©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Erfassung der Immissionsbelastung ländlicher Ökosysteme

Ernst Rudolph

1. Einführung
2. Beurteilung von Immissionswirkungen durch Indikatorpflanzen
2.1 Allgemeines über Wirkungen und Wirkungsfeststellungen
2.2 Meßgrößen und Verfahren für Wirkungsfeststellungen
3. Immissionsökologische Zustandserfassungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) am Ökosystem Wald
3.1 Nadelanalytische Untersuchungen
3.1.1 Allgemeines
3.1.2 Untersuchungsergebnisse aus den Überwachungsräumen Aschaffenburg, Würzburg, Ingolstadt/Kelheim
3.1.3 Untersuchungsergebnisse des flächendeckenden Bioindikatornetzes
3.2 Symptomatologische (visuelle) Untersuchungen

1. Einführung

In zahlreichen Großstädten und in der Umgebung von Industrieanlagen bestehen heute Systeme zur ständigen Kontrolle bodennaher Luftschichten. Diese Überwachungsanlagen arbeiten nach chemisch-physikalischen Methoden und liefern für diese lufthygienisch besonders belasteten Gebiete aktuelle und fortlaufende Informationen über Konzentrationen der wesentlichen Schadstoffkomponenten aus den Bereichen Verkehr, Industrie und Hausbrand. Damit ist es möglich, lufthygienisch kritische Lagen bereits in ihrer Entstehung zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Diese Messungen liefern allerdings keine Aussagen über die Wirkung von Immissionen auf Organismen und Ökosysteme, vor allem über längere Zeiträume. Zur Indikation dieser Wirkungen wird daher zunehmend von der Bioindikation Gebrauch gemacht. Ein physikalisches Meßstellennetz konnte nur mit sehr hohem Aufwand die Dichte erreichen, die zur Überwachung ganzer Naturräume geboten wäre. Die Bioindikation stellt somit eine sinnvolle und notwendige Ergänzung dieser physikalisch-chemischen Messungen dar. Die Ergebnisse beider Überwachungsmethoden werden in den nach § 47 BImSchG für amtlich festgelegte Belastungsgebiete aufzustellenden Luftreinhalteplänen zusammengeführt.

Für wirkungsbezogene Erhebungen und Untersuchungen eignen sich besonders Pflanzen, da sie standortgebunden und daher im besonderen Maße von ihrer Umwelt abhängig sind. Außerdem sind sie meist in großer Häufigkeit vorhanden, die vergleichbare Erhebungen möglich macht.

2. Beurteilung von Immissionswirkungen durch Indikatorpflanzen

2.1 Allgemeines über Wirkungen und Wirkungsfeststellungen

Wie stark eine Pflanze auf schädliche Immissionen reagiert, hängt in hohem Maße davon ab, ob diese dauernd oder zumindest wiederholt in niedrigen Konzentrationen oder oft nur einmalig und in sehr hohen Konzentrationen einwirken. Länger anhaltende Schadgasimmissionen führen je nach Konzentration in der Summenwirkung zu vermindertem Wachstum, äußerlich wahrnehmbaren Schäden, wie z.B. Blattnekrosen, vorzeitigem Blattabfall oder im schlimmsten Fall zum Absterben der Pflanze selbst. Gleichzeitig kann eine Akkumulierung der Schadstoffe in Assimilationsorganen erfolgen.

Hieraus sind zwei Gruppen von Wirkfeststellungen abzuleiten: in die eine Gruppe fällt die Anreicherung von Schadstoffen in den Pflanzen. Die bestimmenden Parameter hierfür sind nach der VDI-Richtlinie 2450, Blatt 1 (Messen von Emissionen, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe. Begriffe, Definitionen und Erläuterungen) einerseits der Immissionsstrom, andererseits die Mechanismen der Ausscheidung, Umsetzung, Umverteilung innerhalb des Wirkungsortes, d.h. des Akzeptors. Die zweite Gruppe umfaßt Veränderungen der biologischen Eigenschaften des Akzeptors, wie z.B. Veränderungen im Stoffwechsel und Wachstum. Auftreten von Blattschäden oder Absterbeerscheinungen. Feststellungen dieser Art stellen somit die zweite Gruppe von Wirkungserhebungen dar.

Während die Feststellung der Schadstoffanreicherung fast immer komponentenspezifisch ist, ist bei der Ermittlung einer Wirkung im engeren Sinne keine Erfassung von Einzelkomponenten möglich. Diese Vorteile in der Erfassung einer Gesamtwirkung mehrerer Luftverunreinigungskomponenten sind zugleich Nachteil, wenn es darum geht, im Sinne einer Ursachenanalyse die entscheidenden Quellen für die die Wirkung auslösenden Immissionen aufzuspüren. Was vorher Vorteil war, nämlich Einschluß aller anderen Einflußfaktoren zur Abschätzung eines umfassenden Gefährdungspotentials, wird jetzt zum Nachteil, da diese Einflußfaktoren bei der Rückverfolgung auf die maßgebende Ursache jeweils auszuschließen sind.

Bei Wirkfeststellungen der ersten Gruppe finden vorwiegend *Akkumulationsindikatoren* Verwendung. Sie dienen insbesondere zur Überwachung immissionsbelasteter Gebiete mit überwiegend sauren Schadgasimmissionen. Als Indikatoren sind vornehmlich Gräser (z.B. in Nordrhein-Westfalen) und Nadelbäume (z.B. in Bayern) ausgewählt worden.

Diesen Akkumulationsindikatoren können die sensiblen Bioindikatoren gegenübergestellt werden, die bei Wirkungsfeststellungen der zweiten Gruppe verwendet werden wobei klare Abgrenzungen gegenüber der erstgenannten Gruppe allerdings nicht immer eindeutig möglich sind. Diese Gruppe teilt sich auf in komponenten-spezifische und in komponentenunspezifische Indikatoren.

Als spezifisch-sensible Indikatoren gelten z.B. Kleearten (SO_2-sensitiv), bestimmte Gladiolen- und Tulpensorten (HF-sensitiv), die Tabaksorte. Bei W 3, (0_3-sensitiv) ode Moose (Marchantia: SO_2-sensitiv, Funaria: HF-sensitiv).

