**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 141 (1990)

**Heft:** 10

**Artikel:** Untersuchungen im Zusammenhang mit den Nadelverrötungen des Winters 1986/87 am Fläscherberg (St. Luzisteig)

**Autor:** Förderer, Lucas / Thudium, Jürg / Hertz, Jürg

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-765019

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 02.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Untersuchungen in Zusammenhang mit den Nadelverrötungen des Winters 1986/87 am Fläscherberg (St. Luzisteig)

Von *Lucas Förderer*[2], *Jürg Thudium*[1], *Jürg Hertz* (bis 31. März 1990[3], ab 1. April 1990[4]), *Peter Bucher*[3], *Roberto Pani*[3], *Regula Huber*[5], *Marianne Knecht*[5]

(1 ökoscience, CH-7000 Chur)
(2 ökoscience, CH-8005 Zürich)
(3 Anorganisch-Chemisches Institut der Universität Zürich, CH-8057 Zürich)
(4 Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft [WSL], CH-8903 Birmensdorf)
(5 Ambio, Beratungsgemeinschaft in angewandten Umweltwissenschaften, CH-8008 Zürich)

Oxf.: 422.1:425

## 1. Einführung

Im Winter 1986/87 wurden an mehreren Orten der Zentral- und Ostschweiz Nadelverrötungen grösseren Ausmasses an wintergrünen Nadelbäumen festgestellt (*Schlaepfer* 1988). In der Region Fläscherberg–St. Luzisteig (Kanton Graubünden und Fürstentum Liechtenstein) liegen in einem Höhenbereich zwischen 550 und 700 m ü.M. mehrere grosse Schadenflächen, hauptsächlich in nordost- bis südostexponierten Waldteilen. Eine Gruppe von Wissenschaftlern der WSL (vormals EAFV) hat sich mit den Ursachen dieser Schäden befasst und kommt zum Schluss, dass es sich primär um Winterfrostschäden handelt, verursacht durch tiefe Temperaturen und grosse Temperaturschwankungen ohne wesentliche Mitwirkung von Immissionen (Schlaepfer 1988). Als einer der stark betroffenen Kantone entschloss sich Graubünden, zu den Nadelverrötungen in eigener Regie und in Zusammenarbeit mit dem Fürstentum Liechtenstein weitergehende Untersuchungen durchzuführen. Ausgangspunkt der Studie war die Annahme, dass Immissionen für die Prädisposition der Bäume gegenüber Frost und somit für die Entstehung der beobachteten Schäden mitverantwortlich sein können. Die Feststellungen der WSL werden durch meteorologische, lufthygienische und ernährungsphysiologische Untersuchungen ergänzt und konkretisiert. Die Messungen sollen ausserdem die Grundlage bilden für die modellhafte Darstellung der Luftbelastungssituation in einem Temperatur-Inversionsgebiet Nordbündens.

Ein Teil der Ergebnisse dieses Projekts wird hier zusammenfassend dargestellt. Eine ausführliche Darstellung ist in *Thudium et al.* (1990), *Huber* und

*Knecht* (1990) und *Förderer et al.* (1990) zu finden. Die Grundlagen für die Projektplanung wurden im Rahmen einer umfangreichen Vorstudie erarbeitet (Förderer *et al.* 1988, Thudium *et al.* 1988, Förderer *et al.* 1989).

Die lufthygienischen und meteorologischen Untersuchungen wurden im Auftrag des Amts für Umweltschutz des Kantons Graubünden durchgeführt. Das Forstinspektorat Graubünden stellte die Mittel für die Baumuntersuchungen an Weisstannen und Fichten zur Verfügung. Das Ernten der Probeäste für die Baumuntersuchungen wurde vom Landesforstamt des Fürstentums Liechtenstein vorgenommen und finanziert. Die Messungen an der Station Allmend nahm das Amt für Volkswirtschaft des Fürstentums Liechtenstein vor.

## 2. Material und Methoden

Angaben zu den Untersuchungsstandorten sowie den Vergleichsstandorten im Kanton Zürich und an der Rigi sind in *Tabelle 1* zu finden (vgl. auch Förderer *et al.* 1989).

Die Messung der Gasimmissionen und der meteorologischen Grössen erfolgte kontinuierlich in Form von Halbstundenwerten. Zur besseren Erfassung der Höhenabhängigkeit wurden die kontinuierlichen Messungen von Zizers (vgl. *Tabelle 1*) miteinbezogen. Zudem wurden an sechs Stellen entlang eines Höhenprofils zwischen Mäls (480 m ü.M., bei Balzers, FL) und Alp Lida (880 m ü.M., Fläscherberg) $NO_0$-Passivsammler exponiert (Expositionsdauer eine Woche). Die Schwebstaubproben wurden im «low volume»-Verfahren erhoben. Die Probenahme erfolgte wöchentlich.

Der Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel) wurde mit einem sensorgesteuerten Depositionssammler getrennt von der trockenen Sedimentation (Staub) erfasst. Die Proben wurden in etwa wöchentlich entnommen. Jede Einzelprobe wurde auf pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Ammoniumkonzentration hin untersucht. Alle weiteren Messungen erfolgten an Monatssammelproben.

Eine detaillierte Beschreibung der Methodik zu den Schwebstaub- und Depositionsuntersuchungen kann *Hertz et al.* (1988) entnommen werden.

Die Untersuchungen zur Frosthärte wurden in drei bezüglich Neigung, Exposition und Baumalter einigermassen vergleichbaren Beständen vorgenommen, die sich in verschiedenen Höhenlagen befinden (vgl. *Tabelle 1)*. Untersucht wurden acht Weisstannen und eine Fichte pro Standort. Die Bestimmung der Frostresistenz erfolgte in Anlehnung an die Methoden von *Pisek et al.* (1967) und *Kandler et al.* (1979) (vgl. Huber und Knecht 1990). Die Zweige (zwei Proben pro Baum, Lagerung bei etwa 0 °C) wurden in Polyäthylensäcke eingepackt und in eine thermostatgesteuerte Tiefkühltruhe gebracht, die auf die gewünschte Testtemperatur voreingestellt war (keine stufenweise Abkühlung). Dort wurden sie während acht Stunden belassen und danach bei 15 °C, in

Wasser eingestellt, drei bis vier Wochen lang beobachtet und auf Schäden hin bonitiert (Nadelverlust und -verfärbung in % der Nadelmasse).

