

KONRAD REIDL / ROBERT GUDERIAN

Höhere Pflanzen als Bioindikatoren im terrestrischen Bereich

Kurzfassung

Eine höchst aktuelle Bedeutung für die Umweltüberwachung besitzen höhere Pflanzen als Indikatoren für Schadstoffbelastungen. Als Wirkungskriterien kommen hierbei neben morphologisch-anatomischen sowie physiologischen und biochemischen Veränderungen die Schadstoffakkumulation, Wuchsdepressionen und Änderungen in Aufbau und Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften in Betracht. Bei der Auswahl von Indikatorpflanzen für Immissionsbelastungen haben neben besonders empfindlichen auch weitgehend resistente Arten Bedeutung erlangt. Während erstere einen hohen Zeigerwert besitzen, gestatten letztere den Nachweis immissionsbedingter Schadstoffanreicherungen und damit die Erfassung mittelbarer Gefährdungen über die Nahrungskette. Reaktions- und Akkumulationsindikatoren werden entweder unter standardisierten Verfahren im Untersuchungsgebiet exponiert (aktives Monitoring) oder es werden Untersuchungen an angebauten Kulturpflanzen bzw. an der spontanen Vegetation durchgeführt (passives Monitoring). Da von Art und Intensität immissionsbedingter Wirkungen an Einzelorganismen nicht unmittelbar auf die Belastung von Ökosystemen geschlossen werden kann, werden zur Ergänzung der Bioindikationsmethoden auf der Grundlage einzelner Arten ökosystemorientierte Untersuchungen erforderlich.

Neben ihrer Eignung von Monitor- und Testorganismen besitzen höhere Pflanzen eine Bedeutung als Zeigerarten, die durch ihr Vorkommen oder Fehlen bzw. durch ihre Zu- und Abnahme Hinweise geben auf die Intensität bestimmter ökologischer Faktoren oder das Wirken von Faktorenkombinationen. Hierdurch werden Aussagen über den Zustand sowie über Veränderungen von Ökosystemen möglich, die für verschiedene planerische Fragestellungen, beispielsweise die Ausweisung und Überwachung ökologischer Vorranggebiete, von Bedeutung sind.

Darüber hinaus stellen höhere Pflanzen als Bioindikatoren wichtige Bausteine dar zur Entwicklung eines systematisch aufgebauten Monitoring-Systems für den Naturschutz. Sowohl die Indikatoren von Schadstoffbelastungen durch aktives und passives Monitoring als auch die Verwendung höherer Pflanzen bzw. ihrer Gemeinschaft als Zeiger für Umweltveränderungen spielen hierbei eine unverzichtbare Rolle.

1. Einleitung

Zur Erkennung, Erfassung und Bewertung von Umweltbelastungen kommen neben chemisch-physikalischen Methoden biologische Verfahren zur Anwendung. Der Stellenwert biologischer Verfahren ergibt sich daraus, daß sie Wirkungsaussagen ermöglichen, auf Veränderungen im Ökosystem aufmerksam machen und Prognosen erlauben hinsichtlich der Gefährdung anderer Bestandteile des Ökosystems.

Eine besondere Bedeutung bei der biologischen Indikation anthropogener Umweltveränderungen besitzen Pflanzen, da sie als autotrophe Organismen essentielle Bestandteile ökologischer Systeme und zugleich Lebensgrundlage heterotropher Arten sind. Zudem sind Pflanzen vergleichbaren Erhebungen leichter zugänglich als Mensch und Tier, denn sie sind standortgebunden, meist in hohen Individuenzahlen vorhanden und weitgehend erfaßbaren Umweltbedingungen ausgesetzt.

Insbesondere bei der Indikation biologisch wirksamer Immissionen erwiesen sich Pflanzen als besonders geeignet, da sie auf verschiedene Luftverunreinigungen nicht nur sehr empfindlich, sondern zum Teil auch spezifisch reagieren. Allerdings stellt die Indikation von Schadstoffbelastungen nur einen Teil des Einsatzes von Pflanzen als Bioindikatoren dar. Sollen Zustand und Gefährdung ökologischer Systeme anhand von Bioindikatoren beschrieben und bewertet werden, sind neben dem Stoffeintrag auch andere Einwirkungen des Menschen, die zu Veränderungen in Ökosystemen oder in ganzen Landschaften führen, in die Erhebungen einzubeziehen. Es sind also auch Faktoren wie Art und Intensität der räumlichen Nutzung sowie der Verlust von Lebensräumen für Tiere und Pflanzen zu berücksichtigen.

Mit der vorliegenden Ausarbeitung wird versucht, anhand einer Analyse der Literatur und von Erfahrungen aus der Praxis Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes höherer Pflanzen als Indikatoren im terrestrischen Bereich aufzuzeigen. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Einsatz höherer Pflanzen als Indikatoren für Schadstoffbelastungen, als Zeiger für Umweltveränderungen sowie als Indikatoren für den Naturschutz.

2. Bioindikation von Schadstoffbelastungen

2.1 Wirkungskriterien und Methoden der Bioindikation

Eine höchst aktuelle Bedeutung für die Umweltüberwachung besitzen Pflanzen als Indikatoren für Schadstoffbelastungen. Bei derartigen Schadstoffbelastungen kann es sich um gas- oder staubförmige Luftverunreinigungen, daneben aber auch um Belastungen durch Streusalz oder Herbizide handeln; da die Bioindikation im Bereich der Luftreinhaltung die größte Bedeutung erlangt hat, bildet diese nachfolgend den Schwerpunkt der Ausführungen.

Als Kriterien zur Ermittlung von Immissionswirkungen kommen Schadstoffanreicherungen in den verschiedenen biotischen Organisationsstufen, Störungen in physiologischen und biochemischen Abläufen in der Zelle, submikroskopische und morphologische Veränderungen an Zellorganellen und Organen sowie Auswirkungen am Gesamtorganismus in Frage. Neben den Wirkungen auf den verschiedenen Ebenen im Einzelorganismus sind Veränderungen in der Artenzusammensetzung und Struktur von Phytozönosen oder sogar von ganzen Ökosystemen zu beachten (1).

Aus der Art der Wirkungen folgt, daß im praktischen Immissionsschutz einerseits sehr empfindliche Arten als "Reaktionsindikator-

ren", andererseits weniger empfindliche Arten als "Akkumulationsindikatoren" eingesetzt werden. Dabei wird unterschieden zwischen dem aktiven Monitoring, bei dem Pflanzen nach standardisierten Methoden kultiviert und exponiert werden, sowie dem passiven Monitoring, bei dem Erhebungen an Kultur- und Wildpflanzen am natürlichen Wuchsort durchgeführt werden. Daneben lassen sich Pflanzen als Testorganismen im Laboratorium verwenden.

2.2 Aktives Monitoring

Der routinemäßige Einsatz von Bioindikatoren sowie die Verwendung ihrer Aussagen für die praktische Luftreinhaltung haben zu einer weitgehenden Standardisierung verschiedener Verfahren geführt. Ziel ist es, die durch endogene und exogene Faktoren bedingte Streuung in der Pflanzenreaktion unter einer gegebenen Immissionsbelastung möglichst gering zu halten und somit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Dies wird durch eine Standardisierung der Pflanzenkultur sowie der Expositionssysteme erreicht. Das bekannteste Beispiel hierfür stellt das von Scholl (2) entwickelte, in der VDI-Richtlinie 3792 Blatt 1 und 2 (3) in allen Einzelheiten normierte Verfahren der standardisierten Graskultur dar. Das Graskulturverfahren wird zur Erfassung von Immissionsbelastungen sowohl lokal im Umgebungsbereich einzelner Emittenten als auch regional in Wirkungskatastern eingesetzt (4). Hierbei wird das während der Vegetationsperiode in 14-tägigem Abstand gewonnene pflanzliche Probematerial von *Lolium multiflorum* auf den Gehalt an Schwefel, Fluor, Blei, Zink und Cadmium untersucht. Von besonderer Bedeutung ist, daß die im Weidelgras angereicherten Schadstoffmengen Rückschlüsse erlauben auf die Ursachen immissionsbedingter Pflanzenschäden, die Gefährdung anderer Pflanzenarten sowie die Gefährdung von Mensch und Tier über die Nahrungskette. Hieraus konnten Grenzwert-Empfehlungen für den mittleren Schadstoffgehalt standardisierter Graskulturen zum Schutz der Vegetation sowie von Nutztieren abgeleitet werden (5).

Neben dem Weidelgras werden weitere höhere Pflanzen im aktiven Monitoring als Akkumulationsindikatoren eingesetzt, beispielsweise Blätterkohl (*Brassica oleracea acephala*) als Indikator für polyzyklische Aromaten (6).

Im Gegensatz zu "Akkumulationsindikatoren" kommt es bei der Verwendung von "Reaktionsindikatoren" darauf an, möglichst empfindliche Pflanzenarten auszuwählen und anzuwenden. Beispielsweise erwiesen sich Gladiolen als geeignete Indikatoren zur Überwachung von Gebieten mit fluorhaltigen Luftverunreinigungen (7). Als Maß für die Belastungshöhe läßt sich hierbei der Umfang der Blattnekrosen heranziehen. Zur Erfassung von Ozon werden weltweit Tabakpflanzen, vor allem die besonders empfindliche Tabakvarietät Bel W3 eingesetzt. Zum Nachweis von Belastungen durch PAN (Peroxyacetylnitrat) wurden die Kleine Brennessel (*Urtica urens*) sowie das Einjährige Rispengras (*Poa annua*) eingesetzt (8). Einen Überblick über Ergebnisse der Bioindikation in verschiedenen Ländern zum Nachweis photochemischer Oxidantien geben Guderian/Tingey/Rabe (9).

Relativ aufwendig ist der Einsatz eines standardisierten "Bioindikatorfächers". Bei diesem Verfahren wird aus den unterschiedlichen Reaktionen gleichzeitig exponierter Bioindikatoren eine zusätzliche Information über die einwirkende Schadstoffdosis gewonnen. Beispielsweise berichtet Nobel (10) über einen Indikatorfächer mit Reaktionsindikatoren für Photooxidantien mit Tabak (*Nicotiana tabacum* Bel W3), Kleine Brennessel (*Urtica urens*), Buschbohne (*Phaseolus vulgaris* 'Pinto'), Spinat (*Spinacia oleracea* 'Dynamo'), Radieschen (*Raphanus sativus* 'Neckarperle') und Ackerbohne (*Vicia faba* 'Herra').