Als unspezifisch-sensitive Indikatoren sind vor allem die Flechten bekannt geworden, die aufgrund ihrer enormen, jedoch unspezifischen Fähigkeit, Stoffe aus der Atmosphäre zu akkumulieren und wegen ihrer mehrjährigen Lebensdauer gegenüber säurebildenden Schadgasen noch weit empfindlicher als höhere Pflanzen sind. So wurde schon zu Ende des letzten Jahrhunderts festgestellt, daß die Zentren größerer Städte, wie die Innenstadt von München, sogenannte Flechtenwüsten darstellen. Während Kartierungsbefunde an Flechten nur Aussagen über eine längerfristige vorausgegangene Belastung zulassen, können durch Exposition von Flechten und speziellen Trägern auch Informationen über die aktuellen Immissionswirkungen erzielt werden.

Die an einer Indikatorpflanze durch Immissionseinfluß zu messenden Wirkungen sind in ihrer Aussage nicht ohne weiteres auf andere Pflanzen oder Randbedingungen über-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

tragbar. Dies ist nur dann möglich, wenn die entsprechenden korrelativen Beziehungen bekannt sind (z.B. zwischen Schadstoffanreicherung und Flechtenabsterberate).

2.2 Meßgrößen und Verfahren für Wirkungsfeststellungen

Bei beiden Gruppen von Wirkungsfeststellungen müssen Methoden zur Anwendung kommen, die eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse sicherstellen. Standardisierte Methoden haben ihren Vorteil in der Verringerung der Verfahrensstreuung durch Einengen der Randbedingungen, die es erlaubt, auch noch feine Unterschiede etwa zwischen verschiedenen Standorten oder Meßzeiträumen nachzuweisen. Ein möglicher Nachteil ist die verminderte Repräsentanz der Erhebung für die tatsächliche Gesamtwirkung. Jede Wirkungsfeststellung, die an einem bestimmten Akzeptor vorgenommen wird, steht stellvertretend für eine Vielzahl anderer Akzeptoren, die nicht in die Untersuchung einbezogen werden können. Da Reproduzierbarkeit und Repräsentanz gegenläufig sind, ist stets ein geeigneter Kompromiß zwischen den Forderungen nach Reproduzierbarkeit und Repräsentanz vorzunehmen.

Zur Messung oder Überwachung von Immissionswirkungen durch Pflanzen können folgende Verfahren angewandt werden:

- Exposition von Pflanzen in Gefäßen oder Parzellen,
- Exposition in Testkammern mit gefilterter und ungefilterter Luft,
- Exposition auf speziellen Trägern,

  Verwendung von Pflanzen an ihrem Standort.

Das zuerst genannte Expositionsverfahren (Exposition von Pflanzen) wird vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz zur Erfassung komplexer Immissionswirkungen in Belastungsgebieten angewandt, wobei sowohl Akkumulationsindikatoren als auch spezifisch-sensible Indikatoren verwendet werden. Für die großräumige Überwachung ländlicher Ökosysteme wird seit 1973 auf die zuletzt erwähnte Methode zurückgegriffen. Hierbei sind insbesondere schwefel- und fluorhaltige Schadstoffanreicherungen zu erfassen, für die der Einsatz einer einzigen Indikatorpflanzenart ausreicht.

Die Reaktion einer Pflanze auf eine bestimmte äußere Einwirkung kann unter dem komplexen Einfluß innerer Faktoren sowie der mannigfaltigen, sich häufig ändernden Umweltbedingungen, z.B. Lichtintensität, Luftfeuchtigkeit (Jahres- und Tagesrhythmus), Wasserverfügbarkeit und Nährstoffversorgung hohen Schwankungen unterliegen; aber auch mechanische Beanspruchung bzw. Beschädigung, z.B. durch Wind und Tierfraß, können wesentlich sein. Deshalb muß bei allen Arbeiten mit Bioindikatoren auf weitestgehend vergleichbare Rahmenbedingungen geachtet werden. So ist es auch erklärlich, weshalb ein Einzelkennzeichen für den Nachweis einer Schädigung zumeist nicht ausreicht. Auch unter der Berücksichtigung verschiedener Einzelmerkmale gibt es noch kein exaktes Nachweisverfahren. Es handelt sich dabei mehr um eine logische Schlußfolgerung (Indizienbeweis), die unter Berücksichtigung der Tendenz mehrerer Einzelkennzeichen zwingend wird.

Als Meßgrößen bzw. Bewertungskriterien eignen sich physiologisch-biochemische und symptomatologische (visuelle) Untersuchungen. Bei ersteren spielen chemische Analysen (z.B. zur Bestimmung der Schadstoffakkumulation), ökophysiologische (z.B. Gaswechsel, Wasserhaushalt) und biochemische Verfahren (z.B. Enzymaktivität, Pigmentspiegel) eine wesentliche Rolle. Symptomatologische oder visuelle Untersuchungen beruhen im wesentlichen auf biometrischen (z.B. Zuwachs, Bestandshöhe, Benadelungsgrad) pflanzenchorologischen (z.B. Artenspektrum, Artenhäufigkeit), morphologischen (z.B. Entwicklungsstörungen, Nekrosen, Schäden, Wachstumsänderungen, Regenerationserscheinungen) und cytologischen Befunden (z.B. Zellschädigung, Chloroplastendeformationen, Gerbstoffausfällungen).

3. Immissionsökologische Zustandserfassung am Ökosystem Wald

3.1. Nadelanalytische Untersuchungen

3.1.1 Allgemeines

Zur Erfassung der Langzeitwirkung von Schadstoffimmissionen auf ländliche Ökosysteme werden vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz Fichten und Kiefern als repräsentative Vertreter von Waldgesellschaften verwendet, sie zeigen damit zugleich den Zustand des Ökosystems »Wald« an.

Die Indikatorbäume werden auf der Grundlage eines Meßstellen- bzw. Bioindikatornetzes ausgewählt. Die Größe der einzelnen Meßgebiete beträgt im Bereich von Belastungsgebieten 12 km^2. Die tatsächlichen Meßstellen sind in der Natur allerdings unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten so ausgewählt, daß entsprechend der 4. Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionschutzgesetz die Analysendaten der entnommenen Pflanzenproben eine möglichst repräsentative Aussage über das jeweilige Meßgebiet erlauben.

