Zur ökologischen und gesellschaftlichen Relevanz kritischer Stoffeintragsraten in Ökosysteme

Roman J. M. Lenz

Synopsis

Environmental protection concepts are often dealing with either very specific objects at the level of organisms and environmental media like air, soils and water, or are very general in protecting e.g. nature. Inbetween ecosystems and landscapes, which are actually triggering the further effects of environmental impacts, are less protected and less understood in its sensitivity and reaction. Especially the critical loads concept tries to integrate the eventual impacts of airborne pollutants at the ecosystem level, providing scientifically based thresholds for harmful effects. Thus, regarding these limits also means that compartments and dependent objects could be protected implicitly. The question remaining is, whether the society is willing to implement and improve the knowledge about ecosystem reactions into further protection laws. For the concept of critical loads a real step forward could be done in order to protect governing systems more than symptoms resulting from ecosystem overloadings. Examples from the higher mountains of the Fichtelgebirge show clear correlations between stand level decline and exceedances of critical loads in this landscape.

Grenzwertkonzepte, kritische Schadstoffkonzentrationen und -eintragsraten, Ökosysteme, Waldsterben, Bewertung

threshold concepts, critical levels and loads, ecosystems, forest decline, environmental evaluation

Einführung

Grenzwerte und damit auch Grenzwertkonzepte sind Resultate von Abwägungen zwischen wissenschaftlicher Beurteilung (Stand des Wissens) und gesellschaftlicher Bewertung (Abb. 1). Daher sind sie per se angreifbar und stetig zu verbessern (s. SRU 1987). In diesem Beitrag soll diskutiert werden, wie die wissenschaftliche Beurteilung von als unerwünscht betrachteten Veränderungen in unserer Umwelt besser in Grenzwertkonzepte einfließen kann und deren gesellschaftliche Wirksamkeit dabei möglichst noch erhöht. Hierbei sollte der Vorteil genutzt werden, daß Gesellschaft wie Wissenschaft nach einfachen, generalisierbaren Konzepten suchen.

Im ersten Teil werden 3 Thesen erläutert. Im zweiten Teil werden die Konzepte Critical Levels und Critical Loads sowie ihre gesellschaftliche Wirksamkeit diskutiert. Anwendungen hierzu werden mittels Beispielen veranschaulicht.

1. Teil: Thesen zu Grenzwertkonzepten

1. These: Es gibt verschiedene Aussageschärfen im Spannungsfeld wissenschaftlicher Erkenntnisse und gesellschaftlicher Anforderungen.

Während allgemeine Aussagen, etwa wie im Bundesnaturschutzgesetz §1, daß Schutzgüter der Natur wie Arten, Biotope, Landschaften zu sichern, pflegen und zu entwickeln sind, breite Akzeptanz finden, sind quantitative Aussagen, wie etwa bei einer Dosis-Wirkungsbeziehung, Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung und damit in bezug auf den Schutz der Umwelt nur sehr spezifisch gültig. »Vermittelnd« können hier Umweltqualitätsziele und Umweltstandards wirken, die dann allerdings sowohl regional wie auch schutzobjektbezogen spezifiziert werden müssen und z. B. in Ländergesetzen Niederschlag finden können (vgl. Abb. 1).

2. These: Es gibt verschiedene Schutzobjekte bzw. -ziele, die organisationsebenen- bzw. integrationsebenenabhängig sind.

Es ist interessant festzustellen, daß in der Gesetzgebung neben dem Menschen, seltenen Arten (teilweise auch Biotope und Landschaften) und der Natur die Medien wie Luft, Wasser und Boden die eigentlichen Schutzobjekte sind bzw. als solche erscheinen (vgl. Technische Anleitungen [TA]). Dies hat sicherlich primär pragmatische und gesellschaftliche Gründe, die durchaus geteilt werden: oberstes Schutzziel Mensch; unzureichende Daten- und Kenntnislage zur Funktion unserer Ökosysteme. Allerdings zeugt dieser Ansatz von einer zweifelhaften Mischung aus Vorsorgepolitik für den Menschen und Bewertung der Erfolge am Menschen selbst (einschließlich einige wenige andere Arten) sowie an Grenzwerten in den Umweltmedien. Was ist aber,