Beim Einsatz standardisierter Indikatorpflanzen kommt neben der Exposition in Gefäßen oder Parzellen ohne Luftfilterung auch die Exposition in Systemen mit gefilterter und ungefilterter Luft in Betracht. Ein Beispiel hierfür stellen die von van Haut (11) entwickelten transportablen "Testkammern" dar. Durch Einsatz spezifisch empfindlicher Indikatorpflanzen sowie spezieller Filtersysteme lassen sich auf diese Weise auch bei Vorliegen komplexer Immissionstypen die wirksamen Komponenten und das Gefährdungspotential abschätzen.

Eine starke Einengung des Spektrums wirksam werdender Faktoren läßt sich auch bei der Verwendung von Pflanzen als Testorganismen im Laboratorium erreichen. Als Beispiel sei hier der Kresstest angeführt (12), bei dem Samen der Kresse (*Lepidium sativum* L.) auf Bodenproben aus dem Immissionsgebiet oder auf ein anderes Substrat aufgebracht und zusätzlich aus dem Untersuchungsgebiet entnommene Schadstoffe über die Testorganismen geleitet werden.

2.3 Passives Monitoring

2.3.1 Autökologische Erhebungen

Im passiven Monitoring werden die Indikatoreigenschaften angebaute Kulturpflanzen oder aber der spontan auftretenden Wildpflanzen genutzt, um zu Erkenntnissen über Immissionswirkungen zu gelangen. Ebenso wie beim vorstehend dargestellten aktiven Monitoring stehen hierbei Einzelorganismen oder Organismengruppen deutlich im Vordergrund. Obgleich hier, vor allem auf der Ebene der biochemischen, physiologischen und morphologischen Wirkungen, durchaus spezifische Reaktionen auf ganz bestimmte Luftschadstoffe auftreten können, hat aufgrund der Komplexität der Standortfaktoren die unspezifische Bioindikation die größere Bedeutung. Dennoch lassen sich auch bei dieser Form der Bioindikation immissionsbedingte Schäden nicht nur erkennen; daneben werden Aussagen zur Schadenshöhe sowie zu den Ursachen einer immissionsbedingten Schädigung möglich. Neben der Analyse von Schadstoffanreicherungen kommt hierbei dem unterschiedlichen Resistenzverhalten der Pflanzen eine große Bedeutung zu (13).

Auch bei der Ermittlung der Schadenshöhe spielen autökologische Erhebungen eine große Rolle. So werden beispielsweise im Rahmen der "Immissionsökologischen Waldzustandserfassung" die Anzahl der Nadeljahre bei der Fichte sowie die Anreicherung von Schadstoffen in ein- und zweijährigen Fichtennadeln als Indikator für den Grad der Schädigung herangezogen (14).

Im Zusammenhang mit dem Waldsterben werden auch Jahrring-chronologische Untersuchungen durchgeführt, die Rückschlüsse auf frühere Belastungen ermöglichen (15).

Großräumig lassen sich geschädigte Waldbestände mit Hilfe photographischer Verfahren überwachen. So kam für die Erhebung von Waldschäden in Nordrhein-Westfalen, neben einer Vitalitätsansprache vom Boden aus, ein Inventurverfahren auf der Grundlage von Colour-Infrarot-Luftbildern zur Anwendung (16). Der Vorteil eines derartigen Verfahrens beruht u.a. darauf, daß große Gebiete schnell abgedeckt werden können. Beispiele für das passive Monitoring durch autökologische Erhebungen sind in der Literatur in großer Zahl zu finden (17).

2.3.2 Synökologische Erhebungen

Die bisher dargestellten Wirkungserhebungen beziehen sich auf den Einzelorganismus. Aufgrund ihres autökologischen Charakters lassen sich die gewonnenen Aussagen nur bedingt auf ganze Ökosysteme übertragen. Für die reale Einschätzung von Immissionswirkungen erlangen daneben zunehmend Untersuchungen an

Biozönosen, insbesondere an Pflanzengemeinschaften Bedeutung. Kowarik/Sukopp (18) stellen Beispiele dar für immissionsbedingte Veränderungen verschiedener terrestrischer Vegetationstypen (Wälder, Forste, Heiden, Grünland, Segetal- und Ruderalvegetation).

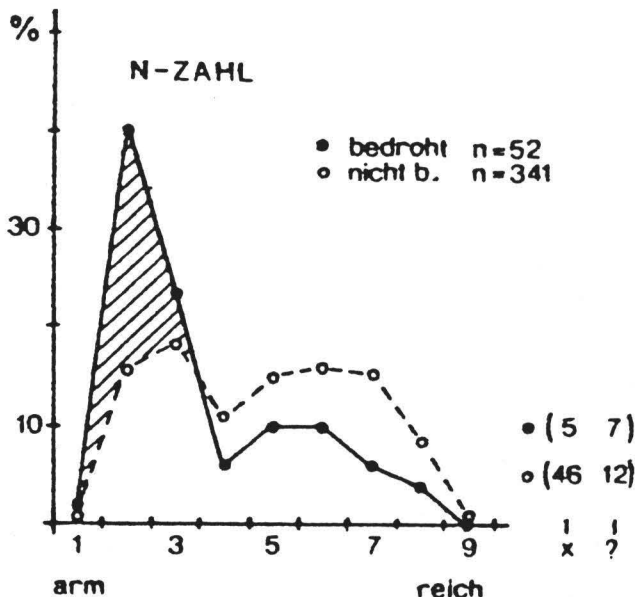
Eine Arbeit von Ellenberg jun. (19) gibt einen allgemeinen Ausblick auf die Gefährdung von Pflanzenarten und -gesellschaften durch Luftverunreinigungen, indem Bezüge zwischen Gefährdungsgrad und Ansprüchen der Arten an ihren Standort dargestellt werden (Auswertung der Zeigerwerte der Arten nach Ellenberg sen. (20)). Aus der von Ellenberg jun. (21) vorgenommenen Auswertung wird deutlich, daß der Großteil der gefährdeten Arten (mit Ausnahme der Salz-, Ruderal- und Waldarten) an stickstoffarme Standorte gebunden ist. Als Tendenz wird erkennbar, daß das Gefährdungsmaß der Arten mit niedrigeren Stickstoff-Werten und größeren Reaktionswerten steigt, während Arten mittlerer und reicher Standorte kaum gefährdet sind. Hieraus läßt sich schließen, daß die Arten, die durch andere anthropogene Einwirkungen (z.B. Änderungen der Bewirtschaftung, Düngung und Herbizideinsatz) bereits allgemein gefährdet sind, durch Luftverunreinigungen zusätzlich unter Druck geraten. Entscheidend sind in diesem Zusammenhang die Verbesserung des Nährstoffangebots armer Standorte sowie die Erniedrigung des pH-Wertes ungepufferter Böden.

Die Folgen der durch Schadstoffeintrag verursachten Veränderungen in Ökosystemen sind gegenwärtig noch nicht absehbar. Nachdem bisher die Ermittlung von "critical levels", d.h. von noch tolerierbaren Schadstoffgehalten in der Luft, im Vordergrund der Untersuchungen stand, schenkt man heute den "critical loads", also den noch tolerierbaren Einträgen in den Boden, größere Bedeutung (22).

Unter hohen Immissionsbelastungen, wie sie früher im Umgebungsbereich von Einzelquellen anzutreffen waren, kam es zu deutlichen Veränderungen in der Flora und Vegetation der umgebenden Bereiche. Abhängig von Art und Höhe der Belastungen traten bestimmte Arten gehäuft auf, andere gleichverteilt und wiederum andere fehlten ganz (23). Hajduck (24) spricht in diesem Zusammenhang von "positiven" bzw. "negativen" Phytoindikatoren. Brandt/Rhoades (25) konnten über die Ermittlung von Verschiebungen im Arteninventar der Sämlings- und Schößlingschicht den Trend der zukünftigen Sukzession beurteilen.

Unter den derzeit vorherrschenden Immissionsbedingungen, gekennzeichnet durch lang anhaltende Einwirkungen niedriger Konzentrationen und weitverbreitetes Auftreten komplexer Luftverunreinigungstypen, treten vor allem chronische und latente

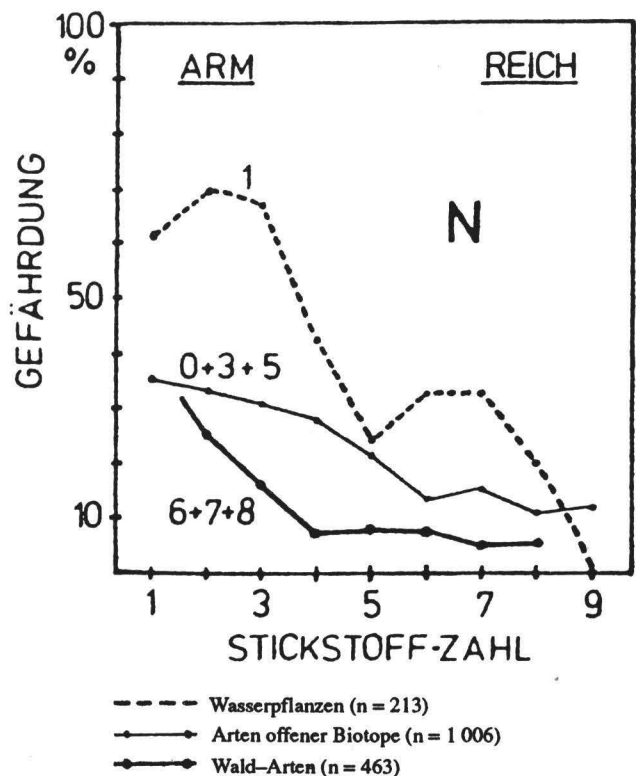
Abbildung 1:
Relative Häufigkeit der in der
"Roten Liste" (1) enthaltenen Waldarten
und nicht gefährdeter Arten in den
Zeigerwertklassen 1–9 (Stickstoff-Werte)



(1) Kategorie 1–3 bei Sukopp, H. et al. (siehe Anm. (52))

