

Der Wirkungsgrad der Landschaft – ein Maß für die Nachhaltigkeit

Christian Hildmann

Synopsis

Landscape Efficiency – a Measure of Sustainability

In general, the energy efficiency rate expresses the ratio between productive energy and total energy input. This concept can also be applied to the landscape. The »total energy input« is the sun energy, which is dissipated by the three processor properties of the water. The physical and biological cyclic processes (transpiration/condensation and photosynthesis/respiration) are seen as the productive processes. In contrast, the chemical processor property of the water (solution/precipitation) leads to irreversible matter losses to the detriment of the landscape. These matter losses limit the life-span of an ecosystem, so that they can be seen as a measurement for sustainability. Using temperature data or chemical analysis and hydrological measurements, an estimation of the landscape efficiency becomes possible. The use of the efficiency rate for the evaluation of the landscape can contribute to protect and to improve the functionality of nature for society.

Wirkungsgrad der Landschaft, Energiedissipation, Wasserhaushalt, irreversible Stoffverluste, Nachhaltigkeit, Temperaturmessungen

landscape efficiency, energy dissipation, water budget, irreversible matter losses, sustainability, temperature measurements

1 Einleitung

Die Landschaft ist in ihrer Funktionalität als physische Lebensgrundlage der Gesellschaft unverzichtbar: sie liefert Nahrung, Trinkwasser, Lebensraum und ein ausgeglichenes Klima.

Das Bewerten oder Messen dieser Funktionalität soll für die Planung und Bewirtschaftung der Landschaft ein Maßstab sein, um die Dauerhaftigkeit und Funktionalität der Landschaft zu erhalten bzw. zu verbessern. Anstelle eines sektoriellen Ansatzes, der zunächst die landschaftlichen Funktionen einzeln betrachtet in der vagen Hoffnung, diese später wieder zu einem Gesamtwert aggregieren zu können, soll hier von einem Systemansatz (top down) ausgegangen werden.

Die Prozesse in der Natur, wie die des Wasserhaushaltes, sind weder normalverteilt noch gehorchen sie linearen Kausalzusammenhängen. Mit dem Konzept des Wirkungsgrades soll es möglich werden, zumindest die Entwicklungsrichtung aus den Beobachtungen – zu steigender oder sinkender Funktionalität, zu geschlosseneren oder offeneren Stoffkreisläufen – sicher angeben zu können.

2 Der Begriff des Wirkungsgrades

Das Konzept des Wirkungsgrades ist ursprünglich für technische Vorgänge entwickelt worden. Allgemein wird der Wirkungsgrad als das Verhältnis von Nutzenergie zu insgesamt eingesetzter Energie definiert.

Soll dieses Konzept auf Ökosysteme übertragen werden, so ist zunächst zu klären, welche Energie als »Nutzenergie« betrachtet werden soll, während als insgesamt eingesetzte Energie der tägliche »Sonnenenergieeupuls« mit jahreszeitlicher Modulation als Ergebnis der Wechselwirkung zwischen Sonne und Erde anzusehen ist. Für den Energieumsatz in der Landschaft ist das Wasser mit seinen drei Prozessoreigenschaften (RIPL 1995, RIPL & HILDMANN 1997) maßgebend.

- Der größte Teil der Energie wird mit Hilfe der physikalischen Prozessoreigenschaft in Verdunstungs- und Kondensationszyklen umgesetzt. Durch die Sonnenenergie werden die Wassermoleküle in Schwingungen versetzt. Die Energiezustände der Moleküle sind jedoch nicht gleich- oder normalverteilt, sondern gehorchen der schiefen Maxwell-Verteilung. Die Moleküle mit besonders hoher Schwingungsenergie können verdampfen. Indem die energiereichsten Moleküle die Oberfläche verlassen, wird diese gekühlt (Verdunstungskühle) (ROMANOV 1968). Bei der räumlich und/oder zeitlich verschobenen Kondensation wird die Energie wieder freigesetzt. Die energetischen Potentiale werden dadurch räumlich und zeitlich verschoben ausgeglichen (dissipiert).
- Ein geringerer Anteil wird mit Hilfe der chemischen Prozessoreigenschaft durch chemische Lösung und Fällung dissipiert. Dabei wird in den Lösungsvorgang Energie eingesetzt, die später bei der Fällung wieder freigesetzt wird. Zwischen Lö-