Die Immissionsstruktur eines Teil-Überwachungsraumes ist bedingt durch die Summenwirkung, die sich aus der Lage der Emittenten, den Immissionsquellhöhen und den Transimmissionsverhältnissen - bestimmt durch topographische und meteorologische Gegebenheiten - ergibt.

Diese Teil-Überwachungsnetze sind für alle aufgrund der Verordnung vom 29.04.1976*) festgelegten Belastungsgebiete eingerichtet. In den Räumen Aschaffenburg und Würzburg, Nürnberg, Ingolstadt/Kelheim, Burghausen und im Raum Schwandorf-Weiden bestehen sie seit mehreren Jahren; im Raum München, Augsburg und Regensburg wurden sie erst später eingerichtet. Damit sind ca. 10% der Fläche Bayerns durch engmaschige Teil-Überwachungsnetze abgedeckt.

Seit dem Jahre 1977 sind sie in ein flächendeckendes Bioindikatornetz mit Gitterabständen von 16 km x 16 km eingebunden. Das flächendeckende Netz soll über die außerhalb der Belastungsgebiete herrschende lufthygienische Lage Aussagen liefern. Es sollten so ggf. weitere Belastungsbereiche festgestellt und mit verhältnismäßig geringem Aufwand durch Bioindikatoren überwacht werden.

Insgesamt kann für die in die Überwachung einbezogenen Belastungsgebiete festgehalten werden, daß vor allem Schwefel aus Großfeuerungsanlagen in erhöhtem Maße auf größerer Fläche in den Nadeln der Indikatorbäume angereichert wird. Von wesentlich geringerer flächenhafter Ausdehnung sind Wirkungen fluorhaltiger Immissionen, die vor allem aus Ziegeleien, Porzellan- und Glasfabriken abgeleitet werden. Weitere Schadgasimmissionen sind nur von örtlicher Bedeutung, so daß sie im Rahmen dieser großräumigen Untersuchungen nicht oder nur zum Teil erfaßt werden. Andere Immissionen, wie z.B. Photooxidantien, sind allerdings mit dieser Methode nicht nachweisbar.

Bioindikatornetze stellen also ein Instrument zur Erfassung der räumlichen Ausdehnung immissionsbelasteter Bereiche dar, wobei sich gleichzeitig graduelle Unterschiede in der Belastung zahlenmäßig erfassen lassen. Hierbei erscheint vor allem die Erkennung und Ausdehnung der stark belasteten