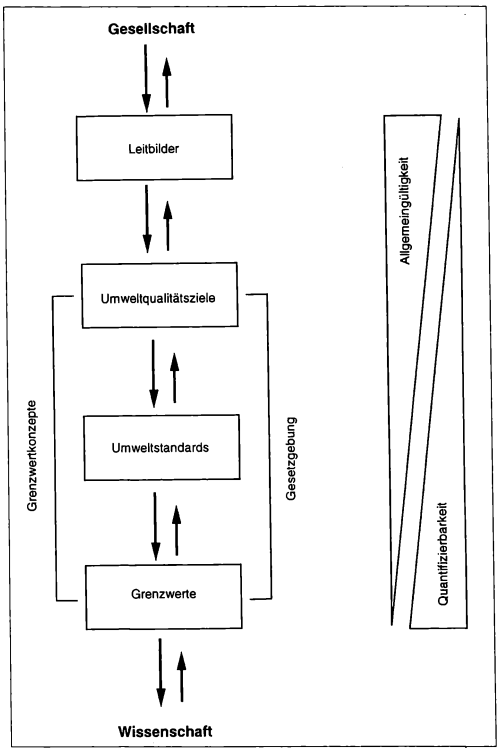

Abb. 1
Grenzwertkonzepte als Vermittler zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und gesellschaftlichem Anspruch (nach LENZ 1992)

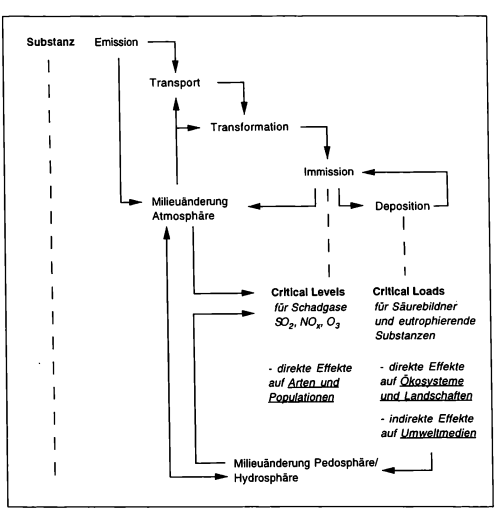

Abb. 2
Stellung der Beurteilungsansätze Critical Levels und Critical Loads bei Organisationsebenen-Umweltmedien-Interaktionen auf der Grundlage ermittierter Substanzen.

wenn diese Schutzobjekte nach den i.d.R. kurz- bis mittelfristig angelegten Versuchen nicht gefährdet erscheinen, aber in Ökosystemen Prozesse ablaufen und Zustände auftreten, die z.B. eingetragene Stoffe ebenfalls umsetzen oder aufspeichern, und damit letztlich doch wieder Belastungen der bisherigen Schutzobjekte auftreten? Abb. 2 soll diese Möglichkeit von Organisationsebenen-Umweltmedien-Interaktionen andeuten; bislang ist es nur ein kleiner Teil unserer Umwelt, der einem direkten Schutz mittels expliziten Grenzwerten unterliegt. Indirekte und übergeordnete Effekte sind natürlich weitaus weniger gut untersucht und damit für die Gesetzgebung weniger verfügbar.

Das Konzept der Organisationsebenen – Medien – Interaktionen lehrt meines Erachtens, daß es keine ebenenunabhängige Betrachtung medialer Grenzwerte geben darf, und letztere daher dringend wissenschaftlich weiter überprüft werden müssen. Gleichzeitig erscheint es sinnvoll, ebenen- und problemspezifische Indikatoren zu benennen, einschließlich deren Dosis-Wirkungsbeziehungen zu verschiedenen Belastungen, um ggf. den empfindlichsten einer rahmengebenden Ebene identifizieren und im weiteren den möglichen Verlauf einer »Belastungsweitergabe« abschätzen zu können.

