

Highland-Lowland Interactions und der Stickstoffkreislauf : vom Toggenburg, vom Hohen Atlas, von Kenya und dem Bielersee

Autor(en): **Germann, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern**

Band (Jahr): **59 (1996)**

PDF erstellt am: **27.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-960441>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Highland-Lowland Interactions und der Stickstoffkreislauf

Vom Toggenburg, vom Hohen Atlas, von Kenya und dem Bielersee

Peter Germann

Einleitung

Die Bodennutzung in Gebirgen zeichnet sich häufig dadurch aus, dass nutzungs-günstige Areale in grössere eingebettet sind, die lediglich extensiv genutzt werden können. Die Nutzungsintensität von Arealen richtete sich in vortechnischer Zeit nach dem Verhältnis des menschlichen Energieaufwands, der zur Erzeugung von Pro-dukten erbracht werden musste, zum Wert, der den Produkten beigemessen wurde. Durch die zunehmenden wirtschaftlichen Verflechtungen über grössere Distanzen hinweg, aber auch durch die Freizügigkeit der Bewohner, durch die Zufuhr von Fremdenergie und durch die Entwicklung technischer Hilfsmittel – wie Strassen und Maschinen – hat sich die Intensität der Nutzung verschoben.

Die Urproduktion ist meistens bestrebt, möglichst haltbare und transportierbare Produkte in konzentrierter Form herzustellen. Aus diesem Bestreben heraus ent-wickelten die Bodennutzer in verschiedenen Gebirgsräumen der Welt regionalspe-zifische Nutzungsmethoden. Trotz der Vielfalt in der Nutzung mussten immer wie-der dieselben limitierenden Faktoren überwunden werden. Als elementare Voraus-setzung einer längerdauernden Nutzung musste die Versorgung der Bevölkerung mit Energie – in Form von Lebensmitteln, Futter und Heizmitteln – und mit Rohstoffen wie Baumaterialien und Fasern gesichert werden. Durch eine geeignete Vorratsbe-wirtschaftung konnten Versorgungskrisen überwunden werden. Je kleiner der Nut-zungsraum war und je schwächer die Handelsbeziehungen zu Nachbarregionen aus-fielen, desto vielfältiger mussten die Produktionsformen innerhalb eines Nutzungs-raumes gestaltet werden, damit er dauernd besiedelt und bewirtschaftet werden konnte.

Gerade im Gebirge treten die Beziehungen zwischen den intensiv und extensiv nutzbaren Arealen besonders deutlich in Erscheinung, weil sie, bedingt durch die ausgeprägten Höhenunterschiede, oft nahe beieinander liegen. Der menschliche Energieaufwand zur Beschaffung von Produkten aus den extensiv genutzten Area-len musste durch die erhöhten Erträge aus den intensiv genutzten Arealen minde-stens ausgeglichen werden. Andernfalls musste längerfristig auf einen energiegün-stigeren Ersatz der betreffenden Produkte umgestellt oder vollständig auf sie ver-zichtet werden.

Vielerorts wird die Schwerkraft geschickt zur Konzentration von Produkten genutzt, wie zum Beispiel beim Holzreisten, beim Einbringen von Wildheu als auch

bei der Umleitung von Wasser für die Bewässerung oder zur Produktion mechanischer Energie.

Auch das Weidevieh kann zur extensiven Nutzung herangezogen werden. Fleisch, Milch, Fett, Leder oder Wolle können damit produziert werden. Dieses Verfahren spart dem Bewirtschafter Energie. Solange die Energiebilanz für die Weidetiere insgesamt positiv ausfällt, können die Herden aufgebaut werden. Generell nimmt die Grösse der Weidetiere mit zunehmender Unwegsamkeit des beweideten Gebietes ab.

