

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Göttingen 1976.

ÜBER DIE STOFFLICHE FILTERWIRKUNG INTENSIV GENUTZTER TERRESTRISCHER ÖKOSYSTEME AUF DIE GRUNDWASSERNEUBILDUNG

O. KLAUSING & A. WEISS

Abstract

Terrestrial ecosystems need for maintaining their functions a permanent influx of water supplies being normally covered by precipitation. One part of these supplies may runoff, the other enters the soil and is taken up by plants for assimilation and further some parts of the precipitation will evaporate (by interception, evaporation, transpiration). Only the remaining surplus of water in the soil can percolate to the groundwater, moreover regenerating these reservoirs being technically for our disposal. Terrestrial ecosystems – plant cover + rooted soil – are only partially penetrable to water: they are filters in the means of physics.

With precipitation, atmospheric substances may penetrate ecological systems. These substances are absorbed and partly used in plant metabolism and some percolate the soil. At the same time the ecosystems transfer by means of the plants respectively on account of these deterioration, mineralisation and by soil decomposition soluble substances into the seepage water. Intensively used terrestrial ecosystems are mostly fertilized. This input of non-atmospheric antropogenic substances becomes only partly active in the vegetable metabolism and is eliminated by the ecosystem correlating to quantity of harvest. The missing difference can either be absorbed in soil or be dissolved by percolating water in large quantities. For that reason terrestrial ecosystems are also filters in a chemical sense.

The physical and chemical filtering effect may become known by measuring quantities of water – flux and input-output-analysis in lysimeters. Methods and results of such research from intensively used agricultural locations are reported.

Concerning the above-mentioned subject the question arises in how far the subsoilwater reservoir is still undisturbed by an intensive agriculture and yields qualitative satisfactory water. The maximum chemical dose-capacity of our agricultural landscape is not only measurable against ecological tolerances of the plant and soil compatibility and over food-chains secondarily connected consumers but also it has to be measured against the standards of drinking-water by technical means.

Bioproductive recycling of waste material by using terrestrial ecosystems is also measurable with the same standards. This may prohibit the application of such models in the cultivated landscape on account of the limits outside the compatibility of ecosystems.

Der Problembereich „Gewässerbelastung“, unter dem die diesjährige Tagung der Gesellschaft für Ökologie heute steht, kann sich nicht darauf beschränken, nur Oberflächengewässer, also Bäche, Flüsse und Seen, lediglich als Wasserbiotope im Hinblick auf deren Ökologie und Umweltbelastung betrachten, untersuchen und hier darstellen zu wollen. Denn Gewässer werden erzeugt und erhalten aus dem hydro- und ökoklimatischen Wasserüberschuß ihrer Niederschlags- bzw. Einzugsgebiete. Nicht die Stoffrachten und Wärmelasten aus Einleitungen sind als Primärercheinungen der Gewässerbelastung anzusehen und auch nicht der oberflächliche Eintrag von gelösten Stoffen oder Schweb- und Feststoffen aus stofflich kontaminierten atmosphärischen Niederschlägen oder aus dem Stoff-

abtrag ihrer Einzugsgebiete, gleichviel ob diese nun bewaldet oder nicht bewaldet, extensiv oder intensiv genutzt, wenig oder dicht besiedelt, schwach oder stark mit Einleitungen belastet sind. Auch die biologische Selbstreinigungskraft und ökologische Pufferkapazität unserer Gewässer sind nicht Primärfaktoren der Wassergüte, sondern Folgeerscheinungen vorhandener Gewässerbelastungen. Der ganz überwiegende Teil des in unseren Gewässern vorhandenen und mit ihnen abfließenden Wassers hat die Böden der Einzugsgebiete durchsickert und gelangt damit erst mittelbar als schnell oder langsam dränendes Bodenwasser auf dem Wege über subsurface-flow, Hang-, Kluft- oder Grundwasserabfluß in die Oberflächengewässer; Wassermengenumsatz sowie Stoffein- und -austräge der Böden bestimmen daher primär die Güte und stofflichen Qualitäten des Grund- und Oberflächenwassers. Über die dabei vorhandene stoffliche Filterwirkung intensiv genutzter terrestrischer Ökosysteme auf Menge und Qualität der Grundwasserneubildung ist hier aufgrund gemeinsamer Untersuchung zu berichten.