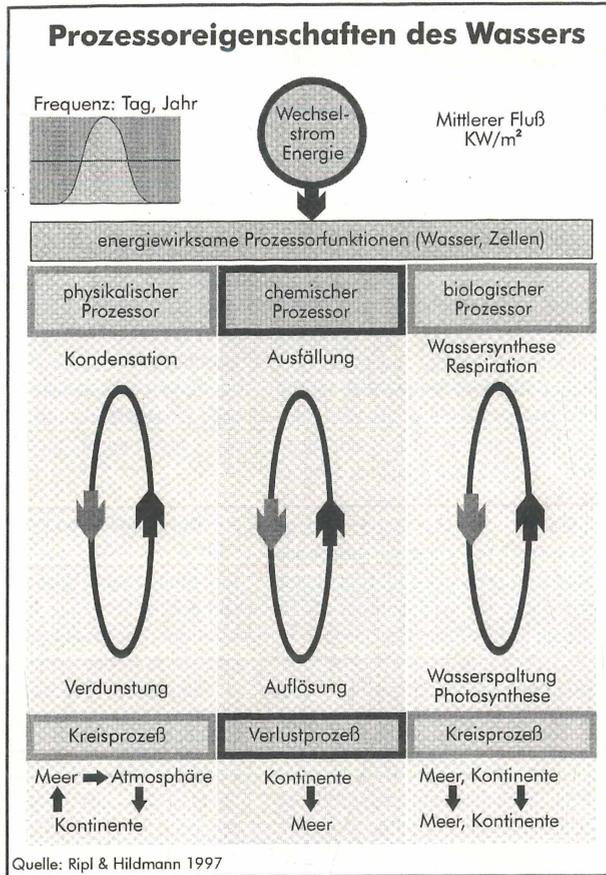


Abb. 1
Die drei Prozessoreigenschaften des Wassers.

Fig. 1
The three processor properties of the water.

sung und Fällung kann eine mehr oder weniger große Transportstrecke liegen, wenn z.B. Niederschlagswasser Basen im Boden löst, auswäscht und in einem flußabwärts liegenden See (z.B. als Seekreide), spätestens aber im Meer, wieder ausfällt. Die Transportprozesse mit dem Wasser verlaufen aus dem Einzugsgebiet heraus gerichtet, so daß das Einzugsgebiet zunehmend an leichter löslichen Salzen wie Basen verarmen muß. Da dieser Stoffkreislauf erst außerhalb menschlicher Zeithorizonte z.B. durch tektonische Hebungen geschlossen wird, wird der chemische Prozeß auch als irreversibler Verlustprozeß bezeichnet.

- Mit der biologischen Prozessoreigenschaft wird der Aufbau (Photosynthese) und Abbau (Mineralisation) organischer Substanz bezeichnet. Bei der Photosynthese wird das Wasser durch die zunehmende Schwingung zunächst gespalten; der hochreaktive atomare Wasserstoff ist dann die Grundlage für den Aufbau organischer Substanz (RIPL 1995). Bei der Mineralisation wird die Energie dann wieder freigesetzt. Da der Auf- und Abbau der organischen Substanz weitgehend

ortskonstant erfolgt, ist der biologische Prozeß wie der physikalische Prozeß als Kreisprozeß zu bezeichnen.

Die ökologischen Prozesse können nur dann dauerhaft in einem Landschaftsausschnitt ablaufen, wenn die physische Ausstattung dieser Standorte erhalten bleibt. Treten stoffliche Verluste auf, so muß das Ökosystem schrittweise degradieren, zumal es sich bei den Stoffverlusten in erster Linie um wasserlösliche Stoffe handelt, die die geochemische Umwelt des Ökosystems bilden (vgl. VINOGRADOV 1949 zit. in STUGREN 1978: 36). Schwerer lösliche, giftige oder von der Vegetation nicht verwertbare Stoffe wie Schwermetalle und Quarzsand reichern sich deshalb in ihrem relativen Gehalt im Boden an (RIPL et al. 1997). Die »dauerhafte Naturentwicklung in Mitteleuropa«, wie sie das Generalthema dieser Tagung fordert, ist durch den Verlustprozeß (= Alterung der Landschaft) zeitlich begrenzt. Damit ist es möglich, den unscharf verwendeten Begriff der Nachhaltigkeit zu definieren: Ein Ökosystem (Standort) ist nur dann nachhaltig, wenn seine stofflichen Verluste minimiert

(und damit seine Lebensdauer maximiert) werden. Demnach müssen nun aus der Sicht des ganzen Systems die Kreisprozesse (Verdunstung/ Kondensation und Photosynthese/Respiration) als die Nutzprozesse angesehen werden im Gegensatz zu dem schädlichen Verlustprozess (Lösung/Transport/Fällung). Daraus kann dann der ökologische Wirkungsgrad analog als das Verhältnis der Energie, die in Kreisprozessen dissipiert wird, zu der Gesamtenergie abgeleitet werden.

Diese Definition steht im Widerspruch zu der von LANGE (1989) gegebenen, der hierunter nur das Verhältnis der Nettoproduktion zur Gesamtenergie sieht.

Die hohe Verdunstung z.B. einer Wald-Zönose trägt damit zu einer verlustfreien Energiedissipation bei und ist keineswegs als »Verlust« zu verstehen. Den gleichen Zweck erfüllt eine steigende Bruttopräprimärproduktion (nicht Netto-PP) im Laufe der Sukzession zu reiferen Zönosen.