3. These: Indikatorenfindung unter Berücksichtigung von These 1 und 2 verbessert die Beurteilungsfähigkeit z.B. in Form eines ebenenspezifischen Indikatorensets.

Ebenenspezifische Reduktion der Komplexität auf (problemspezifische) Indikatoren erscheint als das Mittel der Wahl, wenn nicht die Gesellschaft mit »Unikaten« als Schutzobjekte ihrer Umwelt konfrontiert werden und damit letztlich in einen nahezu unlösbaren Abwägungsdschungel manövriert werden soll.

Die folgende Abb. 3 zeigt ein prinzipielles Konzept einer ebenenspezifischen Indikatorenbenennung, zu der in weiteren Schritten die jeweiligen Zustandsqualitäten und -quantitäten hinzugefügt werden müssen.

Dies ist bislang nur für wenige »Komplexkrankheiten« unserer Umwelt möglich – aber bei intensiver Auswertung bisherigen Wissens vielleicht öfter möglich als gedacht (für Waldschäden vgl. LENZ 1991, ULRICH 1993).

Indikatoren für ein Bewertungskonzept

Organisationsebenen belebter Systeme	Indikatoren für Zielerfüllungsgrade und Untersuchungsschwerpunkte	Ziele und Hypothesen (Bsp.)
Organ (cm^2 - m^2) *(Öko-) Physiologie*	Chlorosen, Nekrosen, Stoffwechselstörungen	Keine Mangelerscheinungen und direkten toxischen Effekte
Organismus (cm^2 - m^2) *Autökologie*	Mangelerscheinungen, Resistenz, Entwicklungszyklen und Lebensformen	Vitalität, Erfüllung physiologischer Ansprüche
Population (m^2 - ha) *Dem-/Synökologie*	Vitalität, Seltenheit und Repräsentativität, Aufenthaltsorte, Wanderung, Fortpflanzung, Genaustausch	Zielarten und Erfüllung der physiologischen und demökolog. Ansprüche, Räuber - Beute Regulation
Biozönose/ Ökosystem (m^2 - ha) *Biozönologie, Ökosystemforschung, Landnutzungsforschung*	Arten- und Strukturdiversität, Critical Loads, Kritische Eingriffe, Habitatqualität, Input/Output-Bilanzen und Raten medialer Veränderungen (Boden, Wasser, Luft)	Zielartenkollektive und Minimalareale sowie Habitate, Erfüllung der biozönotischen Ansprüche (Lebensraumfunktion), abiotischer Ressourcenschutz, Regelungsfunktion
Landschaft/ Region (ha - km^2) *Landschaftsökologie Physische Geographie, Sozioökonomie*	Ökosystemtypendiversität Standorteignung Ressourcenstandards Natur- und Kulturdenkmale Lebensmittelqualität	Umweltqualitätsziele und -standards, Umweltfunktionen (Produktionsfunktion), Umwelt- und Naturschutzgesetzgebung, Landschaftsästhetik, kulturelles Erbe, Lebensstandard

Abb. 3
Indikatoren für ein Bewertungskozept.

2. Teil: Das Critical Levels/Critical Loads Konzept als Beispiel für ein indikatorenbasiertes Mehrebenenkonzept

Das CL/CL-Konzept wurde primär für Pflanzen, Pflanzengesellschaften und halbnatürliche und natürliche Ökosysteme entwickelt. Es verfolgt einen rezeptorbezogenen Ansatz, versucht also, streng wirkungsbezogen kritische Stoffkonzentrationen und -eintragsraten anzugeben. Damit sind es zuallererst Beurteilungen von (Schad-) Stoffeffekten aus wissenschaftlicher Sicht auf verschiedene Organisationsebenen. Während für die critical levels eher klassische Ansätze von Expositionsversuchen zusammengefaßt wurden (vg. ECE 1988), sind auf der Ebene der Ökosysteme die Critical Loads, für die es bislang wenig wissenschaftlich begründete Beurteilungsgrundlagen für als nachteilig angesehene Veränderungen gab, sozusagen neu dazugekommen (NILSSON & GRENNFELT 1988).