*Tabelle 1.* Angaben zu den Baumbeobachtungsflächen (Fläche 1 bis 3) und den Standorten der Schadstoffmessungen (Mäls, Allmend, Mattheid) beim Fläscherberg sowie den Vergleichsstandorten im Rheintal (Zizers, Referenzstation des Bündner Immissionsmessnetzes), im Kanton Zürich (Dübendorf und Tänikon: Stationen des NABEL-Netzes, BUWAL 1989; Wallisellen und Bachtel: Daten vom Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich) und bei der Rigi (Daten von R. Pani).

| | *Koordinaten* | *Höhe ü.M. (m)* | *Umgebung* |
|---|---|---|---|
| Mäls | 756.5 /214.1 | 480 | Talboden, Dorfeingang (ländlich) |
| Allmend | 756.4 /213.6 | 600 | Neben Alpgebäude auf Viehweide |
| Mattheid | 756.2 /213.0 | 800 | Waldrand, kleine Strasse (ländlich) |
| Zizers | 761.3 /201.2 | 527 | Talboden, auf freiem Feld (ländlich) |
| Dübendorf | 688.6 /250.9 | 430 | Agglomeration, offenes Gelände |
| Tänikon | 710.5 /259.8 | 540 | locker überbautes Gelände (ländlich) |
| Wallisellen | 687.9 /252.8 | 470 | Agglomeration |
| Bachtel (Depositionen) | 710.4 /239.6 | 940 | Wiesland neben Wohnhaus (ländlich) |
| Bachtel (Gasimmissionen) | 709.5 /239.3 | 1120 | Berggipfel |
| Küssnacht a.R. | 676.4 /215.4 | 450 | Wiese an Stadtrand |
| Rischberg | 677.9 /214.5 | 830 | Wiese neben Haus (ländlich) |
| Seeboden | 678.2 /213.7 | 1020 | Wiese (ländlich) |
| Fläche 1 | 757725/212600 | 580 | unterhalb des Schadengürtels von 1987 |
| Fläche 2 | 757625/212475 | 640 | im Schadengürtel |
| Fläche 3 | 757275/212325 | 880 | oberhalb des Schadengürtels |

## 3. Ergebnisse

### *3.1 Schadstoffbelastung der Region Fläscherberg– St. Luzisteig*

Gasimmissionen:

Die Belastung der Region St. Luzisteig – Fläscherberg durch Stickoxide *(Abbildung 1)* und Schwefeldioxid ist im Jahresmittel gering. Sie liegt im Bereich sehr ländlicher Gebiete des Kantons Zürich. Bei Inversionslagen (innerhalb von Kaltluftseen) können jedoch auch in dieser an sich abgelegenen Region Luftschadstoff-Konzentrationen auftreten, die nahe bei denjenigen in der Rheintalsohle liegen. Besonders hohe Konzentrationen an $SO_2$, NO und $NO_2$ wurden dann gemessen, wenn sich die Messstelle direkt unterhalb der Nebelobergrenze (bzw. Inversionsgrenze) befand (vgl. Thudium *et al.* 1989). Dies schlägt sich jedoch nicht in einer erhöhten Durchschnittsbelastung in einem mittleren Höhenbereich nieder. Zwischen den Jahresmittelwerten dieser Stoffe und der Höhe über Talgrund besteht eine negative Beziehung *(Abbildung 1)*.

Beim Ozon dagegen konnte eine Zunahme des Jahresmittels mit zunehmender Höhe und zunehmendem Abstand von den Schadstoffquellen festgestellt werden *(Abbildung 2)*. Die mittlere Ozonbelastung im Gebiet Fläscherberg—St. Luzisteig ist deutlich höher als im Rheintal und entspricht ungefähr den Werten, die in der oberen Hügelzone des schweizerischen Mittellandes festgestellt wurden.

Schwebstaub:

Hohe Staubkonzentrationen (Wochenmittel) wurden nur bei stabilen winterlichen Inversionslagen beobachtet. Im Vergleich mit gleichzeitigen Messungen an zwei Standorten im Kanton Zürich ist die Belastung in der Region St. Luzisteig eher tief *(Abbildung 3)*. Bei winterlichen Inversionslagen können jedoch in den tiefer liegenden Gebieten (unterhalb 600 bis 700 m ü.M.) hohe Konzentrationen der anthropogen emittierten Komponenten auftreten (bis zu 100 $\mu g/m^3$ Gesamtschwebstaub in Mäls).

Die mittlere Konzentration an Gesamtschwebstaub nimmt mit zunehmender Höhe über Talgrund ab *(Abbildung 3)*. In der Stoffzusammensetzung sind nur geringe Unterschiede zwischen den Standorten festzustellen. Eine Anreicherung an partikelförmigen Schadstoffen unmittelbar unterhalb der Inversionsgrenze ist zwar zu erwarten, kann aber mit den vorliegenden Messungen nicht festgestellt werden, da hierzu das Sammelintervall (eine Woche) zu lang war.

