

Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen

Heinz Ellenberg

Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen, eines der Rahmenthemen unserer Tagung, ist nicht nur für uns Ökologen aktuell. Es wird auch von Behörden erwogen und in der Öffentlichkeit diskutiert. Unsere Flüsse sind mehr und mehr mit Abwässern belastet und tragen ihrerseits zur Belastung des Meeres bei. Der Luftraum wird belastet durch Immissionen verschiedener Art. Ob Wald oder See, ob Freiland oder urbaner Bereich, fast alle Ökosysteme werden davon betroffen. Zum Nachteil der Lebewesen und besonders des Menschen geraten solche Systeme aus ihrem ohnehin labilen Gleichgewicht. Und alle, die sich mitverantwortlich fühlen, besonders die Planer, möchten wissen, bis wie weit man sie belasten darf, ohne die Grenzen ihrer Tragfähigkeit zu überschreiten.

Die Vorstellung von einer Waage, die uns bei derartigen Gedankengängen vorschwebt, wird nun allerdings den Ökosystemen nicht gerecht. Selbst das einfachste von ihnen ist viel zu kompliziert, denn es ist in jedem Falle ein Wirkungsgefüge von Lebewesen und ihrer anorganischen Umwelt, das mit der Zeit variiert. Es vermag sich selbst bis zu einem gewissen Grade zu regulieren, was durch Rückkopplungen und sich gegenseitig beeinflussende Entwicklungsvorgänge geschieht. Selbst wenn sich nur ein einziger Umweltfaktor, z.B. der SO_2 -Gehalt der Luft, verändert, werden zahlreiche andere Faktoren beeinflusst und, direkt oder indirekt, die verschiedensten Lebewesen - von der Mikrobe bis zum Menschen - in Mitleidenschaft gezogen.

Vortrag, gehalten anlässlich der Tagung der "Gesellschaft für Ökologie", Giessen 1972
Tagungsbericht "Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen"
Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. H. Ellenberg, 34 Göttingen, Untere Karspüle 2.

Unser Wissen über solche Systeme und ihre Regulationsmechanismen ist noch sehr begrenzt. Zwar trugen interdisziplinäre und internationale Forschungsvorhaben, wie das Follingprojekt der DFG im Internationalen Biologischen Programm, wesentliches zum Verständnis naturnaher und bewirtschafteter Ökosysteme bei. Aber nur auf dem Gebiet der Limnologie und Gewässerbiologie hat die Ökosystemforschung schon eine so lange Tradition, daß die Auswirkungen bestimmter Belastungen teilweise vorausgesagt werden können, und es ist kein Zufall, daß die meisten Beiträge zu dieser Vortragstagung von Hydrobiologen angemeldet wurden. Aber eigentlich stehen wir auch hier noch immer am Anfang, und es bedarf einer zielbewußten Intensivierung der Grundlagenforschung, um endlich zu klarerem und für die Praxis verwertbarem Wissen zu gelangen. Zu weiteren Untersuchungen anzuregen, ist daher auch ein Hauptziel des diesjährigen Treffens unserer noch jungen, aber erfreulich aktiven Gesellschaft für Ökologie.

Bevor wir nun einzelne Berichte aus der laufenden Arbeit hören, sollten wir uns vergegenwärtigen, was wir unter Belastung und Belastbarkeit überhaupt verstehen. So einleuchtend diese Begriffe erscheinen, so schillernd ist ihr Inhalt beim Gebrauch. Auch ich kann Ihnen keine allgemeingültige Definition geben; ich will nur versuchen, zum Nachdenken und zur Diskussion anzuregen. Vielleicht finden wir gemeinsam eine Lösung, die sich wenigstens für einen großen Teil von uns als praktikabel erweist. Ein Umdruck, dessen wesentlicher Inhalt in den Tabellen 1 und 2 wiedergegeben ist, mag uns dabei als Starthilfe dienen.

Schon das Wort Belastung kann recht verschiedene Vorstellungen auslösen. Eine Pflanze beispielsweise, die in der Halbwüste unter Wassermangel leidet, ist damit Belastungsproben ausgesetzt, die sie überwindet oder denen sie unterliegt. Aber einen solchen natürlichen, zur normalen Umwelt der Pflanze gehörenden Stress meinen wir gar nicht, wenn wir heute über Umweltbelastung sprechen. Bewußt oder

unbewußt beziehen wir uns vielmehr auf die vom Menschen ausgelösten, normalerweise nicht auftretenden Umweltänderungen. Deshalb schlage ich vor, den Begriff Belastung in der in Tabelle 1 unter b formulierten oder in einer ähnlichen Form einzuengen.