Quelle: Ellenberg, H. (siehe Anm. (20))

Abbildung 2:
Anteil der gefährdeten Arten der
"Roten Liste" (1) an der Gesamtzahl
aller Arten der Zeigerwertklassen 1–9
(Stickstoff-Werte)



(1) Kategorie 1–3 bei Sukopp, H. et al. (siehe Anm. (52))

Quelle: Ellenberg, H. (siehe Anm. (20))

Wirkungsformen auf. Durch subletale Vitalitätsminderungen kommt es u.a. durch Schwächung der Konkurrenzstärke einzelner Arten zu Veränderungen in der Zusammensetzung und im Aufbau von Phytozönosen. So konnten Wittig/Werner (26) Veränderungen in der Krautschicht von Flattergras-Buchenwäldern in der Westfälischen Bucht nachweisen. Pflanzensoziologische Aufnahmen der gleichen Waldbestände 1976 und 1983 ergaben, daß insbesondere die Säurezeiger stark zugenommen hatten (27). Eine Reihe von deskriptiven Freilanduntersuchungen belegt, daß die Bodenvegetation von Waldökosystemen in den letzten Jahren bis Jahrzehnten deutliche Veränderungen in ihrer Bestandesstruktur (erhöhter Anteil von Säure- und Stickstoffzeigern nach Ellenberg (28)) erfahren hat (29). Die nasse und trockene Deposition atmosphärischer Schadstoffe wird hierfür verantwortlich gemacht. Zur Sicherung dieser Aussage sind neben den deskriptiven Methoden Begasungsversuche sowohl in naturnahen Ökosystemen (30) als auch an Modell-Pflanzengemeinschaften (31) erforderlich. In Begasungsversuchen an Modell-Pflanzengemeinschaften konnte gezeigt werden, daß sich immissionsbedingte Verschiebungen in der Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften vor allem unter nicht zu hohen Belastungen nicht allein mit der unmittelbaren Schadwirkung auf die unterschiedlich anfälligen Arten einer Gemeinschaft erklären lassen. Vielmehr kommt es unter Immissionsinfluß auch zu Veränderungen in den zwischenartlichen Konkurrenzbedingungen, wodurch die Wirkungen auf die anfälligeren Bestandpartner verstärkt werden (32). Hieraus erklärt sich auch, daß bestimmte Vergesellschaftungen höherer Pflanzen empfindlichere Indikatoren für Luftverunreinigungen darstellen als die sie bildenden einzelnen Arten (33).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß zur Erfassung und Bewertung von Immissionswirkungen auf die Vegetation neben autökologischen auch synökologische Untersuchungen erforderlich sind. Neben experimentellen Untersuchungen hinsichtlich der Wirkungen von Schadstoffen auf Ausschnitte von Ökosystemen bzw. auf Modell-Ökosysteme sollten systemorientierte Untersuchungen auf Daueruntersuchungsflächen erfolgen, um auf diese Weise die Entwicklung unterschiedlicher Ökosystem-Typen zu überwachen (34).

3. Höhere Pflanzen als Zeiger für anthropogene Umweltveränderungen

3.1 Interpretation der räumlichen Verbreitung von Arten und Artengruppen

Anthropogene Umweltveränderungen führen zur Ausbildung neuer Arealformen auf lokaler wie regionaler Ebene. Höhere Pflanzen (Arten und Artenkombinationen) besitzen daher in ihrer Verbreitung sowie in der Verteilung von Lebensformen, Arealtypen und ökologischen Gruppen einen Zeigerwert für Umweltfaktoren (35). Beispielsweise können Untersuchungen zu den Arealssystemen von Pflanzen mit dazu beitragen, den Grad der zeitlichen und räumlichen Veränderungen von seltenen und gefährdeten Biozönosen infolge spezieller Einflußgrößen der menschlichen Nutzung anzuzeigen.

Woike (36) nennt eine Reihe charakteristischer Arten der Feucht- und Frischwiesen, die in Nordrhein-Westfalen ursprünglich auch im Flachland (weit) verbreitet waren, heute aber bevorzugt im Mittelgebirge größere Populationen besitzen. Hierzu gehören in den Feucht- bis Frischwiesen beispielsweise Schlangenknoterrich (*Polygonum bistorta*), Bach-Nelkenwurz (*Geum rivale*), Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*) und das Breitblättrige Knabenkraut (*Dactylorhiza majalis*). Auch die Arnika (*Arnica montana*), eine Kennart der Borstgrasrasen, war ursprünglich nicht auf den Mittelgebirgsraum beschränkt. Sie kam früher auch in den Heiden

des Niederrheinischen und des Westfälischen Tieflandes vor, wo sie heute ausgestorben bzw. vom Aussterben bedroht ist.

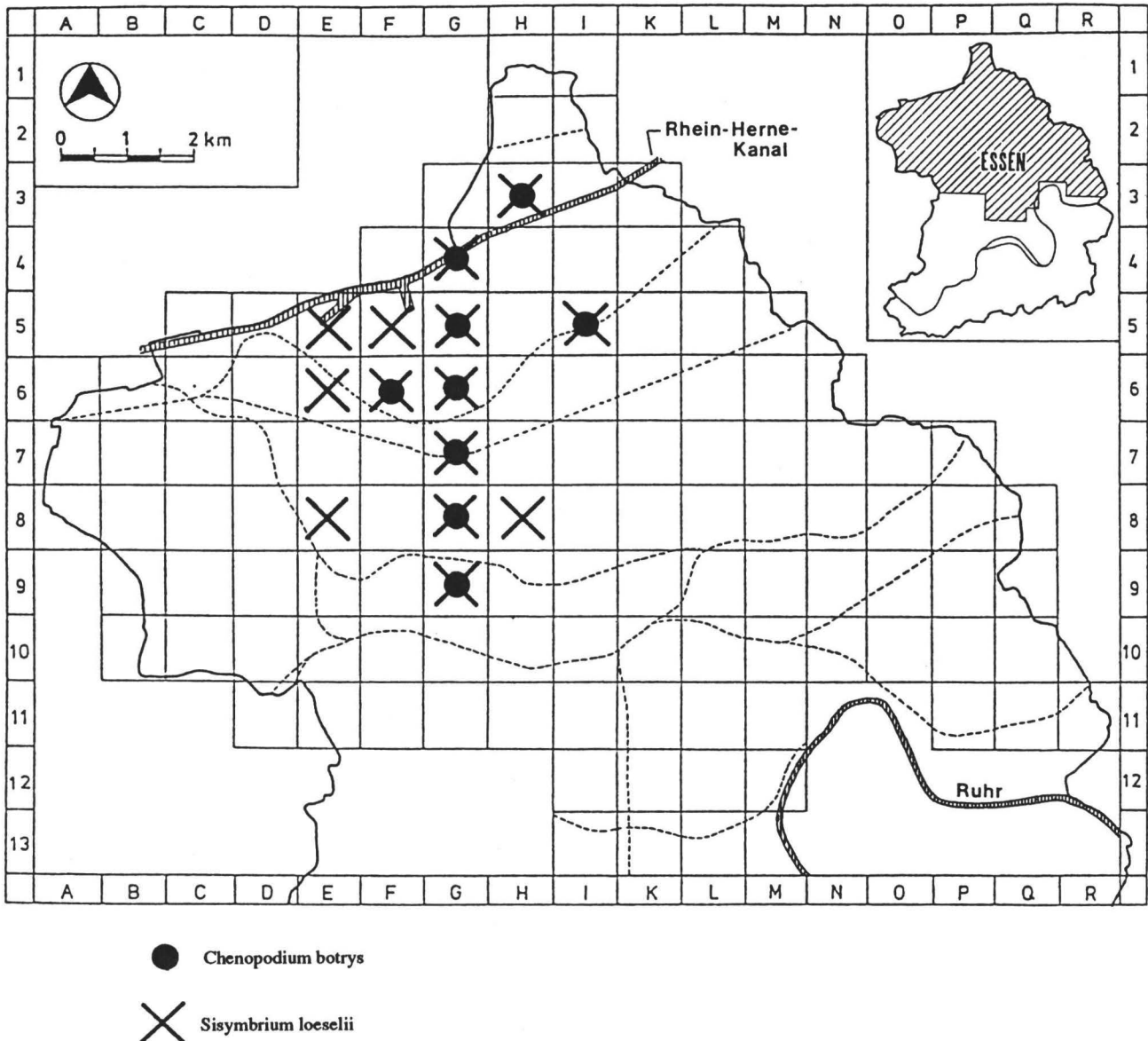
Die Kontrolle der Entwicklungstrends von Organismen und Biozönosen ist Grundlage für die rechtzeitige Einleitung geeigneter Erhaltungs- und Schutzmaßnahmen. Dies gilt nicht nur für die freie Landschaft, sondern ebenso für den besiedelten Bereich. Beispielsweise erstellte Maas (37) auf der Grundlage floristischer Rasterkartierungen für die Kleinstadt Saarlouis ein "langfristig wirksames, ökologisches Kontrollsystem". Dieses soll dazu dienen, "in Anlehnung an einen kommunalen Planungsraum den durch den Menschen verursachten Wandel der Pflanzenwelt" nachzuvollziehen. Als Grundlage eines solches Kontrollsystems muß eine reproduzierbare Inventarisierung der Pflanzenarten erfolgen.