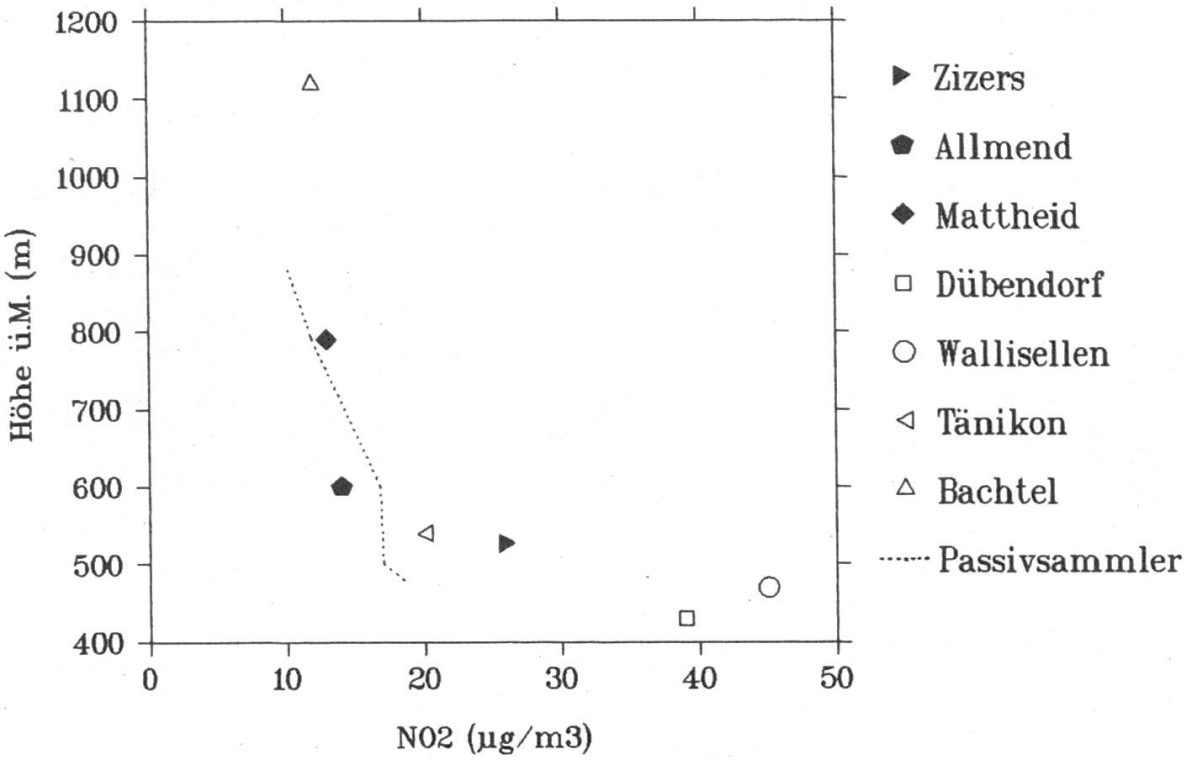


*Abbildung 1.* Höhenabhängigkeit der $NO_2$-Konzentrationen (Jahresmittelwert 1988) beim Fläscherberg, im Rheintal und im Kanton Zürich (vgl. *Tabelle 1*).

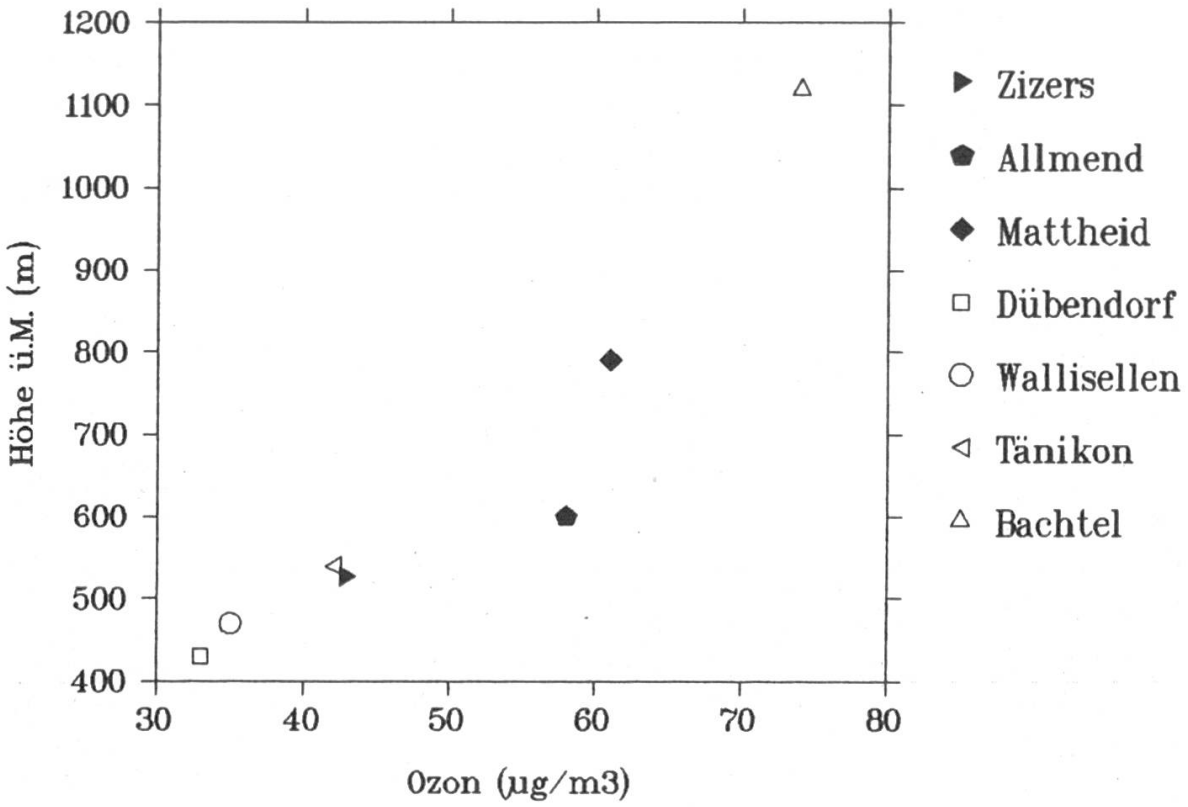


*Abbildung 2:* Höhenabhängigkeit der Ozon-Konzentrationen (Jahresmittelwert 1988) beim Fläscherberg, im Rheintal und im Kanton Zürich (vgl. *Tabelle 1*).