*) Bayer. Gesetz- und Verordnungsblatt Nr.9, S. 176

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

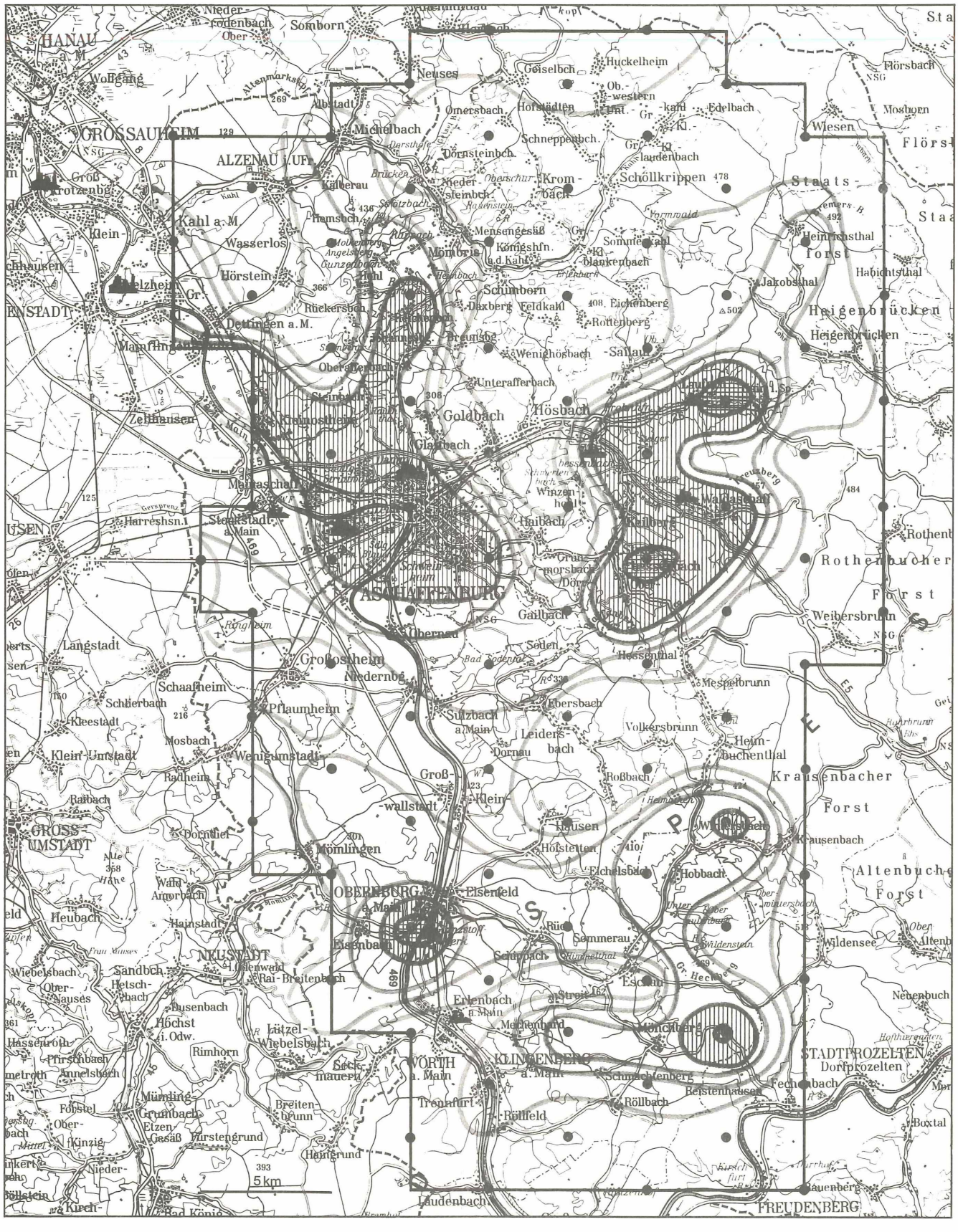

Abbildung 1: Isoplethen für den Schwefelgehalt in Fichtennadeln, sowie Lage bedeutender Emittenten für schwefelhaltige Verbindungen im Raum Aschaffenburg. Maßstab des Kartenausschnittes: 1:200 000.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Zonen innerhalb eines Überwachungsraumes als besonders wichtig, also von Zonen, in denen akute Gefahr für Waldschäden besteht. Bemühungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, diese Langzeitwirkungen von Immissionen in Beziehung zu rechnerischen Abschätzungen der Immissionsbelastung zu setzen, zeigten z.B. für den Raum Ingolstadt, daß die während eines dreijährigen Untersuchungszeitraumes ermittelte Immissionsbelastung der Vegetation gut mit gemessenen Daten und den rechnerischen Abschätzungen der Luftverunreinigung übereinstimmt. Starke Schadstoffanreicherungen, insbesondere schwefelhaltiger Immissionen, sind sowohl in Talräumen als bevorzugten Standorten von Emittenten (Maintal bei Aschaffenburg und Würzburg, Donautal bei Kelheim, Abbildung 1-3) als auch in exponierten Höhenlagen abseits größerer Emissionsquellen (z.B. östlich von Obernburg, Abbildung 1) zu verzeichnen.

3.1.2 Untersuchungsergebnisse aus den Überwachungsräumen Aschaffenburg, Würzburg, Ingolstadt/ Kehlheim

Für sie sei beispielhaft die Aussagekraft der mit Bioindidatornetzen erzielbaren Ergebnisse über die gegebenen Immissionswirkungen erläutert. Diese 3 Räume wurden ausgewählt, weil sie jeweils andersartige Gegebenheiten hinsichtlich Emissionslage und Orographie aufweisen.

Der Belastungsraum Aschaffenburg ist in orographischer Hinsicht als reich gegliedert anzusprechen und weist eine mögliche Immissionsvorbelastung aus dem hessischen Gebiet auf. Im Raum Würzburg konzentrieren sich alle größeren Emittenten auf einen verhältnismäßig engen Talraum, so daß wohl davon ausgegangen werden kann, daß die Schadstoffausbreitung sehr wesentlich von den orographischen Gegebenheiten her bestimmt wird. Im Belastungsraum Ingolstadt/ Kelheim liegt hingegen ein vergleichsweise wenig gegliederter Raum vor. Vor allem im westlichen Bereich, dem Raffineriegebiet, wird die Ausarbeitung der Immissionen infolge der hohen Quellhöhen bei den Emittenten vorzugsweise von den meteorologischen Gegebenheiten her bestimmt.

Bioindikatornetz im Raum Aschaffenburg (Abbildung 1)

Im Untersuchungsraum zeichnen sich hinsichtlich der Wirkung schwefelhaltiger Immissionen 4 Bereiche als stärker belastet ab. Von ihnen befinden sich zwei, zugleich die beiden größten, im mittleren bis nördlichen Untersuchungsgebiet.