Derartige flächendeckende floristisch-vegetationskundliche Kartierungen stellen jedoch nicht nur die Grundlage für ein entsprechendes Monitoring dar. Sie erlauben darüber hinaus Rückschlüsse auf die am jeweiligen Standort herrschende wirksame Faktorenkombination. Die Punkt- und Rasterkartierung von Einzelarten ist daher eine bewährte Methode zur Indikation urbaner Standortbedingungen (38). Arten mit ähnlicher Verbreitung lassen sich zu Indikatorgruppen zusammenfassen und hinsichtlich ihres Verbreitungsschwerpunkts, ihrer ökologischen Eigenschaften und Soziologie beschreiben. Beispielsweise konnten für den zentralen und nördlichen Bereich der Stadt Essen die flächendeckend kartierten Indikatorarten 22 Verbreitungstypen zugeordnet werden (39). In den Karten 1 und 2 werden die Verbreitungsbilder von Klebrigem Gänsefuß (*Chenopodium botrys*) und Loesels Rauke (*Sisymbrium loesilii*) der Verbreitung von Flattergras (*Milium effusum*) und Vielblütiger Weißwurz (*Polygonatum multiflorum*) gegenübergestellt (40). Der durch die beiden erstgenannten Arten gekennzeichnete Verbreitungstyp besteht großteils aus Neophyten, deren Einwanderung und Existenz durch die starke industrielle Überformung des Raums bedingt ist. Der Schwerpunkt ihres Vorkommens befindet sich im Bereich einer durch Industrie und Gewerbe geprägten Stadtzone, die sich vom Stadthafen bis in das Stadtzentrum erstreckt. Die Arten dieser Gruppe besiedeln hier als extreme Lichtpflanzen ausschließlich offene, trockene, basenreiche bis relativ basenarme Standorte. Hingegen treten die Arten des durch *Milium effusum* und *Polygonatum multiflorum* gekennzeichneten Verbreitungstyps schwerpunktmäßig in den Restbeständen des Flattergras-Buchenwaldes bzw. in sonstigen Laubwald-Restbeständen mit vergleichbaren Standortbedingungen auf. Sie sind daher vorwiegend in den Stadtrandbereichen sowie in einigen innerstädtischen Freiräumen anzutreffen.

Der Indikatorwert, der sich aus der unterschiedlichen Ausformung der Arealssysteme von Pflanzen in Großstädten ergibt, läßt sich unter mehreren Gesichtspunkten für planerische Fragestellungen interpretieren:

- Mit Hilfe der Verbreitung von Arten oder Artengruppen kann eine Gliederung der Siedlungsgebiete durchgeführt werden, die den ökologischen Verhältnissen in den einzelnen Teilräumen entspricht (41).
- Aktuelle Kartierungen ausgewählter Arten oder Artengruppen können die Grundlage darstellen für die Auswahl von Indikatorarten bzw. -artengruppen, die im Zuge von Wiederholungskartierungen Rückschlüsse auf die Tendenz der Umweltveränderungen erlauben (Monitoring-Programme).
- Die Konzentration seltener und/oder gefährdeter Arten in bestimmten Teilbereichen gibt Hinweise auf die Schutzwürdigkeit von Biotopen.

Karte 1:
Verbreitung von *Chenopodium botrys* und *Sisymbrium loeselii*
im zentralen und nördlichen Bereich von Essen

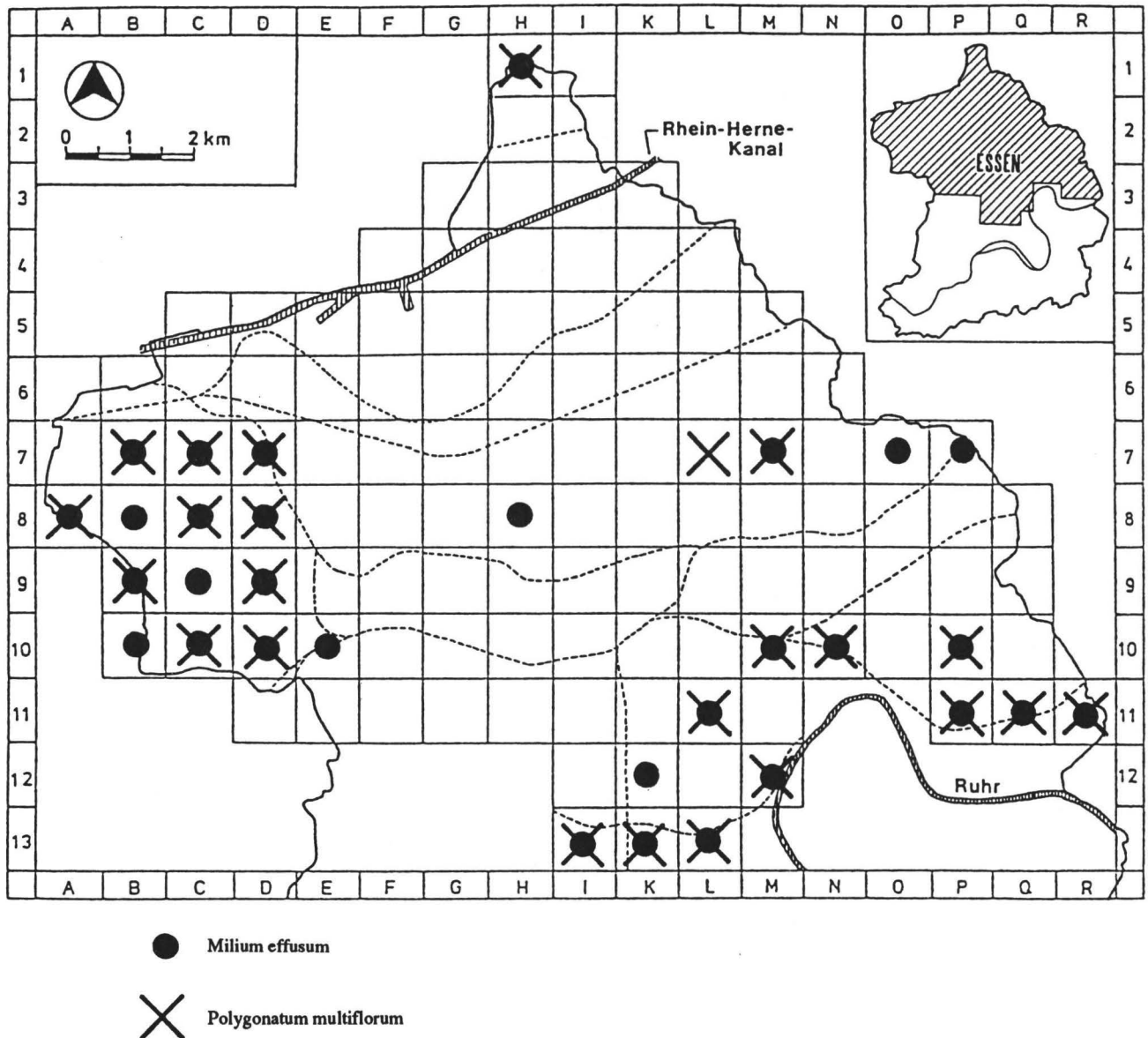


- Durch die Erarbeitung von Verbreitungskarten können Sonderstandorte im städtischen Nutzungsgefüge verdeutlicht werden (z.B. durch das Auftreten halophiler Arten).
- Die Kenntnis der räumlichen Verbreitung von Arten und Artengruppen sowie deren soziologisches Verhalten ermöglichen eine geeignete Auswahl von Pflanzen, die im Zuge einer stärker ökologisch orientierten Stadtplanung in verschiedenen Stadtbereichen und Biotopen angereichert werden sollen.

3.2 Hemerobie als Maß anthropogener Landschaftsüberformung

Ein wesentlicher Problemkreis der biologischen Indikation auf der Ebene der Landschaftsveränderungen – hervorgerufen durch den komplexen "Kultureinfluß" – ergibt sich aus der Klassifizierung des Grades der anthropogenen Überformung. Für die praktische Anwendung hat sich hierfür das Hemerobie-Konzept weitgehend durchgesetzt.

Karte 2:
Verbreitung von *Milium effusum* und *Polygonatum multiflorum*
im zentralen und nördlichen Bereich von Essen



Nach Sukopp (42) ist unter Hemerobie "die Gesamtheit aller Wirkungen, die bei beabsichtigten und nicht beabsichtigten Eingriffen des Menschen in Ökosysteme stattfinden", zu verstehen. Anders als bei der Verwendung des Zeigerwertspektrums einzelner Arten nach Ellenberg (43), wonach verschiedene Ökosystem-Parameter getrennt dargestellt werden, geht es bei diesem Ansatz darum, sehr komplexe Ökosystem-Eigenschaften integriert darzustellen. Dies geschieht meist über die Kennzeichnung floristischer und/oder vegetationskundlicher Parameter. Von Sukopp (44) und Blumel/Sukopp (45) werden für die Einordnung von

Vegetationseinheiten in die Hemerobie-Skala folgende floristisch-vegetationskundlichen Kriterien angegeben:

1. Anteil der Therophyten;
2. Anteil der Neophyten;
3. Verlust von Arten der natürlichen Flora.

Darüber hinaus werden allgemeine Merkmale der Veränderung des Bodens und der Ökosysteme insgesamt genannt.

Kowarik (46) stellt das Hemerobie-Konzept ausführlich dar, so daß an dieser Stelle lediglich in knapper Form erörtert werden soll, welche Bedeutung dieser Ansatz für Fragen der räumlichen Planung besitzt.

Werden Flächennutzungen intensiviert oder wird eine extensive Flächennutzung in eine intensivere Nutzungsform umgewandelt, ist dies mit einer Zunahme des Hemerobiegrads verbunden. Soweit Vegetations- oder Flächennutzungskarten eines Gebietes aus verschiedenen Jahren existieren, lassen sich Veränderungen der anthropogenen Überformung der Landschaft durch die Darstellung der flächenmäßigen Veränderung der Hemerobiestufen belegen (47). Die Einstufung von Vegetationseinheiten oder Flächennutzungen in die Hemerobieskala dient somit nicht nur der Beurteilung der aktuellen anthropogenen Überformung. Ebenso wird es mit diesem Ansatz möglich, die Veränderungen der ökologischen Wertigkeit einer Landschaft oder von Landschaftsteilen zu beurteilen. Daneben liefern Untersuchungen zur Hemerobie der Vegetation wichtige Hinweise für Fragen des Naturschutzes, da "die Schutzwürdigkeit generell mit der Erhöhung der Hemerobiestufe abnimmt, wobei im einzelnen aber regionale und historische Unterschiede zu beachten sind" (48). Aus diesem Grunde stellen Untersuchungen zur Hemerobie von Vegetationseinheiten und Lebensräumen ein wesentliches Kriterium bei der Erfassung erhaltenswerter Lebensräume dar. Daneben lassen sich auf diesem Wege auch Flächen kennzeichnen, auf denen die Notwendigkeit der Nutzungsintensivierung gegeben ist.

Zusammenfassend läßt sich daher sagen, daß Kenntnisse über die Hemerobie der Ökosysteme eine hohe Praxisrelevanz für die Landschaftsplanung und -gestaltung sowie für den Naturschutz besitzen.