Diese rein energetische Definition ist noch wenig praktikabel, da die Energieflüsse nicht einfach erfassbar sind. Im folgenden soll versucht werden, anhand einer chemischen und thermischen Analogie das Konzept praktikabler für die Anwendung zu machen.

3 Thermischer Wirkungsgrad

Als Abschätzung für den Wirkungsgrad kann die thermische Dämpfung herangezogen werden. Wird die Energie fast vollständig über Kreisprozesse dissipiert, so wird die zu beobachtende Amplitude (Jahr, Tag) entsprechend gering ausfallen. Fehlt es an dem Standort hingegen an verdunstender Vegetation oder Wasser, so erwärmt sich der Standort und Boden. Im Boden als dynamischer Schnittstelle zwischen geologischem Untergrund und Zönose steigt mit zunehmenden Temperaturschwankungen auch die Wahrscheinlichkeit für Stoffverluste. So werden wechselfeuchte Phasen im Boden, in denen die Mineralisationsleistung von Pilzen und Bakterien gesteigert ist (vgl. Lysimeterversuche, RIPL et al. 1996), häufiger; z.B. an den Oberflächen der Bodenporen. Ein sehr naturnahes, »reifes« Ökosystem hingegen wird deshalb nur sehr geringe Temperaturschwankungen im Boden aufweisen; die für die Pflanzen notwendige Mineralisation ist durch die Pumpenfunktion der Vegetation direkt im Wurzelbereich an den Bedarf zurückgekoppelt und so von der Vegetation gesteuert.

Neben den Schwankungen der Temperatur steuert auch deren absolute Höhe die Aktivität der Mikroorganismen (van't Hoff'sche Regel, SCHAEFER & TISCHLER 1983), sofern durch den Wasserhaushalt diese nicht räumlich limitiert sind (z.B. durch fehlenden Sauerstoff oder mangelnden Abtransport der Reaktionsprodukte in einem nassen Boden).

Wasser- und Stoffhaushalt sind durch die Zönose so eng miteinander verknüpft, daß sie nur zusammen sinnvoll betrachtet werden können. Geht z.B. der Basenvorrat im Oberboden zur Neige, so bricht die Vegetation und mit ihr der Wasserhaushalt zusammen. Auf einem gut ausgestatteten Standort hingegen kann sich eine biomassereiche Vegetation ausbilden, in deren Detritusschicht auch vermehrt Wasser gespeichert werden kann. Von diesem Zusammenspiel sind alle weiteren Funktionen, wie z.B. das Klima, rekursiv abhängig.

Die Temperatur eines Standortes (bzw. einer Zönosenkernstruktur, vgl. RIPL & HILDMANN 1997) kann z.B. durch den Medianwert eines sinnvollen Zeitabschnittes, z.B. eines Monats, ausgedrückt werden. Während der Medianwert die räumliche Komponente repräsentiert, wird durch die (tägliche) Amplitude die zeitliche Komponente dargestellt.

Energie selbst kann als Raum-Zeitprodukt verstanden werden. Energie besitzt eine räumliche Komponente, da

- Energie als Potential immer nur zwischen (mindestens) zwei Körpern, d.h. im Raum, auftreten kann und
- Energie nur durch materielle Veränderungen beobachtbar ist.

Gleichzeitig besitzt Energie unzweifelhaft eine zeitliche Komponente, da

- Wechselwirkungen zwischen Körpern zeitverzögert stattfinden (bei Licht: mit Lichtgeschwindigkeit) und
- materielle Veränderungen nur über zeitliche Inkremente observierbar sind.

Für den regionalen Vergleich verschiedener Standorte könnte deshalb als Approximation das Produkt des Medians der Temperatur und der Amplitude in Analogie zu dem Raum-Zeitprodukt Energie verwendet werden. Da sich kein absolutes Maß anbietet, könnte sowohl die Amplitude als auch der Medianwert anhand der regional in dem Zeitabschnitt beobachteten Werte relativiert werden.

$$\eta^*_i := \left[1 - \frac{x_a - x_i}{x_a} \right] \cdot \left[\frac{\Delta_{\max} - \Delta_i}{\Delta_{\max}} \right]$$

- mit: η^*_i : Abschätzung des thermischen Wirkungsgrades des Standortes i
 x_a : Temperaturmittel über alle verglichenen Standorte
 x_i : monatlicher Medianwert des Standortes i
 Δ_{\max} : maximaler beobachteter monatlicher Mittelwert der Amplitude
 Δ_i : mittlere monatliche Amplitude des Standortes i