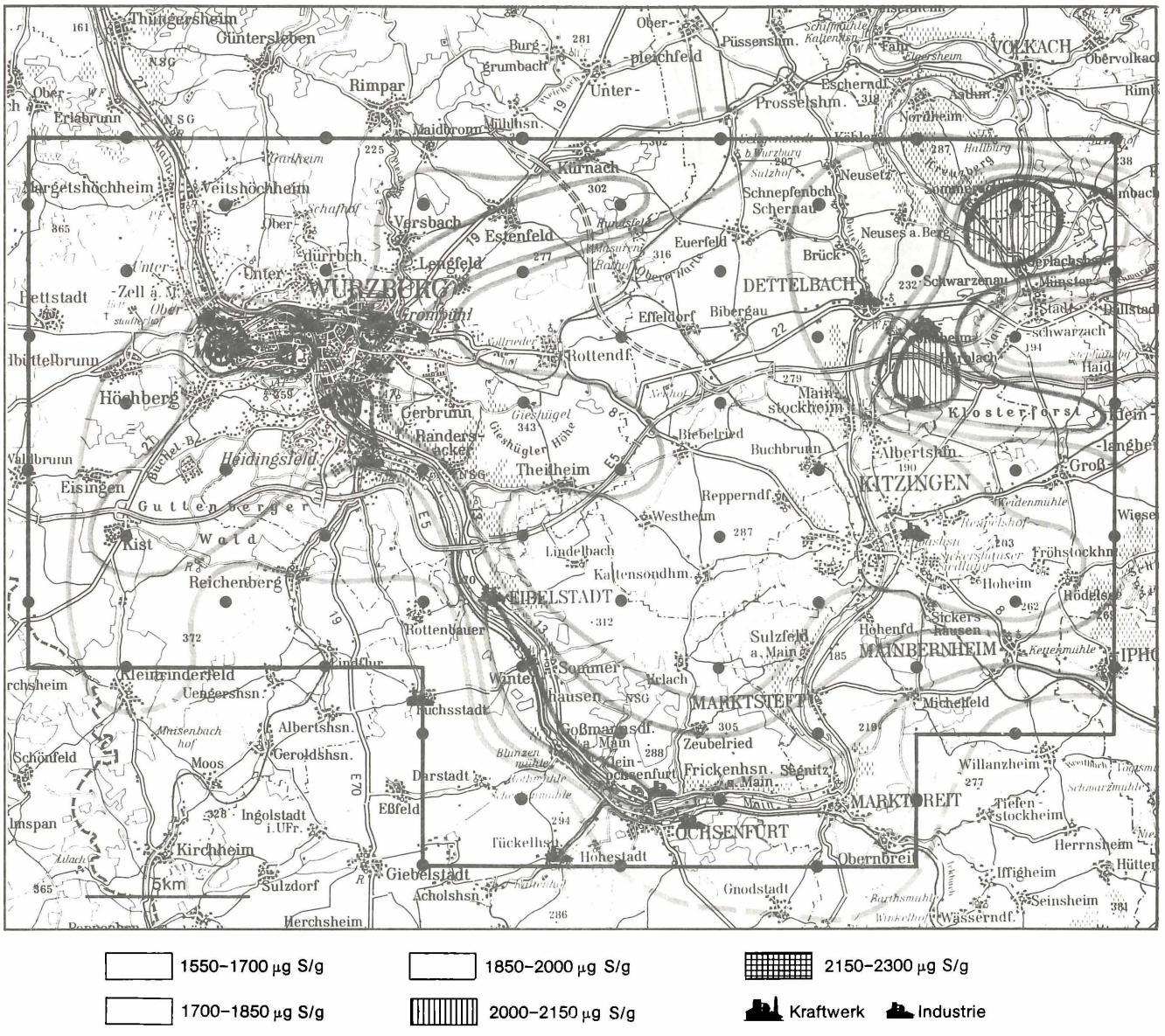

Abbildung 2: Isoplethen für den Schwefelgehalt in Fichtennadeln, sowie Lage bedeutender Emittenten für schwefelhaltige Verbindungen im Raum Würzburg. Maßstab des Kartenausschnittes: 1:200 000.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

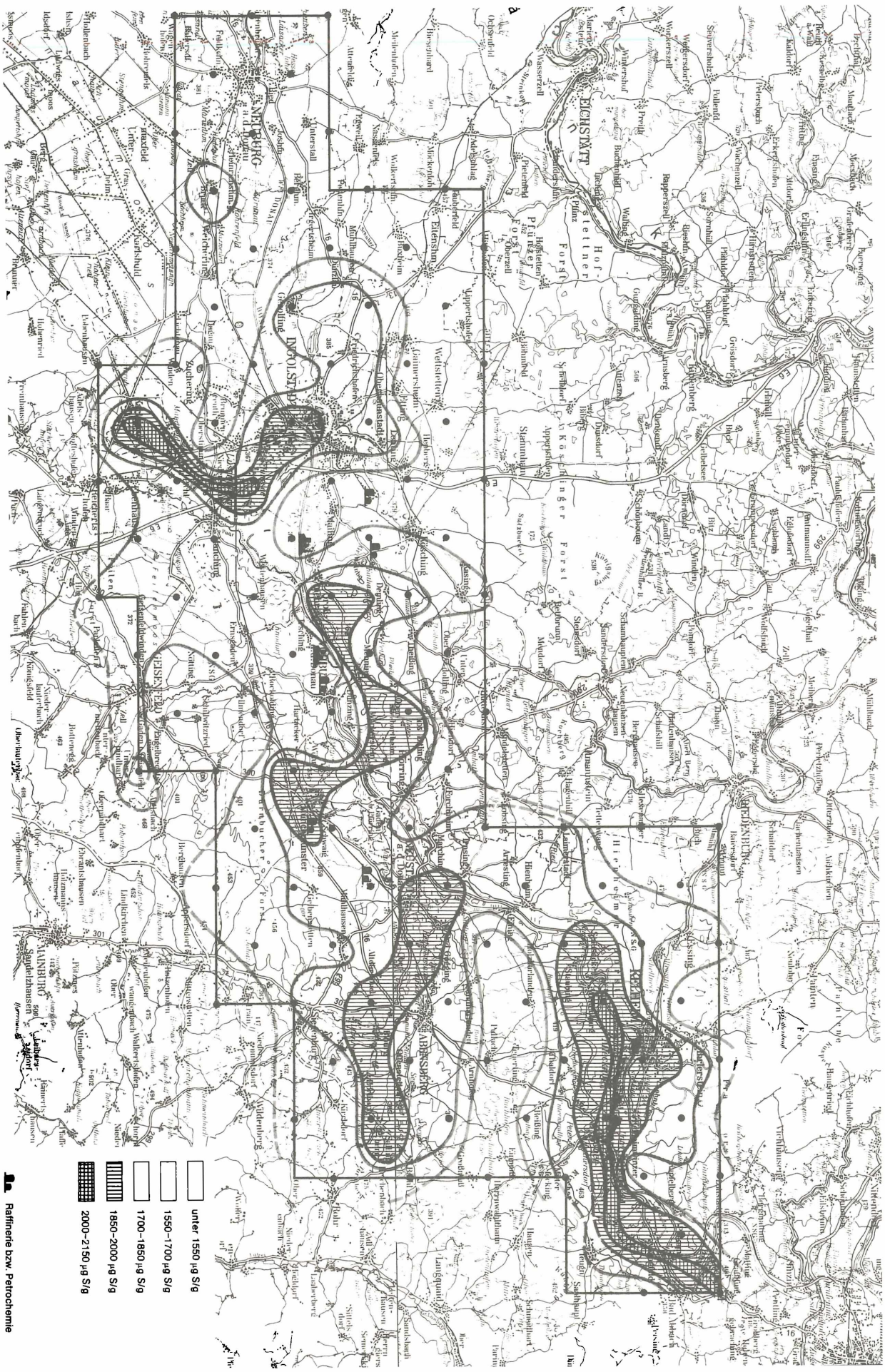

Abbildung 3: Isoplethen für den Schwefelgehalt in Fichtennadeln sowie Lage bedeutender Emittenten für schwefelhaltige Verbindungen im Raum Ingolstadt/Kelheim

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Die westliche Zone umfaßt die Mainebene im Abschnitt zwischen Aschaffenburg und Dettingen, wo sich einige Großemittenten befinden. Diese Belastungszone greift nördlich von Aschaffenburg zungenförmig auf die durchschnittlich 200–250 m höher gelegenen Bereiche des südlichen Hahnenkammgebietes über. Ein Bereich mit erhöhtem S-Gehalt in den Fichtennadeln erstreckt sich noch über das gesamte Hahnenkammgebiet bis zur hessischen Landesgrenze bei Michelbach. Dieser Umstand könnte in Anbetracht der meteorologischen Gegebenheiten auf Winde aus südlicher Richtung bzw. infolge der exponierten Hochlage auch auf Winde aus westlicher Richtung, also aus dem Gebiet des hessischen Ballungszentrums zurückgeführt werden.