4. Bioindikation für den Naturschutz

4.1 Einsatzmöglichkeiten der Bioindikation für den Naturschutz

In Anlehnung an Blab (49) lassen sich drei inhaltliche Hauptanliegen der Naturschutzplanung unterscheiden:

- Vorhandenes zu sichern (einschließlich der Pflege halbnatürlicher Biotope);
- Schaden von schutzbedürftigen Naturobjekten abzuwehren;
- geschädigte oder im Defizit befindliche Naturobjekte wieder zu entwickeln.

Als Indikatororganismen kommen bei dieser Aufgabenstellung solche Arten zur Anwendung, die entweder bestimmte Zustände oder aber Veränderungen anzeigen.

Bisher spielte in der Naturschutzplanung vor allem die Zustandsanalyse und -bewertung eine gewichtige Rolle. Bedeutsame Ansätze in dieser Richtung sind "Rote Listen" gefährdeter Arten, Pflanzengesellschaften und Biotope, die in erster Linie bei der Erfassung und Bewertung ökologischer Vorrangflächen eine Rolle spielen.

In diesen Zusammenhang läßt sich auch die Ermittlung von Flächen und Konzepten für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen bei unvermeidlichen Eingriffen – wie in § 8 des Bundesnaturschutzgesetzes gefordert – stellen.

Über die Kenntnis der ökologischen Ansprüche von Leitarten können darüber hinaus Pflegemaßnahmen und Handlungsrichtlinien für Biotope erarbeitet werden. Anhand der Reaktion ausgewählter Arten, Artengruppen und Artengemeinschaften läßt sich zudem der Erfolg der angewandten Maßnahmen überprüfen. Auf ähnliche Weise lassen sich anhand der Reaktion von Arten,

Artengruppen und -gemeinschaften auch Belastungen der Lebensstätten indizieren, wobei sowohl im Ökosystem vorhandene als auch in diesem exponierte Arten und Gemeinschaften eingesetzt werden können.

4.2 Schaffung von Vorrangflächen für den Naturschutz

In der Naturschutzplanung kommt Arten, die Biotope mit hohem Naturschutzwert anzeigen, eine besondere Rolle zu. Daneben sind solche Arten von Bedeutung, die auf bestimmte, im Rahmen der anthropogen bedingten Landschaftsveränderungen selten werdende Habitat- und Standortqualitäten oder bestimmte Ökofaktoren (z.B. Nährstoffarmut) hinweisen (siehe hierzu Kap. 3.1).

Eine wichtige Rolle bei der Beurteilung von Lebensräumen spielt das Vorkommen gefährdeter Arten. Die heute für das Bundesgebiet (50) sowie auf Länderebene (51) vorliegenden "Roten Listen" gefährdeter Tier- und Pflanzenarten sind – soweit es die Pflanzenarten betrifft – ein Ergebnis der Bioindikation auf der Ebene floristisch-chorologischer Analysen. Die Arbeit von Sukopp/Trautmann/Korneck (52) verdeutlicht, daß sich über eine entsprechende Auswertung dieser "Roten Liste" eine gesicherte Argumentation für den Arten- und Biotopschutz erzielen läßt. Hingegen liegen "Rote Listen" gefährdeter Pflanzengesellschaften bisher kaum vor (53).

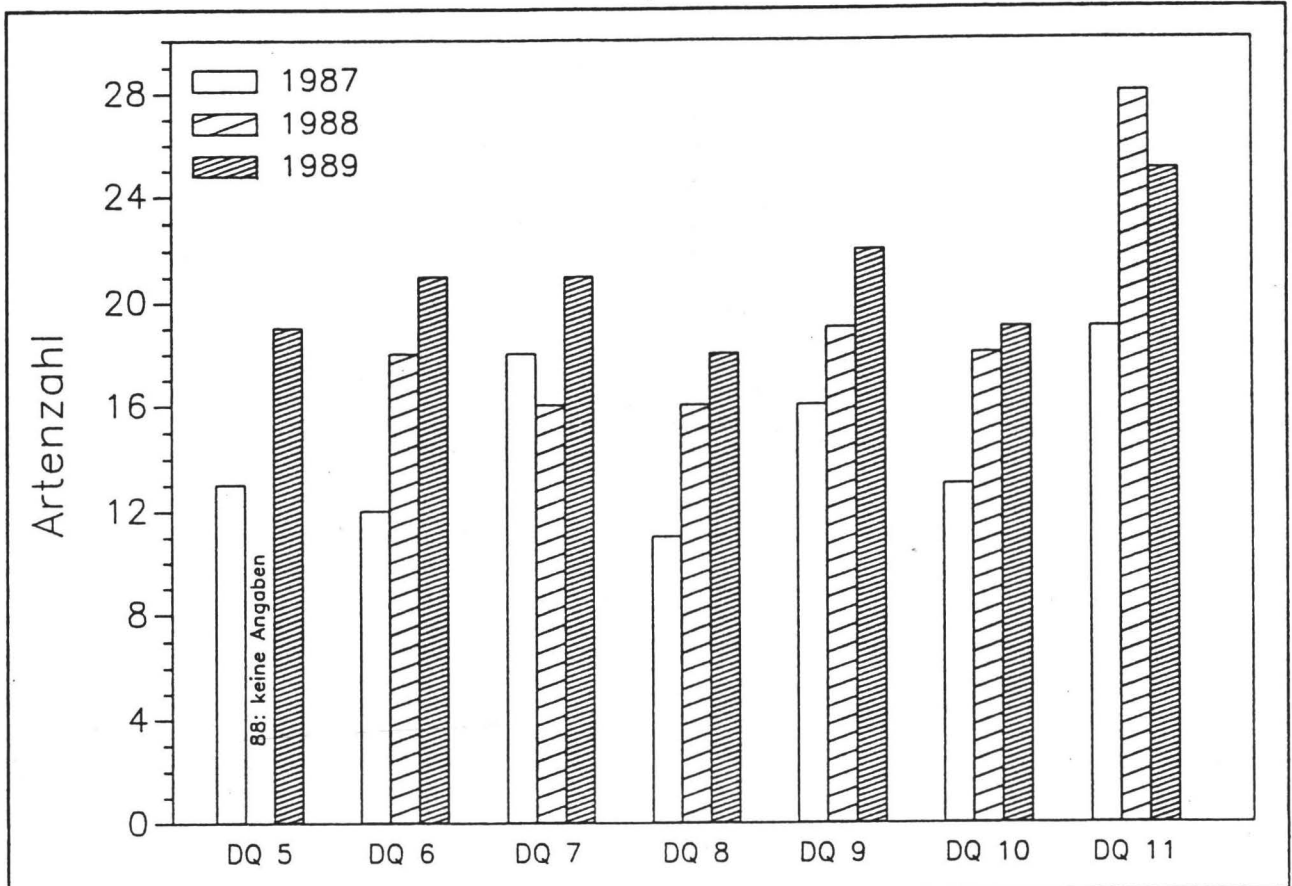
Als wesentlicher Fortschritt ist es zu werten, wenn solche "Roten Listen" neben den überregionalen auch spezielle regionalisierte Verzeichnisse für regionale Wertungen enthalten (beispielsweise die Regionalisierung der "Roten Liste" gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen in Nordrhein-Westfalen (54)). Aber auch dann sind "Rote Listen" für Bewertungs- und Planungsfragen in der "durchschnittlichen" Kulturlandschaft sowie in der Stadt kaum verwendbar. Zu Recht weist Blab (55) darauf hin, daß – über die herkömmlichen "Roten Listen" hinaus – auch solche Listen von Leitarten bzw. -artengruppen für einzelne Regionen erarbeitet werden sollten, die die örtliche Situation mit einbeziehen und neben gefährdeten Arten auch solche beinhalten, die zwar nicht gefährdet, jedoch für die entsprechende Region und ihr natürliches bzw. kulturhistorisch typisches Biotoppotential besonders charakteristisch und aussagefähig sind. In Stadtgebieten muß die Liste der gefährdeten Arten den stadt spezifischen Verhältnissen angepaßt werden (56).

4.3 Monitoring für den Naturschutz

Nach Sukopp/Seidell/Böcker (57) bedeutet Monitoring für den Naturschutz "Messung und Beobachtung an Elementen der Biozönose und des Biotops in Raum-Zeit-Serien, die geeignet sind, an den Zielen von Naturschutz und Landschaftspflege orientierte Aussagen über den Zustand der Umwelt und deren Änderungen zu treffen" (Definition in Anlehnung an Stöcker (58)).

Als Monitoring für den Naturschutz lassen sich somit nicht nur solche Veränderungen verstehen, die durch anthropogene Belastungen hervorgerufen werden. Daneben kann man hier auch die Überwachung von Veränderungen einordnen, die sich aus Maßnahmen zur Pflege und Entwicklung von Vorranggebieten für den Naturschutz ergeben. In diesem Zusammenhang lassen sich die Methoden der Bioindikation nutzen, um die Auswirkungen von Pflegeeingriffen auf die Entwicklung eines Gebiets zu verfolgen. Beispielsweise konnte durch Dauerquadratuntersuchungen im Naturschutzgebiet "Feuchtgebiet Saerbeck" (Nordrhein-Westfalen, Kreis Steinfurt) bereits in einem dreijährigen Untersuchungszeitraum (1987–1989) eine kontinuierliche Zunahme der Artenzahl in den 3 x 3m großen Probeflächen als Folge einer Extensivierung der Nutzung festgestellt werden (59).

Abbildung 3:
 Änderung der Artenzahl von 1987 bis 1989
 in *Calthion*-Gesellschaften nach
 Extensivierung in sieben Dauerquadraten (DQ)
 im NSG "Feuchtgebiet Saerbeck"



Quelle: Woike, M. (siehe Anm. (59))

Auch deutliche Verschiebungen in der Artenzusammensetzung konnten nachgewiesen werden. So hat sich bereits nach drei Jahren, in denen jegliche Düngung unterblieb, der Anteil der Magerkeitszeiger sowie im Bereich der vernästen Flächen der Anteil der Nässezeiger deutlich erhöht.