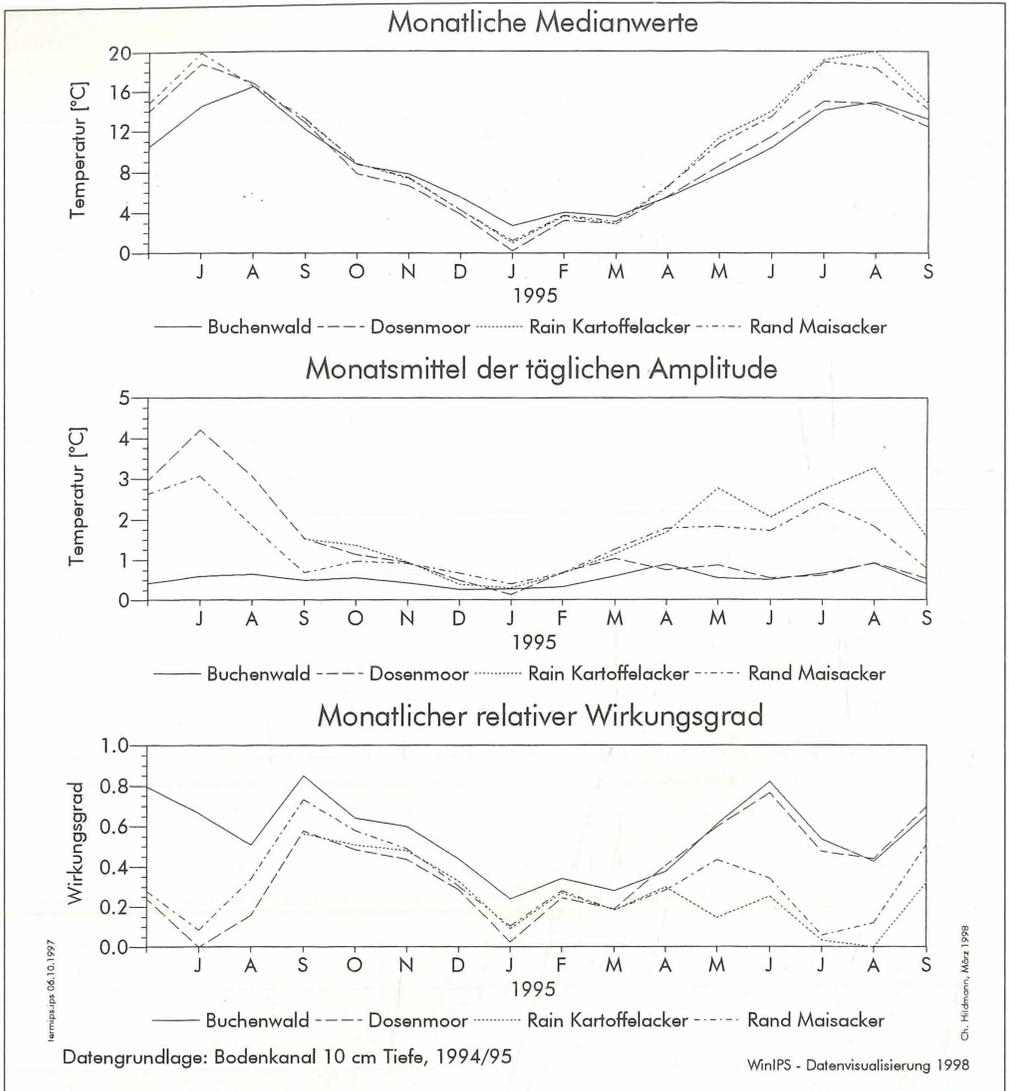


Abb. 2
 Abschätzung des thermischen Wirkungsgrades.

Bei optimaler Energiedissipation wäre die Temperatur auf den Mittelwert hin ausgeglichen; deshalb wird die Differenz zwischen dem Einzelwert x_i und dem Mittelwert x_a gebildet. So wird im Sommer der kühlere Standort besser bewertet als der wärmere, im Winter hingegen der wärmere. – Eine hohe tägliche Amplitude ist ganzjährig auf direkte Erwärmung zurückzuführen, da heterotrophe Prozesse keinen Tagesgang induzieren. – Beide Terme werden durch die Formel in den Bereich $[0; 1]$ transformiert, so daß auch das Ergebnis in diesem Wertebereich liegen muß.

Fig. 2
 Estimation of the thermal landscape efficiency. Top: monthly median values; middle: monthly mean of the daily amplitude; bottom: estimated thermal efficiency.

Im Rahmen des Stör-Projektes wurden auch zeitlich hoch auflösende Temperaturmessungen durchgeführt. Dazu wurde alle 20 Minuten die Temperatur in vier Höhen (10 cm im Boden, an der Bodenoberfläche und 10 bzw. 200 cm über dem Boden) gemessen und automatisch gespeichert (zu den Meßsonden vgl. RIEDLING et al. 1994, 1997).