Die Belastbarkeit eines Ökosystems darf m.E. auch als seine Tragfähigkeit bezeichnet werden (siehe B in Tab.1). Sie resultiert aus der Empfindlichkeit (E) des betreffenden Ökosystems gegen einen belastenden Faktor oder gegen eine Kombination von mehreren, einander mehr oder minder steigernden Faktoren, und seiner Regenerationsfähigkeit (R). Diese wiederum ist vom Ausmaß, aber auch von der Schnelligkeit abhängig, mit der das Ökosystem in seinen früheren Zustand zurückstrebt.

Beim näheren Zusehen enthält auch die Empfindlichkeit zumindest zwei verschiedene Komponenten. Zunächst denkt man an die "Störbarkeit" bzw. Labilität (L), d.h. an das Ausmaß und die Schnelligkeit der Veränderungen des Ökosystems, die sich bei einer bestimmten und zeitlich begrenzten Belastung ergeben. Man kann die gleiche Eigenschaft auch positiv ausdrücken, nämlich als Widerstandsfähigkeit oder Pufferkraft gegen die belastende Störung. Labilität oder Pufferung beruhen in erster Linie auf der Organismengemeinschaft des Ökosystems und auf deren Reaktionen. Sie sind sozusagen die coenotische Komponente der Empfindlichkeit des Ökosystems. Daneben gibt es aber auch eine abiotische Komponente, die ich "Disposition" (D in Tab. 1) nennen möchte. Die gleiche Organismengemeinschaft ist bei gleicher Belastungsdosis, z.B. bei einer bestimmten SO_2 -Konzentration in der Luft, umso stärker gefährdet, je mehr das Gelände die Zufuhr von SO_2 begünstigt. An einem zur Emissionsquelle hin geneigten Hang beispielsweise ist die Organismengemeinschaft stärker exponiert als in ebener Lage. Diese Form der Anfälligkeit oder Disposition sollte man vor allem deshalb von der coenotischen Komponente trennen, weil man sie in der Regel leichter erfassen und messen kann, also aus pragmatischen Gründen.

Die in Tabelle 1 benutzten Buchstabensymbole sollen nur einer rascheren Verständigung dienen. Sie ermöglichen eine knappe tabellarische Übersicht über den Stand unseres Wissens im Hinblick auf die Belastbarkeit bestimmter Ökosysteme (siehe Tab.2). Erleichtert wird eine solche Übersicht außerdem dadurch, daß man den ungefähren Grad der Labilität, der Disposition und anderer Größen zunächst einmal nach einer leicht lesbaren Relativskala einschätzt. Hierbei ist es gleichgültig, ob man sich einfacher Worte (wie sehr gering, gering usw.) oder einer Zahlenskala (z.B.1, 2 usw.) bedient.

Tabelle 2 soll nur als Anregung wirken und beruht nur auf persönlichem Dafürhalten, nicht auf Messungen oder Literaturangaben. Einige Beispiele mögen verdeutlichen, wie sie gelesen werden kann:

Sommergrüner Laubwald ist weniger disponiert für Luftverunreinigungen, insbesondere SO_2 -Immissionen, als Nadelwald mit immergrünen Blättern und größerer Gesamtoberfläche. Die Nadeln leben normalerweise mehrere Jahre und müssen auch im Winter aushalten, wenn die SO_2 -Belastung durch Hausbrand usw. ansteigt. Die Labilität beider Ökosystemtypen ist auf Kalkböden geringer als auf weniger gut gegen Säuren gepufferten Böden. Am empfindlichsten reagiert daher bodensaurer Nadelwald auf SO_2 -Belastung. Da sich Laubhölzer leichter aus Stockausschlägen regenerieren als Nadelhölzer, sind Laubwälder stärker durch Faktoren belastbar, die eine (nicht zu häufige) Schädigung der oberirdischen Organe bewirken.

Je nach der Anfälligkeit, Störbarkeit und Regenerationsfähigkeit wichtiger Populationen in den Ökosystemen und je nach der Struktur der Ökosysteme können Empfindlichkeit und Belastbarkeit im Einzelfalle recht verschieden sein. Kryptogame Epiphyten-Gemeinschaften (die man als Nano-Ökosysteme auffassen kann) sind besonders anfällig gegen Luftverunreinigungen, weil kein Boden vorhanden ist, der einen Teil der Immissionen aufnimmt. Ihre Störbarkeit ist je nach der Widerstandskraft der Partner verschieden groß, aber bei

Flechten in der Regel größer als bei Algen (oder Moosen). Da sich Algen, namentlich Cyanophyceen, nach Belastungen rascher regenerieren, sinkt die Belastbarkeit in der Reihe der Epiphyten-Gemeinschaften von maximalen zu minimalen Werten.