Toggenburg

Von einer weiteren Produktion durch Weidetiere berichtet Ulrich BRÄKER (1788) in «Der Arme Mann im Tockenburg» (Kapitel X): *«Die Magd schafte er [U. Bräkers Vater, Anm. d. Verf.] ab; und dingte dafür einen Gaissenknab, da er jetzt einen Fasel Gaiszen gekauft, mit deren Mist er viel Waid und Wiesen machte.»* Hier wird offenbar die Bodennutzung intensiviert. Die Magd, der vor allem häusliche Arbeiten oblagen, wird zugunsten eines Hüterbuben entlassen. Zudem wird in eine Herde von Ziegen investiert, die im Laufe der Jahre auf über hundert Tiere anwächst. Nicht die Fleisch- oder die Milchproduktion stehen für Uelis Vater im Vordergrund, sondern die Produktion von Mist aus extensiv genutzten Arealen zur Ertragssteigerung ohnehin intensiv genutzter Flächen.

Mit Bestimmtheit kannte der ältere Bräker die Zusammenhänge zwischen dem Mist und dem Stickstoffkreislauf nicht, denn RUTHERFORD entdeckte erst 1772 das Element Stickstoff (N). Sogar Justus LIEBIG erlag zu Beginn seiner agrochemischen Studien im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts dem Irrtum, dass der hohe Anteil des Luftstickstoffs den Pflanzen eine genügende Versorgung mit N-Verbindungen gewährleisten müsste. Erst mit dem Fortschritt seiner Analysemethoden entwickelte er in späteren Jahren ein differenzierteres Bild, in dem auch der pflanzenverfügbare Stickstoff in das Konzept der Minimumfaktoren einbezogen wurde (HEILENZ, 1988).

Hoher Atlas

Mit Bruno MESSERLI weilte ich im Mai 1992 im Hohen Atlas in Marokko. Der morgendliche Auftrieb der zahllosen Herden von brandmageren Ziegen in die grossenteils übernutzten, fernegelegenen und steilen Weiden im Becken von Tagoundaft ergab aus meiner damaligen Sicht der ländlichen Ökonomie keinen Sinn, zumal die Bauern dem Schaffleisch den Vorzug geben und das Ziegenfleisch eher selten konsumieren. Im Laufe der Doktor- und Diplomarbeiten von Daniel Maselli und Michael Geelhaar klärte sich das Bild allmählich (MASELLI, 1995; GEELHAAR, 1995).

In der traditionellen Landwirtschaft wurden auf bewässerten Terrassen intensiv Mais, Gerste, Hackfrüchte und Gemüse angebaut. Walnuss-, Mandel- und Obstbäume, in Hainen in der Nähe der Siedlungen angelegt, ergänzten die Erträge. Zudem besass jede Familie nach Möglichkeit eine Kuh zur Milchversorgung.

Grosse Gebiete zwischen den dörflichen Siedlungen waren von lockeren Wäldern bestockt mit der Steineiche (*Quercus ilex*) als Hauptbaumart. Unter den Bäumen hatte sich eine Gras- und Krautvegetation eingestellt, die durch die Ziegen und Schafe beweidet werden konnte. Das Kleinvieh wurde abends in Pferchen zusammengetrieben, wo der produzierte Mist periodisch zusammengereicht und sackweise auf Eseln zu den bewässerten Terrassenäckern gebracht wurde.

Bis zum Zweiten Weltkrieg verschaffte diese Wirtschaftsform der ländlichen Bevölkerung einen bescheidenen Wohlstand. Doch dann mussten auf Geheiss der französischen Kolonialmacht die Bäume geschlagen und zu Holzkohle verarbeitet werden. Der Mangel eines rechtlich geregelten Eigentums an der Waldweide erleichterte den Franzosen die Durchsetzung ihrer Massnahmen. Die üblichen Folgen traten ein. Der an sich nicht sehr mächtige Humushorizont zersetzte sich rasch und wurde weggespült. Durch den Unterbruch im Kreislauf der organischen Substanz verarmten die Gras- und Krautvegetation sowie die Kleintierherden zunehmend. Was von dieser Wirtschaftsform noch übrig blieb, war die zu Beginn der 90er Jahre beobachtete suboptimale Ziegenwirtschaft.

