (Peintner und Moser 1996).

- Cadmium, das im Regen des Untersuchungsgebietes in sehr geringen Konzentration auftrat ($0,06 \mu\text{g L}^{-1}$), wurde im Nebel an der Bergstation 79-fach angereichert, was zu einem relativ hohen Eintrag und unter Berücksichtigung des Edge-Effektes zu einer Überschreitung des Schweizerischen Grenzwertes von $7 \text{ g Cd ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ führt. In höheren Lagen kann der "Edge Effekt" somit gerade in nebelreichen Gebieten mit stark aufgelockerten Beständen relevant sein.
- Zieht man die sehr niedrigen Grenzwerte von Smeets et al. 2000 heran, sind die im Raum Achenkirch gemessenen Werte (Gesamtdosition) der vier Schwermetalle bereits als kritisch zu betrachten.

Blei-Akkumulationsindex: Für die Länder der ARGE-ALP (Österreich, Bayern, Südtirol, Schweiz) wurde auf der Basis der Waldbodenzustandsinventuren ein Pb-Akkumulationsindex definiert (Quotient aus dem Bleigehalt im Oberboden zum Bleigehalt im Mineralboden; Tabelle 2-4), seine Höhe steht mit dem anthropogen bzw. atmo-gen eingetragenen Pb in Beziehung. Mittelhohe und hohe Werte ($> 2,01 - > 4$) wurden v. a. in den Nord-

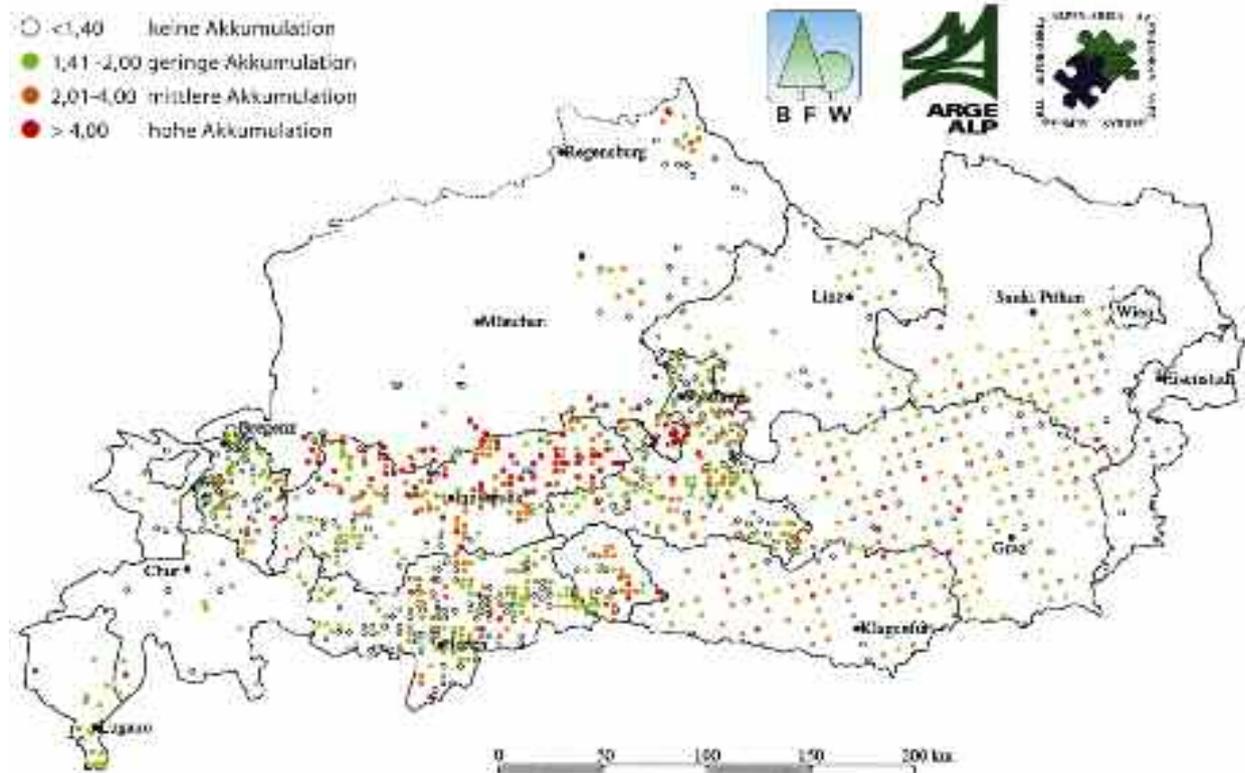


Abbildung 3-13:

Blei-Akkumulationsindices für Waldböden. Quelle: Herman et al. (2001) (Quotienten aus dem Pb-Gehalt der Bodenschicht 0-10 cm gegenüber der Schicht in 30-50 cm Tiefe).

staulagen gefunden, in welchen hohe Luftdurchsätze und somit relativ hohe Einträge auftreten (Abbildung 3-13); in den Südlichen Kalkalpen wurden meist „mittelhohe“ Anreicherungsfaktoren festgestellt (Herman et al. 2001). Auch für Cd wurden in höheren Lagen beträchtliche Einträge nachgewiesen (Mutsch 1992).

Für Österreich sowie die Wuchsgebiete 4.1. und 6.1. wurden darüber hinaus mittlere Akkumulationsindices für die ebenfalls in der Zweiten Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen enthaltenen Schwermetalle Cd, Cu und Zn ermittelt. Pb, gefolgt von Cd und Zn, zeigen - im Gegensatz zu Cu - eine Konzentrationszunahme mit der Bodentiefe.

Im Oberboden (0 - 10 cm) wurden im Wuchsgebiet 4.1 niedrigere Pb-, Cu und Zn-Werte und höhere Cd-Werte als im Wuchsgebiet 6.1 gefunden; im Vergleich zu Gesamtösterreich waren im Wuchsgebiet 4.1 niedrigere Cu- und höhere Pb-, Zn- und Cd-Werte festzustellen.

Die Akkumulationsindices sind im Wuchsgebiet 4.1 durchwegs niedriger als im Wuchsgebiet 6.1. Im Wuchsgebiet 4.1 sind die Akkumulationsindices

beim Cu niedriger und bei Pb, Zn und Cd höher als in österreichischen Gesamtdurchschnitt (Tabelle 3-10).

Pb und Cd Gehalte in Fichtennadeln als Zeiger für Immissionseinwirkungen

Die Pb- und Cd-Gehalte der Fichtennadeln des Mühleggerköpfls und des Bodentals mit Werten < 8 mg Pb kg⁻¹ und < 0,6 mg Cd kg⁻¹ ergaben gemäß den Beurteilungswerten von Herman (1995) für beide Intensivuntersuchungsgebiete keine Hinweise auf Immissionseinwirkungen (Tabelle 3-11).

Schwermetallgehalte von Speisepilzen, Mykorrhizen und Moosen im Intensivuntersuchungsgebiet Achenkirch

Speisepilze: Pilze nehmen Schwermetalle aus dem Oberboden auf und akkumulieren sie im Stiel und im Fruchtkörper. Im **Achental** wiesen 33 Basidiomyceten-Arten lebensmittelhygienisch bedenkliche Gehalte von Blei, Cadmium, Zink und Kupfer auf. Relativ hoch waren die Gehalte an Blei (zwischen 0,1 und 232 mg Pb kg⁻¹ Trockengewicht [TG] mit

Tabelle 3-10:

Mittelwerte der Schwermetallgehalte (Feinboden) im Oberboden (0-10 cm) und Unterboden (30-50 cm; jeweils mg kg⁻¹) sowie Quotienten Oberboden / Unterboden (Daten: Österreichische Waldbodenzustandsinventur).

Gebiet	cm Bodentiefe	Pb	Cu	Zn	Cd
Österreich (n=511)	0-10	62,79	18,91	77,48	0,72
Österreich	30-50	31,12	24,14	73,72	0,43
Österreich	Quotient	2,02	0,78	1,05	1,67
Wuchsgebiet 4.1 (n=72)	0-10	86,84	15,82	104,35	1,75
Wuchsgebiet 4.1	30-50	37,63	21,08	71,08	0,73
Wuchsgebiet 4.1	Quotient	2,31	0,75	1,47	2,40
Wuchsgebiet 6.1 (n=15)	0-10	126,86	20,86	119,07	0,93
Wuchsgebiet 6.1	30-50	43,25	23,08	67,33	0,28
Wuchsgebiet 6.1	Quotient	2,93	0,90	1,77	3,31

Tabelle 3-11:

Mittelwerte der Pb- und Cd-Gehalte (mg kg⁻¹) in Fichtennadeln der Stationen Mühleggerköpfl und Bodental sowie Minima und Maxima der Einzelbäume.

	Zeitraum	Gesamtanzahl der Probebäume	Pb Mittel (Bandbreiten)	Cd Mittel (Bandbreiten)
Achental				
Christlumprofil	1983 - 2005	350	0,32 (0,00 - 3,64)	0,02 (0,00 - 0,58)
Mühleggerköpfl	1991 - 2005	99	0,15 (0,00 - 1,00)	0,01 (0,00 - 0,21)
Schulterbergprofil	1991 - 2005	94	0,19 (0,00 - 1,30)	0,06 (0,00 - 0,39)
Bodental				
Bodental Mittel	2001 - 2005	49	0,13 (0,0 - 0,3)	0,05 (0,01 - 0,13)

einem Median von 10, Anreicherung 2- bis 8-fach) und Cadmium (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 Kupfer-Gehalte waren bei Gehalten zwischen 1 und 121 mg kg⁻¹ TG 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 Blei und 0,5 mg kg⁻¹ TG für Cadmium festgesetzt (Peintner und Moser 1996).

Mykorrhizen und Feinwurzeln: Göbl (1996) fand in Mykorrhizen und Feinwurzeln von Standorten des Intensivuntersuchungsgebietes Achenkirch die in Tabelle 3-11 angegebenen Schwermetallgehalte. Ein Zusammenhang zwischen den zum Teil relativ hohen Gehalten und der Vitalität ließ sich im Untersuchungsgebiet nicht ableiten.

Tabelle 3-12:
Schwermetallgehalte (Trockensubstanz; mg kg⁻¹) in Mykorrhizen und Feinwurzeln aus dem Intensivuntersuchungsgebiet Achenkirch (Göbl 1996).