Als Beispiel können die Ergebnisse 1994/1995 von vier Standorten dienen: einem mittelalten Buchenwald, dem degenerierten, und heute vom Naturschutz wiedervernässten Hochmoor Dosenmoor,

einem leicht aufgewölbten Rain am Rande zu einem Kartoffelacker (ab Sept. 1994) und der Rand eines Maisfeldes. Im folgenden werden die Ergebnisse auf der Basis des Bodenkanals diskutiert, da dieser am engsten mit den Stoffaustragsprozessen verflochten ist.

Die monatlichen Medianwerte liegen im Buchenwald während des Sommerhalbjahres deutlich unter den der landwirtschaftlichen Flächen, im Winter aber darüber und zeigen so die bessere Dissipativität des Buchenwaldes im Jahreszyklus. Auf Tagesbasis wird dies durch die wesentlich geringere mittlere tägliche Amplitude verdeutlicht. Das Dosenmoor zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen dem sehr trockenen Jahr 1994 und dem feuchteren Jahr 1995. Diese hohen Varianzen weisen darauf hin, daß Bewertun-

gen nicht auf zu kurzen Beobachtungsintervallen beruhen dürfen. Der monatliche Wirkungsgrad zeigt für den Buchenwald durchweg hohe Werte, 1995 dann auch das Dosenmoor. – Die grundsätzlich besseren Werte im Buchenwald ggü. den landwirtschaftlichen Flächen überraschen zunächst nicht. Sie verdeutlichen jedoch den unterschiedlichen Energieumsatz und zeigen die Spannweite auf, innerhalb dessen ein derartiges Monitoring sensibel auf Veränderungen in der Landschaft reagieren kann.

Neben der Analyse der Zeitreihen ist auch eine räumliche Betrachtung der Oberflächentemperaturen mit Hilfe von Satellitendaten möglich (Landsat 5 TM, Kanal 6). Damit können z.B. mehrere Teileinzugsgebiete untereinander verglichen werden. Um zu schlüssigen Datensätzen zu kommen, ist allerdings

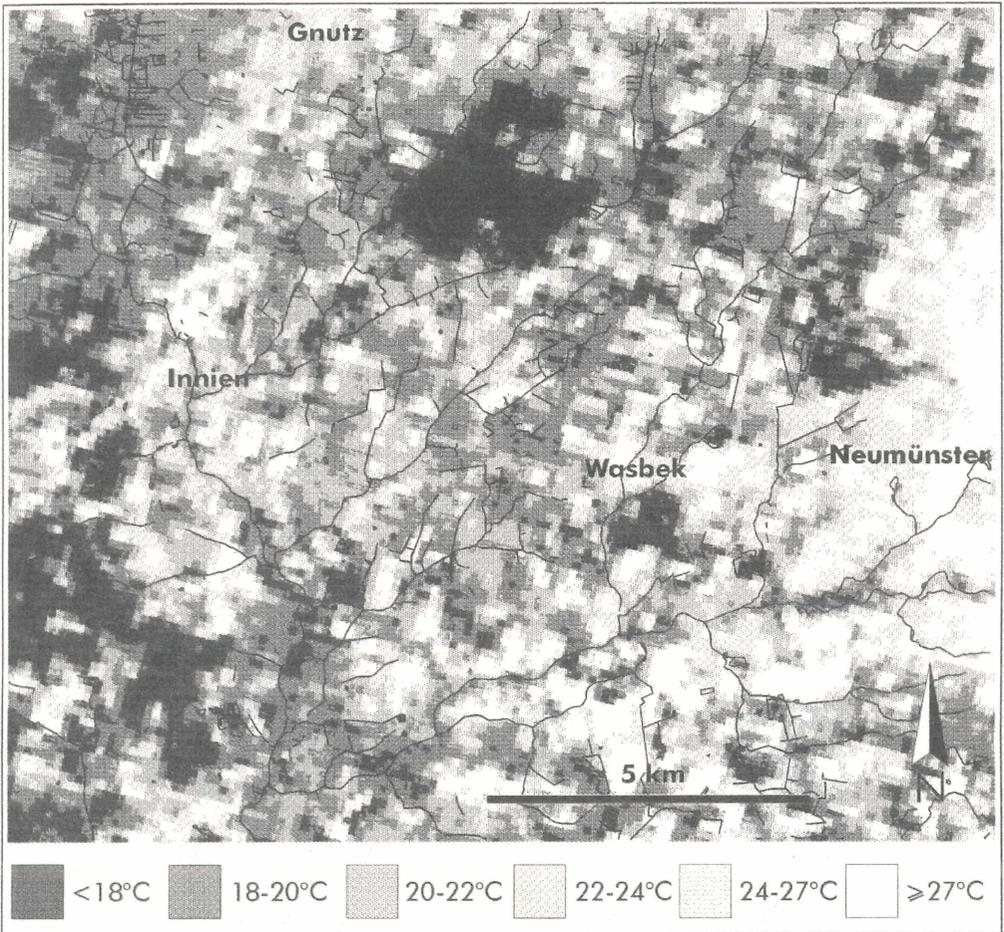


Abb. 3
Aus dem Thermalkanal des Landsat 5 TM kann auf die Energiedissipation der Landschaft geschlossen werden (Ausschnitt vom 17.05.1992).