Kenya

Bruno MESSERLI führte mich auch in die Region des Mt. Kenya ein, wo ich zur Zeit an einem Wasserbewirtschaftungsprojekt beteiligt bin. Auf einem Rückflug nach Zürich sass ich neben Joshua, einem Kenyaner, der in der Schweiz seinen Vetter ferienhalber besuchte. Bald stellte sich heraus, dass er als Gemüsebauer mit seiner grossen Familie in der Nähe von Mombassa einen etwa 6 ha umfassenden Betrieb bewirtschaftet. Er befinde sich eben in einer privilegierten Lage, erklärte er mir, denn hinter seinem Hof beginne das herrenlose Bergland. Hier hüten seine Söhne die Ziegen und die wenigen Milchkühe. Der Dung von Ziegen und Kühen werde sorgfältig eingesammelt und auf die Äcker gebracht. Dadurch produziere er qualitativ einwandfreies Gemüse, das beim Verkauf an die Hotels und Restaurants in Mombassa immer gute Preise erziele. Und darum könne er, Joshua, sich die Reise zu seinem Vetter in die Schweiz eben leisten. So beruht auch Joshuas Wohlstand auf der Mistproduktion extensiv genutzter Areale, die zur Ertragsverbesserung der intensiv genutzten Äcker beiträgt.

Bielersee

Anlässlich von Kursen zur forstlichen Standortkartierung 1992 und 1993 am Jurasüdhang oberhalb des Bielersees wies Kollege Otto HEGG (HEGG, 1992) in den mediterran geprägten Flaumeichenwäldern auf den pflanzensoziologisch noch nicht erreichten Klimax hin. Die Ziegenbeweidung, die bis in die 50er Jahre hinein erfolgte, lässt sich an der Artenzusammensetzung der Pflanzengesellschaften heute noch deutlich erkennen. Auch hier wurden die Ziegen zur Produktion von Mist für die tiefergelegenen Rebberge in die steilen Wälder getrieben.

Der Stickstoff in der Nahrungskette

(In den *Anmerkungen* sind die Masseinheiten zusammenfassend erläutert.)

Der Mensch

Der durchschnittliche tägliche Bedarf pro Person an Proteinen und Aminosäuren beträgt etwa 60 g/(P·d). Je nach Alter und Geschlecht bestehen erhebliche Unterschiede. Das Element Stickstoff ist gewichtsmässig mit etwa 20–30% daran beteiligt. Unser durchschnittlicher täglicher N-Bedarf beträgt damit etwa 15 bis 20 gN_B/(P·d) oder jährlich etwa 7 kgN_B/(P·a). Die essentiellen Aminosäuren stammen zur Hauptsache von Tieren, der mengenmässig überwiegende Anteil der übrigen Aminosäuren und Proteine kann auch von den Pflanzen geliefert werden. Der optimale Stickstoffbedarf der rund 7 Mio. Bewohner der Schweiz beträgt demnach etwa 49 000 tN_B/a oder $3,5 \times 10^9$ molN_B/a.

Wie der Stickstoff vom Mist in die Nahrungskette gelangt

Abb. 1 zeigt die Elemente des Stickstoffkreislaufs zwischen der Atmo-, Anthro-, Pedo- und Hydrosphäre. Der im Mist enthaltene Stickstoff gelangt über die beiden Flüsse «Wurzeln, Pflanzenreste, Hofdünger, Klärschlamm» und «Hofdünger, Mineraldünger, Klärschlamm, Niederschläge» in den Kreislauf. Die beiden Speicher N_{org} und NH₄⁺ (Ammonium) werden dadurch alimentiert. Die organischen Stickstoffverbindungen, zusammengefasst mit N_{org}, liegen in Form von Aminosäuren, Peptiden und Proteinen vor. N_{org} ist auf die lebende und tote organische Substanz im Boden, hauptsächlich auf den Humus, beschränkt.