Über die dabei angewendeten Methoden zur Ermittlung des Wasserumsatzes im Felde genügt es hier, darauf hinzuweisen, daß uns in Hessen ein gewässerkundliches Netz von Lysimeter- und Bodenfeuchte-Meßstationen an überwiegend intensiv landwirtschaftlich genutzten Standorten zur Verfügung steht, in welchem Niederschlag, potentielle Verdunstung und klimatische Wasserbilanz einerseits sowie Bodenfeuchte und Sickerwasserbewegung andererseits gemessen werden. Wir verweisen hierzu auf die in jüngster Zeit erschienenen Arbeiten von Klausung & Salay (1974, 1976). Nunmehr langjährige vorliegende Messungen haben folgende Grenz- und Mittelwerte für den Abfluß des Niederschlagswassers von bzw. aus den Böden ergeben (Tabelle 1):

Diese Zahlen zeigen den hohen Anteil des Sickerwassers am Gesamtabfluß und machen damit deutlich, in welchem hohem Maße dementsprechend die Qualität des Sickerwasserabflusses den Stoffgehalt des Grundwassers und der von ihm erzeugten Oberflächengewässer bereits primär bestimmen muß.

Intensive Landnutzung durch den Menschen bedeutet dabei gegenüber Laubwald als denkbarer potentieller natürlicher Vegetation nicht eine Verminderung der Grundwasserneubildung. Aber welche Belastungen stofflicher Art bedeutet intensive Landnutzung für die Grundwasserneubildung und welche Filterwir-

Tabelle 1. Jährliche Oberflächenabfluß (A_0) und Sickerwasserabfluß (A_S) in Hessen bei verschiedener Landnutzung und Niederschläge $\bar{N} = 550 \dots \underline{720} \dots 1000$ mm/a.

| Landbenutzung: | A_0 (mm/a) | A_S (mm/a) |
|----------------------|--------------|----------------------------|
| Grünland | 5 ... 30 | 10 ... <u>340</u> ... 650 |
| Acker schwerer Boden | 20 ... 40 | 0 ... <u>120</u> ... 300 |
| mittlerer Boden | 10 ... 30 | 20 ... <u>150</u> ... 350 |
| leichter Boden | 5 ... 15 | 100 ... <u>220</u> ... 500 |

kung haben intensiv genutzte terrestrische Ökosysteme auf stofflich kontaminiertes Niederschlagswasser?

Um diesen Fragen nachzugehen, werden derzeit in Hessen 20 ausgewählte Lysimeterstationen auf ihren Mineralstoffumsatz untersucht. Die Meßstationen sind entsprechend der naturräumlichen Unterschiede des Landes gebietlich ausgewählt und stehen nach der charakteristischen Landnutzungsstruktur flächenrepräsentativ in landwirtschaftlicher Kultur. Die hierbei zu untersuchenden Wasserproben werden als Sammelproben aus den Niederschlagssammlern und als Stichproben aus den zugehörigen Monolithlysimetern, also aus nahezu ungestörten Bodenprofilen in 2 m Tiefe gezogen.

Anhand der Niederschlagssammelproben einerseits und der zugehörigen Lysimetersickerwasserproben andererseits werden Input-Output-Untersuchungen durchgeführt. Aufgabe dieser Untersuchungsart ist die zeitlich und flächenmäßig definierte Erfassung des Stoffeintrages aus den atmosphärischen Niederschlägen und des dazu korrespondierenden Stoffaustrages nach Passage dieses Wassers durch Vegetation und Bodenprofil. Es wird also versucht, die Stoffmengenumsätze in den Ökosystemen indirekt durch ein black-box-Verfahren zu erfassen: Nicht der Stoffumsatz des Bodenprofils und der Pflanzendecke selbst sondern die Eingangs- und Ausgangsgrößen für die verschiedenen Stoffklassen werden über definierte Zeiträume hinweg bestimmt. An chemischen Elementen bzw. Elementgruppen untersuchen wir derzeit die Hauptelemente des Pflanzenstoffwechsels und der Bodenverwitterung, außerdem einige umweltbelastende nichtorganische Stoffe. Wir untersuchen also nicht nur NPK bzw. Kalzium und Magnesium, sondern auch Silizium, Aluminium, Eisen und Mangan, ferner natürlich Sulfat.

