

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 136 (1985)

**Heft:** 9

**Artikel:** Immissionskundliche Untersuchung der Waldschäden im Unterwallis

**Autor:** Landolt, Werner / Scherrer, Hans Ulrich

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-764503>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

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

# Immissionskundliche Untersuchung der Waldschäden im Unterwallis

Von *Werner Landolt, Hans Ulrich Scherrer* Oxf.: 181.45:425.1:(494.44)  
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

## 1. Einleitung

Unter Waldschäden im Wallis versteht man in den meisten Fällen die fluorbedingten Schäden im Mittelwallis zwischen Martigny und Brig. Diese Schäden, die in der Hauptsache bis in die 40er Jahre zurückverfolgt werden können, wurden von *H. Flühler* und Mitarbeitern in den Jahren 1977 bis 1982 eingehend untersucht und die Resultate in mehreren Publikationen veröffentlicht (1, 2). Dies sind jedoch nicht die einzigen Waldschäden in diesem Kanton.

Im Laufe der Walliser Untersuchungen stellte der örtliche Forstdienst vermehrt Waldschäden im Unterwallis fest und gelangte mit der Bitte an die EAFV, auch diese Schäden in die weiteren Untersuchungen miteinzubeziehen. Betroffen waren vor allem die Weisstanne und, in etwas geringerem Ausmasse, auch die Fichte am linksseitigen Talhang zwischen Genfersee und Martigny in einer Höhe zwischen etwa 750 und 1300 m ü.M. Darunter waren auch Laubhölzer, vornehmlich Linde und Buche, geschädigt. Bei den letzteren besteht aber der begründete Verdacht, dass die Schädigungen auf die wiederkehrende sommerliche Trockenheit zurückzuführen sind, weshalb sie in dieser Untersuchung ausgeklammert worden sind.

Da in dieser Region 1965 das thermische Kraftwerk Chavalon (300 MW) in Betrieb genommen wurde und die Schäden zu Beginn der 70er Jahre auftraten, wurde ein Zusammenhang zwischen den Emissionen dieses Werkes und den Schäden vermutet. Chavalon, das einzige thermische Kraftwerk der Schweiz, wurde als Grundlastwerk konzipiert und aufgrund von lufthygienischen Überlegungen auf einer Anhöhe oberhalb Vouvry, 450 m über der Talsohle, erbaut. Es ist hauptsächlich im Winterhalbjahr in Betrieb und wird mit Schweröl aus der Raffinerie bei Collombey gespiesen.

Das thermische Kraftwerk Chavalon ist aber nicht der einzige namhafte Emittent in diesem Talabschnitt. Neben der bereits erwähnten Raffinerie sind vor allem eine Kehrichtverbrennungsanlage und eine chemische Fabrik bei



Monthey sowie eine Zementfabrik in der Nähe von St. Maurice zu nennen. In Roche gibt es zudem eine weitere Zementfabrik und eine Anlage zur Verbrennung von Klärschlamm. Dazu kommen die Abgase der verschiedenen Kleinbetriebe und der Haushalte und nicht zuletzt jene des Verkehrs. Bei dieser gegebenen Immissionssituation könnte sich auch die Topographie des Unterwallis als schadenverstärkender Faktor erweisen, indem sie zu einer Kanalisierung der verschiedenen Schadstoffe führt und damit deren Ausbreitung und Verdünnung behindert.

Die vorliegende Untersuchung wurde in der Zeit zwischen 1982 und 1984 durchgeführt. Ihr liegt die Arbeitshypothese zugrunde, wonach Immissionseinflüsse, im besonderen die Emissionen aus dem thermischen Kraftwerk Chavalon, wesentlich zur Schädigung des Waldes im Unterwallis beigetragen haben. Durch Beobachtungen und Messungen sollte versucht werden, Argumente für oder gegen diese Immissionshypothese zu finden. Im folgenden sollen die einzelnen Ergebnisse dieser Untersuchung vorgestellt werden. Es sind dies Auswertungen von Infrarotluftbildern zur Feststellung von Schadenausmass und Schadenintensität, Beobachtungen der Luftbewegungen mit Zeitrafferaufnahmen sowie Aussagen über die Verbreitung und das Ausmass der regionalen Schadstoffbelastung mit Hilfe von Luft-, Nadel- und Borkenanalysen. Ferner wird auch Bezug auf parallel laufende jahrringanalytische Studien genommen.