Die Abb. 2 zeigt die Schritte von der emittierten Substanz bis zum Wirkort, die zahlreichen oft wenig kalkulierbaren Zwischenwege sowie die Ansatzpunkte der CL/CL-Konzepte. Sowohl Emissions- und Immissionskonzentrationen wie auch Eintragsraten sind z.B. durch verschiedene Quellen, Transportumsetzungen und Ausfilterungen oft sehr verschieden. Diesen Belastungen stehen verschiedene Empfindlichkeiten der jeweiligen Rezeptoren z.B. gegenüber Säuren sowie Stickstoff als Nährstoff gegenüber. Dabei kann es vorkommen, daß in Ökosystemen Critical Loads bereits mit geringen Emissionskonzentrationen, aber relativ hohen Eintragsraten durch Aus-

filterungen und insbesondere bei hohen Ökosystem-Empfindlichkeiten überschritten sein können, wodurch es letztlich zu Belastungen mit Grenzwertüberschreitungen der Umweltmedien (Wasser und ggf. Boden) kommen kann, ohne daß direkte Schäden an ausgewählten Arten und Umweltmedien zu erwarten wären.

Da es Ökosysteme gibt, die z.B. bzgl. Säureeinträgen entweder empfindlicher oder weniger empfindlich als ihre dominanten Arten sind, ist es angebracht, beide Ebenen nebeneinander zu betrachten und für Grenzwertsetzungen ggf. die empfindlichere auszuwählen. Dabei ergibt sich auch die Notwendigkeit, dies lage-, d.h. regionsspezifisch durchzuführen, weil an definierten Orten Belastung und Empfindlichkeit zusammentreffen und damit die Größe des unerwünschten Effekts ausmachen.

Dies erscheint mir – analog zu regionsspezifischen Roten Listen o.ä. – ein auf Ökosysteme für bestimmte Schadstoffe erweitertes Grenzwertkonzept zu sein, das auf wissenschaftlich begründbaren Indikatoren beruht.

Anwendungen von Critical Loads Modellen

Europaweit (CCE 1993), national (z.B. KÖBLE et al. 1994 für die Bundesrepublik Deutschland) sowie regional (z.B. LENZ 1991, 1992 für Nordostbayern) liegen bereits einige Anwendungen der Critical Loads Abschätzungen vor.

Allesamt haben z.T. ernsthafte Schwierigkeiten mit den jeweils verfügbaren Daten sowie der Simulation bzw. Ableitung von Parametern wie Deposition, relevantes Bodenvolumen und Bodenzustand, orographische Effekte u.ä. Auch die verwendeten Modelltheorien sind, mit Ausnahme der einfachen Bilanzansätze nach z.B. SCHULZE et al. (1989), HAUHS (1989) oder TOBIAS et al. (1989, nur für die Deposition), nicht auf alle regionalspezifischen Gegebenheiten voll übertragbar. Da jedoch das einfache Grundprinzip der Abschätzung von Überschreitungen der kritischen Stoffeintragsraten für Säuren und Stickstoff kaum in Frage zu stellen ist, sind Vergleiche derartiger Risikoabschätzungen mit z.T. bereits beobachtbaren Ökosystemschäden wie flächige Bestandsauflösungen in einigen (wenigen) bewaldeten Regionen interessant.

In Anlehnung an erste Vergleiche in Nordostbayern (LENZ 1991; 1992, LENZ & SCHALL 1991) sollen im folgenden weitere Auswertungen für dieses Gebiet vorgestellt und diskutiert werden.