Anhand der Daten des Wassermengenumsatzes auf der einen Seite und der ermittelten Stoffkonzentrationen auf der anderen lassen sich leicht auch die Stoffumsätze ausrechnen. Daraus können mit zunächst vorläufigen Werten die Stoffbilanzen der Ökosysteme an den betreffenden Meßstationen abgeschätzt werden. Durch längerfristige Untersuchung und unter Zuhilfenahme der räumlichen und strukturellen Gegebenheiten sowie der spezifischen standortökologischen Verhältnisse lassen sich – freilich mit gewissen Vorbehalten – Aussagen

Tabelle 2. Grenzkonzentrationen gelöster Stoffe (mg/l).

| | im Niederschlag | | im Sickerwasser | |
|--------------------------------|-----------------|--------|-----------------|-----|
| SiO ₂ | 0 ... | 5 | 0 ... | 35 |
| Al ₂ O ₃ | 0 ... | 22 | 0 ... | 35 |
| Fe ₂ O ₃ | 0 ... | 5 | 0 ... | 18 |
| MnO | 0 ... | 5 | 0 ... | 150 |
| MgO | 0,5 ... | 3 | 2 ... | 150 |
| CaO | 1 ... | 25 | 1 ... | 280 |
| Na ₂ O | 0,5 ... | 6 | 0 ... | 45 |
| K ₂ O | 0,3 ... | 25 | 1 ... | 54 |
| P ₂ O ₅ | 0,1 ... | 10 | 0.03 ... | 13 |
| SO ₃ | 6 ... | 180 | 10 ... | 180 |
| NO ₃ | 1 ... | 10 000 | 0,5 ... | 80 |

über den stofflichen Belastungsgrad des Wasserhaushalts bestimmter Landschaftsräume machen.

Wir stehen noch mitten in der Untersuchung und können daher hier nur einige vorläufige Zahlen mitteilen (Tabelle 2):

Insgesamt wird dabei die im allgemeinen geringere Konzentration gelöster Stoffe im Niederschlagswasser deutlich, allerdings von einigen Ausnahmen abgesehen, auf die noch näher einzugehen ist. Darüber hinaus ist vielleicht noch folgendes mitzuteilen: Die pH-Werte vom Input (die Mittelwerte) liegen im sauren Bereich unter 6,6, z.T. sogar zwischen pH 5 und 6, und zwar besonders bei unseren hessischen Stationen im oder am Rand des Verdichtungsraumes Rhein-Main-Tiefland, aber auch in südlichen Teilen des Mittelgebirges z.B. im Odenwald. Ursache dafür dürfte in entfernter entstehenden Emissionen aus industriellen und urbanen Verdichtungsräumen des Rhein-Neckar-Gebietes zu sehen sein. Die Bodensickerwässer des Outputs werden dagegen durch Passage des Bodenprofils durchweg alkalisiert und liegen zwischen pH 7 und 8, bei basischem Lößlehm gelegentlich auch über pH 8. Für den Input zeigen unsere Meßstationen im übrigen den bekannten jahreszeitlichen Rhythmus mit meist relativ hohen SO_3 -Konzentrationen zu Beginn des Abflußjahres (Herbst- und Wintermonate) und weniger als halb so hohe Konzentrationen von Mai bis Oktober.

Entsprechend der bekannt leichten Auswaschbarkeit von Sulfat im Boden wurden hohe Outputs auch bei Stationen mit geringer Grundwasserneubildung festgestellt. Danach unterliegen nur Böden mit langfristig sehr geringer oder fehlender Grundwasserneubildung der Gefahr einer hohen Sulfatanreicherung.

Der Gesamt-Stickstoff-Input, als NO_3^- berechnet, ist in den Sommermonaten gebietsweise recht hoch und kann dort nur teilweise durch allgemein bekannte atmosphärische Vorgänge wie Gewitter und Austausch aus höheren Luftschichten erklärt werden. Meist sprunghaft steigen die Werte von April nach Mai. Auffallend hohe Eintragungswerte wurden mit über 300 kg/ha · a in Nordhessen gefunden. Demgegenüber sind die Outputs an Gesamtstickstoff klein und liegen nur ausnahmsweise über 50 kg/ha · a bei verhältnismäßig leichten Böden.

Relativ hoch liegt gelegentlich auch der atmosphärische Eintrag von Phosphaten mit bis über 30 kg/ha · a gegenüber dem Gros unserer Stationen mit niedrigeren Werten zwischen 2-5 kg/ha · a. Diesen Inputwerten gegenüber ist der Phosphatverlust im Output ganz allgemein sehr niedrig, nämlich meist weit unter 1 kg/ha · a. Nach diesen Befunden kann beispielsweise eine phosphatbedingte Gewässereutrophierung nicht hauptsächlich auf intensive Nutzung und mangelnde bzw. überforderte Filterwirkung der untersuchten Ökosysteme zurückgeführt werden.

