

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 135 (1984)
Heft: 4

Artikel: Waldschäden in der Schweiz - 1983
Autor: Bucher, Jürg Bruno / Kaufmann, Edgar / Landolt, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766768>

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: 19.04.2026

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

Waldschäden in der Schweiz — 1983

(I. Teil)

Interpretation der Sanasilva-Umfrage und der Fichtennadelanalysen aus der Sicht des forstlichen Immissionsschutzes

Von *Jürg Bruno Bucher, Edgar Kaufmann* und *Werner Landolt* Oxf.: 561.24:48:(494)
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

Einleitung

Aufgrund des anhaltenden und sich ausbreitenden Weisstannensterbens in den letzten Jahren, des Nachlassens der Vitalität bei den Fichten (1) und der beängstigenden Waldschadensmeldungen aus der Bundesrepublik (2) sowie des Umstandes, dass sich die Waldschadenserhebung im Landesforstinventar über drei Jahre hinzieht, beschlossen die Kantonsoberröster im Mai 1983 in allen Forstrevieren der Schweiz eine Umfrage zum Waldschadenzustand durchführen zu lassen. Dabei sollten in Anlehnung an die deutsche Umfrage von 1982 nur Schäden erfasst werden, deren Ursachen unbekannt waren. Schäden, bei welchen Luftverunreinigungen als Ursache aber nicht ausgeschlossen werden konnten, waren mitzuerfassen. Damit wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass sich das derzeitige Waldsterben in Mitteleuropa ohne Berücksichtigung der Einwirkungen von Luftverunreinigungen kaum erklären lässt (2). Zur besseren Abschätzung des Immissionseinflusses auf die Schweizer Wälder wurde deshalb gleichzeitig mit der Revierumfrage im ganzen Land auch die Schadstoffbelastung von Fichtennadeln untersucht. Die Umfrage zum Waldschadenzustand und die Nadelanalysen sind Bestandteil des Projektes Sanasilva, einem Projekt des Forstwesens von Bund und Kantonen zur Beobachtung und Gesunderhaltung des Schweizer Waldes.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen Resultate der Umfrage und der Nadelanalysen aus der Sicht des forstlichen Immissionsschutzes interpretiert werden. Dabei kann es sich selbstverständlich nicht um eine Kausalanalyse zum Immissionseinfluss handeln — dies hiesse die Grenzen und die Mög-

lichkeiten der Umfrage und der Nadelanalysen zu verkennen –, sondern nur um einen Erklärungsversuch der gemeldeten Schadenslage. Es wird ein epidemiologischer Ansatz¹ gewählt und mittels der geographischen Verteilung der Waldschäden und der Schadstoffbelastung der Fichtennadeln nach plausiblen Mustern gesucht. Auf diesen ersten Teil werden noch weitere Artikel folgen, welche die Umfrage mehr aus forstlicher Sicht interpretieren und zu den Nährstoffgehalten der Fichtennadeln Stellung beziehen.

Grundlagen

Die Fragebogen wurden von Vertretern der Praxis und der Wissenschaft unter der Leitung von Direktor M. de Coulon des Bundesamtes für Forstwesen ausgearbeitet. Die Erhebung fand im Oktober 1983 statt. An ihr beteiligten sich 1429 Revierförster oder Betriebsleiter.

Die Umfrage bestand aus fünf Fragebogen. Der erste Fragebogen enthielt neben allgemeinen Fragen zur Lage und zur Grösse des Reviers sowie der Baumartenzusammensetzung der Wälder solche zur Waldschadensbeurteilung und zur Immissionsbelastung. Anzugeben war der Anteil der betroffenen Baumarten nach den Klassen «gesund», «kränkelnd», «krank», «absterbend» und «dürre» (*Tabelle 1*) sowie verschiedene in der Nähe des Revieres liegende Quellen von Luftverunreinigungen (siehe *Tabelle 5*). Der besseren Übersicht wegen, werden in dieser Arbeit die Anteile der Bäume «kränkelnd bis tot» beziehungsweise «krank bis tot» zusammengefasst und

Tabelle 1. Definitionen der Schadensklassen.

<i>gesund</i>	Üppig dichte bis normal gute Benadelung/Belaubung ohne Nadel-/Laubverfärbungen.
<i>kränkelnd</i>	Der abgestorbene Kronenteil bzw. der Verlust an Nadel-/Laubmasse ist kleiner als die Hälfte des Kronenvolumens. Leichte Verfärbungen der Nadeln/Blätter sind möglich. Ein solcher Baum könnte die normale Umtriebszeit erreichen: er ist jedoch eindeutig kein positiver Auslesebaum.
<i>krank</i>	Die Benadelung/Belaubung ist deutlich schütter. Der abgestorbene Kronenteil bzw. der Verlust an Nadel-/Laubmasse liegt zwischen der Hälfte und drei Viertel des Kronenvolumens. Ein solcher Baum dürfte die normale Umtriebszeit nicht erreichen.
<i>absterbend</i>	Die Benadelung/Belaubung ist sehr schütter. Der abgestorbene Kronenteil bzw. der Verlust an Nadel-/Laubmasse ist grösser als drei Viertel des Kronenvolumens. Ein solcher Baum ist abgehend und wird nicht mehr lange leben.
<i>dürre</i>	Der Baum ist tot. Die Benadelung/Belaubung fehlt oder ist ganz rot.

¹ In einem solchen Ansatz gilt ein Zusammenhang zwischen vermuteter Ursache und festgestellter Wirkungen als nachgewiesen, wenn diese räumlich und zeitlich gemeinsam auftreten und nicht im Widerspruch zu gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen stehen.

der Klasse «gesund» gegenübergestellt. Die Schadendefinitionen entsprechen denen des Landesforstinventars (3, 4). Die weiteren Fragebogen – getrennt für Fichte, Tanne, Buche und eine Baumart nach Wahl – bezweckten vor allem qualitative Angaben zu Schadensschwerpunkten bezüglich Baumalter, Symptomen, Standorts- und Bestandesmerkmalen sowie Zwangsnutzungsentwicklungen und dem Vorkommen von Sekundärparasiten.

Die Nadelanalysen stammen von 1680 Fichten. Angegeben sind die Durchschnittswerte der zwei Bäume desselben Standortes. Die 840 Standorte wurden auf der Basis eines Rasternetzes mit der Maschenweite von 8 km gewählt. Das Netz wurde in den Agglomerationsgebieten auf 4 x 4 km verdichtet. Bei einer vorgeschriebenen Stichprobenanzahl konnten die Kantone bei der Festlegung ihrer Probebäume auf jeden anderen km-Raster ausweichen falls am vorgesehenen Standort keine Fichten vorhanden waren. Beerntet wurden in der zweiten Oktoberhälfte herrschende Fichten im obersten Kronendrittel, je nach Kanton durch Klettern oder mittels Helikopter. Analysiert wurde der Nadeljahrgang 1982, also 1½-jährige Nadeln. Die getrockneten und gut homogenisierten Proben wurden nach einem Schöniger-Aufschluss mittels Ionenchromatographie auf Schwefel und Chlor beziehungsweise mit einer ionensensitiven Elektrode auf Fluor untersucht. In den Darstellungen der Schadstoffbelastung der Fichtennadeln ist jeweils der Zentralwert oder Median aller Werte der Schweiz die Bezugsbasis, wobei die Werte unterhalb des Zentralwertes in eine einzige Klasse zusammengefasst sind. Die Klassen über dem Median sind variabel gewählt worden, so dass in jede Klasse gleichviele Werte fielen.