Modellansätze und Ergebnisse

Abb. 4 zeigt 3 Ansätze zur Berechnung von Überschreitungen der Critical Loads für Säuren und Stickstoff. Diese Ansätze unterscheiden ssich durch verschiedene Ansprüche an die Eingabedaten und die Parameterisierung der Modelle. Der ursprüngliche Ansatz der Critical Loads (z.B. NILSSON & GRENNFELT 1988) setzt diese gleich der Verwitterungsrate. Damit ist die Belastung die Differenz von Eintragsrate und Critical Loads und kann z.B. als Überschreitungsklasse in 1 kmol-Stufen angegeben werden (vgl. Tab. 1).

Der zweite Ansatz basiert auf einer Gegenüberstellung von Vegetationsempfindlichkeit und Stickstoffeintrag. Hier wurde in Anlehnung an NILSSON & GRENNFELT (1988) ein Grenzwert von 10–15 kg $ha^{-1}a^{-1}$ für Wälder verwendet (vgl. Tab. 1).

Der dritte Ansatz folgt dem Konzept von HAUHS (1989), indem als zusätzlicher Puffer gegenüber Säureeinträgen der Basenpool in Böden miteinbezogen wird. Dieser Pufferspeicher entleert sich dann, wenn wie in Modellansatz 1 Überschreitungen der Critical Loads auftreten.

Diese wurden für die höheren Lagen des Fichtelgebirges, wo ausgedehnte Waldsanierungsflächen mit klein – bis großflächigen Bestandsauflösungen mit insgesamt ca. 3900 ha zu finden sind (KOCH 1986, STEPHAN 1990), verglichen.

Die jeweiligen Häufigkeiten der Critical Loads-Überschreitungen sind in Tab. 1 dargestellt. Alle drei Simulationen ergeben ähnliche Aussagen, daß nämlich höhere Überschreitungsklassen mit stärkeren Bestandsauflösungen einhergehen. Den in sich stimmigsten Trend zeigt Modell 2, das die langfristige Empfindlichkeit der Vegetation gegenüber Stickstoffeinträgen beschreibt.

Bewertung der Ergebnisse

In bereits seit längerem stark belasteten Regionen sind – wie es das Critical Loads Konzept vorhersagt – tatsächlich Indizien bei einem räumlichen Test dieser Modellansätze herausstellbar. Die Situation in der untersuchten Region ist zweifellos extrem, und direkte Baumschäden sowie andere Faktoren wie historisch bedingte Walddegradation durch Nutzungen (LENZ et al. 1994) sind weitere Belastungsfaktoren, die in den vorliegenden Simulationen nicht bzw. nur unvollständig einbezogen waren.

Die Grundhypothese des Critical Loads Ansatzes konnte damit aber nicht falsifiziert werden. In weni-

ger belasteten Gebieten ist dies wegen der Langfristprognose des Ansatzes natürlich noch viel weniger möglich, weshalb die Warnung, Critical Loads nicht zu überschreiten, gestützt werden kann.

Abschließende Bemerkungen zur gesellschaftlichen Wirksamkeit der Critical Level/ Loads-Konzepte

Viele der bisherigen und heutigen gesellschaftlich wirksamen (vgl. z. B. HABER 1994) Konzepte wie Stabilität, ökologisches Gleichgewicht, Schließung von Stoffkreisläufen, Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit lassen jeweils enormen Interpretations- und Handlungsspielraum zu, wenngleich nationale und regionale Programme und Gesetzestexte diese Konzepte spezifizieren helfen. Dabei werden aber zumeist die Einfachheit und die Grundprinzipien verkompliziert und verwässert, weil genau in diesen Betrachtungsebenen sowohl die ökologische Vielfalt wie auch die gesellschaftliche Abwägung die zu stabilisierende, umweltverträglich zu machende und nachhaltig zu bewirtschaftende oder gar zu entwickelnde Realität ausmachen.