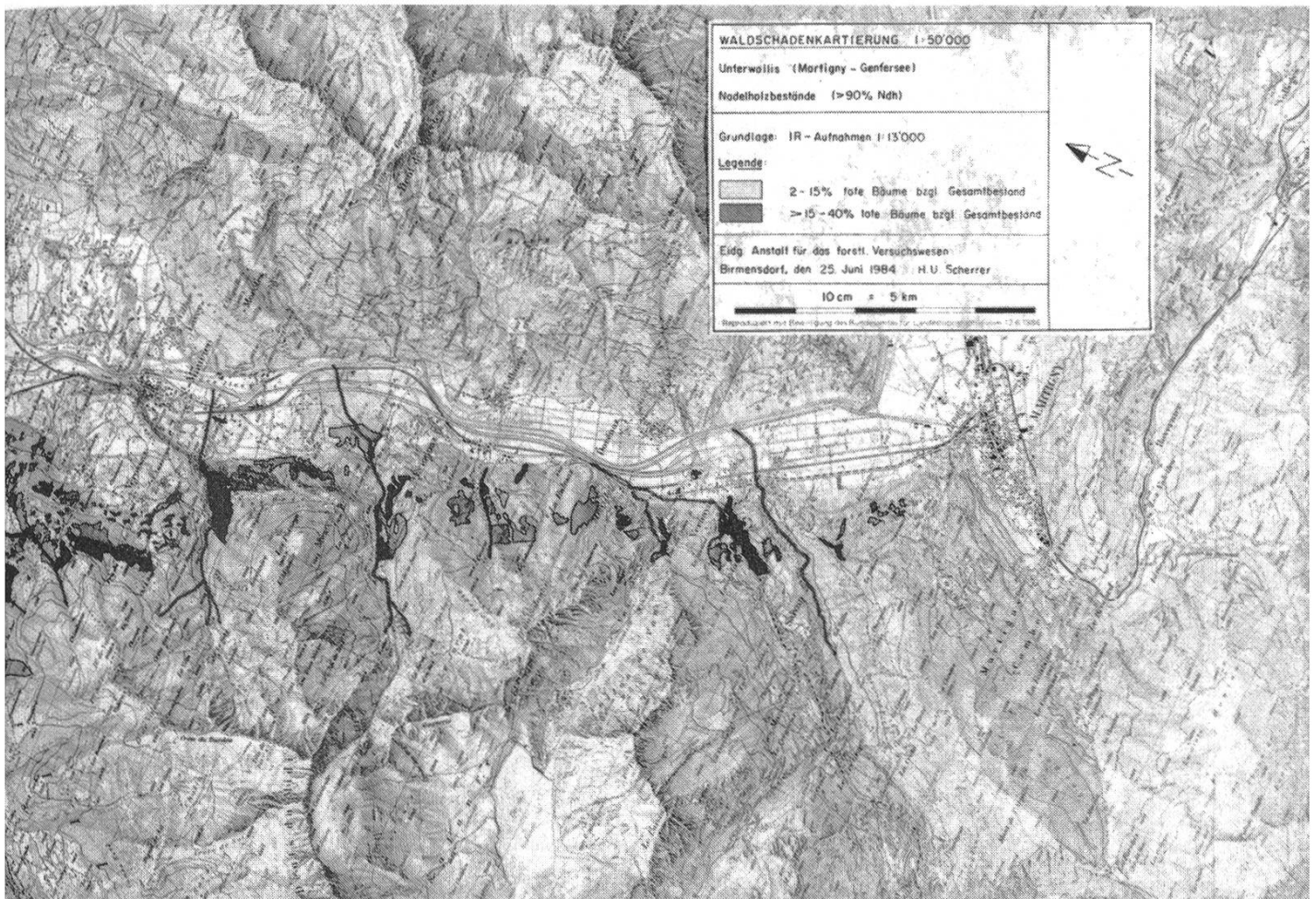


Abbildung 1. Waldschadensituation im Unterwallis, Stand August 1981.

## 2. Untersuchungsergebnisse

### 2.1 Infrarot-Luftbilder

Um sich einen Überblick über das Ausmass und die Verteilung der Waldschäden im Unterwallis zu machen, wurden im August 1981 Infrarot-Luftbilder im Massstab 1:13 000, teilweise auch 1:3000 vom orographisch linksseitigen Talhang zwischen Martigny und dem Genfersee aufgenommen. Bei der Auswertung wurden 3 Schädigungsstufen unterschieden:

- Stufe I: wenig tote Nadelbäume (< 2 %)
- Stufe II: > 2–15 % tote Nadelbäume
- Stufe III: > 15–40 % tote Nadelbäume

Wie die aus diesen Infrarot-Luftbildern abgeleitete Waldschadenkarte zeigt (Abbildung 1), verteilen sich die geschädigten Flächen über das ganze Untersuchungsgebiet. Eine eindeutige Distanzabhängigkeit in bezug auf einzelne Emittenten oder Emittentengruppen ist daraus nicht ersichtlich. Doch lässt sich tendenziell eine Abnahme der Schädigungen im oberen Teil des Unterwallis zwischen Evionnaz und Martigny feststellen.



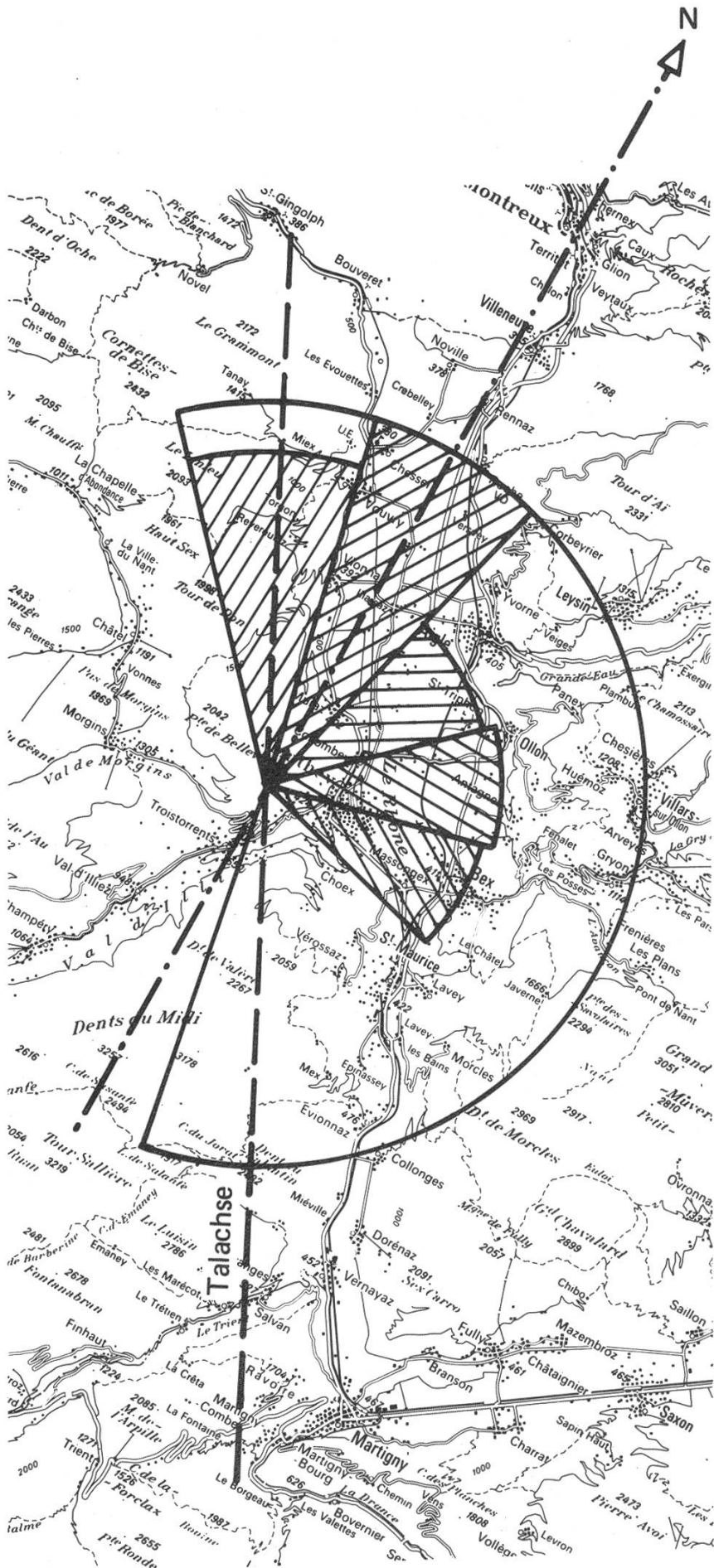
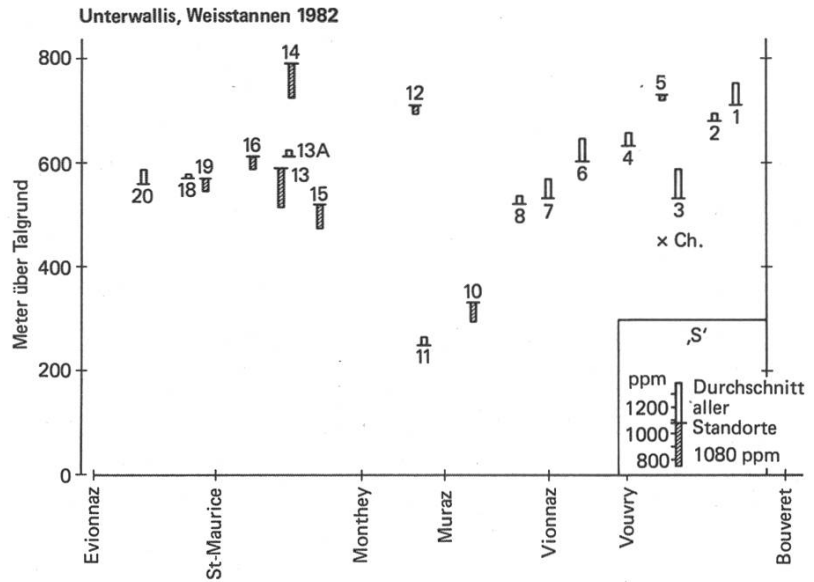


Abbildung 2.  
 Expositionsabhängige  
 Verteilung der flächen-  
 mässig gewichteten Wald-  
 schäden der Schadstufe 3  
 <> 15 bis 40 % tote Bäume.