Der Vergleich der hier mitgeteilten Grenzkonzentrationen gelöster Stoffe von Niederschlag und Sickerwasser läßt natürlich insofern noch keine in sich geschlossene Betrachtung der Filterwirkung intensiv genutzter terrestrischer Ökosysteme zu, weil dem atmosphärischen Input mit den Niederschlägen der anthropogene Input mit Düngemitteln hinzugerechnet werden muß. Dies betrifft insbesondere natürlich Stickstoff, Phosphor und Kalium, daneben Kalzium und heutzutage auch Magnesium sowie die meist zugehörigen Düngemittel-Anionen Sulfat und (das hier nicht mituntersuchte) Chlorid. Ohne diesen Beitrag des

anthropogenen Düngemittel-Inputs intensiv genutzter terrestrischer Ökosysteme im einzelnen hier nun zu vertiefen, wird für den Stoffoutput anhand der hier mitgeteilten Grenzkonzentrationen gelöster Stoffe im Sickerwasser eines aber ganz deutlich: Erhöhte Stoffkonzentrationswerte finden wir nur bei den Stoffen, die auch durch die Ökosysteme selbst, und zwar durch natürliche Bodenverwitterung bei Passage der Niederschläge durch den Boden an das Grundwasser hin abgegeben werden, so daß für diese Stoffgruppe eine Filterwirkung ohnehin nicht oder nur nach Maßgabe der Ernteentzüge im Vergleich zur Düngemittelaufwandmenge zu konstatieren wäre. Wo aber trotz hoher Düngemittelaufwendung im Sickerwasser gleichhohe oder niedrigere Konzentrationswerte angetroffen werden als im Niederschlag – dies trifft insbesondere für Phosphat und Nitrat zu –, muß von einer chemischen Filterwirkung auch intensiv genutzter terrestrischer Ökosysteme gesprochen werden, unbeschadet der Tatsache, daß Sickerwässer aus extensiv genutzten oder naturnahen Ökosystemen im allgemeinen hier durchaus noch niedrigere Gesamtwerte zeigen mögen. Ja, es liegt sogar der Verdacht nahe, daß Kulturen mit hohem Stickstoffbedarf auf entsprechend gut nährstoffversorgten Böden ganz wesentlich die stoffliche Filterfunktion mitbestimmen und daß bei abrupter Beendigung der intensiven Nutzung, also beim Übergang zur Brache oder bei einer Aufforstung, dann nicht mehr benötigte Nährstoffreserven des Bodens in erhöhtem Maße, und wie wir glauben vermuten zu dürfen, auch mit jahrzehntelanger Nachwirkung mit dem Sickerwasser zum Grundwasser hin ausgetragen werden.

Die Frage der Filterwirkung intensiv genutzter terrestrischer Ökosysteme auf die Grundwasserneubildung ist nun nicht nur im Hinblick auf eine subsequeunte Gewässerbelastung und Eutrophierung von Interesse, sie interessiert vielmehr insbesondere im Hinblick auf die stoffliche Qualität des Grundwassers und dessen Benutzung als Trinkwasser. Demnach sind die hier gemessenen Stoffkonzentrationen in den Sickerwässern aus intensiv genutzten terrestrischen Ökosystemen unmittelbar an den Trinkwassergüte-Standards zu messen, welche in unserem

Tabelle 3. Jahresmittelwerte der Konzentrationen gelöster Stoffe (mg/l)

| | im Niederschlag | Grünland | im Sickerwasser aus: | | |
|--------------------------------|--------------------|----------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| | | | Ackerland schweren Böden | mittleren Böden | leichten Böden |
| Zahl der Stationen: | 20 | 7 | 8 | 3 | 2 |
| SiO ₂ | < 5 | 9 | 6 | 11 | 7 |
| Al ₂ O ₃ | < 9 | < 9 | < 9 | < 9 | < 9 |
| Fe ₂ O ₃ | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| MnO | 0,1 | 0,06 | 0,1 | 0,07 | 0,03 |
| MgO | 1 | 30 | 33 | 20 | 18 |
| CaO | 5 | 60 | 82 | 107 | 133 |
| Na ₂ O | 2 | 9 | 20 | 18 | 19 |
| K ₂ O | 3,5 | 2 | 2 | 3 | 10 |
| P ₂ O ₅ | 1 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,03 |
| SO ₃ | 20 | 55 | 85 | 64 | 75 |
| NO ₃ | 25 | 6 | 16 | 21 | 14 |