Naturraumspezifische Entwicklungsziele, z. B., sind eine planerische, ökologisch mehr oder weniger gut begründbare und notwendige Ergänzung für Umweltqualitätsziele und Umweltstandards. Nachdem die Wissenschaft erst langsam auf der Maßstabsebene der Ökosysteme und Landschaften besser begründete, weil besser beurteilbare spezifische Grenzwerte ermitteln konnte und weiterhin kann, sind hier Chancen, die tatsächlich vorhandenen Einzigartigkeiten auch auf diesen Betrachtungsebenen besser zu schützen.

Dies gelingt verständlicherweise im gesellschaftspolitischen Kontext dann besser, wenn verallgemeinerbare – wenigstens für bestimmte Belastungsarten, wie beim Critical Loads-Konzept die Säure- und Stickstoffeinträge – Ansätze vorliegen. Beim Critical Loads-Konzept wird ja der Weg beschritten, möglichst jeden Ökosystemtyp bzgl. seiner Belastbarkeit zu charakterisieren und seinen Ort sowie aktuellen Zustand miteinzubeziehen.

Im Rahmen der europäischen Anstrengung zur Verminderung grenzüberschreitender Luftschadstofftransporte hat das Konzept der Critical Levels und Critical Loads mittlerweile die früheren Ansätze der Best Available Technology (BAT) abgelöst. In Form von Luftreinhalteabkommen wurden und werden weiterhin zahlreiche Protokolle erstellt, die klar die Übernahme dieser wissenschaftlichen Beurteilungsgrundlagen in die politische Entscheidungsfindung dokumentieren (vgl. CCE 1993, KÖBLE et al. 1994).

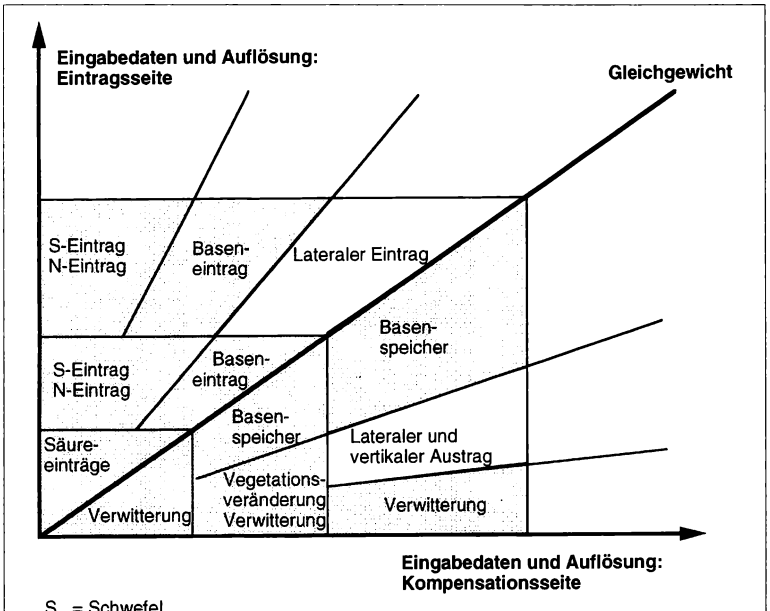

Abb. 4
Datenbedarf, Auflösung und Parametrisierung einfacher Stoffbilanzansätze

Tabelle 1:
Häufigkeiten der Überschreitungsklassen von Critical loads (Erläuterung s.u.) im Vergleich mit Klassen der Bestandsauflösung (vgl. KOCH 1986) in den höheren Lagen des Fichtelgebirges (in %)