Auswertung und Interpretation

Die Auswertung der Fragebogen ergab, dass die Wälder der Schweiz regional unterschiedlich geschädigt sind, sei es nach dem Schadflächenanteil oder der Schadensintensität. Je nach Kanton reicht der Schadensanteil von 0 % bis 36 %, im Extremfall bis 70 %, der Waldfläche (*Tabelle 2*). Flächenmässig gewichtet ergeben die Kantonsangaben im Durchschnitt 14 % kränkelnde, kranke, absterbende und/oder tote Bäume. Berücksichtigt man nur kranke, absterbende und/oder tote Bäume, so verbleiben immer noch 4 %. Bei diesen Angaben aus den Revieren muss mit einer mehr oder weniger grossen Subjektivität in der Schadensbeurteilung durch den zuständigen Revierförster gerechnet werden. Trotzdem deckt sich das errechnete Mittel von 14 % geschädigter Waldfläche in der Grössenordnung erstaunlich gut mit den Angaben des Landesforstinventars (LFI). Jene wurden im Gegensatz zu den Sanasilva-Daten auf einer statistischen Basis ermittelt und berücksichtigen einen Drittel der schweizerischen Waldfläche (4). Mit diesen Ergebnissen

Tabelle 2. Schadensanteil in den Klassen «kränkelnd bis tot» und «krank bis tot» in Prozenten der Waldfläche.

Kanton	Waldfläche ha	kränkelnd— tot %	krank— tot %
AG	47 740	30	10
AI	4 098	4	0
AR	5 881	1	0
BE	156 121	17	4
BL	14 895	23	10
BS	363	70	32
FR	36 842	4	1
GE	2 700	0	0
GL	15 508	30	7
GR	151 685	25	4
JU	28 785	8	3
LU	37 898	8	3
NE	22 826	10	2
NW	7 742	1	0
OW	14 794	12	4
SG	50 648	27	9
SH	12 423	36	6
SO	29 403	22	7
SZ	25 340	7	1
TG	18 807	17	5
TI	123 763	6	0
UR	8 975	17	2
VD	89 446	3	2
VS	99 732	5	3
ZG	5 762	12	4
ZH	48 351	14	4
CH	1 060 528	14	4

des LFI stimmt auch das aus der Umfrage hervorgegangene Verhältnis der «kränkelnden bis toten» und «kranken bis toten» Bäume überein. Trotz der etwas unterschiedlich gehandhabten Schadensansprache in Deutschland entspricht unser Schadensanteil kränkelder Bäume mit gut 75 % aller geschädigten Bäume den Befunden aus unserem nördlichen Nachbarland, und der gesamte Schaden lässt sich prozentual mit dem das Landes Hessen vergleichen (5).

Wollen die Angaben aus den Kantonen richtig interpretiert werden, so müssen unbedingt die von Kanton zu Kanton oft stark abweichende Baumartenzusammensetzung der Wälder und die unterschiedliche Schädigung der einzelnen Baumarten berücksichtigt werden. Auf eine detaillierte Zusammenstellung der Meldungen aus den Kantonen wird hier verzichtet, in *Tabelle 3* werden nur die Werte für das ganze Land wiedergegeben. Aber es erstaunt nun nicht, dass in *Tabelle 2* der Kanton Genf einen Schadensanteil von 0 % angibt, wenn man weiss, dass die Genfer Wälder zu gut 80 % aus Eichen bestehen, einer Baumart, die auch gesamtschweizerisch nur schwach vom Waldsterben betroffen ist (*Tabelle 3*). Verständlich werden auch die

Tabelle 3. Waldschadensanteil in der Schweiz nach Baumarten und Schadensklassen.

Baumart	Anteil % V	geschädigt % Stz	Schädigungsgrad in % der Stammzahl			tot
			kränkelnd	krank	absterbend	
Fichte	46	17	15	2	0	0
Tanne	14	26	15	7	3	1
Föhre	4	21	13	4	2	2
Lärche	6	2	2	0	0	0
üb. Nh.	1	3	2	1	0	0
Buche	17	5	4	1	0	0
Eiche	2	2	2	0	0	0
Esche	2	7	5	2	0	0
üb. Lh.	8	1	1	0	0	0
alle Arten	100	14	10	2,5	1	0,5

hohen Zahlen aus dem Kanton Aargau, denn der Anteil der Fichten und Tannen ist in diesem Kanton mit 31 % und 17 % hoch. Beide Baumarten sind vom Waldsterben stark betroffen, und der Anteil von 31 % respektive 75 % der geschädigten Fichten und Tannen weicht im Aargau erst noch beträchtlich vom schweizerischen Mittel von 17 % respektive 26 % ab.

Die Gliederung der Waldschäden nach Kantonen ergibt nur ein unvollständiges und schwer interpretierbares Bild der Schadensanlage. Unter Berücksichtigung der grossräumigen geographischen Verteilung der Schäden wird das Waldsterben in der Schweiz verständlicher. Da die Revierinformationen im gewählten Kartenmassstab nicht darstellbar waren und aus Gründen der Übersichtlichkeit, wurden in den Waldschadenskarten (*Abbildungen 1 und 2*) die Meldungen aus den Revieren auf einen Einheitsraster von 8 x 8 km umgesetzt. Pro Rasterfeld wurde aus den Revieren, deren Zentrum im entsprechenden Feld liegt, ein flächenmässig gewichteter Schadensanteil errechnet. Da die Waldfläche im Durchschnitt nur etwa 30 % der Landesfläche ausmacht und in gewissen Gegenden kein Reviermittelpunkt in ein Rasterfeld fällt, gibt es auch ausserhalb des Alpengebietes einzelne Felder welche in dieser Darstellungsart keine Waldfläche aufweisen. Trotz dieses Umstandes und einer gewissen Glättung der Information durch die gewählte Abstufung der Schadflächenanteile in den Wäldern der Rasterfelder, geben die Schadenkarten, in welchen alle Baumarten der Schadenklassen «kränkelnd bis tot» und «krank bis tot» zusammengefasst sind, ein ähnliches und interpretierbares Bild.

In den *Abbildungen 1 und 2* lassen sich deutliche, regionale Schwerpunkte von Waldschäden erkennen. Ebenso deutlich sind aber auch die beinahe stu-

Abbildung 1. Verteilung der flächenmässig gewichteten Waldschäden in der Schweiz unter Berücksichtigung der Schadensklasse «krank-tot». Weitere Erklärungen im Text.

Abbildung 2. Verteilung der flächenmässig gewichteten Waldschäden in der Schweiz unter Berücksichtigung der Schadensklasse «kränkelnd-tot». Zusätzlich ist der Umfang des Kaltluftkörpers im schweizerischen Mittelland eingezeichnet (rot). Weitere Erklärungen im Text.

Abbildung 1.