	Pb	Cd	Cu	Zn
Mykorrhizen	11 - 207	2,5 - 8,2	14 - 28	73 - 236
Feinwurzeln	5 - 187	1,9 - 4,7	6 - 16	26 - 149

Moose: Bryophyten nehmen Schwermetalle vor allem aus der Luft auf. Die Gehalte waren an einem Gradienten von vier Punkten 920 m - 1660 m im Achenental meist höher als die Mittelwerte von 200 Standorten in Österreich (folgende Werte, bezogen auf Trockensubstanz, 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 1995ab). Abbildung 3-14 zeigt Pb-Gehalte der Aufsammlung 1995. Die im gesamten österreichischen Bundesgebiet aufgesammelten Moosproben (Zechmeister 1997) zeigen beim Blei in beiden Wuchsgebieten Spitzenwerte von über 16 mg Pb kg⁻¹.

4. Schussfolgerungen

Ozon

Die punktuellen und modellgestützten Auswertungen haben gezeigt, dass Ozon in beiden Wuchsgebieten - ebenso wie im gesamten Bundesgebiet - ein wesentlicher Belastungsfaktor für Fichtenwälder ist: Die Ozon-Grenzwerte bzw. Ziel(wert)e werden häufig überschritten. Die stationären Ozonmessstationen liegen in den beiden Wuchsgebieten in vergleichbaren Höhen (4.1. 880 m - 1910 m; 6.1. 540 m - 1895 m), die Messwerte waren im

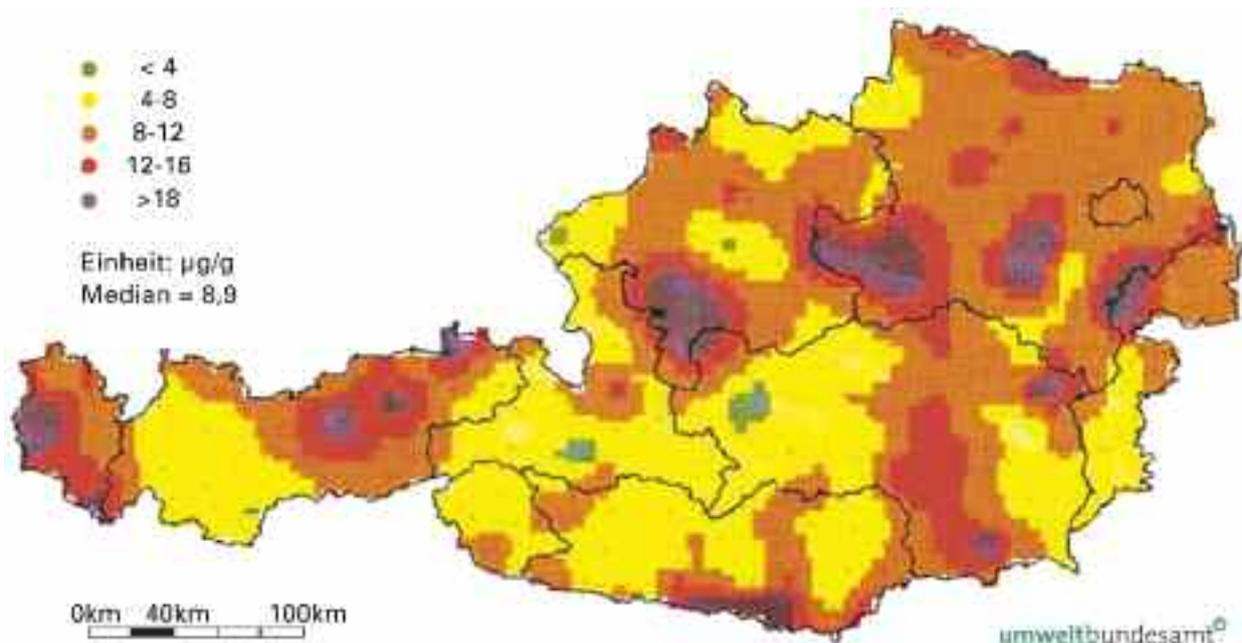


Abbildung 3-14:
Pb-Gehalte in Moosen (Quelle: Zechmeister 1997).

Gesamtmittel aller verfügbaren Stationen in den Jahren 1990-2006 annähernd gleich hoch. Auch aufgrund der gesamtösterreichischen Belastungskarte ergeben sich für beide Wuchsgebiete keine auffälligen Unterschiede auf der Basis der Modellierung aus dem Jahr 1994; die AOTX-Werte lagen vorwiegend unter 10.000 ppb.h.

Wie aus einer Kombination von zwei Gefährdungskarten („Klimagefährdungskarte“ von Leitgeb und Englisch 2006, Ozongefährdungskarte von Bolhar-Nordenkamp et al. 2005) hervorgeht, sind es v.a. die nördlichen und östlichen Regionen der Alpen und die Wälder nördlich der Donau, in denen die Fichte bereits aufgrund der Niederschlags- und Temperaturbedingungen keine optimalen Standortbedingungen vorfindet. Die Wuchsgebiete 4.1 und 6.1. sind jedoch davon weitgehend unbeeinflusst. Wie aus den Untersuchungen von Loibl et al. (2004) sowie von Hasenauer et al. (2008) hervorgeht, sind es grundsätzlich nicht die Bereiche der Waldgrenze, sondern solche zwischen 600 und 800 m Seehöhe, in denen die Gefährdung am größten ist.

Beide Wuchsgebiete sind durch Ozon stark belastet und wirkungsbezogene Grenzwerte werden überschritten. Diese Wuchsgebiete gehören jedoch nicht zu den am stärksten gefährdeten Gebieten, wenn man die Modellierung auf der Basis der prä-industriellen Ozonlevels, der Ozonaufnahme und die Hemerobie der Fichtenbestände ins Kalkül zieht.

Stickstoffoxidkonzentrationen

NO_x-Emissionen nehmen in Österreich seit 1990 kontinuierlich ab, wenn man den Tanktourismus berücksichtigt. Auch die NO_x-Konzentrationen sind an Waldmessstationen generell rückläufig. Der NO_x-Jahresmittel-Grenzwert sowie der Zielwert für das Tagesmittel (Immissionsschutzgesetz Luft) werden an „Hot Spots“ - d. h. im Bereich der am stärksten frequentierten Autobahnen - jedoch noch immer überschritten, was Maßnahmen auf Länderebene erforderlich macht. Zur Einhaltung des Emissionshöchstmengengesetzes sind massive Reduktionen der NO_x-Emissionen in Österreich v. a. im Kraftfahrzeugbereich erforderlich.

Die unterschiedliche Verkehrsbelastung der beiden Wuchsgebiete lässt darauf schließen, dass das Wuchsgebiet 4.1 insbesondere im Nahbereich der Inntalautobahn mit Stickstoff deutlich stärker mit NO_x belastet ist als das Wuchsgebiet 6.1.

Stickstoff- und Säureinträge

NH₄-Stickstoff und NO₃-Stickstoff-Einträge durch nasse Deposition (Regen, Schnee) überschreiten fallweise die kritischen Belastungsgrenzen für empfindliche Waldökosysteme (Critical Loads) vor allem in niederschlagsreichen Regionen der Alpen. In diesen spielt auch der zusätzliche Eintrag durch okkulte Deposition (Nebel- bzw. Wolkenwasser) eine Rolle, der in höheren Lagen zum Teil beträchtlich zum Gesamtniederschlag beiträgt.

Im Gegensatz zu Säureinträgen, die auf karbonatbeeinflussten Standorten keine Gefährdung der Waldökosysteme darstellen, weisen die regional zum Teil überhöhten Stickstoffeinträge auf mögliche ökosystemare Störungen hin. Eine akute Gefährdung lässt sich jedoch nicht ableiten. Die Modellierung für die Nordtiroler Kalkalpen hat ergeben, dass die Critical Loads kleinräumig sehr differenziert zu betrachten sind. Insbesondere die Talflanken sind durch die aktuellen Stickstoffeinträge besonders betroffen, d. h. jene Bereiche, die nicht nur durch die nasse und okkulte Deposition sind, sondern auch durch das in den Tälern emittierte NO_x belastet sind.

Die Einträge durch nasse Deposition überschreiten Critical Loads in beiden Wuchsgebieten vor allem in regen- und nebelreichen Hochlagen. Eine Versauerungsgefahr besteht für den Bereich der Kalkalpen nicht (Mutsch und Smidt 1996).

Stickstoffernährung

Das Langzeitmonitoring der Hauptnährstoffe im Rahmen des Österreichischen Bioindikatornetzes hat in erster Linie eine Mangelversorgung mit Stickstoff aufgezeigt. Hinzu kommt, dass sich die Ernährungssituation im Hinblick auf Stickstoff im gesamten Bundesgebiet und auch in den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1 signifikant verschlechtert hat. Der Anteil an Mangelpunkten in beiden Untersuchungsgebieten liegt höher als im österreichischen Durchschnitt, besonders im Wuchsgebiet 6.1. Die Versorgung mit den Elementen Phosphor und vor allem mit Kalium, Calcium und Magnesium ist deutlich besser.

In beiden Wuchsgebieten herrscht Stickstoffmangel vor, welcher sich seit dem Beginn der 1980er Jahre markant verschlechtert hat.

Schwefel

Nach der drastischen Senkung der Schwefelemissionen in Österreich in den letzten 25 Jahren werden heute keine akuten SO₂-Schäden am Wald

mehr festgestellt. Trotzdem sind Schwefelimmisionseinwirkungen durch lokale Emittenten und Hauptverkehrsträger und Importe aus den Nachbarländern in beiden Wuchsgebieten noch immer, und zwar auf etwa 5 % der BIN-Punkte, nachweisbar. Obwohl SO₂ somit großflächig und auch regional kein erhöhtes Risiko mehr für Waldökosysteme ist, leistet es gemeinsam mit NO_x einen Beitrag zur Versauerung der Atmosphäre und damit auch der Waldökosysteme. Auf nicht karbonatbeeinflussten und somit schlecht gepufferten Standorten kann das ein Risiko bedeuten.