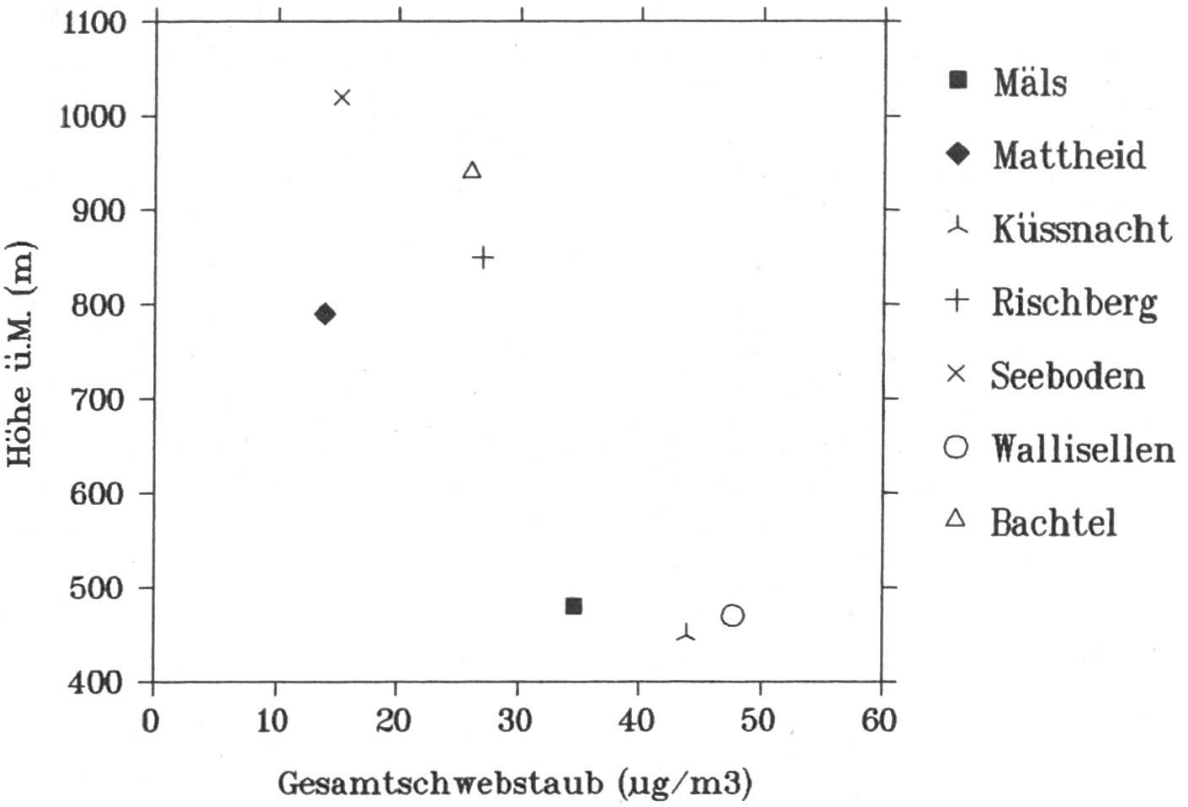


*Abbildung 3.* Höhenabhängigkeit der mittleren Schwebstaub-Konzentrationen von November 1988 bis April 1989 beim Fläscherberg, an der Rigi und im Kanton Zürich (vgl. *Tabelle 1*).

Nassdeposition:

Die Zusammensetzung des Niederschlags im Untersuchungsjahr 1988 weist das Gebiet um den Fläscherberg im Vergleich mit andern Stationen der Schweiz und dem nahen Ausland als wenig belastet aus *(Abbildung 4)*. Sieht man vom Stickstoffeintrag ab (Hertz und *Bucher* 1990), so sind die nassen Stoffeinträge kaum eine gravierende Belastung für die Waldbestände. Einzelne Niederschlagsereignisse müssen jedoch aufgrund ihres hohen Säureeintrages als Stressfaktoren betrachtet werden.

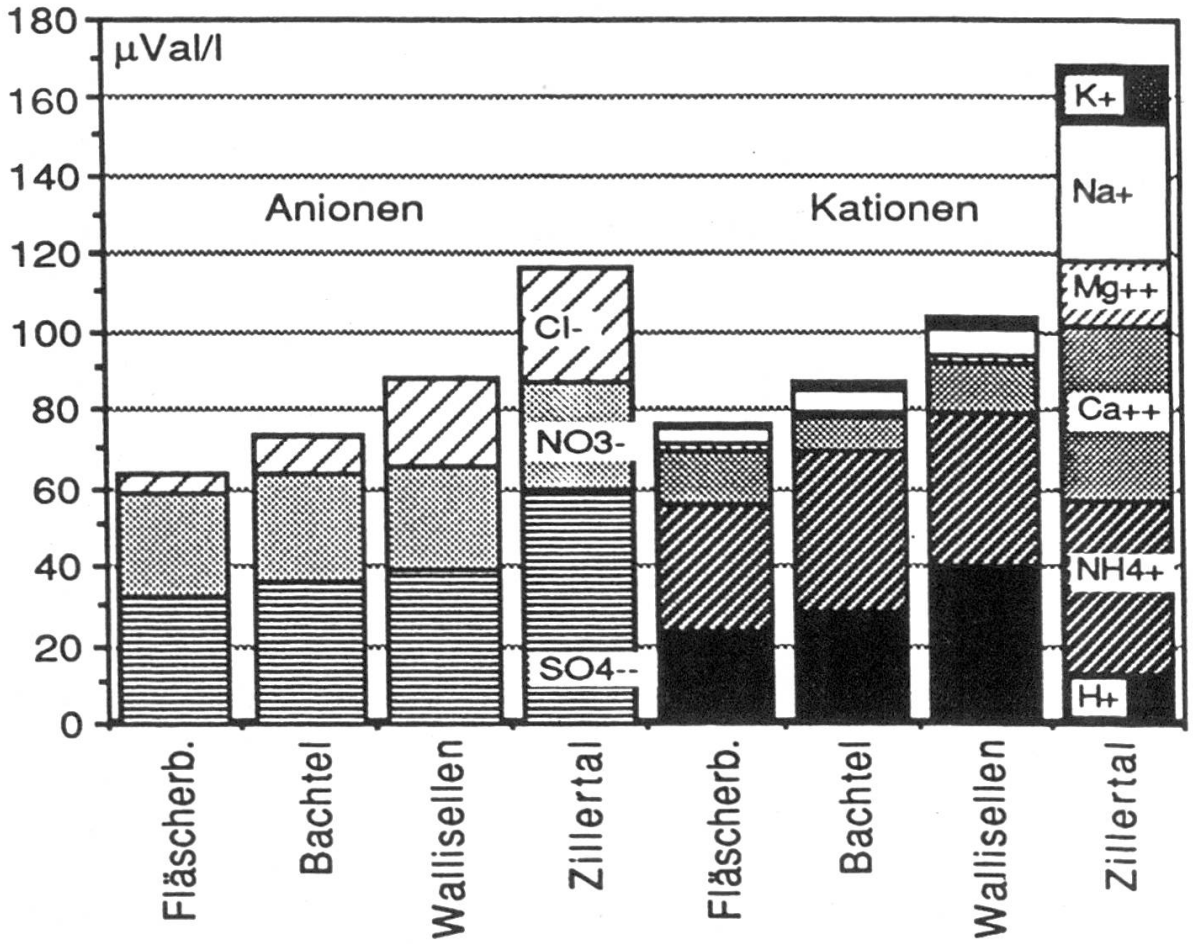


*Abbildung 4.* Vergleich der ionalen Zusammensetzung im frachtgewichteten Jahresmittel im Jahr 1988 an den Stationen Mattheid, Wallisellen und Bachtel (vgl. *Tabelle 1*) sowie für den Zeitraum 1984 bis 1987 im Zillertal in Österreich (Station Ramsau, 600 m ü.M., Bulksammler, *Smidt* 1989).