ALLE BAUMARTEN
KRANK - TOT

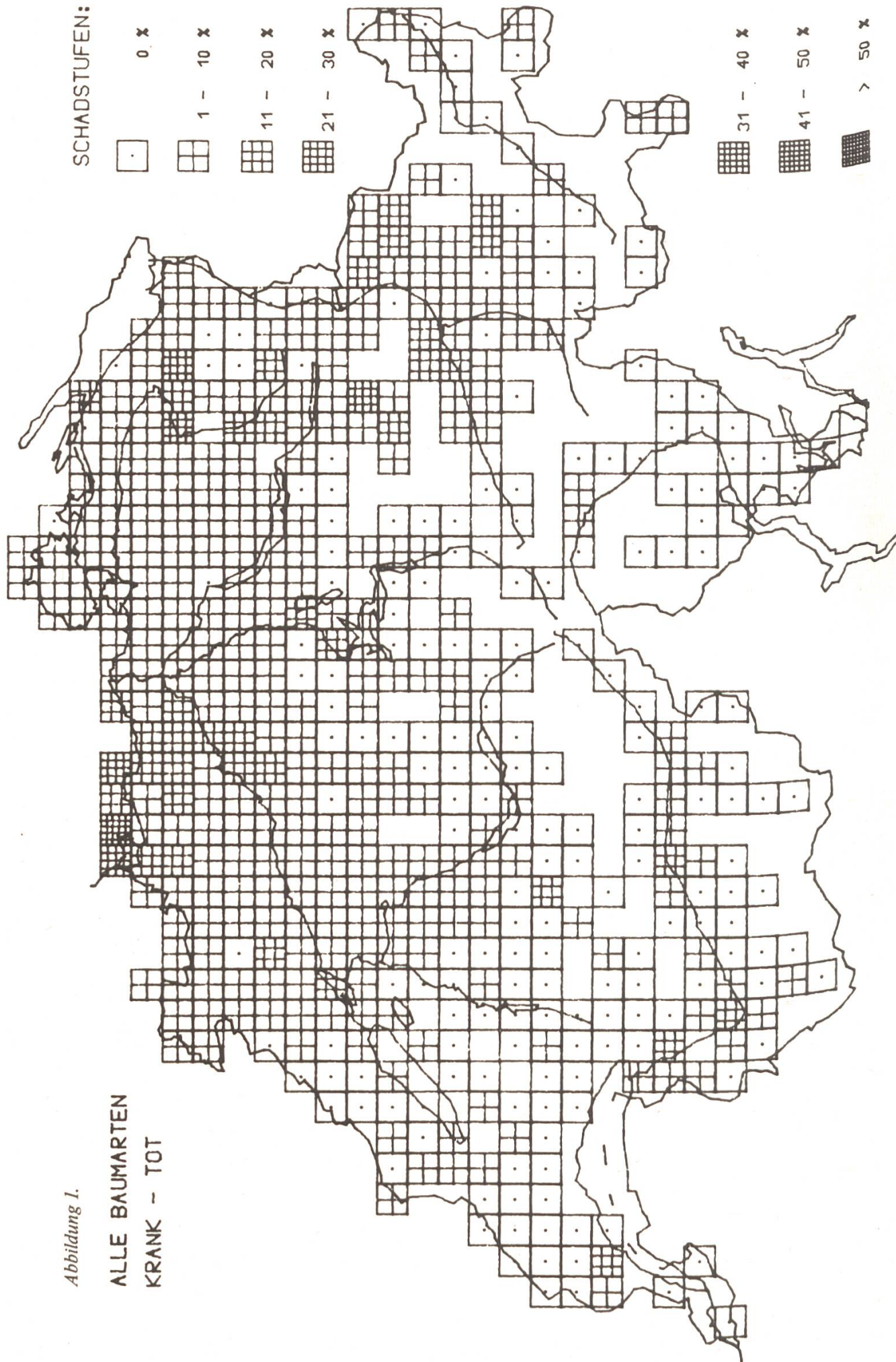
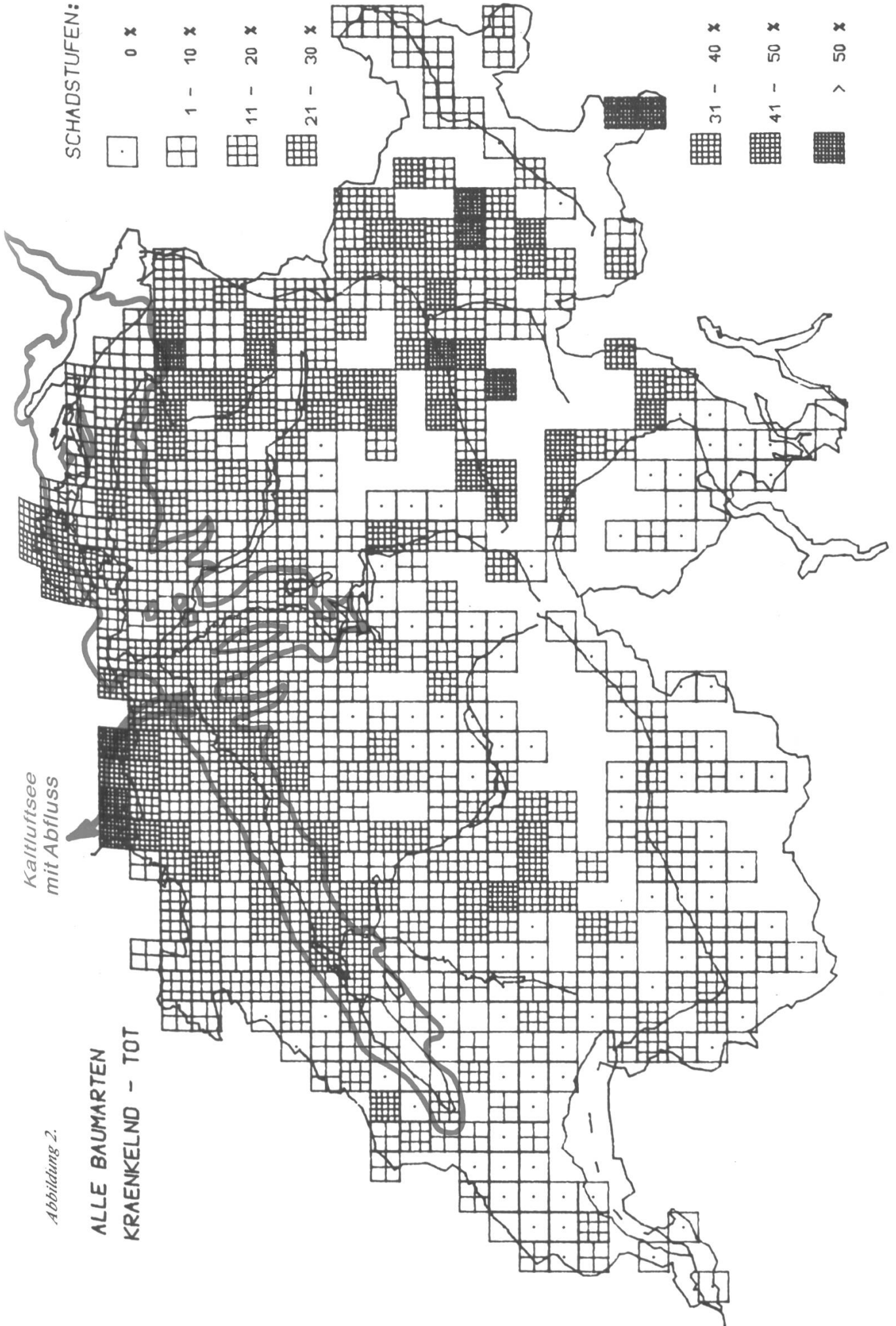


Abbildung 2.