In beiden Wuchsgebieten werden heute Schwefelgrenzwerte in den Fichtennadeln des Österreichischen Bioindikatornetzes nur in geringem Maße überschritten. Hinweise auf Importe gab es vor allem im Bereich der Karawanken bzw. im Einflussbereich des slowenischen Kraftwerkes Sostanj in den 1990er Jahren.

Schwermetalle (Blei und Cadmium)

Die im Achtal festgestellten atmosphärisch deponierten Schwermetallmengen sind keine akute Bedrohung der Waldökosysteme. Der Grenzwert der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung für Cadmium wurde jedoch an einer Bergstation im Achtal knapp überschritten.

Die Bioindikation mit Bryophyten im gesamten Bundesgebiet, die Waldbodenzustandsinventur bzw. Untersuchungen im Rahmen von ARGE-ALP haben gezeigt, dass in beiden Wuchsgebieten markante Einträge auftreten, stärker sind sie im Wuchsgebiet 4.1, v. a. im Tiroler Raum. Die Prallhänge der Nordstaulagen sind relativ stark belastet. Während im Wuchsgebiet 4.1, vor allem in Tirol, Akkumulationsindices von 4 häufig überschritten wurden (vgl. Tabelle 2-4), traten Werte über 4 im Wuchsgebiet 6.1 nur vereinzelt auf.

Ableitbare Forderungen an die Politik zum Schutz der Vegetation

- Verbindliche Ozongrenzwerte anstelle von Zielwerten und langfristigen Zielen im Ozongesetz.
- Verbindliche NO₂-Tagesmittelgrenzwerte anstelle eines Zielwertes im Immissionsschutzgesetz Luft.
- Grenzwerte für eutrophierende Depositionen von Stickstoff für empfindliche Ökosysteme.
- Anpassung der Schwermetallgrenzwerte an das Niveau der strengeren Schweizerischen Luftreinhalteverordnung.

Danksagung

Für die Durchsicht der Arbeit danke ich Margarete Breitenbach, Alfred Fürst, Christian Lackner, für Daten bedanke ich mich bei Karl Gartner und Wolfgang Spangl (Umweltbundesamt) sowie für statistische Auswertungen bei Robert Hacker.

Literatur

- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 1998: Zustand der Tiroler Wälder. Bericht an den Tiroler Landtag.
- 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.
- 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.
- BOBBINK, R., M. ASHMORE, BRAUN, S., FLÜCKIGER, W., VAN DEN WYNGAERT, I. 2002: Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. Environmental Documentation 164, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape.
- 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.
- EGGER J. 2005: Auswirkungen von Klima und Schädlingsdruck auf die Vitalität der Europäischen Lärche an verschiedenen Hochlagenstandorten. Diplomarbeit Universität Innsbruck, Institut für Botanik.
- ELLING W., HEBER U., POLLE A., BEESE F. 2007: Schädigung von Waldökosystemen. Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen. Elsevier Amsterdam, New York, Tokio.
- ENGLISCH M. 2001. Standorts- und bodenkundliche Eigenschaften der Intensivuntersuchungsfläche Mühleggerköpfl. FBVA-Berichte 119, 21-29.
- ENGLISCH M., STARLINGER F. 1996: Woodland communities and sites at two altitude profiles near Achenkirch (Tyrol). Phytion (Horn, Austria) 36 (4), 33-54.
- ENGLISCH M., STARLINGER F. 1995. Waldgesellschaften und Standorte im Bereich der Höhenprofile Achenkirch. FBVA-Berichte 87, 25-54.
- FÜRST A., SMIDT S., HERMAN F. 2003: Monitoring the impact of sulphur with the Austrian Bioindicator Grid. Environmental Pollution 125, 13-19.

- GÖBL F. 1996. Schwermetallgehalte von Mykorrhizen und Feinwurzeln verschiedener Kleinstandorte. FBVA-Berichte 94, 175-184.
- GRABHERR G. 1997: Naturnähe österreichischer Wälder. Bildatlas. Sonderdruck zur Österreichischen Forstzeitung 1/97.
- GUDERIAN R. (Hrsg.) 2000: Terrestrische Ökosysteme. Band 2A. Springer Berlin, Heidelberg, New York.
- GUDERIAN R. (Hrsg.) 2001: Terrestrische Ökosysteme. Band 2B. Springer Berlin, Heidelberg, New York.
- GUSSONE H.A. 1964: Faustzahlen zur Düngung im Walde. Bayer. Landw. Verlag München, Basel, Wien.
- HASENAUER H., PIETSCH S., BOLHAR-NORDENKAMPF H., DURSTBERGER T., HERMAN F., SMIDT S. 2008. Wachstumsänderungen durch Ozon – eine Sensitivitätsstudie. BMVIT-Straßenforschung, Heft 573.
- 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. (Hrsg.) 1994. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Höhenprofile Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. FBVA-Berichte Nr. 78.
- HERMAN F., SMIDT S. (Hrsg.) 1995: Höhenprofile Achenkirch - Ergebnisse aus dem Bereich Rhizosphäre. FBVA-Berichte (Federal Forest Research Center) 87.
- HERMAN F., SMIDT S. (Hrsg.) 1996: Ökosystemare Studien im Kalkalpin. FBVA-Berichte (Federal Forest Research Center) 94.
- HERMAN F., LÜTZ C., SMIDT S. 1998: Description and evaluation of pollution impacts on forest ecosystems - results of long-term Austrian field experiments. *ESPR - Environmental Science and Pollution Research*, Special Issue 1.
- HERMAN F. 1998: Investigation of the lead content of spruce needles in remote and rural areas over a 30 year period. *ESPR - Environ. Sci. & Poll. Res.*, Special Issue 1, 70-74.
- HERMAN F., SMIDT S., ENGLISCH M. (Hrsg.) 2001: Stickstoffflüsse am Mühleggerköpfl in den Nordtiroler Kalkalpen. FBVA-Berichte 119.
- HERMAN F., SMIDT S., HUBER S., ENGLISCH M., KNOFLACHER M. 2001: Evaluation of pollution-related stress factors for forest ecosystems in Central Europe. *Environmental Science and Pollution Research* 8, 231-242.
- HERMAN F., SMIDT S., LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H. 2005: Evaluation of the ozone-related risk for Austrian forests. Springer Verlag, In: Omasa K., Nouchi I., DeKok L.J. (Eds.): *Plant Responses to Air Pollution and Global Change*. Tokyo: Springer: 53-61.
- ICP FORESTS: www.icp-forests.org
- JANDL R., HERMAN F., SMIDT S., BUTTERBACH-BAHL K., ENGLISCH M., KATZENSTEINER K., LEXER M., STREBL F., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S. 2008: Nitrogen dynamics of a mountain forest on dolomitic limestone - A scenario-based risk assessment. *Environmental Pollution* 155, 512-516.
- KAISER A. 1996: Die meteorologischen Verhältnisse im Achenal und ihre Auswirkungen auf die gemessenen Immissionskonzentrationen. FBVA-Berichte (Federal Forest Research Center) 94, 23-46.
- 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., 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.
- KILIAN W., MÜLLER F., STARLINGER F. 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA-Berichte 82.
- KNOFLACHER M., LOIBL W. 1998: Calculating and mapping the Critical Loads for protons and nitrogen on forest ecosystems in the North Tyrolean Limestone Alps. *Env. Sci. & Pollut. Res.* 1 (Special Issue), 75-80.
- LEITGEB E., ENGLISCH M. 2006: Klimawandel – standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft. *Klimawandel – Auswirkungen auf die Forstwirtschaft*. BFW Praxis Nr. 10, 9-11.
- LOIBL W., BOLHAR-NORDENKAMPF H.R., HERMAN, F., SMIDT S. 2004: Modelling critical levels of ozone for the forested area of Austria – Modifications of the AOT40 concept. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* 11, 171-180.
- 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, OEFZ-S-0042.
- LOIBL W., SMIDT S. 1996: Areas of ozone risk for selected tree species. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* 3 (4), 213-217.
- LÜTZ C. 2005: Risikoabschätzung der synergistischen Wirkung von Ozonbelastungen und Klimastress auf die Schutzfunktion alpiner Lärchenbestände in Österreich. Abschlussbericht 56.810/22-IV 2/2001.
- MUTSCH F. 1992: Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Teil VI: Schwermetalle. *Mitt. Forstl. Bundesvers.Anst. (Vienna)* 168, 145-192.
- MUTSCH F., SMIDT S. 1994: Durch Protoneneintrag gefährdete Waldgebiete in Österreich - Beurteilung anhand von Daten der Österreichischen Waldboden-Zustandsinventur CBL. f. d. Gesamte Forstwesen, 111 (1), 57-66.
- NAGL, C., SPANGL, W. 2006: Trends of ozone pollution levels in Austria. *Proceedings of the Workshop „Critical levels of ozone: further applying and developing the flux-based concept“*. 15-19 November 2005. Obergurgl, Tyrol, Austria.
- OBERSTEINER E., OFFENTHALER I. 2005: Critical Loads für Schwefel- und Stickstoffeinträge in Ökosysteme – Datenanfrage 2004. Unveröffentlichter Endbericht im Auftrag des BMLFUW, Umweltbundesamt Wien.
- PEINTNER U., MOSER M. 1996. The mycobiota (Basidiomycetes) of an Alpine Tyrolean Valley. *Phyton* (Horn, Austria) 26 (4), 65-82.