### *3.2 Nebelvorkommen und Lage der Nebelobergrenze*

Die Gasimmissionsmessungen zeigen, dass im Bereich der Nebelobergrenze (bzw. der Inversionsgrenze) erhöhte Schadstoffkonzentrationen auftreten können. Zu den Schadstoffgehalten in Aerosolen und im Nebel bei der St. Luzisteig ist nur wenig bekannt, da fast keine entsprechenden Messungen

gemacht wurden. Zwei Nebelmessungen am Fläscherberg vom 7. November 1987 ergaben eine Ammoniumkonzentration von 49 und 37 ppm (das heisst etwa das Hundertfache der mittleren Belastung des Regens) bei einem pH von 4,5 und 5,3 (Messungen von P. Bucher, unpublizierte Daten). Am Standort Lägeren wurden ähnliche Werte gemessen *(Programmleitung NFP14+* 1988). Diese Nebeluntersuchungen machen deutlich, dass auch in ländlichen Gebieten in der Schweiz mit hohen Schadstoffkonzentrationen im Nebel zu rechnen ist.

Die grosse Nebelhäufigkeit im Zeitraum von Oktober bis Dezember 1986 (Daten der SMA, vom Säntis aus beobachtet) im Höhenbereich um 600 m ü.M. ist die einzige deutliche Anomalie im Witterungsverlauf vor dem Auftreten der Schäden im Winter und Frühjahr 1987 *(Abbildung 5)*. Im ersten Viertel des Jahres 1989 war die Nebelhäufigkeit in ähnlicher Höhenlage (700 m ü.M.) noch grösser. Auch in den letzten drei Monaten des Jahres 1987 traten in der Höhe um 800 m ü.M. häufig Nebel auf. Tiefliegende Nebelobergrenzen kommen also hin und wieder vor. Allerdings wurde eine Häufung besonders tiefliegender Nebelobergrenzen bei 600 m ü.M., im selben Höhenbereich also, in dem später die Nadelverrötungen auftraten, nur zwischen Oktober und Dezember 1986 beobachtet, im Vorfeld der besonderen Waldschäden des Winters 1986/87. Daher wäre es möglich, dass in diesem Zeitraum für den Wald im Bereich des Schadengürtels – verursacht durch häufiges Auftreten belastender Einflüsse im Bereich der Nebelobergrenze – eine Prädisposition für die Frostanfälligkeit im Januar entstand.

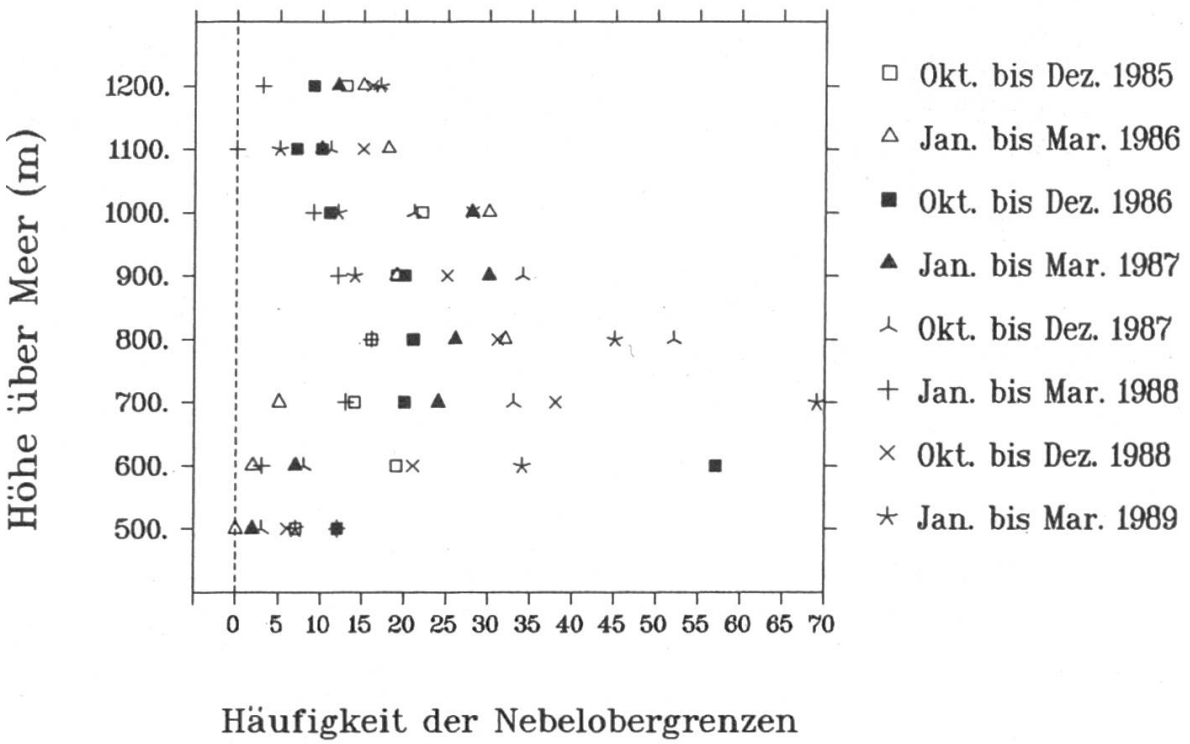


*Abbildung 5.* Häufigkeit der Nebelobergrenze in den Winterhalbjahren 1986/87, 1987/88 und 1988/89 (Daten der SMA-Station Säntis, sieben Augenbeobachtungen pro Tag).