Derartige, durch genaue pflanzensoziologische Untersuchungen gewonnene Erkenntnisse über die Folgen von Pflegemaßnahmen auf Populationen (Bestandstrendanalysen) und Biozönosen (Dauerquadratuntersuchungen) stellen eine wesentliche Grundlage dar für die Ausarbeitung geeigneter Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen. Ein Beispiel stellen die von Woike (60) gegebenen Pflegeempfehlungen für Grünlandbiotope im Mittelgebirge dar.

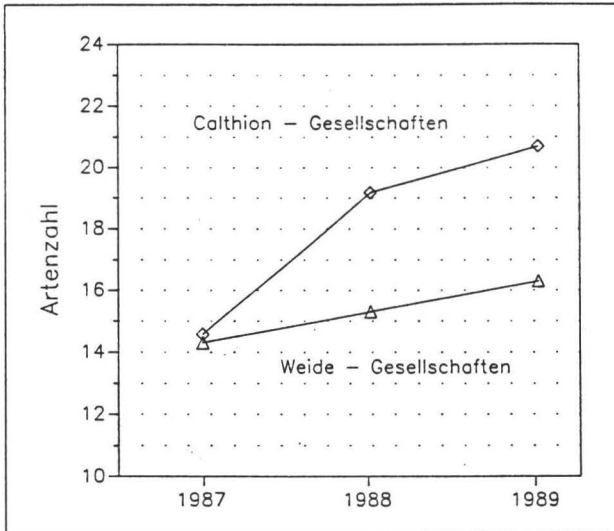
Einen über die wissenschaftliche Begleitung von Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen in ökologischen Vorranggebieten hinausgehenden Ansatz stellt die Entwicklung eines systematisch aufgebauten Monitoring-Systems für den Naturschutz dar, wie es Sukopp/Seidel/Böcker (61) in den Grundzügen entwickelt haben. Im Rahmen eines derartigen "Naturüberwachungssystems" sollten besonders solche Methoden angewendet werden, die möglichst frühzeitig die Veränderungen der Natur (hervorgerufen durch

anthropogene Einflüsse) erkennen lassen. Eine wesentliche Rolle spielen hierbei Monitororganismen, also Arten, die zur quantitativen und qualitativen Erfassung von Schadstoffwirkungen herangezogen werden (siehe hierzu Kap. 2.2 und 2.3). Von gleicher Bedeutung sind daneben Zeigerorganismen, also Pflanzen- und Tierpopulationen, die durch ihr Vorkommen oder Fehlen sowie durch ihre Zu- oder Abnahme Hinweise auf den Zustand eines Ökosystems geben (siehe hierzu Kap. 3.1 und 3.2).

Eine wesentliche Grundlage für den Aufbau eines derartigen "Naturüberwachungssystems" ist die Inventarisierung von Biotoptypen, wobei nicht nur ausgewählte Lebensräume, sondern möglichst alle Biotoptypen repräsentiert sein sollen. Eine optimale Basis stellt daher eine flächendeckende oder zumindest repräsentative Erfassung von Lebensräumen auf der Grundlage der realen Nutzungsverhältnisse dar, wie sie insbesondere in einigen Stadtbiotopkartierungen geleistet wurde (62).

Um die Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen auf Flora und Fauna sowie sich abzeichnende Entwicklungstrends genau zu erfassen, sind systemorientierte Ansätze erforderlich, wozu nach Sukopp/Seidel/Böcker (63) gehören:

Abbildung 4:
Mittlere Zunahme der Artenzahl
von 1987 bis 1989 nach Extensivierung
im NSG "Feuchtgebiet Saerbeck"



Quelle: Woike, M. (siehe Anm. (59))

- Vergleich früher erhobener Vegetationsaufnahmen oder erarbeiteter Vegetationskarten mit solchen neueren Datums,
- die laufende Untersuchung der Vegetations- und Faunenzusammensetzung in bestimmten Zeitabschnitten (Daueruntersuchungen),
- die vollständige Erfassung des Artenspektrums (floristische und faunistische Kartierung),
- die Rasterkartierung ausgewählter Zeigerarten.

Ein Beispiel für den Vergleich früher erhobener Vegetationskarten mit solchen neueren Datums zeigen die Karten 3 und 4, welche die Entwicklung des Seckbruch östlich von Hannover-Misburg von einem ökologisch vielfältigen, botanisch interessanten Grünlandgebiet zu einer einförmigen Ackerlandschaft dokumentieren (64).

Floristisch-vegetationskundliche Erfassungen können als Basis eines "Naturüberwachungssystems" fungieren, das dann über die Erfassung anderer Organismengruppen ausgeweitet werden kann.

Wie die Ausführungen in Kapitel 2 zeigen, eignen sich höhere Pflanzen und ihre Gemeinschaften darüber hinaus als Bioindikatoren für Schadstoffbelastungen auf unterschiedlichen biologischen Organisationsstufen und lassen sehr frühzeitig Veränderungen der Natur erkennen.

5. Zusammenfassung

In den vorstehenden Ausführungen wird die Eignung höherer Pflanzen als Indikatoren für Schadstoffbelastungen, als Zeiger für Umweltveränderungen sowie als Indikatoren für den Naturschutz dargestellt.

Im Rahmen der Bioindikation von Schadstoffbelastungen sind vor allem zwei Verfahren gebräuchlich:

1. Das *aktive Monitoring*, bei dem standardisierte Testpflanzen im Untersuchungsgebiet exponiert und hinsichtlich der Akkumulation von Schadstoffen bzw. in bezug auf Schädigungen auf unterschiedlichen biotischen Organisationsstufen untersucht werden.
2. Das *passive Monitoring*, bei dem angebaute Kulturpflanzen oder aber die spontane Vegetation hinsichtlich der genannten Wirkungskriterien an Einzelpflanzen (autökologische Erhebungen) oder aber hinsichtlich Zusammensetzung und Aufbau von Phytozönosen (synökologische Erhebungen) untersucht werden.

Bei beiden Verfahren ist zu beachten, daß von Art und Intensität immissionsbedingter Wirkungen an Einzelorganismen nicht unmittelbar auf die Belastung von Ökosystemen geschlossen werden kann. Aus diesem Grunde werden zur Ergänzung der Bioindikationsmethoden auf der Grundlage einzelner Arten zwingend Untersuchungen hinsichtlich der Wirkungen von Schadstoffen auf Ausschnitte von Ökosystemen bzw. auf Modell-Ökosysteme erforderlich, wobei Untersuchungen zu Kombinationswirkungen verschiedener Schadstoffe eine wesentliche Rolle spielen sollten. Daneben sollten systemorientierte Untersuchungen auf Daueruntersuchungsflächen durchgeführt werden, um auf diese Weise die Entwicklung unterschiedlicher Ökosystemtypen zu überwachen.

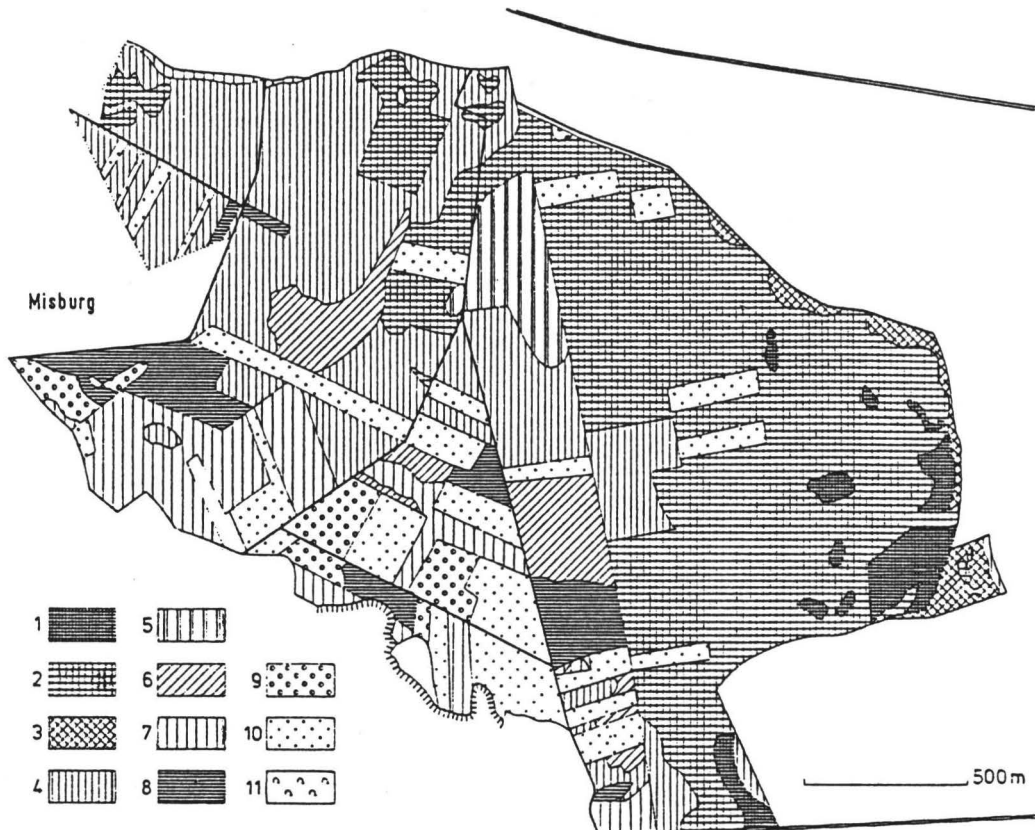
Neben ihrer Eignung als Indikatoren für Schadstoffbelastungen besitzen höhere Pflanzen in ihrer Verbreitung sowie in der Verteilung von Lebensformen, Arealtypen und ökologischen Gruppen einen Zeigerwert für Umweltfaktoren. Aus Veränderungen von Arealen der Arten sowie aus Umwandlung und Neubildung von Phytozönosen lassen sich Schlüsse ziehen nicht nur hinsichtlich der Gefährdung von Arten und Gemeinschaften, sondern auch hinsichtlich der Umweltfaktoren, die diese Veränderungen auslösen.