- SANDERMANN H., WELLBURN A.R., HEATH R.L. (eds.) 1997: Forest decline and ozone. Ecological Studies 127. Springer Berlin, Heidelberg, New York.
- SCHNEIDER J. 1998: Kartierung der nassen Deposition in Österreich. Umweltbundesamt Wien, 24p.
- SMEETS W., VAN PUL A., ECRENS H., SLUYTER R., PEARCE D.W., HOWARTH A., VISSCHEDIJK A., PULLES M.P.J., DE HOLLANDER G. 2000: Technical Report on chemicals, particulate matter, human health, air quality and noise. RIVM Report 48, 150 50 15.
- 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).
- 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).
- SMIDT S., HERMAN F., ENGLISCH M. 2002a: Nitrogen fluxes in the Tyrolean Limestone Alps. ESPR - Environmental Science and Pollution Research, Special Issue 2, 2002 (9 Beiträge).
- SMIDT S., HERMAN F., TAUSZ M., KALINA M., STOPPER S. 2002b: Altitudinal gradients of pollutant input in the Austrian Alps. Poster "Year of the mountains", Innsbruck, 17.9.2002.
- SMIDT S. 2007: 10 Jahre Depositionsmessung im Rahmen des europäischen Waldschadensmonitorings. BFW-Berichte 138.
- 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., HERMAN F., PLATTNER J., PAUSCH J. 2008: 20 Jahre immissionsökologische Forschung am BFW. BFW-Dokumentation 9/2008.
- STEFAN K., FÜRST F. 1998. Indication of S and N inputs by means of needle analyses based on the Austrian Bioindicator Grid. ESPR - Environ. Sci. & Poll. Res., Special Issue 1, 63-69.
- 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. and Poll. Res., Special Issue 1, 96-100.
- UMWELTBUNDESAMT 2008: Emissionstrends 1990-2006. Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2008). Report REP-0161.
- UN-ECE 1988: Proc. ECE Critical Levels Workshop, Bad Harzburg, 14-18 March 1988.
- UN-ECE 1994: Critical Levels for ozone. A UN-ECE Workshop Report. J. Fuhrer and B. Achermann (eds.). Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Nr. 16.
- WHO (World Health Organization) 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Publication Series, European Series No. 19.
- WIESER G., TAUSZ M. (eds.) 2006: Ozone Workshop Obergurgl 15-19 November. "Critical Levels for ozone: further applying and developing the flux-based concept". Proceedings on the workshop, 179-184.
- ZECHMEISTER H. 1995a. Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Alps. Environmental Pollution 89, 73-80.
- ZECHMEISTER H. 1995b. Survey of heavy metal deposition by using Bryophytes as biomonitors at the Schulterberg Profile. Phytion (Austria) 34 (3), 71-84.
- ZECHMEISTER H. 1997: Schwermetalldeposition in Österreich erfasst durch Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 1995). Umweltbundesamt, Monographien 94. ISBN 3-85457-398-7.

Verfasser: Univ.Do. 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

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: josef.plattner@uibk.ac.at

ANHANG 1: Luftdaten

Anhang 1.1:

Ozon-Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in den Wuchsgebieten 4.1. und 6.1

(Datenquelle: Umweltbundesamt Wien [UBA] und BFW)

	Achenkirch (UBA)	Achenkirch MK (BFW)	Höfen (UBA)	Karwendel West (UBA)	Nordkette (UBA)	Sulzberg (UBA)	St. Koloman (UBA)	Gerlitz (UBA)	St. Georgen (UBA)	Vorhegg (UBA)	Bodental (BFW)
	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	6.1.	6.1.	6.1.	6.1.
1990				91,8	96,5	87,6					
1991		45,3	49,0	89,8	88,8	84,2	75,0		56,4	75,0	
1992		30,7		85,7	82,6	77,8	76,8	96,4	56,2	77,2	
1993		42,7	52,3	82,9	80,3	77,8	75,2	101,0	60,1	74,4	
1994	52,9	51,2	57,1	90,0	82,5	83,3	77,5	94,0	57,5	73,2	
1995	56,7	52,1	55,1	87,1	83,2	79,8	76,8	93,3	52,7	72,3	
1996	56,0	49,8	52,9	87,9	84,1	76,1	71,8	92,8	51,8	72,0	
1997	54,8	57,4	53,7	90,5	88,9	80,1	76,4	91,3	50,2		
1998	60,9	60,2	62,9	95,8	98,6	81,1	82,4	93,6	49,4	75,7	
1999	59,7	55,6	58,5	91,4	94,7	81,5	82,2	93,7	53,2	75,9	75,3
2000	60,6	57,2	60,6	94,7	95,7	83,1	82,5	100,9	55,5	78,5	82,6
2001	59,9	45,5	60,3	96,0	94,6	83,3	79,1	98,9	57,2	73,5	85,0
2002	56,6	49,1	57,3	95,2	97,0	80,0	79,8	99,0	53,0	70,4	80,8
2003		65,9	67,8	101,8	102,5	92,1	87,7	98,6	58,0	79,0	88,9
2004		53,3	60,5	92,4	93,5	82,6	80,3	90,7	50,7	73,5	79,1
2005		62,2	61,2	91,9	92,5	79,1	78,0	90,7	50,7	76,7	80,5
2006		59,2	62,8	96,2	96,1	84,1	80,2	100,6	51,5	76,0	80,2

Anhang 1.2:

Ozon-AOT40-Werte (Mai bis Juli; $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) in den Wuchsgebieten 4.1. und 6.1

(Datenquelle: Umweltbundesamt Wien [UBA] und BFW)

	Achenkirch (UBA)	Höfen (UBA)	Karwendel West (UBA)	Nordkette (UBA)	Sulzberg (UBA)	St. Koloman (UBA)	Gerlitz (UBA)	St. Georgen (UBA)	Vorhegg (UBA)	Bodental (BFW)
	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	6.1.	6.1.	6.1.	6.1.
1990		27.199	32.468	44.026	44.050	39.531				
1991		10.754	24.914	25.770	29.079	17.803	41.860	32.170	16.122	
1992			30.048	25.314	29.936	23.742	37.456	19.090	25.710	
1993		14.376	22.392	19.788	26.616	21.058	44.190	29.056		
1994	17.694	21.936	33.690	26.166	40.336	27.201	34.500	29.132	29.014	
1995	15.696	17.740	26.431	24.356	32.001	23.186	33.753	20.111	22.931	
1996	17.167	12.970	24.437	22.422	22.624	20.128	28.174	18.261	29.113	
1997	9.404	10.778	25.730	24.240	25.916	20.910	31.022	16.820	18.678	
1998	14.278	19.850	32.366	35.268	27.646	24.856	27.754	9.874	26.046	
1999	13.594	12.782	22.806	27.806	21.830	20.818	29.360	17.856	19.700	
2000	14.016	17.628	30.256	31.504	26.440	22.620	37.192	24.456	28.082	15.733
2001	20.274	23.766	36.644	35.120	33.428	23.490	38.136	28.568	27.470	23.383
2002	16.480	17.400	31.600	34.800	26.800	25.000	38.000	30.200	22.000	17.826
2003	17.756	19.390	32.323	33.897	29.320	25.533	33.746	26.222	25.280	26.817
2004		14.040	24.964	26.107	24.694	17.668	23.111	14.951	21.917	15.299
2005		18.538	27.878	30.505	27.969	21.873	28.779	16.208	28.009	23.539
2006		27.193	39.034	38.642	36.164	25.908	46.609	24.578	32.477	17.445

Anhang 1.3:Ozon-AOT40-Werte (April bis September; $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) in den Wuchsgebieten 4.1. und 6.1

(Datenquelle: Umweltbundesamt Wien [UBA] und BFW)

	Achenkirch (UBA)	Höfen (UBA)	Karwendel West (UBA)	Nordkette (UBA)	Sulzberg (UBA)	St. Koloman (UBA)	Gerlitz (UBA)	St. Georgen (UBA)	Vorhegg (UBA)	Bodental (BFW)
	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	6.1.	6.1.	6.1.	6.1.
1990			65.688	81.524	78.506					
1991		23.368	57.108	53.372	63.572	37.858		43.898	31.998	
1992			51.972	45.536	47.714	42.598	76.838	38.164	45.392	
1993		22.326	43.090	39.980	46.296	39.264	94.574	44.918	46.468	
1994	23.992	28.628	61.264	47.480	64.606	49.172	69.744	42.218	44.476	
1995	23.228	25.636	49.856	46.474	49.958	39.842	69.296	28.144	36.242	
1996	24.254	19.908	47.898	43.588	37.700	33.356	55.364	24.508	43.088	
1997	20.718	21.324	54.638	52.510	50.704	39.628	59.656	24.304	27.282	
1998	25.742	32.244	67.666	77.412	48.276	47.584	59.612	15.582	35.782	
1999	24.466	22.000	52.622	62.394	43.172	40.124	65.734	27.632	33.220	
2000	25.316	28.358	66.058	69.506	50.002	44.182	84.442	37.902	47.256	42.153
2001	29.000	33.572	69.946	69.482	55.696	39.472	80.038	41.932	41.072	60.408
2002	23.452	24.558	62.592	69.084	42.272	41.474	76.424	37.300	31.244	48.052
2003	49.890	47.002	93.574	90.702	80.792	74.448	78.260	41.596	50.428	71.220
2004		27.905	50.207	50.015	47.147	32.585	42.252	26.127	35.656	39.960
2005		26.978	45.946	47.679	38.867	30.809	46.883	23.971	40.559	62.209
2006		33.788	57.091	55.884	48.577	33.763	72.124	33.776	45.136	46.981

Anhang 1.4:NO₂-Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in den Wuchsgebieten 4.1. und 6.1

(Datenquelle: Umweltbundesamt Wien [UBA] und BFW)

	Achenkirch MK (BFW)	St. Koloman (UBA)	Vomp A12 (UBA)	Vomp an der Leiten (UBA)	St. Georgen (UBA)	Vorhegg (UBA)	Nordkette (UBA)	Sulzberg (UBA)	Bodental (BFW)
	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	4.1.	6.1.	6.1.	6.1.	6.1.
1990							7,3		
1991	16,2				11,9	6,5	6,8		
1992	12,3	8,4			8,1	4,8	5,1		
1993	8,2				9,9	5,3	4,1		
1994	6,8						3,2		
1995	4,4				10,5	4,8	2,7		
1996	6,8				10,3		4,4		
1997	4,9				12,4		3,9		
1998	3,7		54,0		8,2		3,7		
1999	3,2		61,5		8,6	2,9	3,5	4,6	
2000	3,4	5,4	60,1		10,3	2,9	3,4	4,9	
2001	4,9	5,7	54,1	41,6	11,5	3,3	3,9	5,8	
2002		5,9	60,9	43,2	12,0	3,2	3,4	5,3	
2003		7,0	68,5	50,2	11,2	4,2	3,9	6,1	
2004			66,3	49,0	11,3	4,1	3,5	4,8	
2005	6,0		73,8	51,0	14,2	4,2	4,0	3,7	2,2
2006	5,2		75,7	52,4	13,4	4,3	3,9	4,6	2,5