### *3.3 Frosthärte der Weisstannen*

Die Tannen der mittleren Fläche (640 m ü.M.), die in jenem Gebiet liegen, das im Winter 1987 stark von den Frostschäden betroffen war, wiesen in beiden Untersuchungsjahren die stärksten Verlichtungen auf. Diese sind wahrscheinlich eine direkte Folge des Schadenereignisses des Winters 1986/87. Aufgrund der Messungen der Jahrestrieblängen der Gipfeltriebe ist zu vermuten, dass die Tannen der mittleren Fläche bereits vor 1987 eine verminderte Vitalität aufwiesen.

Einflüsse von Bodeneigenschaften und Ernährungssituation können aufgrund unserer Untersuchungen weitgehend ausgeschlossen werden. Die Nadelgehalte deuten nicht auf eine Stickstoffüberversorgung der Bäume hin. Trotzdem muss mit hohen Stickstoffeinträgen in die Bestände (jährlich bis zu 80 kg N/ha) gerechnet werden (Hertz und Bucher 1990).

Die Untersuchungen zur Frostresistenz der Tannen ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bäumen der drei Beobachtungsflächen. Sowohl der Winter 1987/88 als auch derjenige 1988/89 zeichneten sich durch ausserordentliche Wärmeüberschüsse aus *(Abbildung 6)*. Es ist daher bemerkenswert, dass die untersuchten Tannen und Fichten trotz der milden Witterung relativ hohe Frostresistenzen aufwiesen. Im Winter 1987/88 erreichten sie im Januar eine durchschnittliche Frostresistenz von etwa −27 °C (Temperatur, bei der am jüngsten Nadeljahrgang noch keine oder höchstens ganz geringe Verfärbungen an den Nadeln festgestellt wurden), obwohl die mittleren Temperaturen in den Tagen vor der Probenahme kaum unter dem Gefrierpunkt lagen *(Abbildung 6)*. Im Winter 1988/89 war die durchschnittliche Frostresistenz der Tannen etwas geringer als im Vorjahr (−22 °C).

Der Temperaturverlauf vor dem Frostereignis im Winter 1986/87 (November–Januar) war etwa gleich wie in der Untersuchungsperiode 1987/88 *(Abbildung 6)*. Die Frosthärte hätte demnach, zieht man allein den Temperaturverlauf in Betracht, im Januar 1987 etwa gleich hoch sein müssen wie im Folgewinter. An Bäumen mit einer solchen Frosthärtung wären nach dem Temperatursturz Mitte Januar 1987 kaum Frostschäden zu erwarten gewesen, zumal im Frosthärtetest die Zweige nicht einem allmählichen Temperaturabfall, sondern einem plötzlichen Kälteschock ausgesetzt worden sind. Die gegenüber dem Winter 1987/88 signifikant geringere Frosthärte der Tannen im Winter 1988/89 lässt sich aufgrund des Temperaturverlaufs des Jahres 1988 nicht erklären, denn im Vorwinter 1987/88 waren die Temperaturen eher höher. Möglicherweise reagieren die Bäume auch auf eine längerfristige Erwärmung (zwei sehr warme Winter hintereinander) mit einer Verringerung der Frosthärte. Auch eine gegenüber dem Vorjahr erhöhte Immissionsbelastung (Photooxidantien, schadstoffbelastete Nebel) im Jahre 1988 könnte die Frosthärte im Winter 1988/89 beeinträchtigt haben. Konkrete Hinweise dafür liegen aber keine vor.