ALLE BAUMARTEN
KRAENKELND - TOT

Kaltluftsee
mit Abfluss



fenlosen Übergänge zwischen den Rasterfeldern mit schweren und jenen mit leichten Schäden. Willkürliche oder aus der Luft gegriffenen Angaben aus den Revieren scheinen deshalb kaum vorzuliegen; sie hätten zu einer «statistischen» oder «schachbrettartigen» Verteilung der Schadensanteile geführt. Die Zunahme der Schadensanteile im West-Ost-Gefälle und die regionalen Schadenszentren lassen sich unter der Berücksichtigung der vermutlich vorhandenen Immissionsituation plausibel erklären. Dasselbe gilt auch für das Schadensmuster, welches nur auf den ersten Blick durch Sprach- oder Kantonsgrenzen bestimmt erscheint.

Gemäss unseren Definitionen (vergleiche *Tabelle 5*) sind über die Hälfte aller schweizerischen Forstreviere als immissionsbelastet zu betrachten. Aus der Karte in *Abbildung 3* geht hervor, dass nur wenige der 794 immissionsbelasteten Reviere mit solchen der 221 schadenfreien Reviere identisch sind. Aus dieser Karte ist deutlich ersichtlich, dass in der Westschweiz sich weniger Emissionsquellen in der Nähe der Forstreviere befinden als im übrigen Land. Die geographische Verteilung der immissionsbelasteten Reviere passt somit gut zur gemeldeten Schadenssituation.

Der Zusammenhang zwischen der Schadens- und Immissionslage geht aber auch aus den *Tabellen 4* und *5* hervor. Von den 221 schadenfreien Revieren gaben 169 keine Quelle von Luftverunreinigungen in ihrer Nähe an, dagegen meldeten 742 von 1208 geschädigten Revieren Emittenten. Das heisst 76 % aller schadenfreien Reviere betrachten sich als «immissionsfrei» und

Tabelle 4. Meldungen zur Luftverunreinigungssituation (Anzahl Reviere).

	<i>Schadflächenanteil</i>				<i>Total</i>
	<i>kränkelnd—tot</i>		<i>krank—tot</i>		
	0 %	>0 %	0 %	>0 %	
ohne Meldung («immissionsfrei»)	169	466	312	323	635
mit Meldung («immissionsbelastet»)	52	742	153	641	794
Total	221	1208	465	964	1429

Tabelle 5. Meldungen zur Luftverunreinigungssituation nach Emissionsquelle (Anzahl Reviere)¹.

	<i>Schadflächenanteil</i>				<i>Total</i>
	<i>kränkelnd—tot</i>		<i>krank—tot</i>		
	0 %	>0 %	0 %	>0 %	
Stadt (50—400 000 Einw.) ²	26	386	70	342	412
Industrie mit Hochkamin ³	7	324	34	297	331
Kehrichtverbrennungsanlage ³	13	211	37	187	224
Autobahn ³	29	424	90	363	453

¹ pro Revier wurden häufig mehrere Emissionsquellen angegeben, Gesamttotal deshalb mehr als 794 (vergleiche *Tabelle 4*).

² bis max. 20 km Entfernung vom Revier

³ bis max. 5 km Entfernung vom Revier

61 % aller Reviere mit Schäden als «immissionsbelastet». Noch deutlicher wird der Immissionseinfluss auf den Waldschadenzustand, wenn man als Bezugsbasis nur die immissionsbelasteten Reviere wählt. Dann haben nämlich 93 % oder 742 von 794 Reviere kränkelnde bis tote Bäume. Bezieht man sich auf die einzelnen Quellengruppen, so haben ebenfalls je 94 % der Reviere in der Nähe einer Stadt, Kehrlichtverbrennungsanlage und Autobahn Waldschäden; für die Reviere im Einflussbereich von Industrieanlagen liegt die entsprechende Zahl sogar bei 98 %. Eine Abschätzung der besonderen Bedeutung der einzelnen Emissionsquellen ist aber aus dieser Umfrage nicht möglich, da zuviele Reviere im Einflussbereich mehrerer Quellengruppen liegen. In dieser Hinsicht helfen leider auch die Nadelanalysen beziehungsweise die abgeleiteten Schadstoffbelastungskarten wenig, da sich die Stickstoffoxide aus den Abgasen des Automobilverkehrs und deren viel giftigere atmosphärische Umwandlungsprodukte wie Ozon nadelanalytisch nicht nachweisen lassen.

Die Nadelanalysen der Fichten von 840 Standorten der Schweiz erbrachten für die Elemente Schwefel, Chlor und Fluor nur einige wenige erhöhte Werte, welche auf eine Immissionsursache der Schäden schliessen liessen. Für Schwefel müssten diese Werte über 1400 ppm, für Chlor und Fluor über 1000 ppm Cl respektive 10 ppm F liegen (6). Höchstbelastungswerte oder Grenzwerte für Pflanzen sind jedoch an sich problematisch und dürfen, wie wir an anderer Stelle bereits hingewiesen haben (7), unter der derzeitigen Luftverunreinigungssituation mit einer relativ geringen aber vielfältigen Belastung nicht starr gehandhabt werden, sondern müssen epidemiologisch gesehen werden. Aus dem Vergleich der Waldschadenskarten (*Abbildungen 1* oder *2*) und den aus den Nadelanalysen abgeleiteten Schadstoffbelastungskarten (*Abbildungen 4 bis 6*) geht hervor, dass Standorte mit erhöhten Schwefel-, Chlor- und Fluorgehalten in den Nadeln ihrer Fichten in den Regionen mit den grösseren Waldschadensanteilen liegen. In den Schadstoffbelastungskarten haben wir vor allem die Werte hervorgehoben, die sich über dem Median aller ermittelten Werte der Schweiz befinden. Da unbestritten ist, dass die Elemente Schwefel, Chlor und Fluor stellvertretend für andere Immissionen als Leitkomponenten gelten, belegen die Schadstoffbelastungskarten zusammen mit der Waldschadenskarte einen schädigenden Immis-

Abbildung 3. Verteilung der Reviere, die keine Waldschäden gemeldet haben (rote Kreise) und der Reviere, die eine Emissionsquelle in ihrer Umgebung gemeldet haben (schwarze Kreise). Die Grösse der Reviere ist durch die entsprechenden Kreisflächen dargestellt. Man beachte, dass sich die beiden Verteilungsmuster ergänzen. Die schwarzen Punkte markieren die Zentren der Reviere, die wohl Schäden, aber keine Emissionsquellen gemeldet haben.

Abbildungen 4 bis 6. Schadstoffbelastungskarten der Schweiz für die Immissionsleitkomponenten Schwefel (*Abbildung 4*), Chlor (*Abbildung 5*) und Fluor (*Abbildung 6*). Ermittelt aus der chemischen Analyse von Fichtennadeln. Elementgehalte der Nadeln in ppm/Trockengewicht, je Standort Durchschnittswerte zweier Bäume. Die Bereiche über dem Median wurden so gewählt, dass sie gleich grosse Teilmengen (130 Werte) enthalten.