Anhang 1.5:SO₂-Jahresmittelwerte (µg/m³) in den Wuchsgebieten 4.1. und 6.1

(Datenquelle: Umweltbundesamt Wien [UBA] und BFW)

	Achenkirch MK (BFW)	St. Koloman (UBA)	Vomp A12 (UBA)	St. Georgen (UBA)	Vorhegg (UBA)	Sulzberg (UBA)
	4.1.	4.1.	4.1.	6.1.	6.1.	6.1.
1990						
1991	3,0			12,7		
1992	2,3	3,5		14,2	5,2	
1993	2,6			13,6	3,8	
1994	2,8			10,9	3,3	
1995	1,8			8,1	2,9	
1996	2,5			9,9		
1997	0,4			9,9		
1998	0,8		10,6	8,0		
1999	1,4		10,6	6,3	1,4	1,0
2000	0,4	0,7	9,2	5,9	0,7	0,6
2001		0,7		3,7	0,6	0,6
2002		0,6		4,1	0,6	0,6
2003		0,8		2,9	0,8	0,8
2004				3,2	0,6	
2005				3,3	0,6	
2006				2,4	0,6	

Anhang 1.6:SO₂-, NO-, NO₂- und Ozonmonatsmittelwerte (µg m⁻³) an der Station Mühleggerköpfl

Jahr / Monat	Station Mühleggerköpfl				Station Bodental				Jahr / Monat	Station Mühleggerköpfl				Station Bodental			
	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃		SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃
1999 / 01	0,0	1,3	4,9	23,5					2000 / 09	0,0	0,7	1,3	22,0				35,5
1999 / 02	0,0	1,1	3,5	30,7					2000 / 10	0,0	0,7	1,3	10,9				30,6
1999 / 03	0,0	1,0	2,7	34,7					2000 / 11	0,0	0,8	2,5					28,9
1999 / 04	0,0	0,9	1,2	38,4					2000 / 12		0,8	4,0	18,6				29,3
1999 / 05	0,0	0,5	0,6	35,2					2001 / 01		0,9	4,4	19,0				29,7
1999 / 06	0,0	0,7	0,5	31,5					2001 / 02		0,9	4,6	20,7				37,1
1999 / 07	0,0	0,7	0,5	30,4				48,0	2001 / 03		0,6	1,9	27,8				42,6
1999 / 08	0,0	0,7	0,7	25,0				41,1	2001 / 04		0,5	0,6	33,6				48,8
1999 / 09	0,0	0,9	1,0	25,7				41,2	2001 / 05		0,3	0,4	24,1				46,9
1999 / 10	0,0	1,0	1,7	18,7				32,8	2001 / 06		0,3	0,6	16,6				57,1
1999 / 11	0,0	1,1	2,0	17,9				30,0	2001 / 07		0,3	0,2	34,0				52,4
1999 / 12	0,0	0,4	1,9	23,6				34,7	2001 / 08		0,3	0,2	30,1				58,4
2000 / 01	0,0	0,8	3,8	22,4				36,5	2001 / 09		0,5	1,6	19,1				41,6
2000 / 02	0,0	0,6	2,1	27,1				41,4	2001 / 10		0,8	3,6	15,6				36,9
2000 / 03								45,7	2001 / 11		1,0	5,6	14,3				32,9
2000 / 04	0,0	0,7	1,7	37,2				49,4	2001 / 12		0,9	5,6	17,3				33,3
2000 / 05	0,0	0,6	0,7	35,6				48,8	2002 / 01				20,9				39,0
2000 / 06	0,0	0,7	0,9	39,2				50,1	2002 / 02				19,4				40,2
2000 / 07	0,0	0,5	0,6	30,7				45,4	2002 / 03				21,6				47,9
2000 / 08	0,0	0,6	0,8	33,2				48,4	2002 / 04				19,0				47,5

Anhang 1.6 (Fortsetzung):
SO₂-, NO, NO₂- und Ozonmonatsmittelwerte (µg m⁻³) an der Station Mühleggerköpfl

Jahr / Monat	Station Mühleggerköpfl				Station Bodental				Jahr / Monat	Station Mühleggerköpfl				Station Bodental			
	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃		SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃
2002 / 05				37,8				49,8	2005 / 03		0,5	4,5	35,1				48,5
2002 / 06				38,2				52,5	2005 / 04		0,4	3,8	39,9				50,6
2002 / 07				32,8				46,5	2005 / 05		0,3	1,3	39,6				50,3
2002 / 08				30,1				39,3	2005 / 06		0,2	1,3	37,0				50,4
2002 / 09								37,1	2005 / 07		0,2	1,0	31,5				45,1
2002 / 10				23,4				29,3	2005 / 08		0,3	1,3	24,6				36,2
2002 / 11				21,5				35,8	2005 / 09		0,4	1,8	22,7		0,0	0,4	33,9
2002 / 12				15,6				20,5	2005 / 10		0,8	3,9	12,6		0,1	1,1	29,4
2003 / 01				23,0				36,7	2005 / 11		0,7	4,1	40,7		0,0	1,1	22,3
2003 / 02				30,0				43,4	2005 / 12		0,7	5,4	34,7		0,1	1,8	30,4
2003 / 03				36,7				51,3	2006 / 01		0,9	8,0	26,5		0,1	1,7	33,4
2003 / 04				40,8				50,6	2006 / 02		1,0	6,8	30,4		0,1	1,6	39,7
2003 / 05				37,3				56,7	2006 / 03		0,5	3,2	38,1		0,0	1,5	47,7
2003 / 06				44,3				56,5	2006 / 04				35,7		0,0	1,0	49,8
2003 / 07				45,1				54,4	2006 / 05		0,2	0,4	36,2		0,0	0,8	46,8
2003 / 08				49,6				58,1	2006 / 06		0,3	0,7	38,9		0,0	0,8	49,4
2003 / 09				29,8				44,2	2006 / 07		0,3	0,7	43,6		0,0	0,6	51,4
2003 / 10				22,2				29,3	2006 / 08		0,3	0,4	28,1		0,0	0,2	35,5
2003 / 11				15,8				26,5	2006 / 09		0,7	1,2	22,8		0,3	1,1	36,2
2003 / 12				24,8				33,5	2006 / 10		1,0	1,8	16,5		0,5	1,4	30,2
2004 / 01				26,5				32,3	2006 / 11		1,0	2,2	19,1		0,8	2,6	32,0
2004 / 02				31,4				40,8	2006 / 12		1,1	4,4	18,2		0,7	2,3	29,3
2004 / 03				28,8				48,5	2007 / 01		1,0	2,8	19,6		0,6	1,9	29,2
2004 / 04				26,2				48,0	2007 / 02		1,0	3,3	24,4		0,6	1,8	35,1
2004 / 05				37,3				50,8	2007 / 03		0,8	2,7	32,1		0,5	2,3	40,5
2004 / 06				33,5				43,3	2007 / 04		0,8	1,8	31,5		0,6	2,2	40,7
2004 / 07				29,1				47,5	2007 / 05		0,6	0,5	34,3		0,0	1,3	49,7
2004 / 08				32,1				45,7	2007 / 06		0,7	0,4	30,4		0,0	1,0	46,8
2004 / 09				25,2				30,0	2007 / 07		0,7	0,4	32,1		0,0	0,9	52,1
2004 / 10				15,8				28,2	2007 / 08		0,7	0,7	24,9		0,0	1,0	42,1
2004 / 11				19,0				28,5	2007 / 09		0,7	0,5	21,0		0,0	1,5	37,5
2004 / 12		0,4	8,1	20,6				30,6	2007 / 10		0,9	2,0	21,1		0,0	3,0	29,6
2005 / 01		0,6	4,7	26,4				37,2	2007 / 11		1,1	3,6	12,9		0,0	1,6	34,8
2005 / 02		0,6	5,6	32,7				41,4	2007 / 12		0,9	3,2	22,4		0,0	1,8	34,2