Überschreitungsklassen	1	2	3	4
Modell 1				
großflächige Auflösung	–	–	92	8
kleinflächige Auflösung	–	11	72	17
keine Bestandsauflösung	1	47	39	13
Modell 2				
großflächige Auflösung	40	44	16	–
kleinflächige Auflösung	62	30	8	–
keine Bestandsauflösung	92	7	1	–
Modell 3				
großflächige Auflösung	–	5	79	16
kleinflächige Auflösung	–	18	73	9
keine Bestandsauflösung	8	44	40	8

Modell 1
Der einfache Bilanzansatz zur Berechnung der Überschreitungsklassen bildet die Differenz (in kmol-Stufen) zwischen der Verwitterungsrate und der Gesamtsäuredeposition. In dieser Anwendung wurde die Verwitterungsrate von dem geologischen Ausgangsmaterial und der Gründigkeit des Substrats abgeleitet. Die Depositionsrate wurde aus Freilanddepositionsmeßwerten, multipliziert mit Anreicherungsfaktoren durch Bestandrauhigkeiten sowie Nebelhäufigkeiten (Literatur dazu s. TOBIAS et al. 1989, LENZ 1991) ermittelt und mit Bestandsdepositionen sowie Kronenraumbilanzierungen in diesem Gebiet (s. KAUPENJOHANN 1989) kalibriert.

Modell 2
Bei diesem Ansatz wurde die Gesamtstickstoffdeposition mit dem empirischen Grenzwert (critical load) von 13 kg N ha^{-1} a^{-1} für Vegetationsveränderungen in Nadelwaldbeständen verglichen (13 kg N Klasse; vgl. CCE 1993).
Modell 3: **Durch Boden-Basenspeicher können zwischenzeitliche Abpufferungen der Gesamtsäurefrachten stattfinden, weshalb bei diesem Ansatz eventuelle Speicher zeitverzögernd auf die möglichen Effekte durch Critical loads Überschreitungen wirken. Die Ökosystemreaktionstypen wurden daher aus einer Gegenüberstellung der Depositionsabschätzung mit Basenspeichern und Verwitterungsraten abgeleitet (s. HAUHS 1989, LENZ 1991).**

Zur gesellschaftlichen Wirksamkeit hat auch dazu beigetragen, daß verstärkt globale Veränderungen unserer Umwelt auftreten – sei es Landnutzung oder Klima –, was wiederum z.T. wissenschaftlich noch wenig absehbare Folgen für unsere bislang noch näherliegenden Schutzobjekte Flora und Fauna, Luft, Boden und Wasser hat.

Dabei ist es erneut notwendig, sachlich gerechtfertigte Komplexitätsreduktion z. B. über Indikatoren vorzunehmen, um durchschaubar und für die Gesetzgebung praktikabel zu bleiben. Das Critical Loads Konzept ist hierfür ein gutes Beispiel. Es wirft allerdings – wie alle anderen wirkungsbezogenen Betrachtungen auch – die Frage auf, ob wir als Gesellschaft die Belastbarkeit auszunutzen gedenken, oder, ob wir auch für Ökosysteme einen Sicherheitsfaktor einführen wollen, um die Unsicherheiten dieser Abschätzungen aufzufangen. Die große Chance dabei ist, daß mit einigen wenigen Grenzwertsetzungen für übergeordnete Schutzobjekte wie Ökosysteme und Landschaften Folgewirkungen abhängiger, mitbeeinflußter und bereits als schutzwürdig erachteter Umwelt des Menschen implizit ausgeschlossen werden können.

Danksagung

Die vorliegenden Ausführungen wurden durch verschiedene Institutionen und Forschungsvorhaben sowohl des BMBF (FÜKz 03 39381A) wie des UBA (FÜKz 106 01 061) unterstützt. Besonders danken möchte ich Roman Stary und Stephan Mendler für die Pflege und Aufbereitung der Datensätze und Algorithmen für den räumlichen Hypothesentest in einem Geographischen Informationssystem.

Literatur

CCE (Coordination Center for Effects) 1993: Calculation and Mapping of Critical Loads in Europe: Statusreport 1993. RIVM, Bilthoven: 163 S.