- Schadenfreie Reviere
- Immissionsbelastete Reviere

Abbildung 3.

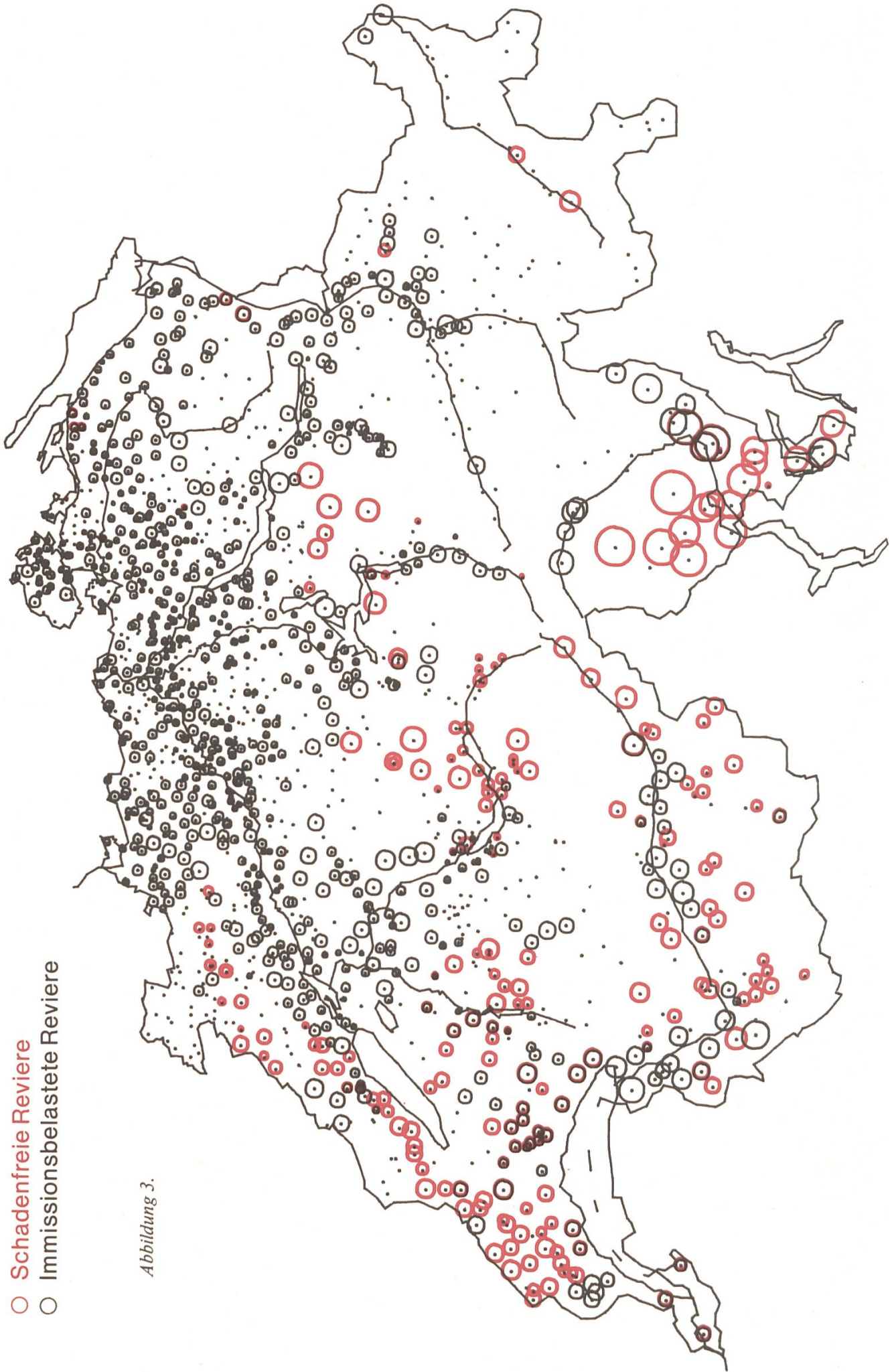
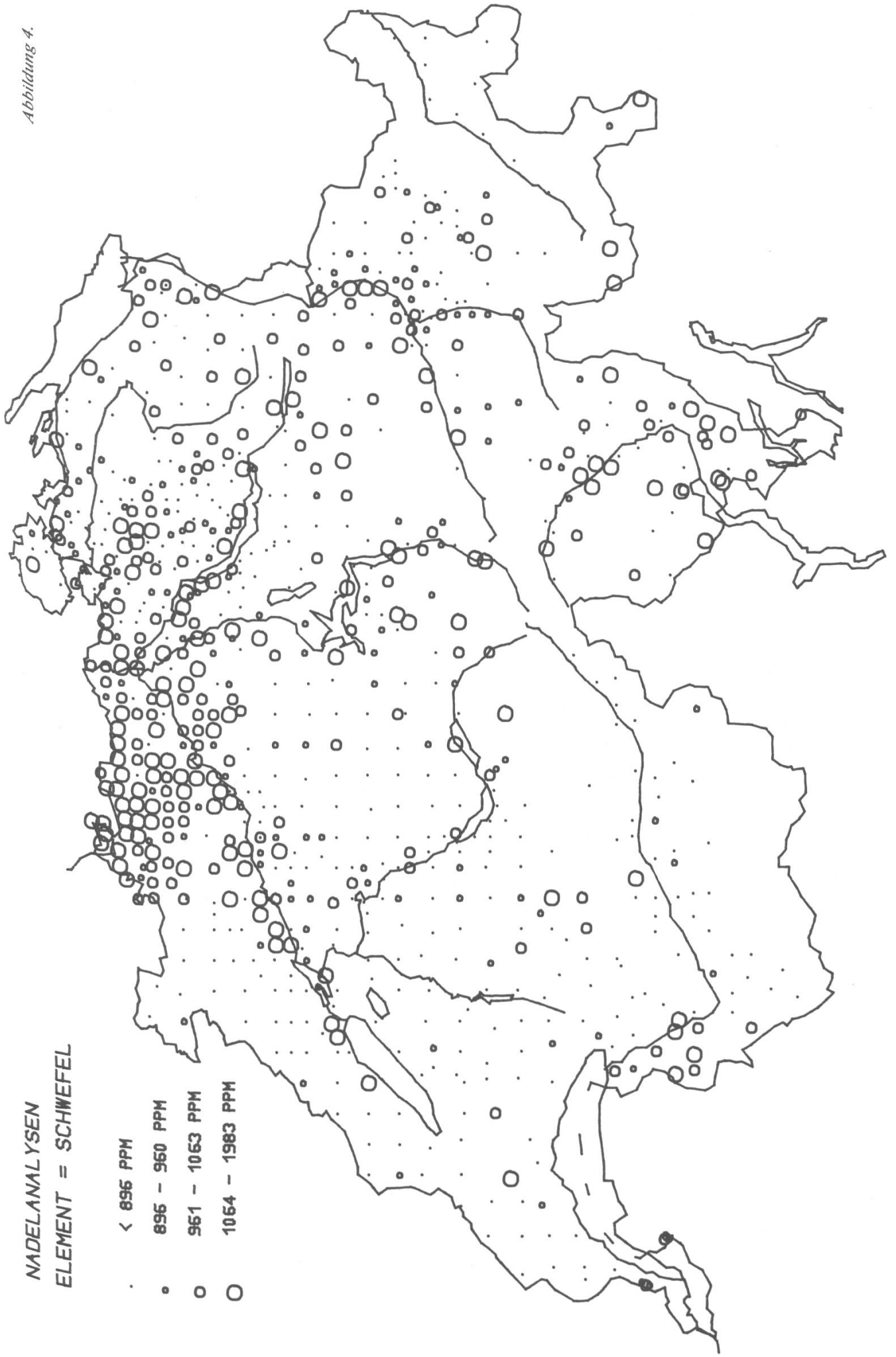


Abbildung 4.