Die N₂-fixierenden Mikroorganismen, wie die Knöllchenbakterien der Leguminosen, die Strahlenpilze der Erlen, freilebende Bakterien wie *Azotobacter*, sowie die Blau-

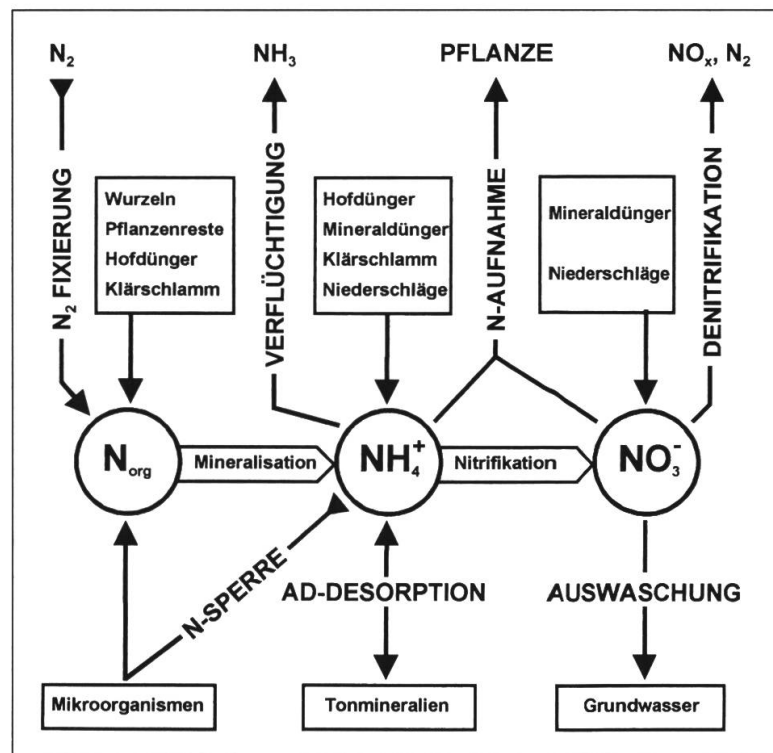


Abb. 1: Elemente des Stickstoffkreislaufes im Bereich des Bodens. (FURRER & STAUFFER, 1986)

grünen Algen speisen den Speicher N_{org} zusätzlich, in dem sie den elementaren Stickstoff N_2 aus der Luft biochemisch binden. In natürlichen Systemen beträgt die N_2 -Fixierung etwa 5%, die übrigen 95% stammen aus der Rezyklierung von abgestorbenen Pflanzenteilen und zu einem geringeren Teil aus den abgestorbenen Mikroorganismen (GISI et al., 1990).

Durch die Mineralisation, auch Ammonifikation genannt, wird der Stickstoff allmählich in Ammonium, NH_4^+ , umgewandelt. An der Mineralisierung ist eine Vielzahl von chemo-heterotrophen Mikroorganismen beteiligt, wobei ihnen organische Kohlenstoffverbindungen die Energie liefern. Das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis C/N in einem Boden ist daher ein wichtiger Indikator für die Pflanzenverfügbarkeit von N_{org} .

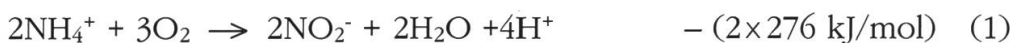
Ammonium kann als Kation von den Tonmineralien sorbiert werden. Pflanzen können Ammonium durch die Wurzeln aufnehmen, doch kommen ihnen in der Regel die autotrophen Mikroorganismen zuvor. Einerseits können Mikroorganismen das Ammonium in ihre Zellen einbauen. Aus dem Gesichtspunkt der Düngerbewirtschaftung wird dieser Übergang als N-Sperre bezeichnet. Andererseits verwandeln die nitrifizierenden Bakterien das energiereiche Ammonium NH_4^+ durch die Nitrifikation in das energiearme Nitrat, NO_3^- . Weil die nitrifizierenden Mikroorganismen von der frei werdenden Energie leben, verläuft die Nitrifikation deutlich schneller als die Ammonifikation beziehungsweise die Mineralisation.