ANHANG 2: Depositionsdaten

Anhang 2a: Konzentrationen und Einträge in den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1															Jahresdaten Mühleggerköpfl (RFF: Freiland, RKD: Kronendurchlass; WAD: WADOS)														
Station Mühleggerköpfl															Station Mühleggerköpfl														
Jahr	mm	pH	LF µS/cm	Cl	SO ₄	NO ₃	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	HE	CIE	SE	Elementeinträge (kg Element ha ⁻¹ a ⁻¹)														
															NO ₃ NE	NaE	NH ₄ NE	KE	MgE	CaE	NE								
RFF	1998	1294	5,47	10,6	1,0	1,1	1,7	0,4	0,6	0,5	0,2	0,6	13,0	4,7	4,8	4,9	6,5	6,4	3,2	7,8	11,3								
RKD	1998	1266	5,17	14,5	1,2	1,2	2,0	0,6	0,7	0,9	0,3	0,7	14,9	5,1	5,7	7,3	6,5	11,6	3,6	8,9	12,2								
WAD	1998	1481	5,06	9,2	1,0	1,2	1,8	0,4	0,6	0,3	0,2	0,4	14,1	6,1	5,9	5,3	6,3	4,8	2,8	6,1	12,2								
RFF	1999	1471	5,54	10,5	2,0	0,7	1,4	0,2	0,4	0,4	0,2	1,1	29,1	3,6	4,5	3,2	5,0	6,0	3,3	15,5	9,5								
RKD	1999	1548	5,51	12,1	2,0	0,9	2,0	0,1	0,4	0,8	0,3	1,0	30,5	4,9	7,0	2,3	5,2	12,6	4,2	15,4	12,3								
WAD	1999	1639	5,25	9,1	1,5	0,9	1,6	0,1	0,4	0,1	0,1	0,5	24,3	4,7	6,0	2,2	5,1	1,4	1,0	8,8	11,1								
RFF	2000	787	5,47	10,4	0,3	0,5	1,6	0,2	0,3	0,3	0,3	1,7	2,1	1,4	2,9	1,7	1,7	2,7	2,2	13,1	4,6								
RKD	2000	1639	5,38	14,7	0,4	0,9	1,8	0,3	0,4	0,7	0,4	2,3	5,8	4,7	6,5	4,3	4,7	12,0	7,1	37,6	11,3								
WAD	2000	1793	5,04	5,8	0,1	0,5	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	2,5	2,7	3,1	1,8	1,8	1,3	1,5	15,1	4,9								
RKD	2001	1566	5,39	17,6	0,2	0,6	1,6	0,2	0,3	0,5	0,5	3,2	3,8	3,2	5,7	2,8	3,7	8,3	7,2	50,0	9,4								
WAD	2001	1651	4,28	12,9	0,2	0,5	1,3	0,1	0,2	0,2	0,1	1,7	2,9	3,0	4,9	2,1	3,0	2,6	2,4	28,1	7,9								
RKD	2002	1370	5,30	20,8	0,4	0,7	2,1	0,2	0,4	0,7	0,9	4,3	5,0	3,1	6,4	2,4	3,8	10,1	12,1	59,2	10,2								
WAD	2002	1612	4,84	11,1	0,1	0,6	1,2	0,1	0,2	0,0	0,2	1,5	2,2	3,1	4,2	1,7	3,0	0,4	2,7	24,6	7,2								
RKD	2003	1090	4,89	30,1	0,5	1,0	2,7	0,3	0,5	1,3	1,0	5,3	5,9	3,8	6,7	2,7	4,0	14,0	10,9	57,7	10,7								
WAD	2003	1214	4,52	17,5	0,2	0,7	1,3	0,1	0,3	0,0	0,2	2,4	2,6	2,9	3,6	1,3	3,1	0,6	3,0	29,1	6,7								
RKD	2004	1040	5,39	28,2	0,6	0,8	2,3	0,2	0,4	0,9	1,6	10,1	6,0	2,9	5,3	2,4	3,2	9,8	16,7	105,2	8,5								
WAD	2004	1344	4,78	17,4	0,2	0,7	1,5	0,1	0,3	0,0	0,3	3,5	2,9	3,2	4,7	2,0	3,3	0,4	4,3	47,6	8,0								
RKD	2005	1283	5,22	18,2	0,4	0,8	2,0	0,2	0,4	0,8	0,2	0,5	4,9	3,2	5,8	2,7	3,7	10,2	2,1	6,9	9,5								
WAD	2005	1449	4,70	12,7	0,3	0,6	1,4	0,2	0,4	0,1	0,7	1,3	4,0	3,1	4,6	2,4	4,0	0,8	10,4	19,3	8,7								
RKD	2006	1321	5,68	15,5	0,5	0,8	2,1	0,2	0,4	0,7	0,2	0,5	7,1	3,5	6,4	2,3	3,8	9,3	2,2	7,0	10,2								
WAD	2006	1481	4,79	12,2	0,2	0,7	1,4	0,1	0,3	0,1	0,0	0,2	3,6	3,3	4,6	1,7	3,6	1,3	0,5	3,6	8,2								
RKD	2007	1307	5,62	16,4	0,5	0,5	1,7	0,2	0,2	0,6	0,2	0,5	6,0	2,2	5,0	2,6	2,2	7,4	3,0	6,9	7,2								
WAD	2007	1573	4,80	12,2	0,3	0,4	1,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	5,2	2,2	4,1	2,5	2,6	2,5	1,4	3,5	6,7								

Anhang 2b: Konzentrationen und Einträge in den Wuchsgebieten 4.1 und 6.1															Jahresdaten Bodental (RFF: Freiland)														
Station Bodental															Station Bodental														
Jahr	mm	pH	LF µS/cm	Cl	SO ₄	NO ₃	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	HE	CIE	SE	Elementeinträge (kg Element ha ⁻¹ a ⁻¹)														
															NO ₃ NE	NaE	NH ₄ NE	KE	MgE	CaE	NE								
RFF	2002	84	17,2	1,4	2,0	1,2	1,0	0,1	0,5	0,4	4,6		1,2	0,6	0,2	0,9	0,0	0,4	0,4	3,9	0,3								
RFF	2003	1033	15,5	0,5	1,4	1,4	0,3	0,9	0,3	0,3	3,2		5,1	4,9	3,2	2,9	7,3	2,8	3,1	33,1	10,4								
RFF	2004	1161	20,7	0,5	0,9	1,1	1,0	1,5	1,3	0,4	1,5	0,1	6,4	3,4	2,9	11,9	13,9	15,0	4,5	17,2	16,8								
RFF	2006	2353	13,3	0,6	1,0	0,9	0,2	0,1	0,5	0,1	0,4	0,2	14,1	7,6	5,0	5,4	1,9	10,9	1,8	9,6	6,9								
RFF	2007	2768	14,2	0,5	1,1	1,3	0,2	0,3	0,4	0,1	0,5	0,2	14,2	10,4	8,2	5,0	6,6	10,9	3,7	14,6	14,8								

Anhang 3.1 (Fortsetzung):
Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
1A/ 1	N															1,27	1,27
	P															0,15	0,15
	K															0,76	0,76
	Ca															0,30	0,30
	Mg															0,14	0,14
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
1A/ 2	N															1,05	1,05
	P															0,10	0,10
	K															0,33	0,33
	Ca															0,42	0,42
	Mg															0,17	0,17
	S															0,07	0,07
	Pb															0,00	0,00
	Cd															0,00	0,00
2 / 1	N															1,12	1,12
	P															0,13	0,13
	K															0,46	0,46
	Ca															0,38	0,38
	Mg															0,18	0,18
	S															0,07	0,07
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
2 / 2	N															1,12	1,12
	P															0,12	0,12
	K															0,46	0,46
	Ca															0,27	0,27
	Mg															0,10	0,10
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
3 / 1	N															1,15	1,15
	P															0,09	0,09
	K															0,45	0,45
	Ca															0,32	0,32
	Mg															0,19	0,19
	S															0,07	0,07
	Cd															0,00	0,00

Anhang 3.1 (Fortsetzung):
 Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
3 / 2	N															1,13	1,13
	P															0,11	0,11
	K															0,50	0,50
	Ca															0,51	0,51
	Mg															0,17	0,17
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,01	0,01
4 / 1	N															1,09	1,09
	P															0,09	0,09
	K															0,33	0,33
	Ca															0,35	0,35
	Mg															0,19	0,19
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,01	0,01
4 / 4	N															1,24	1,24
	P															0,14	0,14
	K															0,33	0,33
	Ca															0,29	0,29
	Mg															0,17	0,17
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
5 / 1	N															1,33	1,33
	P															0,14	0,14
	K															0,50	0,50
	Ca															0,33	0,33
	Mg															0,15	0,15
	S															0,11	0,11
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,02	0,02
5 / 2	N															1,14	1,14
	P															0,10	0,10
	K															0,45	0,45
	Ca															0,34	0,34
	Mg															0,17	0,17
	S															0,07	0,07
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,01	0,01

Anhang 3.1 (Fortsetzung):
Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
6 / 1	N															1,27	1,27
	P															0,11	0,11
	K															0,44	0,44
	Ca															0,38	0,38
	Mg															0,12	0,12
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
6 / 2	N															1,15	1,15
	P															0,10	0,10
	K															0,55	0,55
	Ca															0,36	0,36
	Mg															0,19	0,19
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,01	0,01
B1 / 1	N															1,15	1,15
	P															0,10	0,10
	K															0,50	0,50
	Ca															0,33	0,33
	Mg															0,12	0,12
	S															0,07	0,07
	Pb															0,00	0,00
	Cd															0,00	0,00
B1 / 2	N															1,16	1,16
	P															0,11	0,11
	K															0,27	0,27
	Ca															0,39	0,39
	Mg															0,14	0,14
	S															0,07	0,07
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
Mühleggerköpfl																	
1	N	1,15			1,33	1,04		1,07	1,34	1,12	1,21	1,05	0,99	1,23	1,39		1,17
	P	0,10	0,12		0,11	0,09		0,08	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,10		0,09
	K	0,41	0,32		0,40	0,40		0,22	0,32	0,24	0,24	0,28	0,28	0,26	0,38		0,31
	Ca	0,38	0,58		0,45	0,48		0,48	0,43	0,42	0,44	0,50	0,36	0,58	0,39		0,46
	Mg	0,16	0,19		0,15	0,17		0,18	0,18	0,17	0,19	0,19	0,16	0,22	0,18		0,18
	S	0,08	0,08			0,08		0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07		0,07
	Pb	0,10			0,00	0,10		0,20	0,10	0,10	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10		0,15
	Cd	0,01			0,00	0,00		0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01		0,01

Anhang 3.1 (Fortsetzung):
Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
2	N	1,16	1,28		1,09	1,28		1,14	1,20	1,17	1,21	1,34	1,45	1,20	1,01		1,21
	P	0,10	0,10		0,09	0,09		0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07		0,08
	K	0,36	0,31		0,36	0,37		0,31	0,31	0,34	0,27	0,27	0,32	0,34	0,33		0,32
	Ca	0,31	0,57		0,41	0,34		0,49	0,32	0,38	0,40	0,49	0,34	0,44	0,32		0,40
	Mg	0,14	0,25		0,16	0,16		0,18	0,15	0,18	0,18	0,20	0,16	0,18	0,15		0,17
	S	0,09	0,08			0,09		0,08	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07		0,08
	Pb	0,10	0,30		0,30	0,00		0,20	0,10	0,10	0,05	0,20	0,10	0,30	0,20		0,16
	Cd	0,01	0,13		0,00	0,00		0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01		0,02
3	N	1,03			1,18	1,16		1,13	1,11	1,37	1,43	1,19	1,33	1,14	1,15		1,20
	P	0,11	0,16		0,11	0,09		0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10	0,10		0,10
	K	0,44	0,42		0,32	0,39		0,31	0,42	0,35	0,40	0,26	0,33	0,38	0,38		0,37
	Ca	0,41	1,03		0,50	0,43		0,54	0,44	0,52	0,52	0,49	0,46	0,65	0,45		0,54
	Mg	0,21	0,40		0,21	0,20		0,22	0,22	0,23	0,23	0,22	0,21	0,23	0,21		0,23
	S	0,07	0,09			0,08		0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07		0,08
	Pb	0,10			1,00	0,00		0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,50	0,30	0,10		0,24
	Cd	0,01			0,00	0,00		0,00	0,01	0,01	0,10	0,02	0,01	0,01	0,01		0,02
4	N	1,08	0,90		1,29	1,23		1,06	1,15	1,19	1,22	1,24	1,22	1,48	1,14		1,18
	P	0,11	0,09		0,11	0,10		0,09	0,11	0,09	0,10	0,14	0,10	0,18	0,11		0,11
	K	0,28	0,25		0,24	0,24		0,23	0,23	0,20	0,25	0,22	0,20	0,32	0,25		0,24
	Ca	0,51	0,81		0,63	0,55		0,57	0,53	0,59	0,49	0,52	0,44	0,72	0,55		0,58
	Mg	0,22	0,23		0,22	0,22		0,21	0,22	0,23	0,21	0,20	0,21	0,28	0,18		0,22
	S	0,09	0,07			0,10		0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,10	0,08		0,09
	Pb	0,10			0,00	0,00		0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20	0,10		0,11
	Cd	0,01			0,00	0,00		0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01		0,01
5	N	1,33	1,33		1,20	1,32		1,23	1,37	1,41	1,34	1,16	1,12	1,35	1,29		1,29
	P	0,12	0,11		0,09	0,12		0,09	0,12	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10		0,10
	K	0,42	0,42		0,33	0,44		0,30	0,35	0,30	0,25	0,22	0,28	0,30	0,32		0,33
	Ca	0,30	0,63		0,47	0,30		0,37	0,34	0,35	0,36	0,36	0,41	0,54	0,33		0,40
	Mg	0,13	0,15		0,17	0,14		0,15	0,17	0,16	0,17	0,15	0,18	0,19	0,15		0,16
	S	0,11	0,10			0,11		0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09		0,10
	Pb	0,10	0,10		0,30	0,00		0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10		0,13
	Cd	0,01	0,01		0,00	0,00		0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01		0,01
21	N									1,24	1,19	1,18	1,12	1,48	1,03	1,17	1,20
	P									0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09
	K									0,39	0,37	0,29	0,32	0,35	0,46	0,35	0,36
	Ca									0,36	0,31	0,46	0,47	0,69	0,37	0,46	0,45
	Mg									0,22	0,20	0,22	0,23	0,24	0,17	0,21	0,21
	S									0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	Pb									0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,11
	Cd									0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01