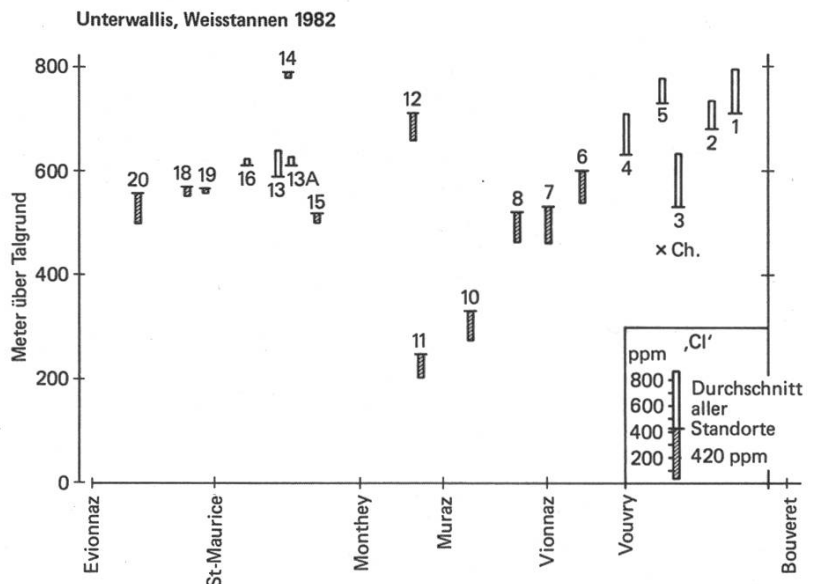
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 12.6.1984.

Abbildung 3.  
Verteilung der Elementgehalte  
einjähriger Weisstannennadeln  
im Unterwallis  
(geerntet Frühjahr 1983).  
Eingetragen sind die Abwei-  
chungen des arithmetischen  
Mittels ( $m = 4$ ) des Standorts  
nach oben oder unten vom  
Durchschnitt aller Standorte.

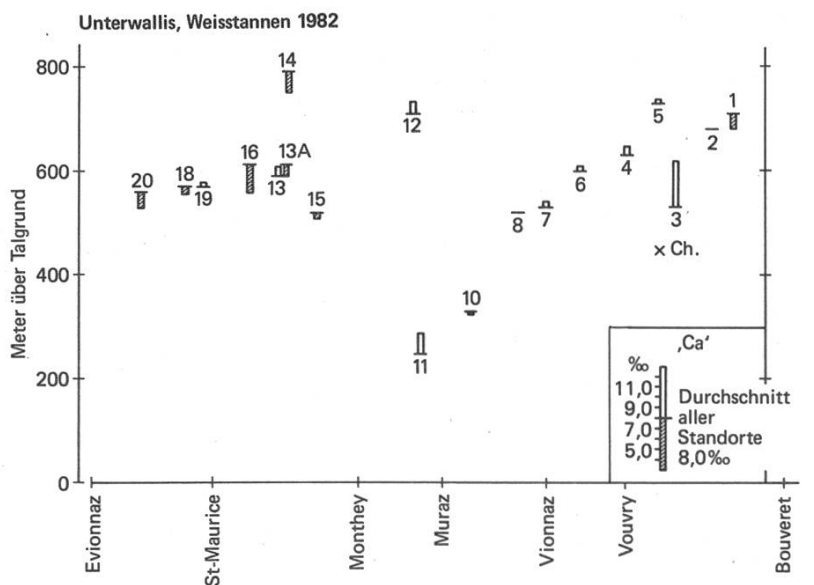
a) Schwefelgehalt



b) Chloridgehalt



c) Calciumgehalt



Interessant ist die Lage der geschädigten Flächen. So weisen jene Flächen die stärksten Schädigungen (Stufe III) auf, die hangaufwärts gesehen links von den Wasserläufen liegen. Um diese Richtungsabhängigkeit zu verdeutlichen, wurden die geschädigten Flächen der Stufe III in einem Halbkreis aufgetragen, dessen Durchmesser parallel zur Talachse des Unterwallis verläuft (*Abbildung 2*). Aus dieser Darstellung geht ebenfalls hervor, dass jene Flächen die grössten Schädigungen tragen, die in Richtung Genfersee exponiert sind, gefolgt von jenen, die parallel zur Talachse liegen. Praktisch nicht in der Schadstufe III vertreten sind die talaufwärts in Richtung Martigny exponierten Flächen.

Bei einer zufälligen Streuung der geschädigten Flächen würde man eine gleichmässigeren Verteilung der Expositionen geschädigter Flächen über den ganzen Halbkreis erwarten.

## 2.2 Luftqualitätsanalysen

### 2.2.1 Nadelanalysen

Bereits in einer früheren Untersuchung über die Immissionssituation im Wallis mit Hilfe von Föhrennadelanalysen wurde von Flühler *et al.* festgestellt, dass die Bäume des Unterwallis gegenüber jenen des Mittelwallis erhöhte Schwefel- und Chlorid-Werte in den Nadeln aufweisen, währenddem sie bezüglich der Fluorgehalte unter dem Durchschnitt liegen (2). Auch aufgrund des Schwefelemissionskatasters von 1975 gehört das Unterwallis bezüglich dieser Luftverunreinigungs-komponente zu den am stärksten belasteten Gebieten in der Schweiz (3).

Um eine gegenüber der bisherigen Untersuchung bessere regionale Auflösung der Belastungssituation zu erhalten, wurden an insgesamt 18 Standorten einjährige Nadeln von je vier Weisstannen analysiert. Als Immissionsleitkomponenten dienten Schwefel und Chlor, während einige weitere Elemente noch zusätzlich zur Beurteilung des Ernährungszustandes der Bäume erfasst wurden.

Während diese Analysen mit Ausnahme eines etwas schwächeren Kaliumgehaltes keine Hinweise auf einen Nährstoffmangel als mögliche Schädigungsursache ergaben (*Tabelle 1*), führten die Immissionsleitkomponenten und der

*Tabelle 1.* Nadelanalysen (1jährig) von Tannen in der Region Monthey.