Das Nitrat kann von den Pflanzenwurzeln ohne Konkurrenz der Mikroorganismen aufgenommen werden, weil der Stickstoff keine Energie mehr an die letzteren abgeben kann. Das anionische Nitrat wird hingegen von den ebenfalls mehrheitlich negativ geladenen Tonteilchen abgestossen. Intensive Niederschläge waschen es daher sehr leicht aus dem Bodenprofil aus.

Die vollständige Nitrifikation durchläuft sämtliche Oxidationsstufen des Stickstoffs. Sie kann aber nur dann bis zum Nitrat ablaufen, wenn genügend Sauerstoff im Boden vorhanden ist. Andernfalls treten Verbindungen niedriger Oxidationsstufen auf, die als Gase, wie elementarer Stickstoff (N_2) oder als Stickoxide (NO_x) dem Boden entweichen. Diese Vorgänge werden mit dem Begriff der Denitrifikation zusammengefasst. Unter anaeroben Bedingungen, wie sie zum Beispiel in verdichteten Böden vermehrt auftreten, entsteht aus dem Ammonium direkt flüchtiges Ammoniak (NH_3).

Stickstoffkreislauf und Energieumsätze

Der Inhalt chemischer Energie von Atomen und Molekülen wird *chemisches Potential* genannt und in J/mol ausgedrückt. Für die Potentiale der mineralischen Stickstoffformen gilt:



Mit dem Ammonium erreicht der Stickstoff mit der Wertigkeit $-III$ die tiefste Oxidationsstufe. Diese Stufe stellt gleichzeitig das höchste chemische Potential dar. Am anderen Ende der Energieskala beinhaltet das Nitrat mit der höchsten Oxidationsstufe das niedrigste Potential des Stickstoffs. Das Potential von N_{org} liegt zwischen diesen beiden Endformen und variiert je nach der Bindungsform von N.

Die Abgabe der Protonen H^+ gemäss Gleichung (1) trägt zur Versauerung der Böden bei. Bei der vollständigen Nitrifikation gewinnen die autotrophen Bakterien also 349 kJ/mol Energie. Weil der Stickstoff von den Pflanzen hauptsächlich als Ammonium biochemisch weiterverarbeitet wird, müssen sie wieder 349 kJ/mol Energie zur Nitratreduktion aufwenden.

Das chemische Aufbrechen der Dreifachbindung $N\equiv N$ des Luftstickstoffes, auch Dissoziation genannt, benötigt 942 kJ/mol. Die Stickstoff fixierenden Mikroorganismen beziehen die dafür nötige Energie aus der Oxidation von organischen Kohlenstoffverbindungen, wobei die Knöllchenbakterien der Leguminosen etwa 15% der von den Wirtspflanzen assimilierten Sonnenenergie verbrauchen. Zum Vergleich: Zur Synthetisierung von Ammoniak (NH_3) aus N_2 werden im Haber-Bosch – einem Verfahren zur Herstellung von Ammoniak direkt aus dem Stickstoff der Luft und aus Wasserstoff – Temperaturen von 550 °C und Drücke von 200 bar eingesetzt.

Zum Vergleich des Energieumsatzes wird der Bedarf an Wärmeenergie zur Verdunstung von Wasser herangezogen. Zur Umwandlung von fühlbarer in latente Verdunstungswärme werden etwa 36 kJ/(mol H_2O) aufgenommen. Die vollständige Reduktion von 1 mol NO_3^- in 1 mol NH_4^+ benötigt etwa das zehnfache, und die Dissoziation von 1 mol N_2 etwa das 26-fache dieser Energiemenge. Die Stickstoffreduktion ist im Vergleich zum Verdampfen von Wasser ein energieintensiver Prozess.