Fig. 3
From the thermal channel of the Landsat 5 TM can be concluded to the energy dissipation in the landscape (clipping from 17.05.1992).

eine multitemporale Betrachtung notwendig, da ansonsten lokale Besonderheiten übersehen werden können. Ein Beispiel hierfür ist das erst relativ späte Austrocknen im Bereich der Schwale, in dem bindigere Böden als im Durchschnitt des Gebietes vorkommen.

Für die multitemporale räumliche Analyse kann dann der Wirkungsgrad für jeden Pixel des Satellitenbildes in gleicher Weise abgeschätzt werden: die zeitliche Komponente wird durch die Amplitude bzw. Spannweite der Daten für jedes Pixel repräsentiert, die räumliche durch ihren Median- bzw. Mittelwert.

4 Chemischer Wirkungsgrad

Neben der thermischen Analogie des Wirkungsgrades ist eine chemische Analogie möglich. Danach ist

$$\eta^* = \frac{M_u - M_v}{M_u}$$

mit: M_u : insgesamt umgesetzte Stoffe
 M_v : Stoffverluste, jeweils ausgedrückt als Protonenäquivalente.

Die insgesamt umgesetzten Stoffe können anhand der BPP abgeschätzt werden, da diese die Grundlage für alle weiteren Prozesse in der Zönose bildet. So muß die Pflanze ihrerseits bereits Energie aufwenden, um z.B. Kationen über die Wurzeln aufnehmen zu können. Auch die Prozesse der Lösung von Basen im Boden beruhen auf dieser pflanzlich fixierten Energie, wenn z.B. bei der Mineralisation der abgestorbenen Biomasse Starksäuren (Schwefel-, Salpetersäure) gebildet werden. – Die NPP hingegen

berücksichtigt kürzerfristige Prozesse, wie z.B. die Respiration und Photorespiration, nicht und ist deshalb für die Abschätzung des Wirkungsgrades eher ungeeignet.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen im Stör-Projekt (RIPL et al. 1997) lag auf der Ermittlung der irreversiblen Stoffverluste aus den Oberböden. Methodisch wurde dazu der Abfluß zeitlich hoch auflösend gemessen (20 min-Intervalle) und die chemischen Konzentrationen im Gewässer mit monatlichen Proben bestimmt.

Die absolute Höhe der Stoffverluste beträgt etwa 1050 kg Gesamtsalze/ha/a (ohne NaCl), die für die Alterung der Landschaft relevanteste Fraktion sind dabei die Basen (Ca^{++} 263 kg, K^+ 26,5 kg, Mg^{++} 18,9 kg), während die Nährstoffausträge N (21,3 kg) und P (0,6 kg) gering sind. Die N-Verluste sind annähernd ausgeglichen mit Einträgen über die Niederschläge.

Der Vergleich mit publizierten Daten aus anderen Bereichen Mitteleuropas zeigt, daß die Dimension der Stoffausträge ein überregionales Problem darstellt. Dabei werden die Verluste durch land- und forstwirtschaftliche Düngungen keineswegs ausgeglichen; an der Stör stehen Austrägen von 263 kg Ca/ha/a nur etwa Einträge von 80–90 kg Ca/ha/a über die Düngung gegenüber (Statistisches Landesamt Schleswig-Holstein 1989, Finnern 1997).

Nur ein geringer Anteil der ausgewaschenen Basen dürften nicht aus dem für die Vegetation relevanten Oberboden stammen. Lediglich etwa 30% des Abflusses in der Stör können als Basisabfluß bezeichnet werden und durchfließen damit tiefere Gesteinsschichten. Die für die Stofflösung notwendige Energie beruht jedoch weitgehend auf der Mineralisation

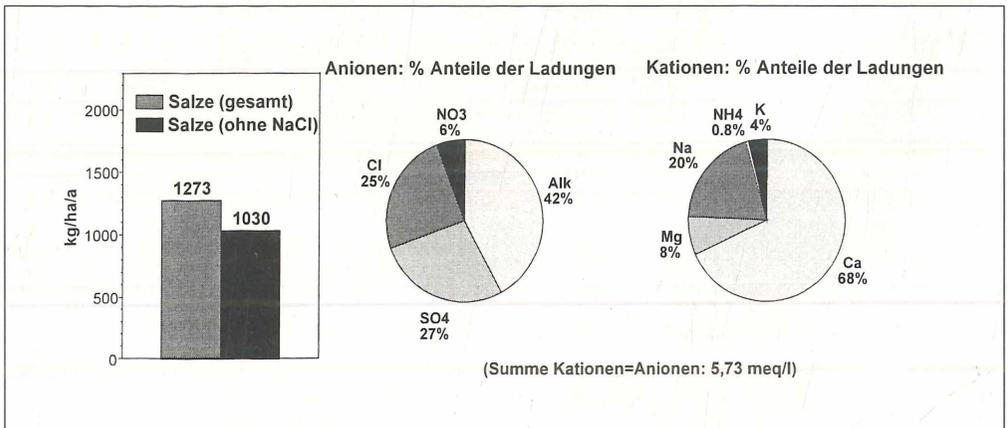


Abb. 4
Verteilung der Anionen und Kationen in den Stoffausträgen der Stör (Quelle: Ripl et al. 1997).