Anhang 3.1 (Fortsetzung):
Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
22	N									1,23	1,17	1,10	1,29	1,50	1,16	1,10	1,22
	P									0,10	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,10	0,09
	K									0,35	0,40	0,32	0,38	0,29	0,48	0,32	0,36
	Ca									0,26	0,15	0,32	0,31	0,49	0,29	0,24	0,29
	Mg									0,22	0,14	0,20	0,21	0,29	0,16	0,20	0,20
	S									0,07	0,09	0,08	0,08	0,10	0,07	0,07	0,08
	Pb									0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,10	0,13
	Cd									0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
23	N									1,31	1,15	1,08	1,29	1,34	1,18	1,17	1,22
	P									0,09	0,13	0,08	0,09	0,11	0,09	0,10	0,10
	K									0,45	0,47	0,41	0,47	0,55	0,58	0,40	0,48
	Ca									0,45	0,30	0,39	0,38	0,52	0,35	0,27	0,38
	Mg									0,21	0,15	0,19	0,18	0,23	0,16	0,16	0,18
	S									0,10	0,08	0,13	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09
	Pb									0,20	0,10	0,30	0,30	0,30	0,20	0,10	0,21
	Cd									0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
24	N									1,40	1,22	1,26	1,17	1,25	1,20	1,15	1,24
	P									0,12	0,11	0,11	0,09	0,11	0,09	0,10	0,10
	K									0,44	0,40	0,42	0,54	0,46	0,53	0,54	0,48
	Ca									0,49	0,42	0,47	0,47	0,73	0,40	0,37	0,48
	Mg									0,21	0,19	0,20	0,17	0,30	0,16	0,18	0,20
	S									0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,08
	Pb									0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,00	0,13
	Cd									0,02	0,01	0,07	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
25	N									1,25	1,18	1,16	1,11	0,80	1,19	1,22	1,13
	P									0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,09	0,10	0,09
	K									0,32	0,33	0,27	0,35	0,34	0,38	0,32	0,33
	Ca									0,63	0,56	0,67	0,55	1,12	0,54	0,53	0,66
	Mg									0,20	0,18	0,21	0,21	0,26	0,19	0,18	0,20
	S									0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,09	0,08
	Pb									0,10	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,13
	Cd									0,01	0,03	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
A / 1	N															0,95	0,95
	P															0,08	0,08
	K															0,34	0,34
	Ca															0,30	0,30
	Mg															0,14	0,14
	S															0,06	0,06
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00

Anhang 3.1 (Fortsetzung):

Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
A / 3	N															1,32	1,32
	P															0,10	0,10
	K															0,37	0,37
	Ca															0,41	0,41
	Mg															0,19	0,19
	S															0,09	0,09
	Pb															0,00	0,00
	Cd															0,21	0,21
B8 / 1	N															1,22	1,22
	P															0,09	0,09
	K															0,23	0,23
	Ca															0,40	0,40
	Mg															0,18	0,18
	S															0,09	0,09
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,01	0,01
B8 / 2	N															1,16	1,16
	P															0,08	0,08
	K															0,31	0,31
	Ca															0,35	0,35
	Mg															0,14	0,14
	S															0,07	0,07
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
B8 / 3	N															1,23	1,23
	P															0,09	0,09
	K															0,31	0,31
	Ca															0,38	0,38
	Mg															0,19	0,19
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00
B8 / 4	N															1,16	1,16
	P															0,10	0,10
	K															0,22	0,22
	Ca															0,43	0,43
	Mg															0,20	0,20
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,00	0,00

Anhang 3.1 (Fortsetzung):
Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
B8 / 5	N															1,30	1,30
	P															0,10	0,10
	K															0,28	0,28
	Ca															0,43	0,43
	Mg															0,18	0,18
	S															0,08	0,08
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,01	0,01
Schulterberg																	
1	N	1,57	1,34			1,23		1,27	1,41	1,40	1,35	1,29	1,34		1,15		1,34
	P	0,15	0,12			0,12		0,12	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11		0,11		0,12
	K	0,75	0,60			0,65		0,60	0,66	0,61	0,54	0,58	0,42		0,68		0,61
	Ca	0,52	0,31			0,43		0,46	0,41	0,53	0,33	0,44	0,54		0,40		0,44
	Mg	0,11	0,08			0,11		0,08	0,10	0,10	0,09	0,08	0,11		0,10		0,10
	S	0,10	0,10			0,07		0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,07		0,08		0,09
	Pb	0,40	0,10			0,10		1,30	0,10	0,20	0,10	0,05	0,20		0,10		0,27
	Cd		0,09			0,24		0,17	0,18	0,17	0,12	0,16	0,12		0,12		0,15
2	N	1,42	1,49		1,27	1,22		1,42	1,35	1,40	1,25	1,36	1,04		1,24		1,31
	P	0,15	0,12		0,11	0,12		0,12	0,14	0,14	0,10	0,12	0,12		0,12		0,12
	K	0,77	0,50		0,70	1,00		0,69	0,70	0,79	0,64	0,59	0,56		0,94		0,72
	Ca	0,35	0,42		0,28	0,34		0,41	0,28	0,31	0,23	0,38	0,32		0,28		0,33
	Mg	0,10	0,10		0,08	0,09		0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09		0,07		0,09
	S	0,11	0,09			0,10		0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09		0,09		0,10
	Pb	0,80	0,10		0,00	0,00		0,40	0,40	0,20	0,20	0,10	0,10		0,10		0,22
	Cd	0,01	0,39		0,05	0,03		0,06	0,06	0,05	0,03	0,04	0,02		0,04		0,07
3	N	1,44	1,46		1,30	1,23		0,94	1,43	1,32	1,18	1,18	1,30		1,18		1,27
	P	0,17	0,13		0,11	0,11		0,09	0,13	0,12	0,10	0,11	0,10		0,10		0,12
	K	0,60	0,50		0,71	0,63		0,70	0,71	0,64	0,60	0,44	0,54		0,74		0,62
	Ca	0,65	0,41		0,47	0,50		0,60	0,37	0,41	0,39	0,35	0,37		0,31		0,44
	Mg	0,11	0,11		0,11	0,10		0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,11		0,10		0,11
	S	0,09	0,09			0,08		0,10	0,09	0,10	0,08	0,08	0,10		0,08		0,09
	Pb	0,40	0,40		0,00	0,00		0,20	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10		0,10		0,16
	Cd	0,01	0,03		0,03	0,00		0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01		0,02		0,02
4	N	1,37	1,32		1,24	1,14		1,20	1,35	1,34	1,26	1,25	1,31		1,22		1,25
	P	0,16	0,12		0,11	0,11		0,10	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10		0,13		0,12
	K	0,90	0,66		0,75	0,64		0,59	0,63	0,66	0,64	0,54	0,54		0,88		0,67
	Ca	0,55	0,44		0,47	0,42		0,48	0,38	0,39	0,34	0,34	0,47		0,35		0,43
	Mg	0,10	0,09		0,09	0,09		0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,09		0,09		0,09
	S	0,09	0,09			0,07		0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08		0,08		0,08
	Pb	0,30	0,30		0,00	0,00		0,20	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20		0,10		0,16
	Cd	0,01	0,11		0,06	0,05		0,06	0,10	0,06	0,06	0,05	0,06		0,12		0,06

Anhang 3.1 (Fortsetzung):

Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Achenkirch (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	MW
18	N				1,48	1,28											1,38
	P				0,11	0,10											0,11
	K				0,69	0,76											0,73
	Ca				0,41	0,40											0,41
	Mg				0,12	0,10											0,11
	S					0,09											0,09
	Pb				0,00	0,00											0,00
	Cd				0,00	0,00											0,00
B7/1	N															1,37	1,37k
	P															0,13	0,13
	K															0,49	0,49
	Ca															0,43	0,43
	Mg															0,09	0,09
	S															0,09	0,09
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,17	0,17
B7/2	N															1,23	1,23
	P															0,12	0,12
	K															0,48	0,48
	Ca															0,31	0,31
	Mg															0,08	0,08
	S															0,08	0,08
	Pb															0,00	0,00
	Cd															0,05	0,05
B7/3	N															1,47	1,47
	P															0,12	0,12
	K															0,47	0,47
	Ca															0,41	0,41
	Mg															0,11	0,11
	S															0,09	0,09
	Pb															0,10	0,10
	Cd															0,02	0,02
B7/4	N															1,36	1,36
	P															0,12	0,12
	K															0,54	0,54
	Ca															0,45	0,45
	Mg															0,09	0,09
	S															0,09	0,09
	Pb															0,20	0,20
	Cd															0,08	0,08