Limnische Ökosysteme sind hinsichtlich Empfindlichkeit und Belastbarkeit viel besser untersucht als Land-Ökosysteme. Ein kleiner Bachlauf ist besonders anfällig gegen Luftverschmutzungen wie z.B. SO_2 -Immissionen, die mehr oder minder gleichmäßig auf die gesamte Landschaft einwirken. Im Gegensatz zu den meisten Wäldern erhält er ja seine Zufuhren aus einem relativ großen Einzugsgebiet. Im Verhältnis zu seiner eigenen Wassermasse sind diese mit SO_2 angereicherten Zuflüsse beträchtlich. Wieweit der Bach und die Lebewesen in ihm hierdurch gestört werden, hängt jedoch in erster Linie von seinem Basengehalt ab. Bei geringer Pufferung ist die Empfindlichkeit eines Baches gegen SO_2 -Belastung groß. Plötzliche Zufuhren aus entfernten Industriegebieten können daher z.B. Massensterben von Bachforellen zur Folge haben. Doch regenerieren sich Bäche rasch wieder, wenn weitere Belastungen ausbleiben. Ihre Belastbarkeit durch SO_2 ist also, auf die Dauer gesehen, größer als man nach ihrer Empfindlichkeit erwarten würde.

Mein Versuch, die geschätzten Werte für die Komponenten D, L und R rechnerisch zu kombinieren, bitte ich nur als eine Spielerei zu verstehen, die ja zuweilen durchaus zur Klärung von Problemen beitragen kann. Sie ergibt beispielsweise, daß der epiphytische Cyanophyceen-Besatz auf Baumrinden eine besonders starke Belastung durch SO_2 aushalten würde, Gegen solche Säurezufuhr aus der Luft sind auch kalkreiche, gut gepufferte Gewässer sehr widerstandsfähig, besonders Bäche mit ihrer ständigen Wassererneuerung. Manchen wird die relativ geringe Belastbarkeit selbst kalkreicher Gewässer, die sich hier ergibt, allerdings überraschen und zur Kritik anregen. Sie ist eine Konsequenz der Annahme, daß die Disposition (D) der Gewässer (mit Ausnahme der Quellen) für Zufuhren aus der Luft recht groß ist, weil ihr gesamtes Einzugsgebiet die Immission aufnimmt.

Betonen möchte ich, daß derartige Tabellenübersichten nur als Hilfe zur Ordnung unseres Wissens und zum Erkennen großer Wissenslücken dienen dürfen, nicht aber bereits als Ergebnissammlung oder gar als Hilfe für den Landesplaner mißdeutet werden dürfen.

Abschließend rege ich an, aus dem Kreise der Hörer und übrigen Ökologen eine Arbeitsgruppe "Belastbarkeit" oder "Belastung von Ökosystemen" zu bilden. Aufgabe einer solchen Arbeitsgruppe wären Begriffsklärungen, Übersichten unseres Kenntnisstandes in der vorgeschlagenen oder anderer Weise und Formulierungen wichtiger Forschungsvorhaben, um die größten Lücken auf dem Gebiet unseres Wissens von der Belastung und Belastbarkeit verschiedenster Ökosysteme zu schließen.

In einer solchen Gruppe sollten Vertreter aller Teilgebiete der Ökologie zusammenkommen, um weitgehende Gemeinsamkeit ihres weiteren Vorgehens abzusprechen. Insbesondere sollten behandelt werden können:

1. Belastung von Binnengewässern,
2. Belastung von Küsten und küstennahen Meeren,
3. Belastung von naturnahen Land-Ökosystemen,
4. Belastung von Intensivkulturen und anderen naturfernen Land-Ökosystemen,
5. Belastung von Siedlungen und Siedlungsrandgebieten.

Tab.1: D e f i n i t i o n e n zur Belastung von Ökosystemen
(im Rahmen der Umweltforschung)

- b) Belastung: Nicht zum normalen Haushalt gehörige (meist durch den Menschen ausgelöste) Einwirkung eines Faktors (z.B. der Luftverunreinigung durch SO_2) oder eines Komplexes von Faktoren.
- D) Disposition (Anfälligkeit) für Belastung: Disposition eines bestimmten Ökosystems, bei Belastung einer Landschaft mehr oder minder stark betroffen zu werden: (Ein Steilhang z.B. ist stärker gegen Wassererosion sowie gegen SO_2 -Immission anfällig als ein kaum geneigter Hang).
- L) Labilität (Störbarkeit) bei zeitweiliger Belastung: Ausmaß (und Geschwindigkeit) der durch Belastung eines bestimmten Ökosystems in der Regel verursachten Veränderungen im Gleichgewicht der Partner und (oder) in der

Beschaffenheit der abiotischen Bedingungen. Kürzer: Reziproker Wert der Widerstandsfähigkeit (bzw. der "Pufferung") gegen Störungen des Gleichgewichtes durch die Belastung.