	Total	Gesund	Krank
S (ppm)	1080 ± 215	1130 ± 161	1100 ± 177
Cl (ppm)	423 ± 277	396 ± 252	424 ± 233
Ca (‰)	8,2 ± 2,3	8,0 ± 1,9	8,2 ± 2,1
Mg (‰)	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,3
K (‰)	4,4 ± 1,3	4,8 ± 1,0	4,0 ± 1,0
P (‰)	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,0 ± 0,2

Total:                    Durchschnittswerte von 20 Standorten

Gesund/Krank:        Je 2 Tannen pro Standort

Calcium-Gehalt in den Nadeln zu einem interessanten Befund. Die Resultate sind in *Abbildung 3a–c* wiedergegeben. Die Balken an den jeweiligen Standorten geben die Abweichungen vom Durchschnittswert aller Standorte nach oben oder unten wieder. Dabei fällt auf, dass um das thermische Kraftwerk Chavalon (CH) herum die Bäume der meisten Standorte einen gegenüber dem Durchschnitt erhöhten Schwefel-Gehalt aufweisen. Gleich verhalten sich auch die Chlorid- und, lokal begrenzter, die Calcium-Werte. Es ist offensichtlich, dass dieser Befund etwas mit den Emissionen des thermischen Kraftwerks zu tun haben muss, nämlich mit den Rauchgasen aus dem Hochkamin und dem Dampf aus den Kühltürmen. Die ersteren enthalten als hauptsächliche Luftverunreinigungs-komponenten gasförmiges Schwefeldioxid und Stickoxide, neben etwas Chloriden oder Chlorwasserstoff. Nach Angaben des Werkes entfallen etwa 80 bis 90 % der emittierten Chlorverbindungen auf diese Rauchgase, der Rest auf die Dampf Wolken der Kühltürme, deren Wasser trotz einer Vorreinigung noch Spuren von Chloriden enthält und zur Verhinderung eines Algen- und Flechtenbesatzes noch mehrmals wöchentlich chloriert wird. Das gefundene Calcium dürfte ebenfalls aus diesem Kühlwasser stammen. Da nur etwa 1 % des Kühlwassers die Kühltürme gasförmig verlässt, sollte die Ausbreitung der Calcium-Ionen aufgrund der früheren Sedimentation der Tröpfchen etwas geringer ausfallen als dies bei den gasförmigen Stoffen aus dem Hochkamin der Fall ist. Wie *Abbildung 3a–c* zeigt, wird diese Vermutung durch die Resultate der Nadelanalysen gestützt.

Pflanzenschädigungen durch sedimentierende Salzverbindungen sind in der Umgebung von älteren Kühltürmen schon beobachtet worden (4). Ein Vergleich mit den hier festgestellten Ausbreitungen der Dampffahnen und der Waldschadenkarte (*Abbildung 1*) zeigt aber, dass die Schäden ein sehr viel grösseres Gebiet umfassen und auch nicht mit den gasförmigen Emissionen aus dem Hochkamin zur Deckung gebracht werden können.

### 2.2.2 Liesegang-Filter

Da die Nadelanalysen Aussagen über die Luftqualität mit einer zeitlichen Auflösung zwischen einem halben und einem ganzen Jahr erlauben, müssen für kürzere Messintervalle andere Methoden herangezogen werden. Als wertvolles Hilfsmittel zur Charakterisierung von Luftverunreinigungssituationen im regionalen Massstab haben sich die Liesegang-Filter insbesondere dort erwiesen, wo der Einsatz teurer Luftmessgeräte aus Kosten- und Energiegründen nicht möglich ist. Diese Filter besitzen eine zeitliche Auflösung von etwa 14 Tagen. Ursprünglich wurden sie für die Messung von Schwefeldioxid in der Luft verwendet; sie können aber unter Einsatz moderner Analysenmethoden auch zur Feststellung einer Reihe weiterer Immissionskomponenten herangezogen werden (5).

Im Unterwallis wurden die Liesegang-Filter während je 8 Wochen einmal im Vorwinter, ein andermal im Spätsommer exponiert. Die Verteilung der



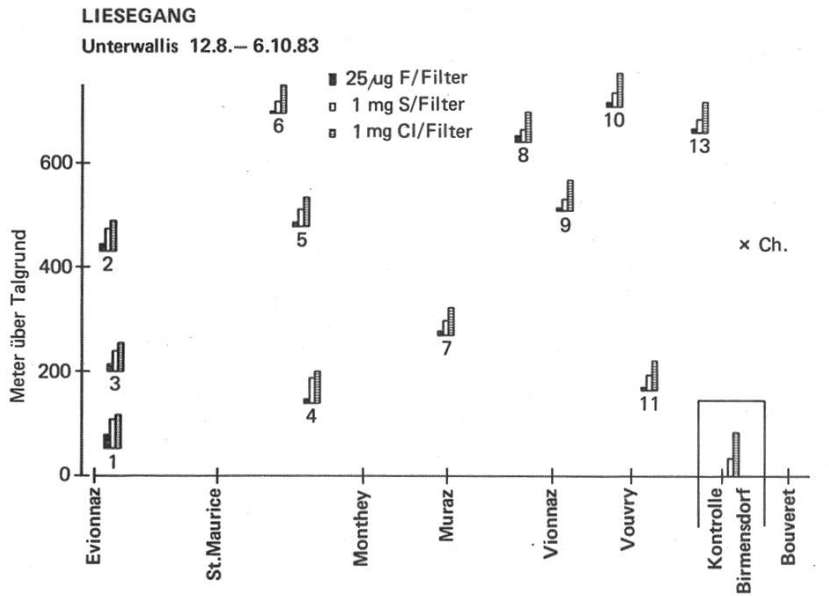
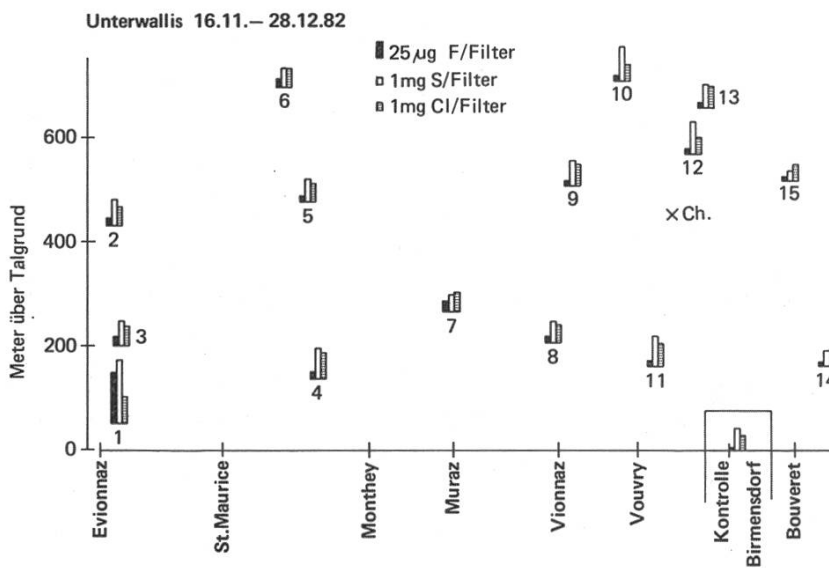