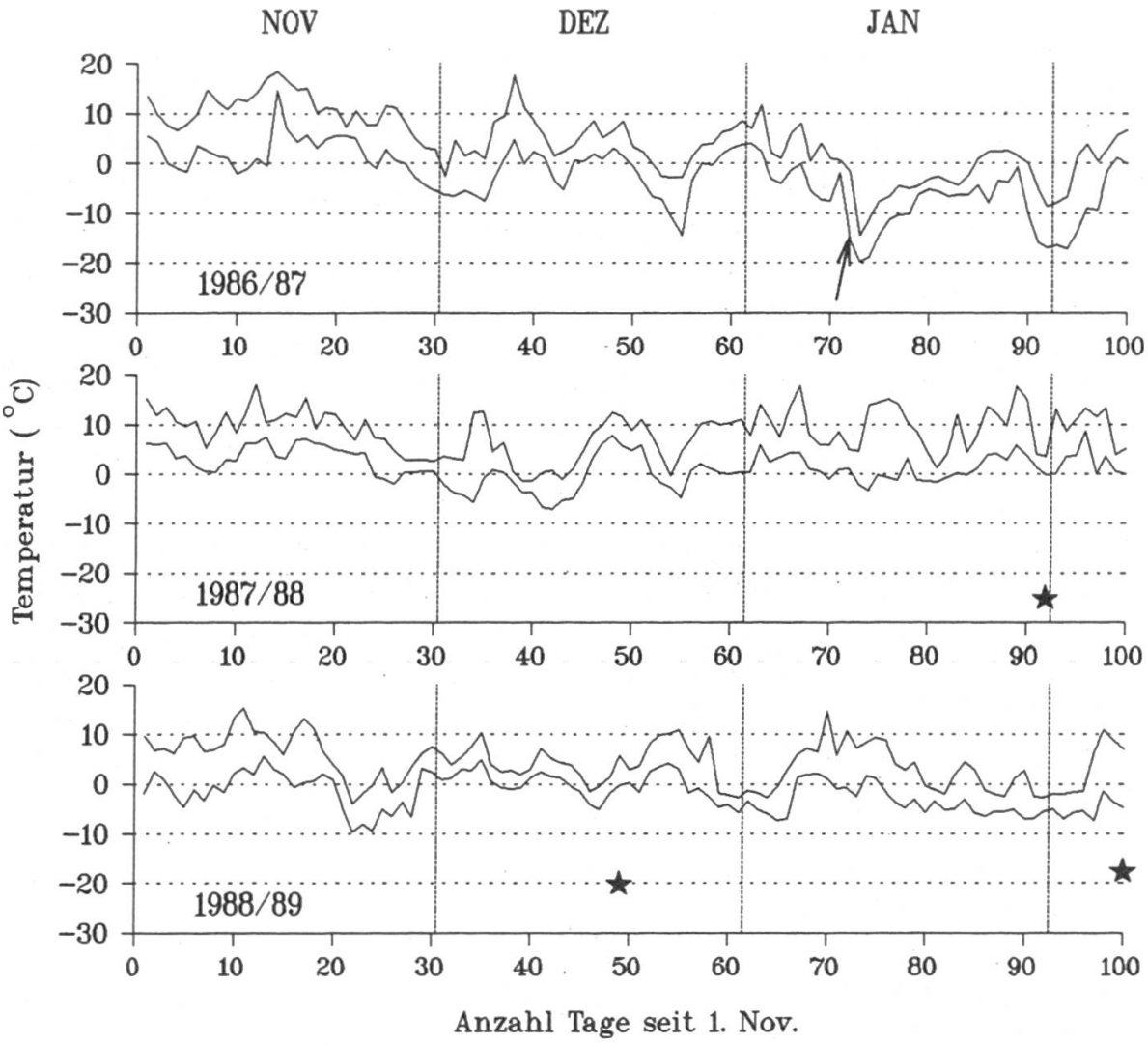


*Abbildung 6.* Temperaturverlauf (Tagesminima und -maxima) von November bis Januar an der SMA-Station Vaduz (460 m ü.M.) in den Wintern 1986/87, 1987/88 und 1988/89. Der Pfeil im Januar 1987 markiert den Temperatursturz vom 11. Januar. Mit einem Stern ist jeweils die Temperatur gekennzeichnet, bei der im Frosthärtetest an der empfindlichsten Tanne 25% der Nadelmasse geschädigt waren (n = 24).

## 4. Schlussfolgerungen

Die beiden Beobachtungsperioden waren für unsere Untersuchungen eher ungeeignet, da sie gegenüber der Norm viel zu warm waren. Für die Interpretation der Frosthärteuntersuchungen in Zusammenhang mit den Schäden des Winters 1986/87 war es jedoch vorteilhaft, dass der Temperaturverlauf von Ende Oktober bis Anfang Januar in beiden Beobachtungsperioden ähnlich war wie in jenem Winter *(Abbildung 6)*.

Die durchschnittliche Immissionsbelastung der Region St. Luzisteig–Fläscherberg ist zwar im Vergleich zu andern Standorten in Europa gering,

jedoch nicht viel kleiner (in bezug auf Photooxidantien sogar grösser) als in ländlichen Gebieten des Kantons Zürich *(Abbildungen 1* bis *4)*.

Die Belastung mit Nicht-Photooxidantien (Gasimmissionen und Depositionen) nimmt allgemein mit zunehmender Höhe über Talgrund ab *(Abbildungen 1* und *3)*, diejenige mit Photooxidantien (Leitsubstanz Ozon) dagegen wird mit zunehmender Höhe grösser *(Abbildung 2)*. Eine erhöhte Durchschnittsbelastung (Wochenmittel, Monatsmittel, Jahresmittel) im Höhenbereich der Schäden des Winters 1986/87 ist nicht zu beobachten.

Langzeitbelastung mit Immissionen kann daher nicht direkt zur Erklärung der Schäden herangezogen werden. Sie kann jedoch die Vitalität der Bäume beeinträchtigen und damit das Risiko für das Auftreten von Frostschäden erhöhen (allgemeine Waldschadensproblematik, vgl. *Moosmayer* 1988, *Flückiger* und *Braun* 1989, *Pfister et al.* 1988).

Die einzigen uns bekannten Faktoren, die das begrenzte Vorkommen der Schäden in der Region Fläscherberg—St. Luzisteig im Höhenbereich zwischen 550 und 700 m ü.M. verursacht haben könnten, sind solche, die im Bereich der Nebelobergrenze (bzw. Inversionsgrenze) wirksam sind: kurzzeitige Spitzenbelastungen mit luftgetragenen Schadstoffen, starke Schwankungen von Temperatur, Feuchte und Strahlung, immissives Wechselbad zwischen Photooxidantien oberhalb und primären Luftschadstoffen ($SO_2$, $NO_x$ usw.) unterhalb der Nebelobergrenze, Anreicherung von Schadstoffen auf Pflanzenoberflächen durch Verdunstungs- und Schmelzvorgänge (vgl. Diskussion der Literatur in Förderer *et al.* 1988).

Als prädisponierender Faktor muss deshalb besonders die Häufung von Inversionslagen mit Obergrenzen im Bereich von 600 m im letzten Viertel des Jahres 1986 in Betracht gezogen werden *(Abbildung 5)*.

Auslösende Faktoren der Schäden des Winters 1986/87 waren wahrscheinlich der Temperatursturz vom 11. Januar und die tiefen Temperaturen danach *(Abbildung 6)*.

Wir sind der Meinung, dass weder Witterung noch Schadstoffbelastung für sich allein als Ursache der Schäden des Winters 1986/87 in der Region St. Luzisteig—Fläscherberg (und vermutlich auch in den andern Schadengebieten der Zentral- und Ostschweiz) in Betracht kommen. Sie müssen eher als Folge eines komplexen Zusammenwirkens von witterungs-, immissions- und standortsbedingten Faktoren gesehen werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen zwar nicht im Widerspruch zu den Schlüssen der WSL (Schlaepfer 1988), sie modifizieren diese aber dahingehend, dass den prädisponierenden Faktoren ein grösseres Gewicht zugemessen wird.

## 5. Bemerkungen im Hinblick auf künftige Forschungsprojekte

Die folgenden Bemerkungen sind unter anderem das Ergebnis von Erfahrungen, die im hier beschriebenen Projekt und im Waldprojekt des Kantons Zürich (vgl. Förderer und *Keller* 1989) gemacht wurden. Sie basieren zur Hauptsache auf Ideen von Hertz (1990, unpublizierter Bericht).

- Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Schadstoffbelastung und der Vitalität der Bäume konnte bisher weder in Laborexperimenten noch in Forschungsprojekten mit ökosystemarem Ansatz mit genügender Sicherheit beantwortet werden. Unseres Erachtens wäre es realistischer und erfolgsversprechender, nach dem Risiko zu fragen, das von der anthropogen bedingten Immission ausgeht (Konzept der «critical loads» und «critical levels»).
- Bei interdisziplinären Projekten sollte der Projektrahmen nicht zu weit gesteckt werden, da sonst die Gefahr besteht, dass der inhaltliche Zusammenhang zwischen den Teilprojekten verloren geht. Die Breite der Thematik muss so eingeschränkt werden, dass die Fragestellung des Projekts durch die beteiligten Institute gemeinsam bearbeitet werden kann.
- Die Beurteilung von Veränderungen in Ökosystemen kann nur auf der Basis ihrer natürlichen (zeitlichen und räumlichen) Variabilität vorgenommen werden. Die zeitliche und räumliche Auflösung und Ausdehnung der Messungen muss mit der natürlichen Variabilität übereinstimmen. Langzeituntersuchungen über mehrere Jahre (bei Waldökosystemen sogar Jahrzehnte) sind notwendig, da nur so tatsächliche Veränderungen erkannt und beurteilt werden können. Der Umstand, dass nach zwei kurzen Untersuchungsperioden nur wenige schlüssige Resultate vorliegen, sollte nicht Anlass zu Resignation, sondern Ansporn zu längerfristigen Programmen sein.
- Das Ökosystem Wald ist einer Vielzahl von Einflussfaktoren ausgesetzt. Die Forschung darf sich deshalb nicht einseitig auf die Immissionen ausrichten, sondern muss alle Risikofaktoren erfassen und ihre Bedeutung gegeneinander abwägen.
- Bei der Evaluation von ursächlichen Zusammenhängen zwischen bestimmten Schadenereignissen und möglichen Einflussfaktoren sollten immer auch Vergleichsflächen einbezogen werden, die *keine* entsprechenden Schäden aufweisen.

## Résumé

### Recherches sur le rougissement des aiguilles de l'hiver 1986/87 au Fläschenberg (St. Luzisteig)

Au cours de l'hiver 1986/87 d'importants cas de rougissement des aiguilles ont été constatés à plusieurs endroits de Suisse centrale et orientale. Les Grisons, l'un des cantons fortement touchés par les dégâts, ont décidé de financer leurs propres recherches auxquelles des spécialistes de plusieurs disciplines ont participé. La présente publication résume les résultats les plus importants de ces recherches menées pendant deux ans.

Traduction: *F. Schnider*


*Literatur*


*Bucher, P.* und *Hertz, J.* (1989): Die Bedeutung der sauren Niederschläge für den Wald im Kanton Zürich. Schweiz. Z. Forstwes. *140* (6), 511–521.

*BUWAL* (1989): Luftbelastung 1988. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Schriftenreihe Umweltschutz, *105,* 50 Seiten.

*Flückiger, W., Braun, S.* (1989): Waldschadensbericht, Untersuchungen in Buchenbeobachtungsflächen 1984–1989. Im Auftrag der Kantone AG, BL, BS, BE, SO, ZG und ZH, 59 Seiten.

*Förderer, L., Keller, L.* (1989): Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen im Wald des Kantons Zürich: Einführung in das Projekt. Schweiz. Z. Forstwes. *140* (6), 464–474.

*Förderer, L., Thudium, J. et al.* (1988): Vorbereitende Studie für ein Untersuchungsprogramm zu den Waldschäden des Frühjahrs 1987 in der Region St. Luzisteig, ökoscience-Bericht im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Graubünden.

*Förderer, L., Thudium, J., Fehr, R. et al.* (1989): Die Waldschäden des Winters 1986/87 in der Region St. Luzisteig: Vorbereitende Studie zu einem Untersuchungsprogramm. Bündner Wald, *42* (5), 42–52.

*Förderer, L., Thudium, J. et al.* (1990): Untersuchungen zu den Waldschäden des Winters 1986/87 am Fläscherberg (St. Luzisteig). Bündner Wald, *43* (6) (in Vorbereitung).

*Hertz, J., Bucher, P.* (1990): Abschätzung der totalen Stickstoff- und Protoneneinträge in ausgewählte Ökosysteme in der Schweiz. In: VDI-Kolloquium: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden, 15./17. Mai, Lindau (in Vorbereitung).

*Hertz, J., Bucher, P., Furrer, G., Keller, L., Daniel, O., Thöni, L.* (1988): Chemische Untersuchungen der atmosphärischen Deposition (diskutiert anhand von Messungen im Kanton Zürich). Chimia *42* (2), 57–67.

*Huber, R., Knecht, M.* (1990): Untersuchungen zu den Waldschäden in der Region St. Luzisteig. Ambio-Bericht im Auftrag des Forstinspektorats des Kantons Graubünden.

*Kandler, O. et al.* (1979): Frostresistenz der Fichte: 1. Steuerung von Kälteresistenz, Kohlenhydrat- und Proteinstoffwechsel durch Photoperiode und Temperatur. Ber. Dtsch. Bot. Ges. *92,* 225–241.

*Moosmayer, H.-U.* (1988): Stand der Forschung über das «Waldsterben». Allg. Forstz. *43* (50), 1365–1373.

*Pfister, C., Bütikofer, N., Schuler, A., Volz, R.* (1988): Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Hrsg.: Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, 70 Seiten.

*Pisek, A., Larcher, W., Unterholzner, R.* (1967): Kardinale Temperaturbereiche der Photosynthese und Grenztemperaturen des Lebens der Blätter verschiedener Spermatophyten. Flora *157,* 239–264.

*Programmleitung NFP 14+* (1988): «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz», Die Forschungsschwerpunkte auf den Testflächen an der Lägeren, im Alptal und bei Davos, 59 Seiten.

*Schlaepfer, R.* (Hrsg.) (1988): Verrötungen immergrüner Nadelbäume im Winter 1986/87 in der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. *307,* 90 Seiten.

*Smidt, S.* (1989): Messungen der nassen Freilanddeposition am Höhenprofil «Zillertal». Phyton *29* (3): 85–95.

*Thudium, J. et al.* (1988): Untersuchungen zu den meteorologischen Verhältnissen und zur Luftschadstoff-Belastung im Raum Chur–Vaduz, ökoscience-Bericht im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Graubünden.

*Thudium, J. et al.* (1990): Untersuchungen zu den Waldschäden des Winters 1986/87 am Fläscherberg (St. Luzisteig). Bericht im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Graubünden.

*Thudium, J., Krieg, F., Giger, G.D., Hemmi, M., Göldi-Kunz, B., Mair, E., Schenkel, A.* und *Sommer, H.* (1989): Zur Höhenabhängigkeit von Luftschadstoff-Immissionen. Schweiz. Z. Forstwes. *140* (6), 494–498.