**NADLANALYSEN
ELEMENT = SCHWEFEL**

- < 696 PPM
- 696 - 960 PPM
- ◌ 961 - 1063 PPM
- 1064 - 1983 PPM

Abbildung 5.

NADELANALYSEN
ELEMENT = CHLOR

- < 439 PPM
- 439 - 530 PPM
- 531 - 628 PPM
- 629 - 1485 PPM

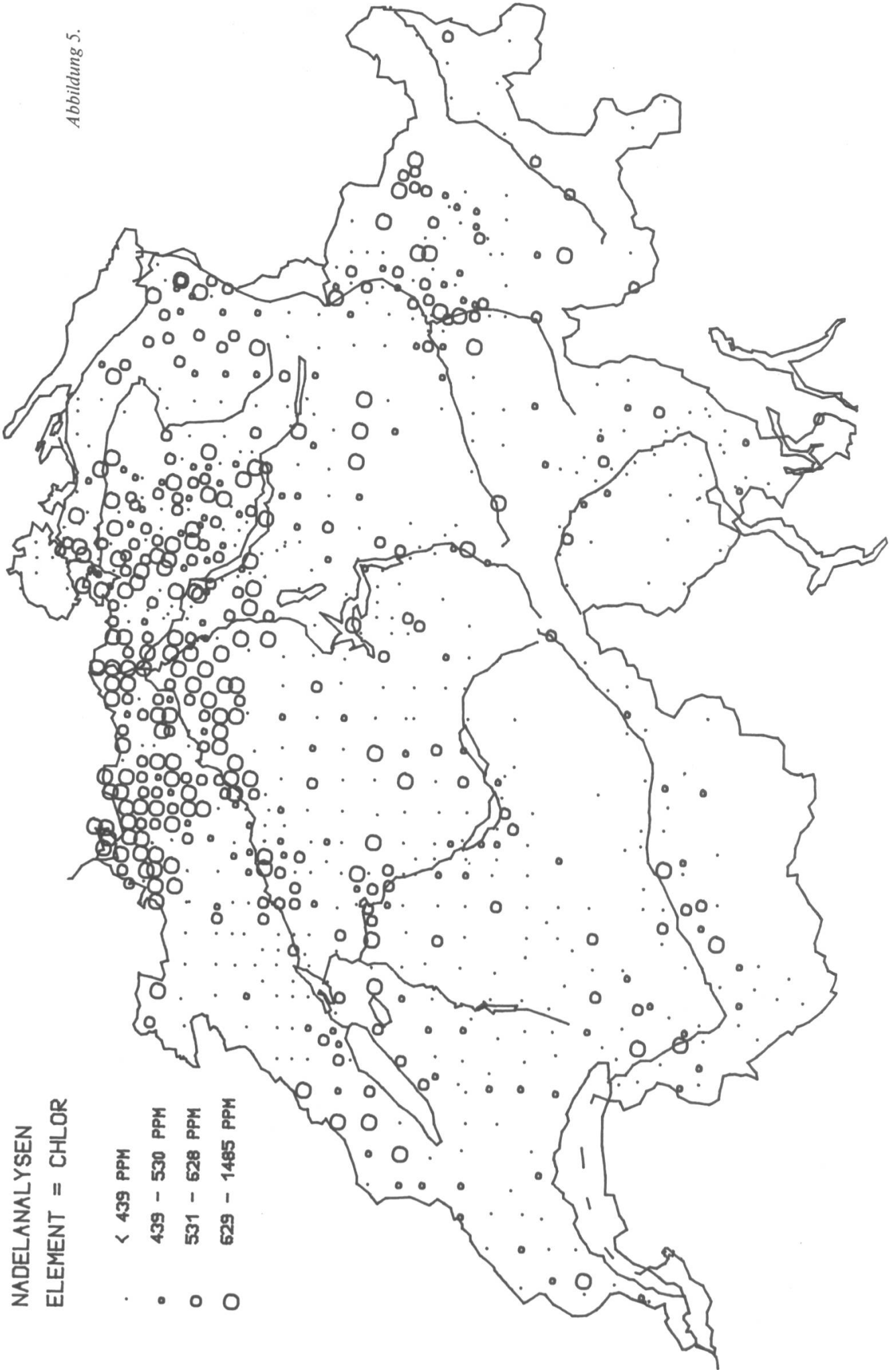
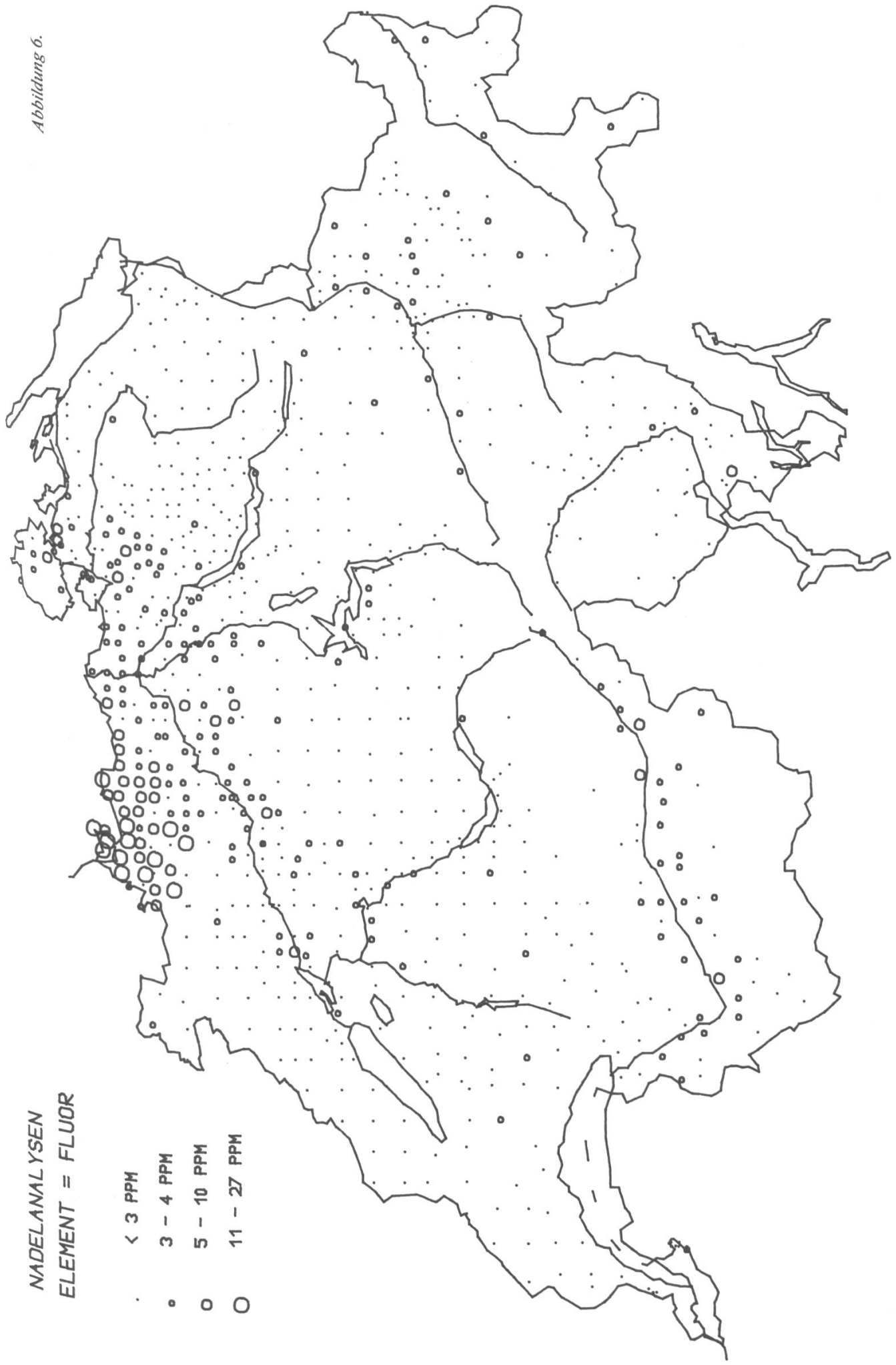