Abbildung 4.  
Relative Verteilung der Immissionsbelastung im Unterwallis, wie sie sich in den Liesegang-Filtern widerspiegelt. Pro Standort Mittelwert aus 4 Filtern, die zeitlich gestaffelt je 14 Tage exponiert waren.

a) (vor-)winterliche Immissionsbelastung



b) (spät-)sommerliche Immissionsbelastung

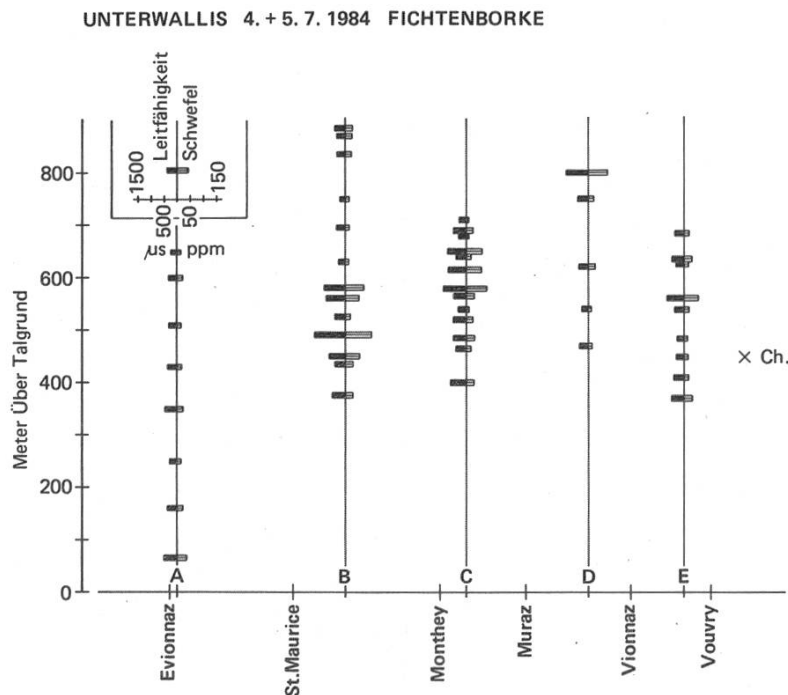


Abbildung 5.  
Verteilung der Leitfähigkeit und des als Sulfat extrahierbaren Schwefelgehaltes von Fichtenborke im Unterwallis. (Angaben bezogen auf ein Borke/Wasser-Verhältnis von 1 : 10).

winterlichen Immissionen, wie sie sich in den Liesegang-Filtern widerspiegeln, ist in *Abbildung 4a* dargestellt. Auch hier macht sich ein leichter Einfluss von Chavalon in den Standorten 9 bis 13 bemerkbar. Den absolut grössten Eintrag an Schwefel und Fluor weist aber der Standort 1 bei Evionnaz (La Rasse) auf. Die Standorte 14 und 15 liegen im Vallon de Novel bei St. Gingolph, also ausserhalb des Untersuchungsgebiets, und sind als Kontrollstandorte anzusehen.

In den (spät-)sommerlichen Liesegang-Filter-Werten fällt im Vergleich mit jenen der Monate November und Dezember ein Rückgang der Schwefel- und ein Anstieg der Chlorid-Werte auf (*Abbildung 4b*). Während die tieferen Schwefel-Gehalte mit dem Fehlen der Heizungsabgase und jenen des Kraftwerks Chavalon erklärt werden können, muss die Frage nach den erhöhten Chlorid-Werten offen gelassen bleiben. Ebenfalls stark gefallen sind die Fluor- und Schwefel-Werte an Standort 1.

Eine eigentliche Inversionszone, in der die gemessenen Immissionskomponenten gefangen sind und demzufolge zu erhöhten Absorptionswerten in den Filtern führen müssten, lässt sich durch diese Daten nicht belegen. Insgesamt ist die sich in diesen Liesegang-Werten abzeichnende Luftbelastung bezüglich  $\text{SO}_2$  ungefähr mit jener in der Umgebung der EAFV auf der Waldegg bei Birmensdorf vergleichbar. Dies geht auch aus direkten  $\text{SO}_2$ -Messungen hervor, die für die Waldegg einen Jahresdurchschnitt von etwa 12 bis 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , für die Region Monthey einen von etwa 12 bis 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ausweisen (6, 7). Damit liegen diese Werte aber noch unterhalb oder im Bereich des Grenzwerts von 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , der ein ausreichender Schutz für die Fichte an allen Standorten gewährleisten soll (8).

### 2.2.3 Borkenanalysen

Als dritte Möglichkeit zur Beurteilung der Luftqualität wurden schliesslich chemische Analysen von Fichtenborke herangezogen. Diese Methode hat sich in Belastungsgebieten zur Abgrenzung von Immissionseinflüssen bewährt (9). Insgesamt wurden 5 verschiedene Höhenprofile zwischen Evionnaz und Vouvy aufgenommen und pro Standort die Borke einer Fichte auf die Leitfähigkeit und den Schwefelgehalt hin untersucht (*Abbildung 5*).

Die Profile zeigen sowohl bei Monthey wie auch bei Vouvy eine ausgesprochene Anreicherungszone zwischen etwa 350 und 750 m über Talgrund, das heisst zwischen 750 und 1150 m ü.M., währenddem diese erhöhten Werte bei Evionnaz und zwischen Muraz und Vionnaz fehlen. Es ist wahrscheinlich, dass sich in diesen lokal begrenzten (Inversions-)Schichten die Emissionen von nahegelegenen Emittenten konzentrieren und sich so in den erhöhten Borkenwerten nachweisen lassen. Ähnlich wie bei den Nadel- und Liesegang-Filteranalysen lässt sich aber auch mit der Borkenanalyse in dieser Region keine weiträumige Verfrachtung von Schadstoffen nachweisen.

### 2.3 Zeitrafferaufnahmen

Gleichzeitig mit der Exposition der Liesegang-Filter im November/Dezember 1982 wurden von einer Anhöhe oberhalb Lavey-les-Bains die Luftbewegungen im Talkessel von Monthey mit einer Zeitrafferkamera verfolgt. Diese Aufnahmen sind als Ergänzung zu den chemischen Luft- und Nadelanalysen gemacht worden und sollten einen zusätzlichen, qualitativen Überblick über die Luftbewegungen im Unterwallis und im speziellen über die Abgasfahnen und deren Verbreitung ermöglichen. Aus naheliegenden Gründen konnte nur bei Tag gefilmt werden.