Die hohe Praxisrelevanz, die höhere Pflanzen als Zeigerarten für die Landschaftsplanung und -gestaltung sowie für den Naturschutz besitzen, ergibt sich insbesondere aus ihren Einsatzmöglichkeiten im Zusammenhang mit folgenden Fragestellungen:

- Ermittlung der Intensität und Flächenausdehnung verschiedener Belastungsformen der Landschaft (z.B. Hemerobie verschiedener Landnutzungstypen, Erfassung von Eutrophierungswirkungen)
- Kenntnis und Kontrolle der zeitlichen und räumlichen Entwicklungstrends von Organismen, Populationen und Biozönosen
- Abschätzung der Gefährdung von Organismen, Populationen und Biozönosen
- Charakterisierung, Gliederung und Bewertung von Ökosystemen bzw. Ökosystemkomplexen
- Ausweisung von Vorranggebieten
- Beurteilung von Eingriffen sowie Ermittlung von Flächen und Konzepten für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen
- Festlegung von Schutz-, Pflege- und Entwicklungszielen für unterschiedliche Ökosystemtypen
- Erarbeitung von Pflegemaßnahmen und Behandlungsrichtlinien für unterschiedliche Ökosystemtypen
- Überwachung ökologischer Vorranggebiete (einschließlich der Kontrolle durchgeführter Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen)
- Aufbau langfristig wirksamer ökologischer Kontrollsysteme für ausgewählte Biotoptypen ("Naturüberwachungssystem").

Karte 3:

*Das Vegetationsinventar des Seckbruch
östlich Hannover-Misburg (Zustand 1950) **

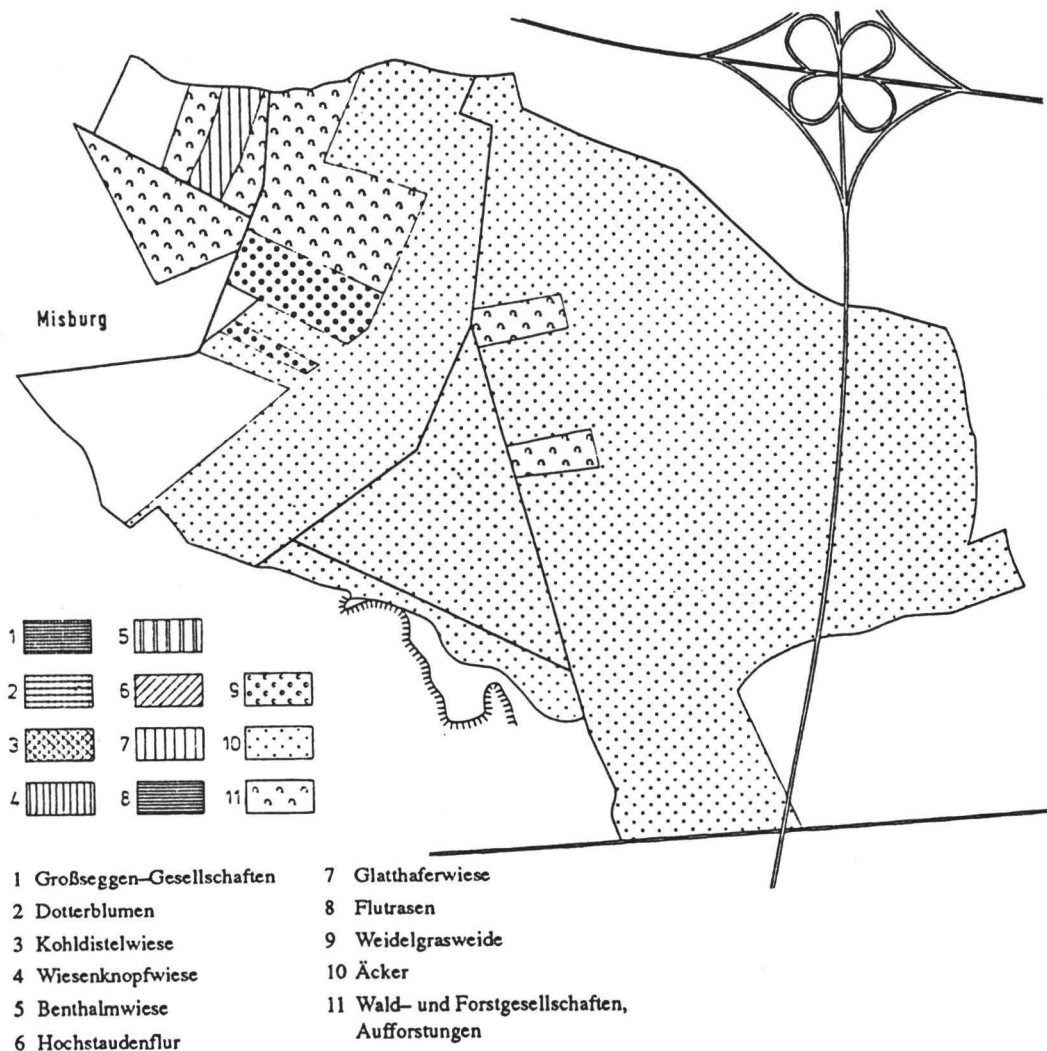


- | | |
|-----------------------------|--|
| 1 Großseggen-Gesellschaften | 7 Glatthaferwiese |
| 2 Dotterblumen | 8 Flutrasen |
| 3 Kohldistelwiese | 9 Weidelgrasweide |
| 4 Wiesenknopfwiese | 10 Äcker |
| 5 Benthalmwiese | 11 Wald- und Forstgesellschaften,
Aufforstungen |
| 6 Hochstaudenflur | |

*) Aufgenommen von K. Walther

Quelle: Meisel, K.; Hübschmann, A. v. (siehe Anm. (64))

Karte 4:
Das Vegetationsinventar des Seckbruch
östlich Hannover-Misburg (Zustand 1975) *



*) Aufgenommen von K. Walther

Quelle: Meisel, K.; Hübschmann, A. v. (siehe Anm. (64))

Anmerkungen

- (1) Guderian, R.: Kriterien zur Erfassung und Bewertung von Immissionsbelastungen in terrestrischen Ökosystemen. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Hohenheim 1984), Bd. XIV (1986), S. 245–256
- (2) Scholl, G.: Ein biologisches Verfahren zur Bestimmung der Herkunft und Verbreitung von Fluorverbindungen in der Luft. In: Landwirtschaftliche Forschungen 26 (1971), 1. Sonderheft, S. 29–35
- (3) VDI (Verein Deutscher Ingenieure): Messen der Wirkdosis. Verfahren der standardisierten Graskultur. In: VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, VDI-Richtlinie 3792, Blatt 1. – Düsseldorf: VDI-Verlag 1978; ders.: Messen der Wirkdosis. Messen der Wirkdosis von gas- und staubförmigem Fluorid in Pflanzen mit dem Verfahren der standardisierten Graskultur. In: VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, VDI-Richtlinie 3792, Blatt 2. – Düsseldorf: VDI-Verlag 1979
- (4) Prinz, B.; Scholl, G.: Erhebungen über die Aufnahme und Wirkung gas- und partikelförmiger Luftverunreinigungen im Rahmen eines Wirkungskatasters (II. Mitt., Erhebungszeitraum Jan. 75–Dez. 76). In: Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein–Westfalen 46 (1978), S. 25–59
- (5) Ebenda
- (6) Hettche, O.: Pflanzenwachse als Sammler für polyzyklische Aromaten in der Luft von Wohngebieten. In: Staub–Reinhaltung der Luft 31 (1971), Nr. 2, S. 72–76; Nobel, W.: Einsatz von Bioindikatoren als Bestandteil einer kommunalen Luftreinhaltestrategie. In: Ökologische Probleme in Verdichtungsgebieten, Hohenheimer Arbeiten, – Stuttgart: Ulmer Verlag, S. 203–213
- (7) Posthumus, A.C.: The use of higher plants as indicators for air pollutants in the Netherlands. In: Karenlampi, L. (Hrsg.): Proceedings of the Kuopio meeting on plant damages by air pollution, 1976, S. 115–120
- (8) Posthumus, A.C.: Experimentelle Untersuchungen der Wirkung von Ozon und Peroxyacetylnitrat (PAN) auf Pflanzen. In: VDI-Berichte 270 (1977), S. 153–161
- (9) Guderian, R.; Tingey, D.T.; Rabe, R.: Wirkungen von Photooxidantien auf Pflanzen. Luftqualitätskriterien für photochemische Oxidantien. In: Berichte des Umweltbundesamtes 5 (1983), S. 205–427
- (10) Nobel, W.: Einsatz von Bioindikatoren als Bestandteil einer kommunalen Luftreinhaltestrategie, a.a.O.
- (11) Haut, H. van: Testkammervorgang zum Nachweis phytotoxischer Immissionskomponenten. In: Environmental Pollution 3 (1972), S. 123–132
- (12) Garber, K.: Schwermetalle als Luftverunreinigung – Blei–Zink–Cadmium–Beeinflussung der Vegetation. In: Staub–Reinhaltung der Luft 34 (1974), Nr. 1, S. 1–7
- (13) Guderian, R.; Haut, H. van: Nachweis von SO₂–Wirkungen an Pflanzen. In: Staub–Reinhaltung der Luft 30 (1970), S. 17–26
- (14) Knabe, W.: Immissionsökologische Waldzustandserfassung. In: LÖLF-Mitteilungen (1983), Sonderheft "Immissionsbelastungen von Waldökosystemen", S. 43–57
- (15) Neumann, M.; Pollanschütz, J.: Untersuchungen über Auswirkungen gasförmiger Immissionen auf Waldbestände im Raum Gailitz–Arnoldstein. In: Halbwachs, G. (Hrsg.): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein. – Klagenfurt 1982. = Carinthia II, Sonderheft 39, S. 265–288; zitiert nach Schubert, R. (Hrsg.): Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. – Stuttgart: G. Fischer Verlag 1985
- (16) Kuhl, W.E.: Erfassung neuartiger Waldschäden durch Colour–Infrarot–Luftbilder. In: LÖLF-Mitteilungen 10 (1985), H. 2, S. 49
- (17) Schubert, R. (Hrsg.): Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen, a.a.O.; Arndt, U.; Nobel, W.; Schweizer, B.: Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. – Stuttgart: Ulmer Verlag 1987
- (18) Kowarik, I.; Sukopp, H.: Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die spontane Vegetation (Farn- und Blütenpflanzen). In: Angewandte Botanik 58 (1984), S. 157–170
- (19) Ellenberg, H. jun.: Gefährdung wildlebender Pflanzenarten in der Bundesrepublik Deutschland. Versuch einer ökologischen Betrachtung. In: Forstarchiv 57 (1983), S. 127–133
- (20) Ellenberg, H.: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. In: Scripta Geobotanica 9 (1979), 2. Aufl.
- (21) Ellenberg, H. jun.: Gefährdung wildlebender Pflanzenarten . . . , a.a.O.
- (22) UNECE (United Nations Commission of the European Communities): Critical levels workshop. – Bad Harzburg 1988, 146 S.
- (23) Niklfeld, H.: Beobachtungen im Rauchschadensgebiet eines Aluminiumwerkes. In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen 84 (2–6) (1967), S. 318–329; Kaleta, M.: Die Wirkung von Magnesit–Immissionen auf die Änderung der Pflanzengesellschaften. In: Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 97 (1972), S. 569–682
- (24) Hajduk, J.: Quantitative und qualitative Änderungen der Phytozönosen, verursacht durch Exhalationsprodukte von Fabriken. In: Biologie, Bratislava 16 (6) (1961), S. 404–419
- (25) Brandt, C.J.; Rhoades, R.W.: Effects of limestone dust accumulation on lateral growth of forest trees. In: Environmental Pollution 4 (1973), S. 207–213
- (26) Wittig, R.; Werner, W.: Beitrag zur Belastungssituation des Flattergras–Buchenwaldes der Westfälischen Bucht – Eine Zwischenbilanz. In: Düsseldorfer Geobotanische Kolloquien 3 (1986), S. 33–70
- (27) Siehe auch Werner, W.; Wittig, R.; Neite, H.: Monitoring in Buchenwäldern der Westfälischen Bucht. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Göttingen 1987), Bd. XVII (1989), S. 487–496
- (28) Ellenberg, H.: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, a.a.O.