Zunächst wird angenommen, dass der gesamte N_B -Bedarf der Bevölkerung der Schweiz durch den «natürlichen» N-Kreislauf gedeckt werden kann. Zur Dissoziation der 5% von $3,5 \times 10^9$ mol N_B/a wird ein Energiefluss von etwa 5,3 MW benötigt. Ferner wird angenommen, dass die gesamte Menge von N_{org} zweimal vollständig zu NH_4^+ reduziert werden muss, bevor sie als N_B mit den Nahrungsmitteln aufgenommen werden kann. Hiezu wird ein Energiefluss von etwa 77,5 MW benötigt. In einem Alternativmodell wird angenommen, dass sämtliches N_B aus der Dissoziation nach Haber-Bosch stammt, wofür 106 MW benötigt würden.

Als Vergleich wird die jährliche meteorologische Verdunstung in der Region Bern herangezogen. Sie beträgt etwa 500 mm H_2O/a . Sie beansprucht einen durchschnittlichen Energiefluss von etwa 1 GW pro 25 km², was etwa der mittleren Leistung eines Kernkraftwerkes entspricht. Im Vergleich zum Energiebedarf für die meteorologische Verdunstung einer Fläche von 25 km² nimmt sich die Energie, die zur Bildung von N_B benötigt wird, bescheiden aus.

Aus diesen Vergleichen wird gefolgert, dass weder die mineralischen Stickstoffvorräte noch die angebotene Energie die biologischen Stickstoffumsätze und damit das Pflanzenwachstum einschränken. Dieser Befund wird bestärkt durch den Anteil des elementaren Stickstoffs in der Atmosphäre von 78%. In natürlichen Systemen limitiert vor allem das Angebot von organischen Kohlenstoffverbindungen, die als Nährmedien für die ammonifizierenden Mikroorganismen geeignet sind, den Umsatz an organischem Stickstoff. Analoge biochemische Beschränkungen finden sich auch bei der Photosynthese, der Reduktion von CO_2 in organische Verbindungen mit Hilfe des Sonnenlichtes. Von der zur Verfügung stehenden Sonnenenergie werden nur etwa 0,02% für diesen, praktisch sämtliches Leben ermöglichenden Prozess verwendet.

Fluss-limitierte Systeme sind charakterisiert durch einen äusserst haushälterischen Umgang mit dem betreffenden Stoff. So berichtete HEGG (1990), dass 27 Jahre nach

der letzten Düngung von Borstgrasrasen auf der Schynigen Platte in den Pflanzen immer noch eine deutlich erhöhte Stickstoffkonzentration festgestellt werden konnte.

In fluss-limitierten Systemen, die auf nahezu unerschöpfliche Vorräte zurückgreifen können, entwickeln sich raffinierte Verfahren zur Beschleunigung oder zur Konzentration der spärlichen Umsätze. Die Kleinviehhaltung ist dafür ein typisches Beispiel. Auch die Pflanzen selbst haben sich im Laufe der Evolution zu effizienteren Einheiten zusammengeschlossen. Neben den symbiontischen Knöllchenbakterien und Strahlenpilzen, die den Wirtspflanzen eine direkte Stickstoffquelle erschliessen, müssen auch die Mykorrhizasymbiosen erwähnt werden. Der Durchmesser von Pilzhyphen (Pilzfäden) ist etwa 5 bis 10 mal kleiner als jener der Hauptwurzelstränge von höheren Pflanzen, der im Bereich von etwa 30 bis 60 μm liegt. Die mykorrhizierten höheren Pflanzen sind dadurch mit entsprechend feineren Poren im Boden verbunden. Das mobile NO_3^- , aber auch andere spärlich vorhandene Pflanzennährstoffe können via Hyphen von den Pflanzen wesentlich effizienter genutzt werden als nur von den Wurzeln allein.

Ganz allgemein sind Mangelercheinungen Ausdruck einer angespannten Versorgungslage. Aus Untersuchungen von SCHEFFRAHMS (1994) an spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Gräbern ist bekannt, dass grössere Teile der damaligen Bevölkerung unter Eiweissmangel litten.