Fig. 4
Distribution of anions and cations of the matter losses of the Stör catchment (Source: Ripl et al. 1997).

organischer Substanz im Oberboden und den dabei freigesetzten Säuren. Nur beschränkt abgesenkte pH-Werte im Oberboden sowie zunehmende pH-Werte im Bodenprofil deuten jedoch auf eine Pufferung in den oberen Bodenschichten hin. Auf diese Weise verbleibt lediglich ein geringes pH-Potential, das zur Lösung von Ca und anderen Basen in tieferen Schichten führen kann.

Die Höhe der Basenvorräte in dem von sandigen Böden dominierten Gebiet (zu 45% der Fläche Podsole) konnte mit 29 Stichproben grob abgeschätzt werden. Diese weisen im Mittel für die obersten 10 dm unter 100 t Basen/ha auf, vielfach sogar unter 30 t Basen/ha. Der Verlustprozeß kann nicht einfach extrapoliert werden, da mit einem beginnenden Zusammenbruch der Vegetation auf Kuppen und Steillagen mit einem nichtlinearen Ansteigen des Verlustprozesses zu rechnen ist.

Die Höhe der Stoffverluste zeigt eindringlich, daß für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Landschaft die Stoffkreisläufe (v.a. die der Basen) geschlossen und die Wasserkreisläufe kleinräumiger geschlossen werden müssen. Dazu sind Maßnahmen wie die Wiederanreicherung der Landschaft mit Vegetation und die Bewirtschaftung künstlicher Feuchtgebiete geeignet (vgl. HILDMANN, RIPL & JANSSEN 1996, RIPL, HILDMANN & JANSSEN 1997).

Anhand der Teileinzugsgebiete ist es möglich, auch die Stoffverluste regional zu differenzieren.

5 Zusammenfassung

Der Begriff der Nachhaltigkeit wird von verschiedenen Seiten aus völlig unterschiedlich gefüllt (Übersicht z.B. bei FRITZ et al. 1995). Einige Ansätze spannen dabei Nachhaltigkeit über drei oder vier unterschiedliche Säulen auf (wie ökologische, ökonomische, soziale und kulturelle Nachhaltigkeit; z.B. WOLF 1997). Im Gegensatz dazu setzt das hier vorgestellte Konzept auf einen hierarchischen Ansatz, bei dem der stofflichen Ausstattung des Standortes oberste Priorität eingeräumt wird. Erst wenn diese als unverzichtbare Grundlage sichergestellt ist, können die bewahrten Freiheitsgrade für weitergehende, wünschenswerte gesellschaftliche Ansprüche, wie Artenschutz oder Landschaftsästhetik, genutzt werden. Stoffliche Betrachtungen in Bezug auf Nachhaltigkeit beziehen sich meist entweder auf wenige Stoffe wie N und P (z.B. SUNDELL 1997) oder sind durch die Heterogenität der untersuchten Materialien in der Wirkung auf einen konkreten Standort nicht mehr operabel (z.B. BRINGEZU 1997).

Der Ansatz über den Wirkungsgrad ist der Versuch, sich der stofflichen Integrität des Standortes von zwei Seiten zu nähern. So sind die chemischen Verluste direkt meßbar, während die Bestimmung der

BPP im Rahmen eines Monitorings praktisch noch nicht möglich ist. Zusätzlich wären die Basenvorräte im Oberboden zu berücksichtigen. Die räumliche Zuordnung ist beschränkt, da sie an (Teil-) Einzugsgebiete gebunden ist.

Die Näherung über den thermischen Wirkungsgrad gibt ihrerseits kein konkretes Maß für die auftretenden irreversiblen Stoffverluste, sondern argumentiert mit einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit für diese. Dafür geht über den Temperatenausgleich der gesamte Umsatz der Zönose indirekt ein. Eine hohe zeitliche Auflösung ist mit Meßsonden, eine hohe räumliche Auflösung mit Satellitendaten möglich.

Insgesamt ist das Konzept geeignet, um über ein Monitoring Zustand und Änderungen der Funktionalität der Landschaft, z.B. durch die Neuanlage von Feuchtgebieten für den Stoffrückhalt, zu erfassen.

Danksagung

Die hier vorgestellten Konzepte und Ergebnisse entstanden am FG Limnologie der TU Berlin (Prof. Dr. W. Ripl). Sie beruhen auf dem vom BMFT und dem Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein finanzierten Stör-Projekt (RIPL et al. 1997). Dabei wurde der Fluß Stör mit seinem Einzugsgebiet (etwa 1050 km²) untersucht.