Daß auf diese westlichen Winde auch in anderen, ebenfalls weitab von Großemittenten befindlichen Bereichen gleichfalls erhöhte S-Anreicherungen im pflanzlichen Material zurückzuführen sind, deutet folgender Befund an: Auch von der zweiten, weiter östlich befindlichen Belastungszone im Gebiet von Straßbessenbach, Waldaschaff und Laufach setzt sich längs des Westabfalls vom Hochspessart (Sallaufer Forst) ein Bereich erhöhter S-Anreicherungen zungenförmig nach Norden zu fort, während in der westwärts befindlichen, weitgespannten Muldenzone keine Immissionswirkungen erkennbar sind.

Die beiden restlichen Belastungszonen liegen bei Obernburg sowie ca. 8–10 km weiter östlich im Bereich der dort ebenfalls bis ca. 200–300 m über das Maintal emporreichenden Bergrücken. Beide Zonen dürften im wesentlichen durch Immissionen bedingt sein, die von im Maintal zwischen Trennfurth und Obernburg befindliche Emittenten ausgehen und durch westliche Winde in östlicher Richtung verfrachtet werden. Wie in den beiden erstgenannten Belastungszonen hat auch hier in weiter ab von Emissionsquellen gelegenen Bereichen die Geländetopographie entsprechenden Einfluß auf pflanzliche Immissionswirkungen.

Bioindikatornetz im Ballungsraum Würzburg (Abbildung 2)

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse (Abbildung) erweist sich das gesamte Maintal als der am stärksten belastete Bereich. Weite Teile der Hochflächen sind hingegen als nahezu unbelastet anzusehen. Im Gegensatz zum Aschaffenburger Raum sind es im Raum von Würzburg ausschließlich Tal- bzw. Beckenzonen, in denen schwefelhaltige Immissionen am stärksten auf die Vegetation einwirken.

Als belastet erweisen sich nur jene Teile der Hochfläche, die im Südwesten und Nordosten von Würzburg gelegen sind. Während in dem bis etwa gegen Kist reichenden südwestlichen Gebietsstreifen in stärkerem Umfange örtliche Immissionen in Erwägung zu ziehen sind, dürfte die Belastung im nordöstlichen Bereich vorwiegend auf Immissionen der Stadt Würzburg beruhen. Wie im Abschnitt über die meteorologischen Gegebenheiten erwähnt wurde, wird bei Winden aus westlicher bzw. nördlicher Richtung die bei Zell in den Würzburger Talkessel eintretende Frischluft vorzugsweise über die Estenfelder Steige nach Osten zu abgeführt, so daß es zu den beobachteten Schwefelanreicherungen in den Fichtennadeln kommen kann. Diese Ergebnisse erscheinen infolge der orographischen und meteorologischen Verhältnisse sowie der Immissionssituation durchaus verständlich.

Als starke Belastung des Maintals zwischen Würzburg und Ochsenfurt ist wohl eine Folge davon, daß die Immissionen des Würzburger Talkessels wegen der vorherrschenden Westwinde vorzugsweise mainaufwärts abgeführt werden, so daß es zur Überlagerung mit örtlichen Immissionen kommt. Entsprechende Emissionsquellen befinden sich im Mainabschnitt zwischen Fuchsstadt und Ochsenfurt. Die hohe Schwefelbelastung des Maintales zwischen Würzburg und Ochsenfurt dürfte zudem auch auf die besonderen orographischen Verhältnisse in diesem Flußabschnitt zurückzuführen sein. Das hier mehr als 100 m tief in das umgebende Gelände eingeschnittene Maintal ermöglicht keine ungehinderte Ausbreitung der Immissionen, wie dies dann weiter mainaufwärts, etwa ab Ochsenfurt, der Fall ist.

Bioindikatornetz im Donauraum Ingolstadt/ Kehlheim (Abbildung 3)

Infolge der gegebenen Emissions- und Transmissionsverhältnisse wurden in den Fichtennadeln die höchsten Schwefelwerte nicht im engeren Bereich der Großemittenten gefunden, sondern einerseits südlich von Ingolstadt zwischen Ringsee und Karlkron, andererseits in einer schmalen Zone im Donautal zwischen Weltenburg und Bad Abbach. Eine Zuordnung der Gebiete maximaler Schwefelbelastung zu den einzelnen Emittenten ist nicht eindeutig möglich, da die Lage der Gebiete maximaler Immissionsbelastung zu den Emittenten stark von der jeweiligen meteorologischen Gegebenheit bestimmt wird. Während etwa bei schwachwindigen, strahlungsreichen meteorologischen Verhältnissen mit labiler atmosphärischer Schichtung bereits in wenigen hundert Metern Entfernung relativ hohe Immissionswerte vorkommen können, treten bei indifferenter oder leicht stabiler Schichtung – also relativ häufig – meßbare Immissionen erst in mehreren Kilometern Entfernung von Emittenten auf. Daher können die Gebiete erhöhter S-Belastung sowohl benachbarten als auch weiter entfernten Emittenten zugeordnet werden. Die Struktur der Belastungskurven läßt jedoch die dargelegten vorherrschenden Windrichtungen erkennen. Auch hierbei zeigt sich deutlich, daß im langfristigen Mittel West- und Südwestwinde sowie Nordwinde relativ häufig auftreten.

Bei der Wertung der Ergebnisse aus dem Raum Kelheim muß davon ausgegangen werden, daß dieser Raum durch Immissionen aus dem Raffineriegebiet vorbelastet ist, eine Folge der hohen Emissionsquellhöhen der Großemittenten und der relativ häufig auftretenden West- und Südwestwinde in diesem Raum. Die verhältnismäßig hohen S-Werte wie sie in einer schmalen dem Donaulauf folgenden Zone auftreten, können jedoch als durch örtliche Emittenten bedingt angesehen werden. Die hohen Schwefelwerte dieses Bereiches sind, da um Kelheim nur etwa der zehnte Teil an S-haltigen Substanzen wie im Raffineriegebiet emittiert wird, überraschend. Die Emissionshöhen sind jedoch wesentlich geringer, zum anderen sind die als Emittenten in Frage kommenden Betriebe in einem 100–150 m tiefen Talbereich auf relativ kleiner Fläche konzentriert.