Das Talwindssystem zeigt den für das Wallis typischen, ausgeprägten Tagesgang. In der ersten Tageshälfte strömen die kühleren Luftmassen aus den Bergen talabwärts in Richtung Genfersee. Am Mittag, wenn die Thermik in den Bergen wirksam wird, kehrt die Windrichtung um und Luft aus dem Genfersee-Becken wird durch das Unterwallis angesogen. Dabei fällt auf, wie diese Luftbewegungen im Tal selten durch die Grosswetterlage beeinflusst werden. So geschieht es öfters, dass in der Höhe eine ausgeprägte Westwindlage vorherrscht, während sich die Luftmassen im Tal quer dazu bewegen. Während der knapp 3 Monate dauernden Exposition der Filmkamera wurde dieses Talwindssystem nur bei Kaltlufteinbrüchen oder bei Föhnlage nachhaltig gestört.

Für das Auftreten immissionsbedingter Pflanzenschädigungen sind besonders die austauscharmen Inversionslagen von grosser Bedeutung. In den sich dabei bildenden Grenzschichten können sich die Schadstoffe in ungünstigen Fällen während Tagen ansammeln und sich so zu Spitzenkonzentrationen anreichern. Wie die Auswertung der Zeitrafferfilme aber gezeigt hat, spielt im Unterwallis auch an solchen Tagen das Berg-/Talwindssystem, was die Gefahr des Auftretens solcher Immissionsspitzen doch etwas vermindert. Zwischen dem 16. November 1982 und dem 29. Januar 1983 waren insgesamt 41 Tage mit Inversionslagen zu verzeichnen, was einer Häufigkeit von 55 % entspricht. An den anderen Tagen fand eine bessere Durchmischung der Luftmassen im Tal statt. Zu einer besonders effizienten Spülung des Kessels von Monthey kommt es dabei durch die Winde aus dem Val d'Illeiz.

Die Inversionsgrenzen liegen in der Höhenstufe zwischen 700 und 1100 m ü.M., was sich gut mit dem Bild aus den Borkenanalysen deckt. In dieser Zone liegen auch die geschädigten Nadelholzbestände. Während die Abgase der grösseren Emittenten im Tal (KVA, Raffinerie, chemische Fabrik) diese Inversionschichten meistens nicht zu durchstossen vermögen, liegt das thermische Kraftwerk sehr oft darüber, oder dessen Rauchgase und Kühlwassernebel vermögen die Grenzschichten noch zu durchdringen (Kaminhöhe auf 950 m ü.M.). Tage, an denen dies nicht mehr möglich ist, waren während der Beobachtungsperiode eher selten.

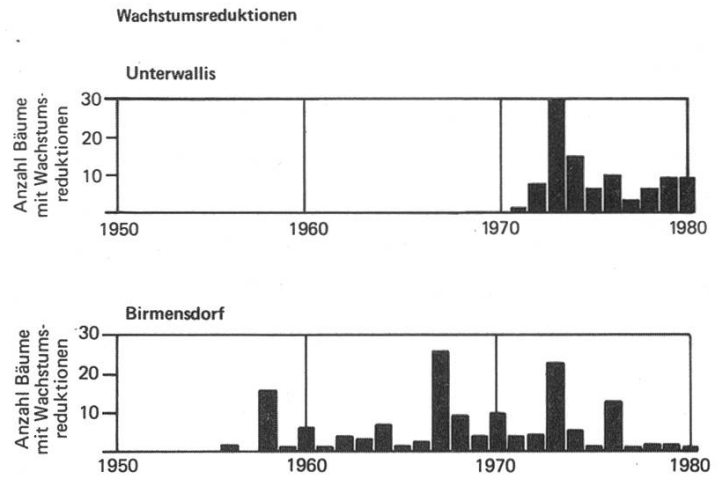
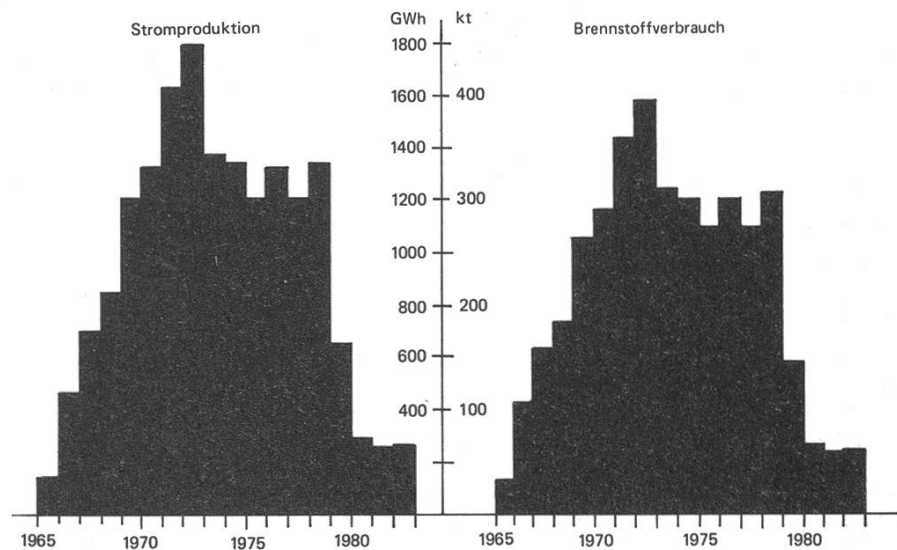


Abbildung 6.  
Jährliche Verteilung der Wachstumsreduktion in den Jahrringen von Weisstannen aus dem Unterwallis und aus der Region Birmensdorf.

Abbildung 7.  
Produktionsleistung und Schwerölverbrauch des thermischen Kraftwerks Chavalon zwischen 1965 und 1983 (13).



## 2.4 Jahrringanalysen von Weisstannen und Fichten

Im Holz von Bäumen ist der Schädigungsbeginn an der abnehmenden Jahrringbreite ersichtlich. Im Falle des Unterwallis zeigt sich die Schädigung mehrheitlich als abrupter Wachstumseinbruch. Bei der Tanne ist 1973 das Hauptschadenjahr (Abbildung 6), bei der Fichte 1972 und 1974 (10, 11). Ab 1977 ist bei einer grossen Zahl der Bäume wieder eine Regeneration feststellbar (10).

Dieser Befund ist insofern interessant, als hier eine scheinbar gute zeitliche Korrelation zwischen dem Auftreten der Schädigungen und dem Schwerölverbrauch und damit den Emissionen des thermischen Kraftwerks Chavalon vorliegt. Nach Abbildung 7 erreichte der Schwerölverbrauch 1973 ein Maximum und ging dann bis 1979 deutlich, ab 1980 sogar sehr stark zurück.