Kultur- und Lebensraum normativ bestehen bzw. festzusetzen sind. Macht man dies am Beispiel der Nitrat-Belastung als einem der wesentlichsten hier berührten Stoffmerkmale, so fällt auf, daß der nach Deutschem Recht festgesetzte Grenzwert von 50 mg/l – der WHO-Standard liegt bei 50-100 mg/l – gelegentlich schon erreicht und überschritten wird. Berücksichtigt man aber, daß im Grundwasser selbst sowohl eine mikrobielle Nitratreduktion und Stickstofffreisetzung möglich ist als auch ein zeitlicher und mengenmäßiger Ausgleich von Konzentrationsschwankungen selbstverständlich stattfindet, so ergibt sich im Hinblick auf die hier zu betrachtenden Jahresmittelwerte der Konzentrationen (Tabelle 3), daß diese intensiv genutzten terrestrischen Ökosysteme ein trinkwassertaugliches Sickerwasser lieferten. Es wird daraus im Gegensatz zu häufig geäußerten Vorstellungen deutlich, daß hier noch teilweise erhebliche Reserven der Belastbarkeit vorliegen.

Es soll in diesem Zusammenhang nun nicht das Problem der Intensivierungsreserven in unserer Kulturlandschaft angesprochen werden, wohl aber die Frage, inwieweit unsere Kulturlandschaft umwelttechnisch weiterhin belastbar ist. Wir sind dabei, diese Frage mit gleicher Lysimetertechnik am Beispiel der Anwendung eines städtischen Strohlärschlammkompostes (Klausing et al. 1974, Noltze 1975, Hess. Landesanst. R. Umwelt 1975) auf intensive Landnutzungsformen zu untersuchen. Die ersten Ergebnisse aus dieser Untersuchung beivorkommende Schwermetall Chrom wird von den bisher von uns untersuchten Kulturpflanzen nur in äußerst geringem und in keinem höheren Maße als bei den Null-Kontrollen aufgenommen. Wuchsschäden wurden nicht beobachtet, eine Ertragssteigerung war deutlich. Die Frage einer Schadstoffakkumulation im Boden kann noch nicht ganz abschließend beurteilt werden. Es sieht aber nicht so aus, als ob hier eine Ökosystem-unverträgliche Schadstoffakkumulation bei Anwendung dieses Kompostes etwa vergleichbar der Anwendung von Stallmist in Intensivkulturen zu befürchten ist. Die Nitratausträge aus diesem Klärschlammkompost führen aber bei periodischer Aufwandmenge von 1000 dz/ha dieses Kompostes zu Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, die die Grenzwerte der zulässigen Trinkwasserbelastung nach Deutschem Recht zeitweise (nach WHO-Standard gelegentlich) überschreiten. Daß die Anwendung von Komposten als Recycling-Produkten uns ökologisch wie auch ökotechnisch generell sinnvoll erscheinen will, kann nicht darüber hinwegtäuschen, daß unbeschadet einer zweifellos vorliegenden weiteren Belastbarkeit unserer Kulturlandschaft hier örtlich und temporär Grenzen- und Schwellenwerte erreicht werden können, die nicht mehr allein nach Maßgabe der Ökosystemverträglichkeit beurteilt werden können. Umwelttechnische Grenzwerte und Grenzziehungen, wie sie z.B. durch die Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten rechtskräftig vorgenommen werden, können der Phantasie des Ökologen durchaus schon Grenzen setzen.

Literatur

- Klausing, O. & G. Salay (1974): Die Abhängigkeit der Grundwasserneubildung von Vegetation und Bewirtschaftung. *Allg. Forstz.* 29: 1091–1094.
Klausing, O. & G. Salay (1976): Die Messung des Wasserumsatzes im Felde. I. Klimatische

- Wasserbilanz. *Dtsche Gewässerkr. Mitt. (DGM)* 20: 1–7; II. Bodenfeuchte. *DGM* 20: 80–79; III. Reale Wasserbilanz. *DGM* 20: 100–111.
- Klausing, O., H. Knipping & H. Noltze (1974): „BIO-MIST“ aus Schlamm und Stroh. *Umwelt* 5: 29–30.
- Noltze, H. (1975): Die gemeinsame Kompostierung von Abfallstroh und Klärschlamm. *Wasser u. Boden* 5: 110–112.
- Umwelt Hess. Landesanst. f. (1975): Stroh + Klärschlamm = BIO-MIST. Bericht über die Arbeitstagung „Umweltgerechte Stroh. u. Klärschlammverwertung nach dem BIO-MIST-Verfahren“ am 1.10.1074, Bad Homburg v.d.H/Wiesbaden.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Otto Klausing und Dipl.-Biol. Albrecht Weiss, Hess. Landesanstalt für Umwelt, Mühlgasse 4-6, 62 Wiesbaden.