Abbildung 6.



NADELANALYSEN
ELEMENT = FLUOR

- < 3 PPM
- 3 - 4 PPM
- 5 - 10 PPM
- 11 - 27 PPM

sionseinfluss auf die Wälder deutlich. Der Vorwurf, den Resultaten der Umfrage hafte ein hohes Mass an Subjektivität des zuständigen Forstdienstes an, wird somit durch die Ergebnisse der Nadelanalysen stark relativiert.

Auch meteorologische Überlegungen führen dazu, einen Zusammenhang zwischen den Waldschäden und der Luft zu sehen. *Wanner* und *Kunz* (8) erstellten auf der Basis von Wettersatellitenbildern eine Karte zum Nebel- und Kaltluftkörper der Schweiz. Die Ausbreitung des Kaltluftsees, welcher auf über 80 % der ausgewerteten Satellitenbilder durch Nebel erkenntlich war, wurde in unsere Waldschadenskarte übertragen (*Abbildung 2*). Dieser Kaltluftsee deckt sich nun mit den Gebieten des Mittellandes, welche stärkere Schäden aufweisen; erkenntlich ist auch die nebelfreiere Westschweiz. Auch ohne eigentliche Immissionsmessungen durchgeführt zu haben, darf davon ausgegangen werden, dass im Bereiche dieses Kaltluftsees die Luftverunreinigungskonzentrationen höher sind als in anderen Lagen, da die emittierten Schadstoffe in der Inversionsschicht gefangen bleiben.

Auffallend sind ferner die relativ starken Waldschäden im Raume Fricktal und Basel, obwohl diese Gebiete oft nebelfrei sind (*Abbildung 2*). Aus der Climod-Studie (9) wissen wir, dass durch diese Landstriche der Kaltluftsee des Mittellandes oft abfließt. Mit der kalten Luft fließen aber auch die darin enthaltenen Schadstoffe ab. In diesen Strömungen haben wir der erhöhten Windgeschwindigkeiten wegen einen erniedrigten Grenzflächenwiderstand an Blättern oder Nadeln der Pflanzen und damit eine erhöhte Schadstoffaufnahme (Fluxphänomen). Solche stärkeren Effekte auf Pflanzen unter Einfluss erhöhter Windgeschwindigkeiten liessen sich schon experimentell nachweisen (10) und wurden auch bei den Fluorschadenuntersuchungen im Wallis als Ursachen der lokalen Schadenslage vermutet (11). Unter Umständen liesse sich ebenfalls die Schadenslage der Wälder des Pruntrutter Zipfels mit Fluxeffekten beziehungsweise den Windströmungen erklären. Der nordwestliche Teil des Kantons Jura dürfte oft im Einflussbereich der Winde liegen, die durch die sogenannten Burgundische Pforte (8, 9) verschmutzte Luftmassen aus der hochrheinischen Tiefebene mitsichführen.

Zur Erklärung der starken Waldschäden in den Haupttälern des Kantons Graubünden können ebenfalls lufthygienisch-meteorologische Überlegungen heran gezogen werden. Dieser Teil der Schweiz liegt geschützt durch Berge ausserhalb des allgemeinen Westwindeinflusses. Massgeblich wird hier der Nord-Süd-Austausch beziehungsweise das Berg-Talwind-System. Relativ häufig werden hier Luftmassen tagsüber bergan und nachts talab transportiert, ohne dass sie abfließen können. Die im Tal emittierten Schadstoffe sind somit «gefangen» und reichern sich an. Auch in diesem Berg-Talwind-System dürfte der Schadstoffflux in die Blätter und Nadeln der Bäume von Bedeutung sein.

Nun lässt sich nicht für jede regionale Schadenssituation ohne weiteres eine einfache Erklärung finden. Als Beispiel sei abschliessend die Region

Zürich erwähnt, wo in Stadtnähe nur relativ geringe Waldschäden zu verzeichnen sind. Es ist unbestritten, dass die heutigen Schädigungen an Bäumen das komplexe Resultat einer Reihe von Faktoren sind, die sich verstärken oder abschwächen können. Möglicherweise ist letzteres in diesem Fall gegeben. Zu diesem hypothetischen Schluss führt die Feststellung, dass eine Ozonbelastung unserer Wälder existiert und auch im Grossraum Zürich vorhanden ist (1, 7). Die Ozonwerte sind jedoch in Stadtnähe viel geringer als in etwas entfernteren ländlichen Regionen². Solche Effekte wurden im Ausland wiederholt beobachtet, ebenso in Genf (12). Diese Situation erscheint weniger paradox wenn man weiss, dass zur Bildung einer Ozonbelastung Stickstoffoxide aus den Verkehrsabgasen zusammen mit Kohlenwasserstoffen und Sonnenstrahlung zwar nötig sind, bei einem Stickstoffoxidüberschuss das gebildete Ozon aber wieder abgebaut wird. Die Verdünnungseffekte der primären Verkehrsabgase und Transportphänomene führen nun wohl zu einer erhöhten Ozonbelastung in der weiteren Umgebung von Zürich und könnten dort die relativ grösseren Waldschäden erklären.