ECE (European Comission of Economics) 1988: ECE Critical Levels Workshop. Bad Harzburg, Federal Republic of Germany, 14–18 March 1988. Final Draft Report: 146 S.

HAUHS, M., 1989: Decline of Norway Spruce in the Harz Mountains – A Hypothesis bated on acid deposition and site sensitivity. Poster 254 beim Internationalen Waldschadenskonkreß in Friedrichshafen, 1.–6.10.1989.

KAUPENJOHANN, M., 1989: Chemischer Bodenzustand und Nährelementversorgung immissions-

belasteter Fichtenbestände in Nordostbayern. Bayreuther Bodenk. Ber., 11: 202 S.

KÖBLE, R., NAGEL, D., SMIATEK,G., WERNER, B., WERNER, L., 1994: Kartierung der Critical Loads & levels in der Bundesrepublik Deutschland. Abschlußbericht an das UBA.

KOCH, H. 1986: Intensivierung durch Sanierungs- und Waldverjüngungsmaßnahmen im Fichtelgebirge. Allgemeine Forstzeitung, 41: 377–381.

LENZ, R. 1991: Charakteristika und Belastungen von Waldökosystemen NO-Bayerns – eine landschaftsökologische Bewertung auf stoffhaushaltlicher Grundlage. Diss. an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, TUM-Weihenstephan. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen, Reihe A, 80: 200 S.

LENZ, R., 1992: Grenzwertkonzepte für Ökosystembelastungen am Beispiel der Wälder Nordost-Bayerns. Bayer. Landw. Jahrbuch 69 (Sonderheft 2): 173–189

LENZ, R., MÜLLER, A., ERHART, M., 1994: Veränderungen der Säureneutralisierungskapazität nordostbayerischer Waldböden – eine regionale Belastungsanalyse stoffhaushaltlicher Prozesse seit dem 19. Jahrhundert. Forstarchiv 65 (5): 172– 182.

LENZ, R., SCHALL, P. 1991: Belastungen in fichtendominierten Waldökosystemen. Risikokarten zu Schlüsselprozessen der neuartigen Waldschäden. Allgemeine Forstzeitung, 46: 756–761.

NILSSON, J., GRENNFELT, P., 1988: Critical Loads for Sulphur and Nitrogen. Milijörapport 1988: 15. Stockholm (Gotab): 418 S.

SCHULZE, E.-D., de VRIES, W., HAUHS, M., ROSEN, K., RASMUSEN, L., TAMM, C.-O. und NILSSON, J. 1989: Critical Loads for Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems. Water, Air and Soil Pollution 48: 451–456.

SRU (Rat von Sachverständigen in Umweltfragen): Umweltgutachten 1987. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart und Mainz: 674 S.

STEPHAN, K. 1990: Praktische Erfahrungen bei der Verwirklichung des Waldsanierungsprogramms Fichtelgebirge. Allgemeine Forstzeitung, 45 (H3): 70–72.

TOBIAS, K., LANG, R., LENZ, R. und SCHALL, P. 1989: Flächenbezogene Abschätzungen der Depositionsmengen von Protonen, Stickstoff, Calcium und Magnesium in vier Schwerpunktforschungsräumen der Bundesrepublik Deutschland. Geo-Informationssysteme 2 (4): 26–32.

ULRICH, B., 1993: Prozeßhierarchie in Waldökosystemen. Ein integrierender ökosystemtheoretischer Ansatz. Biologie in unserer Zeit, 23 (5): 322–329.

Adresse

Dr. R.J.M. Lenz
GSF Forschungszentrum für
Umwelt und Gesundheit/PUC
Postfach 11 29
85758 Oberschleißheim

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 24_1995

Autor(en)/Author(s): Lenz Roman

Artikel/Article: Zur ökologischen und gesellschaftlichen Relevanz kritischer Stoffeintragsraten in Ökosysteme 499-505