- E) Empfindlichkeit gegen zeitweilige Belastung: Produkt aus Disposition und Labilität. (Am einfachsten $E = D \cdot L$. Wenn man D und L nach einer 10-teiligen Skala einschätzt, ist E maximal = 100).
- R) Regenerationsfähigkeit nach zeitweiliger Belastung: Ausmaß (und Geschwindigkeit) der Regeneration eines durch Belastung gestörten Ökosystems.
- B) Belastbarkeit (Tragfähigkeit): Ergibt sich aus der Empfindlichkeit eines Ökosystems gegen Belastungen und seiner Regenerationsfähigkeit. (Am besten auszudrücken als $B = k \cdot (100 - E) \cdot R$, wobei $k = 1/10$ oder $1/100$ angenommen wird, vorausgesetzt, daß man auch R nach einer 10-teiligen Skala eingeschätzt hat).

Die Art der Belastung kann durch Indizes ausgedrückt werden, z.B. b_{SO_2} , $b_{kompl.}$, D_{SO_2} , E_{SO_2} , B_{SO_2} , $E_{Lärm}$,

$B_{Abwasser}$, $B_{kompl.}$

Ökosystem: Wirkungsgefüge von Lebewesen und Umwelt, das bis zu einem gewissen Grade zur Selbstregulation befähigt ist.

Landschaften bestehen in der Regel aus Mosaiken von Ökosystemen, die durch gegenseitige Beziehungen mehr oder minder eng zu einem Komplex verbunden sein können. Diesen kann man als Ökosystem höheren Ranges auffassen.

Umweltforschung befaßt sich mit den Lebensbedingungen des Menschen sowie deren Veränderungen durch Eingriffe des Menschen.

Tab.2: G e s c h ä t z t e G r a d e in bezug auf Belastung durch SO₂-Immissionen 1)

D _{SO₂}	= <u>Disposition</u> (Anfälligkeit) des Ökosystems für SO ₂ -Immissionen 2)						
L _{SO₂}	= <u>Labilität</u> (Störbarkeit)	"	"	bei	"	"	
E _{SO₂}	= <u>Empfindlichkeit</u>	"	"	gegen	"	E=D · L	
R _{SO₂}	= <u>Regenerationsfähigkeit</u>	"	"	nach	"		
B _{SO₂}	= <u>Belastbarkeit</u>	"	"	durch	"	$B = \frac{(100-E) \cdot R}{10}$	

Beispiele	Grade ¹⁾		D	L	E	100-E	R	B	B:10
<u>Land-Ökosysteme</u>									
abgerundet									
<u>Laubwald, sommergrün</u>									
- auf sehr saurem Boden	2	5	10	90	5	45	5		
- auf Kalkboden		3	6	94		47	5		
<u>Nadelwald, immergrün</u>									
- auf sehr saurem Boden	5	5	25	75	4	30	3		
- auf Kalkboden		3	15	85		34	3		
<u>Mähwiese, gedüngt</u>									
	1	2	2	98	7	69	7		
<u>Epiphytenbesatz auf Rinden</u>									
- Blaualgen		2	14	86	9	77	8		
- Grünalgen	7	3	21	79	8	63	6		
- Krustenflechten		7	49	51	3	15	2		
- Blattflechten	8	9	72	28	2	6	1		
- Bartflechten	9	10	90	10	1	1	0		
<u>Limnische Ökosysteme</u>									
<u>Quellen</u> (Schichtquellen)									
- sehr kalkarm	2	9	18	82	6	49	5		
- kalkreich		1	2	98		59	6		
<u>Kleine Bäche</u>									
- sehr kalkarm	7	9	63	37	8	30	3		
- kalkreich		2	14	86		69	7		
<u>Große Flüsse</u>									
- kalkarm	4	9	36	64	5	32	3		
- kalkreich		2	8	92		46	5		
<u>Kleine, flache Seen</u>									
- sehr kalkarm	5	9	45	55	3	17	2		
- kalkreich		2	10	90		27	3		

Maximum: 10 10 10 100 10 100 10

1) Relative Grade: 0 = keine oder fast keine 9 = sehr große
 1 = sehr geringe 10 = äußerst große
 5 = mittelmäßige

2) Definitionen siehe Tabelle 1.