Allerdings darf das Problem der Wachstumseinbrüche der Weisstannen im Unterwallis nicht nur regional gesehen werden. Vielmehr ergeben sich beim Vergleich der geschädigten Bäume aus dem Unterwallis mit solchen aus anderen



Standorten des schweizerischen Mittellandes überraschende Parallelen. So zeigen nebst vielen anderen zum Beispiel auch die Standorte Birmensdorf, Emmental, Seetal und Fricktal den Wachstumsknick bei der Tanne im Jahre 1973. Ferner lassen sich in Birmensdorf ähnliche, ebenfalls gehäuft auftretende Wachstumsreduktionen bereits in den Jahren 1958 und 1967 feststellen (*Abbildung 6*). Inwiefern diese Wachstumsreduktionen in Zusammenhang mit klimatischen Extrem-Ereignissen wie Trockenperioden oder Frost-Ereignisse gebracht werden können, ist zurzeit in Bearbeitung (12).

### 3. Diskussion

Diese Arbeit hatte zum Ziel, in einem immissionsökologischen Ansatz abzuklären, inwiefern Luftverunreinigungen für die Waldschäden im Unterwallis verantwortlich gemacht werden müssen. Im besonderen ging es darum, zu überprüfen, ob ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den Emissionen des thermischen Kraftwerks Chavalon und den Waldschäden besteht.

Für die vorliegende Untersuchung sind in bezug auf die Aussagekraft der Resultate vor allem zwei Randbedingungen von Bedeutung. Zum einen liegt der Schädigungsbeginn bereits über zwölf Jahre zurück, so dass sich in dieser Zeit die Immissionssituation nachhaltig geändert haben kann. So ist damit zu rechnen, dass die Schwefeldioxid-Immissionen durch den Einsatz von schwefelärmeren Brennstoffen oder durch die geringere Energieproduktion von Chavalon zurückgegangen sind, während bei den Stickoxid-Emissionen möglicherweise immer noch eine Zunahme zu verzeichnen ist. Diese Veränderungen der Immissionssituation erschweren eine Beurteilung des damaligen Zustandes aus heutiger Sicht und können zu Fehlschlüssen führen. Zum anderen beschränkte sich diese Arbeit auf Immissionskomponenten, die im Nachhinein durch chemisch-physikalische Analysen nachgewiesen werden können. Dies sind hauptsächlich Schwefeldioxid, Chlor- und Fluor-Verbindungen. Dabei mussten aber so bedeutende Stoffklassen wie die Photooxidantien oder die Kohlenwasserstoffe ausgeklammert werden, was ebenfalls Anlass zu einer teilweisen Fehlbeurteilung der früheren Immissionssituation geben könnte.

Die Lage der geschädigten Waldflächen lässt einen engen Zusammenhang zwischen den Schäden und den in der zweiten Tageshälfte talaufwärts strömenden Luftmassen vermuten. Dabei kommen vor allem zwei Eigenschaften dieser Winde in Betracht: einerseits ihr durch die Erwärmung geringerer Feuchtigkeitsgehalt, der zu einer verstärkten Austrocknung der Bäume führen könnte, andererseits die erhöhte Ozonfracht dieser Luft. Gegen die erste Annahme spricht aber die Beobachtung, wonach die Wachstumseinbrüche bei den Nadelhölzern nicht in ausgesprochenen Trockenjahren erfolgt und trockene und feuchte Standorte von der Schädigung gleichermassen betroffen sind. Ozon als monokausale Schadenursache scheint ebenfalls wenig wahrscheinlich zu sein,

da der plötzliche Schädigungsbeginn zwischen 1972 und 1974 sowie die zunehmende Regeneration der Bäume seit 1977 kaum plausibel mit der Oxidantienbelastung erklärt werden kann.

Die grosse zeitliche Übereinstimmung zwischen dem Schädigungsbeginn und den grössten Aktivitäten des thermischen Kraftwerks Chavalon lässt hier einen Zusammenhang vermuten, der durch die vorliegenden Daten aber in Zweifel gezogen werden muss. Es ist aber heute schwierig abzuschätzen, wie die Verteilung der Emissionen von Chavalon zur Zeit der grössten Energieproduktion dieses Werkes gewesen ist. Der Schadstoffausstoss war 1973 beträchtlich: bei einem Jahresverbrauch von knapp 400 000 t Schweröl mit einem durchschnittlichen Schwefelgehalt von etwa 1,7 % wurden über 13 000 t Schwefeldioxid und etwa 16 t Chlorverbindungen emittiert. Während die letzteren im Vergleich mit den Emissionen der Kehrlichtverbrennungsanlage bei Monthey (durchschnittlich etwa 500 bis 600 t/Jahr eher gering ausfallen, sind die emittierten SO<sub>2</sub>-Mengen nicht zu unterschätzen. Im Gegensatz zum Ausmass und der Verteilung der geschädigten Waldflächen kann eine Immissionsbeeinflussung der Bäume durch das thermische Kraftwerk aber nur in dessen näheren Umgebung einwandfrei belegt werden. Zudem sind auch Flächen geschädigt, die auf der werksabgewandten Seite des Hanges oberhalb von Bouveret liegen und es somit fraglich ist, ob sie von den Emissionen aus Chavalon erreicht werden können. Insgesamt gesehen sprechen die hier dargelegten Befunde eher gegen eine direkte Beteiligung der Emissionen des thermischen Kraftwerks Chavalon an den Waldschäden im Unterwallis.

Die sich in diesen Daten widerspiegelnde Immissionsbelastung ist vielfältig. Sie ist aber nicht von einer Grössenordnung, dass sich daraus eine Schädigung des Waldes zwingend ableiten liesse. Andererseits kann ein kausaler Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren auch nicht ausgeschlossen werden, insbesondere dann nicht, wenn mit einer anderen Form von Immissionseinwirkungen, zum Beispiel saurer Regen, oder aber mit Kombinationswirkungen mehrerer Immissionskomponenten gerechnet werden muss. Letzteres ist insofern von Bedeutung, als die Resultate der einzelnen Untersuchungen auf verschiedene, standörtlich sehr unterschiedliche Immissionsbelastungen hinweisen, die auf mehrere Emittenten zurückzuführen sind. Eine Einschränkung der Zahl der möglichen Verursacher der Waldschäden ist deshalb nicht angebracht und würde den wirklichen Verhältnissen kaum gerecht.

Wenn sich nun aber die Immissionsbelastung nicht mit der erwünschten Deutlichkeit als schadenverursachender Faktor nachweisen lässt, müssen auch andere mögliche Ursachen mit in Betracht gezogen werden. So scheint es, als ob mit den talaufwärts strömenden Luftmassen aus dem Genfersee-Becken, respektive aus dem Mittelland, bisher unbekannte biotische Krankheitserreger in das Unterwallis eingetragen worden sind. Obwohl wir bisher keine konkreten Anhaltspunkte für das Zutreffen einer solchen Schädigungshypothese vorweisen können, deutet doch das epidemieartige Auftreten der Wachstumsein-

brüche im Unterwallis und die grosse Ähnlichkeit dieser Schädigungen mit solchen aus anderen Gebieten der Schweiz, zusammen mit ihrer eindeutigen Expositionsabhängigkeit, auf eine solche Ursache hin. Damit würde aber ein engerer Bezug zwischen diesen Schädigungen und einzelnen regionalen Emittenten ebenfalls stark in Frage gestellt.