Anhang 3.2:
 Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Bodental (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert	Baum	Element	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert
1	N	1,29	1,24	1,54		1,15	1,31	6	N	1,20	1,40	1,35		1,30	1,31
	P	0,14	0,13	0,13		0,13	0,13		P	0,14	0,15	0,17		0,13	0,15
	K	0,66	0,46	0,55		0,51	0,55		K	0,75	0,71	1,04		0,79	0,82
	Ca	0,38	0,43	0,52		0,32	0,41		Ca	0,42	0,42	0,41		0,36	0,40
	Mg	0,12	0,12	0,71		0,11	0,27		Mg	0,11	0,13	0,07		0,10	0,10
	S	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10		S	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09
	Pb	0,05	0,10	0,20	0,10	0,00	0,09		Pb	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,12
	Cd	0,05	0,05	0,06	0,04	0,01	0,04		Cd	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
2	N	1,41	1,57	1,44		1,37	1,45	7	N	0,92	1,26	1,13		1,37	1,17
	P	0,13	0,13	0,14		0,14	0,14		P	0,10	0,14	0,11		0,17	0,13
	K	0,41	0,50	0,53		0,53	0,49		K	0,47	0,64	0,71		0,91	0,68
	Ca	0,57	0,53	0,80		0,41	0,58		Ca	0,37	0,35	0,33		0,37	0,36
	Mg	0,11	0,11	0,16		0,11	0,12		Mg	0,10	0,13	0,09		0,11	0,11
	S	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		S	0,10	0,13	0,10	0,11	0,10	0,11
	Pb	0,10	0,10	0,20	0,20	0,10	0,14		Pb	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,12
	Cd	0,06	0,05	0,09	0,06	0,06	0,06		Cd	0,06	0,09	0,09	0,05	0,03	0,06
3	N	1,31	1,39	1,56		1,43	1,42	8	N	1,16	1,25	1,38		1,11	1,23
	P	0,13	0,16	0,14		0,14	0,14		P	0,14	0,15	0,14		0,11	0,14
	K	0,60	0,70	0,75		0,65	0,68		K	0,59	0,56	0,67		0,86	0,67
	Ca	0,48	0,40	0,37		0,36	0,40		Ca	0,31	0,45	0,32		0,32	0,35
	Mg	0,15	0,17	0,13		0,13	0,15		Mg	0,09	0,13	0,10		0,09	0,10
	S	0,10	0,11	0,12	0,10	0,09	0,10		S	0,08	0,09	0,08	0,09	0,11	0,09
	Pb	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,14		Pb	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,12
	Cd	0,07	0,04	0,07	0,07	0,06	0,06		Cd	0,08	0,09	0,13	0,13	0,03	0,09
4	N	1,09	1,18	1,14			1,14	9	N	1,04	1,22	1,57		1,23	1,27
	P	0,12	0,11	0,10			0,11		P	0,17	0,16	0,15		0,16	0,16
	K	0,49	0,54	0,53			0,52		K	0,61	0,52	0,69		0,74	0,64
	Ca	0,37	0,41	0,56			0,45		Ca	0,27	0,28	0,56		0,48	0,40
	Mg	0,10	0,10	0,11			0,10		Mg	0,09	0,09	0,08		0,12	0,10
	S	0,12	0,09	0,08	0,09		0,10		S	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,08
	Pb	0,10	0,20	0,20	0,10		0,15		Pb	0,05	0,10	0,20	0,10	0,10	0,11
	Cd	0,10	0,11	0,13	0,10		0,11		Cd	0,03	0,02	0,04	0,03	0,10	0,04
5	N	1,08	1,03	1,22		1,11	1,11	10	N	1,10	1,22	1,33		1,30	1,24
	P	0,11	0,12	0,12		0,12	0,12		P	0,16	0,14	0,16		0,18	0,16
	K	0,53	0,79	0,70		0,54	0,64		K	0,63	0,55	0,86		0,73	0,69
	Ca	0,49	0,42	0,66		0,40	0,49		Ca	0,45	0,37	0,73		0,34	0,47
	Mg	0,11	0,11	0,10		0,09	0,10		Mg	0,09	0,13	0,13		0,10	0,11
	S	0,08	0,10	0,10	0,09	0,08	0,09		S	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08
	Pb	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,12		Pb	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00	0,08
	Cd	0,02	0,01	0,01	0,01	0,11	0,03		Cd	0,06	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02

**Anhang 3.2 (Fortsetzung):
Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Bodental (Nadeljahrgang 1)**

Baum	Element	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert	Baum	Element	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert
11	N	1,26				1,42	1,34	16	N					1,46	1,46
	P	0,14				0,18	0,16		P					0,16	0,16
	K	0,64				0,72	0,68		K					0,59	0,59
	Ca	0,42				0,41	0,42		Ca					0,45	0,45
	Mg	0,12				0,13	0,13		Mg					0,13	0,13
	S	0,08				0,09	0,09		S					0,09	0,09
	Pb	0,20				0,10	0,15		Pb					0,10	0,10
	Cd	0,01				0,01	0,01		Cd					0,11	0,11
12	N	1,49	1,30	1,11		1,48	1,35	17	N					1,51	1,51
	P	0,21	0,16	0,13		0,16	0,17		P					0,14	0,14
	K	0,80	0,65	0,79		0,75	0,75		K					0,68	0,68
	Ca	0,52	0,47	0,72		0,41	0,53		Ca					0,32	0,32
	Mg	0,12	0,11	0,12		0,11	0,12		Mg					0,09	0,09
	S	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09		S					0,10	0,10
	Pb	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,12		Pb					0,10	0,10
	Cd	0,10	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07		Cd					0,09	0,09
13	N		1,25	1,21		1,32	1,26	18	N					1,47	1,47
	P		0,13	0,12		0,12	0,12		P					0,12	0,12
	K		0,56	0,53		0,48	0,52		K					0,62	0,62
	Ca		0,38	0,53		0,34	0,42		Ca					0,32	0,32
	Mg		0,14	0,13		0,13	0,13		Mg					0,11	0,11
	S		0,07	0,07	0,08	0,08	0,07		S					0,11	0,11
	Pb		0,10	0,20	0,10	0,10	0,13		Pb					0,10	0,10
	Cd		0,01	0,01	0,01	0,00	0,01		Cd					0,09	0,09
14	N					1,23	1,23	19	N					1,50	1,50
	P					0,13	0,13		P					0,12	0,12
	K					0,53	0,53		K					0,64	0,64
	Ca					0,36	0,36		Ca					0,30	0,30
	Mg					0,13	0,13		Mg					0,09	0,09
	S					0,10	0,10		S					0,10	0,10
	Pb					0,10	0,10		Pb					0,00	0,00
	Cd					0,03	0,03		Cd					0,08	0,08
15	N					1,29	1,29	20	N					1,40	1,40
	P					0,16	0,16		P					0,16	0,16
	K					0,53	0,53		K					0,68	0,68
	Ca					0,45	0,45		Ca					0,24	0,24
	Mg					0,13	0,13		Mg					0,12	0,12
	S					0,09	0,09		S					0,10	0,10
	Pb					0,20	0,20		Pb					0,00	0,00
	Cd					0,05	0,05		Cd					0,07	0,07

Anhang 3.2 (Fortsetzung):
 Nähr- und Schadstoffgehalte (% Trockensubstanz) von Fichten im Raum Bodental (Nadeljahrgang 1)

Baum	Element	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert	Baum	Element	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert
21	N					1,38	1,38	24	N						
	P					0,12	0,12		P					0,13	0,13
	K					0,45	0,45		K					0,65	0,65
	Ca					0,45	0,45		Ca					0,45	0,45
	Mg					0,11	0,11		Mg					0,12	0,12
	S					0,08	0,08		S					0,07	0,07
	Pb					0,10	0,10		Pb					0,50	0,50
	Cd					0,07	0,07		Cd					0,06	0,06
22	N					1,41	1,41	25	N					1,38	1,38
	P					0,12	0,12		P					0,17	0,17
	K					0,20	0,20		K					0,69	0,69
	Ca					0,45	0,45		Ca					0,42	0,42
	Mg					0,14	0,14		Mg					0,11	0,11
	S					0,09	0,09		S					0,10	0,10
	Pb					0,00	0,00		Pb					0,30	0,30
	Cd					0,08	0,08		Cd					0,09	0,09
23	N					1,04	1,04								
	P					0,14	0,14								
	K					0,82	0,82								
	Ca					0,25	0,25								
	Mg					0,08	0,08								
	S					0,08	0,08								
	Pb					0,10	0,10								
	Cd					0,04	0,04								

Anhang 3.3:
 Nadeln Daten Österreichisches Bioindikatornetz
 Prozentanteile an Stickstoff-Mangelpunkten des Österreichischen Bioindikatornetzes

Jahr	Gesamtnetz	Nördliche Kalkalpen	Südliche Kalkalpen	Jahr	Gesamtnetz	Nördliche Kalkalpen	Südliche Kalkalpen
1983	36,8	49,4	50,0	1996	30,4	37,3	35,6
1984	42,7	42,9	78,9	1997	37,1	49,0	57,8
1985	33,4	33,5	70,2	1998	31,3	38,8	22,2
1986	42,0	52,2	81,6	1999	46,3	59,2	37,8
1987	48,1	56,8	78,1	2000	59,4	62,3	84,4
1988	36,6	40,9	61,4	2001	39,7	47,9	42,2
1989	36,4	47,7	43,0	2002	47,9	62,3	82,2
1990	47,3	45,5	71,8	2003	43,5	59,0	37,8
1991	57,1	68,1	83,3	2004	51,1	58,7	55,6
1992	69,1	72,0	97,4	2005	42,8	52,5	64,4
1993	52,6	49,7	84,4	2006	56,2	58,6	79,1
1994	60,2	73,9	73,3	Mittel	44,9	52,5	63,8
1995	30,2	42,8	57,8	Trend	zunehmend	zunehmend	abnehmend