3.1.3 Untersuchungsergebnisse des flächendeckenden Bioindikatornetzes (Abbildung 4)

Die bisherigen Ergebnisse über die Schwefelanreicherung in Fichtennadeln lassen erkennen, daß wohl keine augenfälligen Zusammenhänge zu örtlich unterschiedlichen natürlichen Gegebenheiten, wie Höhenlage, Niederschlags- und Bodenverhältnisse oder potentieller natürlicher Vegetation bestehen dürften. Sowohl in Gebieten mit Höhenlagen über 1000 m, die zugleich auch feuchte bis sehr feuchte Bereiche darstellen, sind höchste (z.B. Fichtelgebirge) wie niedrigste (z.B. Alpenbereich, südlicher Bayer. Wald) Schwefelwerte zu finden. Gleiches trifft für klimatisch trockene Bereiche tieferer Lagen zu. Extremwerte der Schwefelanreicherung sind auch bei Böden mit etwa gleichen geologischen Untergrund zu verzeichnen. Dies zeigt sich z.B. sehr deutlich im Bereich der Mittelgebirgszüge des Fichtelgebirges, Oberpfälzer- und Bayerischen Waldes, in denen Braunerden und podsolige bis podsolisierte Sandböden mit Fichten-Tannen-

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

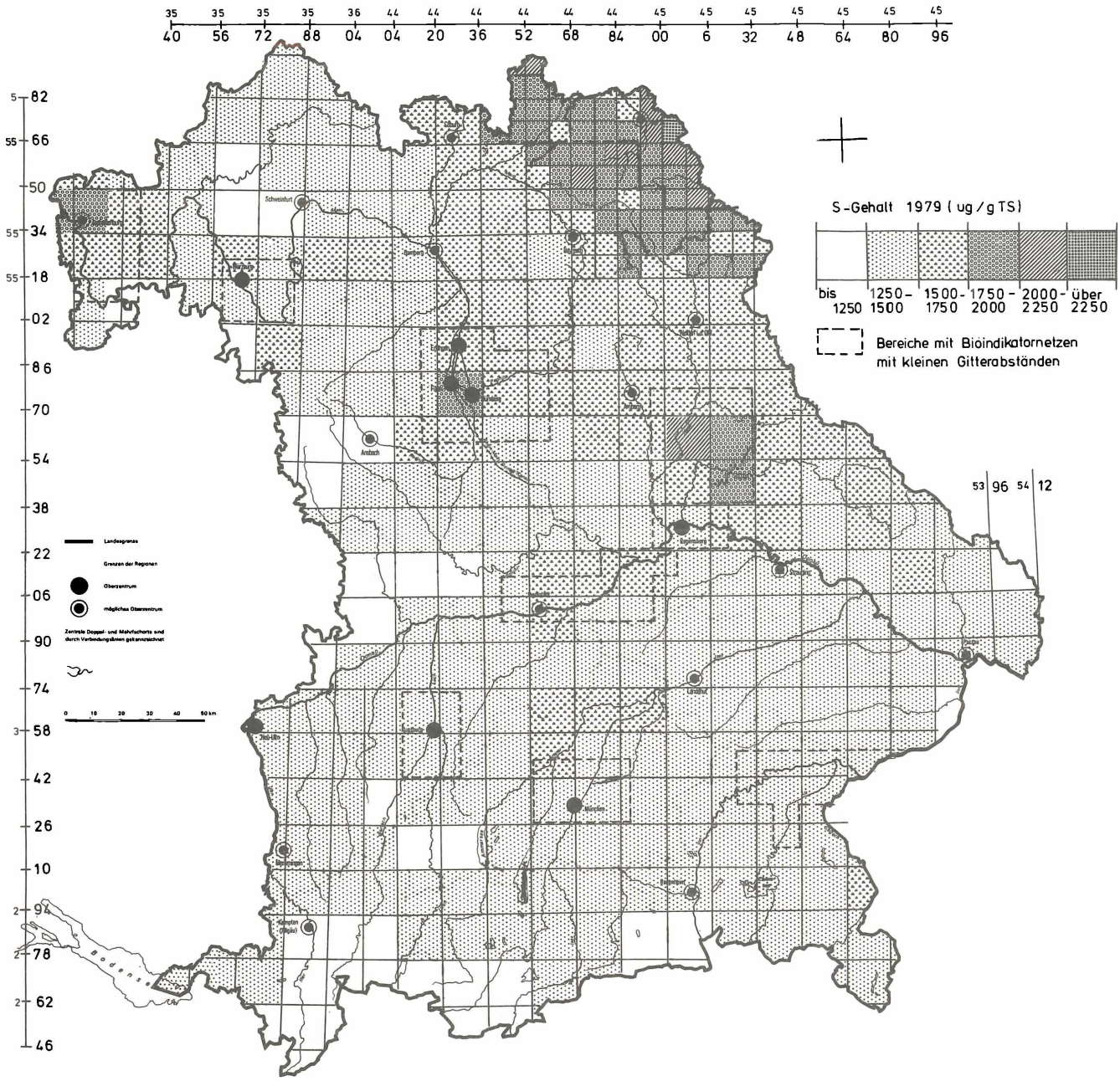

Abbildung 4: Schwefelgehalt von Fichtennadeln des flächendeckenden Bioindikatornetzes Bayern. Die Flächenwerte für den Schwefelgehalt der einzelnen Meßgebiete (16 km x 16 km) stellen Mittelwerte der an den Eckpunkten ermittelten Einzelwerte dar.

Wälder als natürliche potentielle Vegetation eine beherrschende Rolle spielen.

Aus den seit 1977 laufenden Untersuchungen geht hervor, daß die Flächen mit phytotoxischen Schwefelanreicherungen vorwiegend in nicht amtlich ausgewiesenen Belastungsgebieten liegen. Es sind diese das nordbayerische Grenzgebiet (Fichtelgebirge/Frankenwald) sowie der Raum Schwandorf.

Im erstgenannten Bereich treten sie während anhaltender austauscharmer Lagen teilweise ziemlich großflächig auf, was auf relativ weit entfernte Emissionsquellen hindeutet. Als Hauptursache sind ohne Zweifel die Groß-Emittenten im Falkenauer Großindustrierevier anzusehen. Für die ebenso starken Schwefelanreicherungen im Gebiet um Hof sind vor allem Emittenten nördlich und östlich der bayer. Grenze in Erwägung zu ziehen. Im Raum Schwandorf ist als Hauptverursacher wohl das Bayern-AG-Braunkohlekraftwerk anzusehen.