- (29) Kowarik, I.; Sukopp, H.: Auswirkungen von Luftverunreinigungen ..., a.a.O.; Wittig, R.; Werner, W.: Beitrag zur Belastungssituation des Plattergras-Buchenwaldes der Westfälischen Bucht ..., a.a.O.; Steubing, L.; Fangmeier, A.: Immissionssituation der Waldbodenvegetation: Immissionsbelastung. In: Allgemeine Forstzeitschrift 41 (1986), S. 469–471
- (30) Fangmeier, A.; Steubing, L.: Auswirkungen gasförmiger Immissionen auf Pflanzengesellschaften des Waldbodens. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Göttingen 1987), Bd. XVII (1989), S. 513–527
- (31) Küppers, K.: Wirkungen von Äthen auf Modellpflanzengemeinschaften. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Hohenheim 1984), Bd. XIV (1986), S. 361–371
- (32) Guderian, R.: Reaktionen von Pflanzengemeinschaften des Feldfutterbaues auf Schwefeldioxydeinwirkungen. In: Schriftenreihe der LIB der Landes Nordrhein–Westfalen, H. 4 (1967), S. 80–100
- (33) Guderian, R.; Küppers, K.: Responses of plant communities to air pollution. In: Proceedings of Symposium on effects of air pollutants on mediterranean and temperate forest ecosystems. 22.–27.6.1980. General Technical Report PSW–43 (1980), S. 187–190
- (34) Guderian, R.; Reidl, K.: Höhere Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen im terrestrischen Bereich. In: Decheniana–Beihefte 26 (1982), S. 6–22; Kowarik, I.; Sukopp, H.: Auswirkungen von Luftverunreinigungen ..., a.a.O.; Sukopp, H.; Seidel, K.; Böcker, R.: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz. In: Berichte ANL 10, Juli 1986, S. 27–39
- (35) Sukopp, H.; Kunick, W.: Höhere Pflanzen als Bioindikatoren in Verdichtungsräumen. In: SVR Essen (Hrsg.): Ökologie und Planung im städtischen Siedlungsraum. – Essen 1978, S. 81–97
- (36) Woike, M.: Die Bedeutung des Grünlandes im Mittelgebirge für den Naturschutz sowie Möglichkeiten seiner Erhaltung. In: Mittelgebirgsprogramm Nordrhein–Westfalen, Seminarberichte des Naturschutzzentrums Nordrhein–Westfalen 2 (1988) H. 4, S. 5–13
- (37) Maas, St.: Floristische Rasterkartierungen als Informationssystem für die ökologische Bewertung von Städten und Atlas der Gefäßpflanzen der Stadt Saarlouis. Dissertation, Saarlouis 1985
- (38) Kunick, W.: Zonierung des Stadtgebietes von Berlin West – Ergebnisse floristischer Untersuchungen. – Berlin 1982. = Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Nr. 14; Schulte, W.: Florenanalyse und Raumbewertung im Bochumer Stadtbereich. = Materialien zur Raumordnung an den Geographischen Instituten der Ruhr–Universität Bochum, Forschungsabteilung für Raumordnung, Bd. 30, Bochum 1985; Wittig, R.; Diesing, D.; Gödde, M.: Urbanophil–urbanoneutral–urbanophob: Das Verhalten der Arten gegenüber dem Lebensraum Stadt. In: Flora 177 (1985), S. 265–282
- (39) Reidl, K.: Floristische und vegetationskundliche Untersuchungen als Grundlagen für den Arten– und Biotopschutz in der Stadt, dargestellt am Beispiel Essen. – Aachen: Verlag G. Mainz 1990
- (40) Reidl, K.: Floristische und vegetationskundliche Untersuchungen in der Stadt Essen als Grundlagen für Naturschutzmaßnahmen. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Essen 1988), Bd. XVIII (1989), S. 155–162
- (41) Kunick, W.: Veränderungen von Flora und Vegetation einer Großstadt, dargestellt am Beispiel von Berlin (West). Dissertation Technische Universität Berlin, Berlin 1974; Schulte, W.: Florenanalyse und Raumbewertung ..., a.a.O.
- (42) Sukopp, H.: Dynamik und Konstanz in der Flora der Bundesrepublik Deutschland. In: Schriftenreihe für Vegetationskunde, H. 10 (1976), S. 9–26
- (43) Ellenberg, H.: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, a.a.O.
- (44) Sukopp, H.: Der Einfluß des Menschen auf die Vegetation. In: Vegetatio 17 (1969), S. 360–371
- (45) Blume, H.–P.; Sukopp, H.: Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. In: Schriftenreihe für Vegetationskunde, H. 10 (1976), S. 75–89
- (46) Kowarik, I.: Zum menschlichen Einfluß auf Flora und Vegetation. – Berlin 1988. = Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Nr. 56
- (47) Bornkamm, R.: Hemerobie und Landschaftsplanung. In: Landschaft und Stadt 12 (1980), S. 49–55
- (48) Ebenda
- (49) Blab, J.: Bioindikation und Naturschutzplanung. In: Natur und Landschaft 63 (1988) H. 4, S. 147–149
- (50) Blab, J.; Trautmann, W.; Sukopp, H.: Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. – Greven: Kilda–Verlag 1984; Sukopp, H.; Trautmann, W.; Korneck, D.: Auswertung der Roten Liste gefährdeter Farn– und Blütenpflanzen in der Bundesrepublik Deutschland für den Arten– und Biotopschutz. In: Schriftenreihe für Vegetationskunde, H. 12 (1978), 138 S.
- (51) Z.B. LÖLF (Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein–Westfalen) (Hrsg.): Rote Liste der in Nordrhein–Westfalen gefährdeten Pflanzen und Tiere (1. Fassung). – Recklinghausen 1979. = Schriftenreihe der LÖLF, Bd. 4; dies.: Rote Liste der in Nordrhein–Westfalen gefährdeten Pflanzen und Tiere (2. Fassung). – Recklinghausen 1986. = Schriftenreihe der LÖLF, Bd. 4
- (52) Sukopp, H.; Trautmann, W.; Korneck, D.: Auswertung der Roten Liste ..., a.a.O.
- (53) Z.B. Dierssen, K.: Rote Liste der Pflanzengesellschaften Schleswig–Holsteins. – Kiel 1988. = Schriftenreihe des Landesamtes für Naturschutz und Landschaftspflege Schleswig–Holstein, H. 6
- (54) LÖLF (Hrsg.): Rote Liste der in Nordrhein–Westfalen gefährdeten Pflanzen und Tiere (2. Fassung), a.a.O.
- (55) Blab, J.: Bioindikation und Naturschutzplanung, a.a.O.
- (56) Siehe hierzu Reidl, K.: Floristische und vegetationskundliche Untersuchungen in der Stadt Essen ..., a.a.O.

(57)

Sukopp, H.; Seidel, K.; Böcker, R.: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz, a.a.O.

(58)

Stöcker, G.: Zu einigen theoretischen und methodischen Aspekten der Bioindikation. In: *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 21 (1981), S. 187–209

(59)

Woike, M.: Bestandsentwicklungen in den Feuchtwiesenschutzgebieten Nordrhein-Westfalens – erste Tendenzen. In: *LÖLF-Mitteilungen* (1989) H. 4, S. 18–28

(60)

Woike, M.: Die Bedeutung des Grünlandes im Mittelgebirge . . . , a.a.O.

(61)

Sukopp, H.; Seidel, K.; Böcker, R.: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz, a.a.O.

(62)

Sukopp, H.; Weiler, S.: Biotopkartierung im besiedelten Bereich der Bundesrepublik Deutschland. In: *Landschaft und Stadt* 18 (1986), S. 25–38

(63)

Sukopp, H.; Seidel, K.; Böcker, R.: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz, a.a.O.

(64)

Meisel, K.; Hübschmann, A. v.: Veränderungen der Acker- und Grünlandvegetation im nordwestdeutschen Flachland in jüngerer Zeit. In: *Sukopp, H.; Trautmann, W. (Hrsg.): Veränderungen der Flora und Fauna in der BRD. = Schriftenreihe für Vegetationskunde* (1976) H. 10, S. 109–124

Prof. Dr. Konrad Reidl
Fachhochschule Nürtingen
Postfach 1349
7440 Nürtingen

Prof. Dr. Robert Guderian
Institut für Angewandte Botanik
Universität – GHS – Essen
Universitätsstraße 5
4300 Essen 1