Abschliessend möchten wir nochmals hervorheben, dass es bei den uns zur Verfügung stehenden Daten um Angaben des Forstdienstes handelte. Diese Angaben haben wir bewusst nicht im Felde überprüft, da wir der Ansicht sind, dass der zuständige Revierförster seinen Wald bestens kennt. Wir haben jedoch die Schadensmeldungen aus gesamtschweizerischer Sicht in einem epidemiologischen Ansatz interpretiert. Der Interpretation standen neben immissionskundlichem Wissen auch Analysen zur Schadstoffbelastung von Fichtennadeln beiseite. Aufgrund des geographischen Verteilungsmusters der Waldschäden und der Schadstoffbelastung können wir einen namhaften Einfluss der Luftverunreinigungen auf das derzeitige Waldsterben in der Schweiz nicht ausschliessen.

Résumé

Dégâts des forêts en Suisse – 1983 – (1ère partie)

Interprétation de l'enquête Sanasilva et de l'analyse des aiguilles d'épicéa au point de vue de la protection des forêts contre les immissions

L'enquête de Sanasilva, effectuée auprès des 1429 gardes forestiers de Suisse, démontra qu'au mois d'octobre 14 % des arbres de l'aire forestière du pays étaient à considérer comme étant malades à morts respectivement 4 % comme étant malades à morts. Cet ordre de grandeur des dommages est confirmé par les premiers résultats de l'inventaire forestier national. Les dégâts annoncés par le Service forestier correspon-

² Dr. F. Gassmann, Eidg. Institut für Reaktorforschung, mündliche Mitteilung.

dent dans leur genre, à ceux constatés dans d'autres pays de l'Europe centrale et dans leur ampleur relative, à ceux de l'état de Hesse de la République fédérale d'Allemagne.

La répartition géographique des dégâts montre de nettes différences régionales. L'ouest de la Suisse est faiblement touché, par contre le Plateau à partir de Bienne, le pied nord du Jura et les vallées alpines à l'est du pays sont fortement endommagés. Cette image des dégâts ne résulte pas de données subjectives de la part du Service forestier lors de l'interprétation des dommages causés à la forêt, mais de différences régionales dans la composition des peuplements et de l'ampleur probable des immissions (soit des retombées polluantes). Les dégâts sont avant tout représentés sur le Plateau, là où il se forme fréquemment un lac d'air froid dans lequel se concentrent les polluants atmosphériques. Le Fricktal et la région de Bâle ressortent aussi distinctement par leurs dégâts, zone du pays par laquelle ce lac d'air froid du Plateau s'écoule le plus souvent. Les dommages dans les Grisons peuvent être expliqués par l'emprisonnement fréquent des masses d'air par le système ascendant et descendant de circulation des vents en montagne. Remarquons l'excellente concordance entre la carte représentant la répartition des substances toxiques déterminées par l'analyse des aiguilles et la carte des dommages en forêt. La teneur en soufre, en chlore et en fluor des aiguilles d'épicéa est, de manière congruente pour ces trois indices d'immission, supérieure dans ces régions à la moyenne du pays, les dégâts y étant particulièrement élevés. Quoique la teneur en substance toxiques des aiguilles d'épicéa soit pour chaque composant relativement faible, il semble bien exister dans l'ensemble une influence manifeste considérable des immissions sur les forêts.

L'examen des réponses fournies par les triages forestiers concernant la pollution de l'air est également impressionnant. Le 93 % des triages, qui déclarent des nuisances par les immissions, ont une proportion plus ou moins élevée d'arbres malades à morts. Dans les triages sans dommage, 24 % d'entre eux seulement indiquent une source d'émission dans le voisinage. Il n'est pas possible, sur la base des présents résultats, d'attribuer les dégâts constatés à certaines catégories de sources de pollution atmosphérique, les nuisances ayant une action souvent cumulative. L'importance des immissions sur le dépérissement des forêts se reflètent aussi dans le fait que le 94 % des triages situés à proximité d'une ville, d'une usine d'incinération des ordures ou d'une autoroute ont annoncé des arbres malades à morts. Pour les triages compris dans la zone d'influence d'industries, ce chiffre se monte même à 98 %.

Traduction: *O. Lenz*

Verdankung

Unser Dank gebührt den Revierförstern der Schweiz für die gewissenhafte Beantwortung der Umfrage und den Forstdiensten der Kantone für ihre kollegiale Zusammenarbeit und das Bereitstellen der Nadelproben. Danken möchten wir auch vielen Mitarbeitern unserer Versuchsanstalt, namentlich den Damen A. Diarra, L. Meier, E. Müller, I. Pfenninger, S. Tamas, E. Vogel und den Herren P. Bleuler, U. Bühlmann, Ch. Hoffmann, B. Jud, H. Mächler, H. Oertli, S. Pintado, E. Vogel. Für wertvolle Hinweise danken wir Herrn Dr. F. Gassmann vom Eidg. Institut für Reaktorforschung in Würenlingen.

Literatur

- 1 *Bucher, J. B.*, 1982: Waldschäden durch Immissionen? Physiologische und ökotoxikologische Wirkungsmechanismen. Probleme der Differentialdiagnose. Gottlieb Duttweiler-Institut, CH-8803 Rüschlikon, 91–109.
- 2 *BML*, 1982: Waldschäden durch Luftverunreinigungen. Angew. Wissenschaft, Heft 273.
- 3 *Bucher, J. B., Mahrer, F.*, 1983: Typische Bilder zu den Waldschadenklassen im Landesforstinventar (LFI) und dem Phytosanitären Beobachtungs- und Meldedienst (Sanasilva), Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Merkblatt für Forstpraktiker 1.
- 4 *Mahrer, F., Brassel, P., Stierlin, H. R.*, 1984: Erste Ergebnisse zum Problem des Waldsterbens aus dem schweizerischen Landesforstinventar (LFI). Schweiz. Z. Forstwes. 135 (1984) 4: 289–306.
- 5 Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1983. Allg. Forst Zeitschrift 38, 1381–1382.
- 6 Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 1982, Ausgegeben am 7. Oktober 1982, Nr. 494: Erste Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen.
- 7 *Bucher, J. B.*, 1984: Bemerkungen zum Waldsterben und Umweltschutz in der Schweiz. Forstwiss. Centralblatt, im Druck.
- 8 *Wanner, H., Kunz, S.*, 1983: Klimatologie der Nebel- und Kaltluftkörper im Schweizerischen Alpenvorland mit Hilfe von Wettersatellitenbildern. Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B 33, 31–56.
- 9 *Climod* (Eidg. Kommission Meteorologie des schweizerischen Gebietes Hochrein/Oberrhein): Möglichkeiten regionaler Klimaveränderungen durch menschliche Einwirkungen. Schlussbericht, 167 S. (1981).
- 10 *Ashenden, T. W., Mansfield, T. A., Wellburn, A. R.*, 1978: Influence of wind on the sensitivity of plants to SO₂. VDI-Berichte 314, 231–235.
- 11 *Flühler, H., Bosshard, W.*, 1982: Waldschäden und Immissionsbelastungen im Walliser Rhonetal. Neue Zürcher Zeitung, Fernausgabe Nr. 135, 33–34.
- 12 *Cupelin, F., Imhoff, C., Landry, J.-Cl.*, 1976: Mesure des immissions d'ozone en continu. Comparaison entre milieux urbain et rural. Service de Toxicologie Industrielle, d'Analyse de l'Air et de Protection contre le Bruit.