Aufgrund der hier wiedergegebenen Resultate können keine abschliessenden Aussagen über die Schadenursachen im Unterwallis gemacht werden. Die hier vorgefundene Situation ist aber aus immissionsökologischer Sicht typisch für einen grossen Teil der Waldschäden in der Schweiz und vermittelt insofern ein realistisches Bild der Möglichkeiten und Grenzen der forstlichen Immissionsforschung in einem konkreten Schadenfall.

Immissionsbedingte Waldschäden entziehen sich, sofern sie nicht akut sind und somit nicht dem klassischen Bild der Rauchschäden entsprechen, weitgehend einer streng kausalen Analyse. Dies hängt damit zusammen, dass die verschiedensten Faktoren teils gleichzeitig, teils in unterschiedlicher Abfolge auf das System einwirken und so je nachdem zur Schädigung beitragen oder sie mildern können. Es ist aber nicht möglich, alle diese Faktoren in eine solche Untersuchung miteinzubeziehen. Vielmehr muss eine Auswahl getroffen und das Problem so in Teilgebiete gegliedert werden, dass die daraus abgeleiteten Versuchsfragen mit den zur Verfügung stehenden methodischen, finanziellen und personellen Mitteln beantwortet werden können. So ergibt sich zwangsläufig eine Diskrepanz zwischen der ursprünglichen Problemstellung und der schliesslich beantworteten Versuchsfrage, wodurch letztlich die Tragfähigkeit des angestrebten Indizienbeweises bestimmt wird.

#### *Dank*

Verschiedene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der EAFV haben bei dieser Untersuchung massgeblich mitgearbeitet, wofür wir ihnen bestens danken. Es sind dies die Frauen I. Pfenninger und S. Tamas sowie die Herren P. Bleuler, H. Mächler und H. Schwager. Bei der Entnahme der Nadelproben hat uns vor allem Herr R. Orlowski, ETHZ, wertvolle Hilfe geleistet. Danken möchten wir auch Herrn Dr. L. Genoud vom Service de l'Environnement in Sion für seine tatkräftige Unterstützung, sowie Herrn J. de Kalbermatten, Inspecteur d'Arrondissement, Monthey, auf dessen Initiative hin die vorliegende Arbeit in Angriff genommen wurde.

#### *Literatur*

- (1) Flühler H., Keller Th., Scherrer H.-U., 1979: Les dégâts forestiers en Valais. La Murithienne 96, 3–22.
- (2) Flühler H. et al., 1981: Waldschäden im Walliser Rhonetal (Schweiz). Mitteilungen der Eidg. Anst. für das forstl. Versuchsw. Vol. 57, Heft 4.
- (3) Bundesamt für Umweltschutz, 1975: Schwefeldioxid-Emissionskataster.
- (4) Aurand K., Fischer M., 1983: Emissionen luftfremder Stoffe aus Kühltürmen. Gesundheits-Ingenieur 104, 22/300–27/305.
- (5) Landolt W., Moser H.-R., 1985: Methode zur Bestimmung von Anionen aus Liesegang-Filtern mit Hilfe der Hochleistungs-Flüssigchromatographie. Staub-Reinheit. Luft, im Druck.

- (6) *Bleuler P., Bucher J. B.*, 1984: Luftbelastung im Raume Birmensdorf (ZH). Schweiz. Z. Forstwes. 135, 801—805.
- (7) *Genoud L.*, Service de l'Environnement de l'Etat du Valais, mündliche Mitteilung.
- (8) *Wentzel K.*, 1982: Ursachen des Waldsterbens in Mitteleuropa. Allg. Forstzeitschr. 37, 1365—1368.
- (9) *Härtel O.*, 1980: Das Vertikalprofil der Luftverunreinigungen im Aichfeld anhand von Borkenuntersuchungen. Mitt. der Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien 131, 189—194.
- (10) *Schweingruber F. H., Kontic R., Winkler-Seifert A.*, 1983: Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz. Berichte der Eidg. Anst. für das forstl. Versuchswesen Nr. 263.
- (11) *Niederer M., Nippel C.*, 1984: Jahrringanalytische Studien über Fichten im Rhonetal zwischen Genfersee und Goms. Diplomarbeit des Bot. Inst. der Univ. Basel, unveröffentlicht.
- (12) *Lenz O.*, EAFV, mündliche Mitteilung.
- (13) *Informationszeitschrift der EOS* (S. A. de l'Environnement de l'Ouest Suisse): Centrale Thermique de Chavalon 1962—1983.

## Résumé

### Analyse de l'influence des immissions sur les dommages causés aux forêts dans le Bas-Valais

C'est au début des années 70, lorsque les dégâts aux sapins blancs et aux épicéas firent leur apparition, qu'on se demanda s'il ne fallait pas attribuer la cause de ces dommages à une influence exercée par les immissions. Des soupçons planaient sur la Centrale thermique de Chavalon, celle qui, 5 ans plus tôt, avait mis son usine en service sur les hauteurs de Vouvry.

L'étude de photographies aériennes infrarouges a permis de constater que les dégâts apparaissent en plus grand nombre dans les régions situées en aval, en direction du Lac Léman, tandis que celles se trouvant en amont sont nettement moins touchées.

L'analyse chimique d'aiguilles a permis de déterminer la portée des immissions retombant de la Centrale thermique de Vouvry et d'en établir une relation avec l'ampleur des dégâts aux forêts constatés dans cette région. Alors que les premières analyses ne pouvaient irréfutablement prouver une influence que dans les environs immédiats de l'usine, les dernières en date couvraient toute la partie de la vallée allant de Martigny au Lac Léman. Il devrait être possible de détecter d'autres sources d'immissions planant sur cette région à l'aide d'exposition de filtres Liesegang et d'analyse de l'écorce.

Les résultats de ce sondage n'apportent aucune preuve évidente d'une relation entre les dégâts constatés aux forêts et l'influence d'immissions dans cette région du Bas-Valais. Ces deux facteurs existent mais il ne semble pourtant pas que les valeurs d'immissions soient d'ordre à occasionner aux forêts des suites désastreuses immédiates. Par contre, une étroite liaison pourrait exister entre les dommages constatés et l'affluence d'une masse d'air s'introduisant, l'après-midi surtout, en amont de la vallée principale.

L'état typique d'endommagement des forêts du Bas-Valais est aussi valable pour d'autres régions de notre pays. Un rapport de cause à effet entre les immissions et les dégâts touchant de vastes étendues peut bien être conjoncturé; pourtant, il ne nous est pas possible, avec les moyens dont nous disposons actuellement, de prouver clairement ou de réfuter cette hypothèse.