Literatur

- BRINGEZU, S. (1997): Der ökologische Rucksack von Regionen – Zur Übertragbarkeit des Untersuchungsmodells Ruhrgebiet auf Brandenburg-Berlin. In: HÜBLER, K.-H. & WEILAND, U. (Hg.): Bausteine für eine nachhaltige Raumentwicklung in Brandenburg und Berlin, 59–72. – Berlin
- FINNERN, J. (1997): Böden und Leitbodengesellschaften des Störeinzugsgebietes in Schleswig-Holstein: Vergesellschaftung und Stoffaustragsprognose (K, Ca, Mg) mittels GIS. Diss. CAU Kiel = Schr.R. Inst. f. Pflanzenernährung und Bodenkde. Univ. Kiel, Nr. 37. – Kiel
- FRITZ, P., HUBER, J., LEVI, H.W. (1995): Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung als neue Etappe der Suche nach einem umweltverträglichen Entwicklungsmodell der modernen Gesellschaft. In: Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive, 7–16. – Stuttgart
- HILDMANN, CH., RIPL, W. & JANSSEN, Th. (1996): Nachhaltige Bewirtschaftung. In: Garten und Landschaft 1, 32–36
- LANGE, K.-P. (1989): Grundlagen des biogenen Stoff- und Energieumsatzes. In: Busch, K.-F., UHL-

- MANN, D. & WEISE, G. (Hg.): Ingenieurökologie. 2. erw. Aufl., 66–72 – Jena
- RIEDLING, K., RIPL, W., FALLMANN, W., FRISCH-AUF, W., LUGER, B., SVASEK, P., WINKLER, W. (1994): Autonome Datenerfassungs- und Registriereinheiten für Umweltparameter. In: ÖChemZ 2, 36–40
- RIEDLING, K., RIPL, W., FALLMANN, W., HILDMANN, CH., LUGER, B., SVASEK, P., WINKLER, W. (1997): Autarke Datenakquisitionssysteme für das Monitoring hydrologischer Parameter. In: AHLERS, H. (ed.): Multisensorpraxis, 239–254. – Berlin, Heidelberg, New York
- RIPL, W. & HILDMANN, CH. (1997): Ökosysteme als thermodynamische Notwendigkeit. In: FRÄNZLE, O., MÜLLER, F., SCHRÖDER, W.: Handbuch der Umweltwissenschaften. – Landsberg
- RIPL, W. (1995): Management of Water Cycle and Energy Flow for Ecosystem Control – The Energy-Transport-Reaction (ETR) Model. In: Ecological Modelling – 78, 61–76
- RIPL, W., HILDMANN, CH., JANSSEN, TH. (1997): Minimierung der Stoffverluste als Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung im Einzugsgebiet der Stör. In: Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1995 (10), 993–1011
- ROMANOV, V.V. (1968): Evaporation from Bogs in the European Territory of the USSR. Leningrad 1962, translated from Russian. – Jerusalem
- SCHAEFER, M. & TISCHLER, W. (1983): Wörterbücher der Biologie: Ökologie = UTB 430. 2. überarb. u. erw. Auflage. – Stuttgart
- STATISTISCHES LANDESAMT SCHLESWIG-HOLSTEIN (1989): Lieferungen von Düngekalk zum Verbrauch in der Land- und Forstwirtschaft. In: Statistische Monatshefte S.-H. (1), 5–17. – Kiel
- STUGREN, B. (1978): Grundlagen der Allgemeinen Ökologie. 3. erw. u. neubearb. Aufl. – Jena
- SUNDELL, B. (1997): The Future of Agriculture in the Baltic Sea Region: Sustainable Agriculture and New Technological Development. In: Ambio 26 (7), 412–414
- VINOGRADOV, A.P. (1949): Biogeochemische Provinzen. In: Festschrift zur 100-Jahresfeier des Geburtstages von V.V.Dokucaev, 59–84 (russ.). – Moskau
- WOLF, J. (1997): Gleichwertige Lebensverhältnisse versus nachhaltige Entwicklung – was heißt das für Brandenburg-Berlin? In: Hübler, K.-H. & Weiland, U. (Hg.): Bausteine für eine nachhaltige Raumentwicklung in Brandenburg und Berlin, 25–42. – Berlin

Adresse

Dipl.Ing. Christian Hildmann
 Technische Universität Berlin
 Institut für Ökologie und Biologie
 Fachgebiet Limnologie
 Hellriegelstr. 6
 14195 Berlin
 Tel. 030/314-71224
 hildoabi@mailszrz.zrz.TU-Berlin.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Hildmann Christian

Artikel/Article: [Der Wirkungsgrad der Landschaft - ein Maß für die Nachhaltigkeit 35-42](#)