3.2 Symptomatische (visuelle) Untersuchungen

Zur möglichst genauen Abschätzung des Gefährdungspotentials ländlicher Ökosysteme müssen die vorgenannte Wirkfeststellungen an Akkumulationsindikatoren durch weitere Wirkungserhebungen ergänzt werden. Zumeist werden neben der Bestimmung der Aufnahmerate von Schadstoffen symptomatologische Untersuchungen durchgeführt. In der Regel wird man sich hierbei auf repräsentative Indikatoren beschränken müssen, da Erhebungen an allen Akzeptoren eines Belastungsgebietes weder notwendig noch durchführbar sind.

Das Bayer. Landesamt für Umweltschutz beschränkt sich hierbei auf die unter 3.1 erwähnten Indikatorbäume. Bei ihnen werden seit 1981 Erhebungen über das Vorkommen der Flechte Hypogymnia physodes und des Benadelungsgrades durchgeführt.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Während die Flechtenbonitierung Aufschluß über die Summenwirkung sauer reagierender Schadgase gibt, können für den Benadelungsgrad neben der Immissionsbelastung auch natürliche Standortfaktoren (z.B. Frosteinwirkung) von Einfluß sein.

Erste Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß z.B. in stärker immissionsbelasteten Bereichen, wie z.B. in Nordostbayern der Benadlungsgrad überwiegend von der Belastung bestimmt sein kann (Abbildung 5 und 6). In schwach belasteten Bereichen hingegen wie z.B. im Bayerischen Wald dürften offensichtlich natürliche Standortfaktoren ausschlaggebend sein.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß physikalisch-chemische Untersuchungen zur Ermittlung der Emissions- oder Immissionssituation und wirkungsbezogene Untersuchungen unabhängige Informationssysteme darstellen, die sich nicht gegenseitig ersetzen, sondern vielmehr ergänzen. In Luftreinhalteplänen werden beide Arten von Untersuchungen zusammengeführt.

Anschrift des Verfassers:
Reg. Dir. Dr. Ernst Rudolph
Bayer. Landesamt für Umweltschutz
Rosenkavalierplatz 3
8000 München 81

Abbildung 5: Isoplethen für den Schwefelgehalt in Fichtennadeln im nördlichen Oberfranken

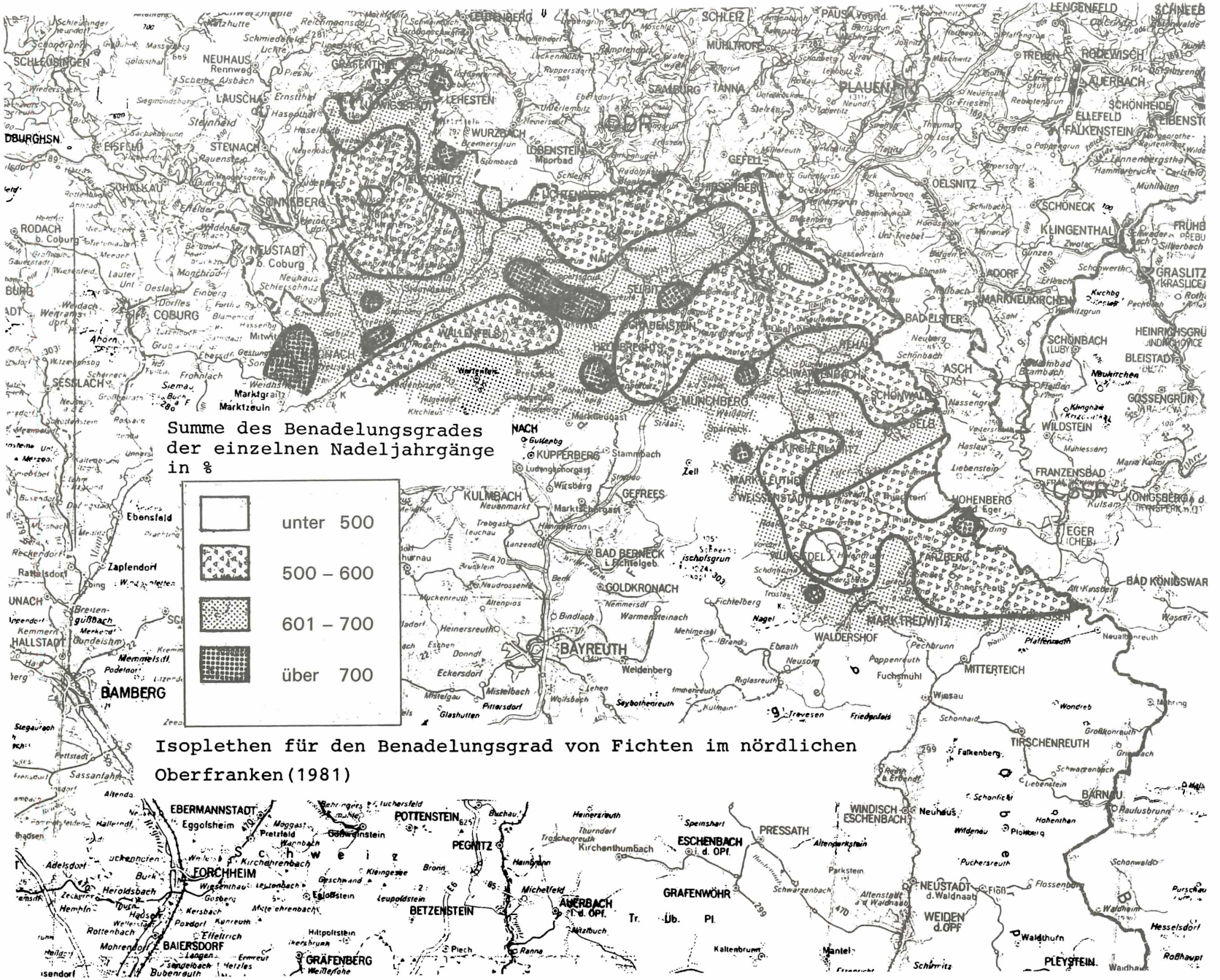

Abbildung 6

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: 2_1982

Autor(en)/Author(s): Rudolph Ernst

Artikel/Article: Erfassung der Immissionsbelastung ländlicher Ökosysteme 54-62