Landesweiter Stickstoffumsatz

Einen landesweiten Überblick über Stickstoffquellen und -senken vermittelt die vom BUWAL (1993) veranschlagte Stickstoffbilanz der Pedosphäre:

Importe in die Pedosphäre

a) aus der Anthroposphäre			
Mineraldünger	69 kt N/a		
Futtermittel	23 kt N/a		
* Klärschlamm, Kompost	<u>5 kt N/a</u>		
Total von Anthro- in Pedosphäre		<u>97 kt N/a</u>	
b) aus der Atmosphäre			
* Fixierung in landw. Systemen	72 kt N/a		
* übrige Fixierung	12 kt N/a		
Deposition	84 kt N/a		
* Blitze	<u>1 kt N/a</u>		
Total von Atmo- in Pedosphäre		<u>169 kt N/a</u>	
Total N-Importe in die Pedosphäre			<u>266 kt N/a</u>

Exporte aus der Pedosphäre

a) in die Anthroposphäre			
* Nahrungsmittel		29 kt N/a	
(übrige landw. Güter nicht erfasst)			
b) in die Atmosphäre			
Denitrifikation Landwirtschaft	100 kt N/a		
(N_2 80; N_2O 20)			
Denitrifikation übrige Böden	33 kt N/a		
(N_2 26; N_2O 7)			
NH_3 aus der Landwirtschaft	<u>47 kt N/a</u>		
Total Export in die Atmosphäre		180 kt N/a	

c) in die Hydrosphäre		
Oberflächenabfluss	17 kt N/a	
Auswaschung Landwirtschaft	37 kt N/a	
Auswaschung Wald	<u>12 kt N/a</u>	
Total Export in die Hydrosphäre		<u>66 kt N/a</u>
Total N-Exporte aus Pedosphäre		<u>275 kt N/a</u>

Folgende geschlossene N-Kreisläufe werden für die Pedosphäre angenommen:

Rauhfutter und Stroh	180 kt N/a	
Hofdünger	155 kt N/a	
Ernterückstände, Gründüngung	<u>200 kt N/a</u>	
Total Umsatz Kreisläufe		<u>535 kt N/a</u>

Angesichts der enormen Umsätze von 275 kt N/a Export und 266 kt N/a Import und angesichts der Ungewissheit bei der Schätzung der einzelnen N-Flüsse wird die geringe Differenz von 9 kt N/a in der Bilanz als nicht signifikant betrachtet.

Mit * sind jene Bilanzglieder bezeichnet, die in der solaren Landwirtschaft – das sind nach PFISTER (1990) jene landwirtschaftlichen Betriebsverfahren, die nur mit hofeigenen Stoffen und Energie produzieren – eine hervorragende Bedeutung einnahmen. Der Hofdünger, der Dung der Weidetiere und die Fixierung des Luftstickstoffs bildeten die einzigen Möglichkeiten zur Stickstoffdüngung. Es ist interessant festzustellen, dass die landwirtschaftliche N_2 -Fixierung vom BUWAL mit 72 kt/a veranschlagt wird, und N_B aus unserer Schätzung lediglich 49 kt/a beträgt. Es stellt sich die Frage, ob bei optimaler Handhabung der gesamte N_B -Bedarf unserer Bevölkerung durch die Fixierung gedeckt werden könnte.

Zusammenfassung und Folgerungen

Anhand von vier unabhängigen Fallbeispielen wurde gezeigt, dass die extensive Beweidung von Gebirgsgegenden durch das Vieh, insbesondere das Kleinvieh, zu einer Konzentration von organischen Stickstoffverbindungen in intensiver bewirtschafteten Böden führte. Diese räumlich beschränkten Highland-Lowland Interactions führten zu einer Kumulation von landwirtschaftlichen Produkten, die ihrerseits einen Warenaustausch innerhalb einer Region, möglicherweise sogar über diese hinaus, intialisierten und aufrecht erhielten.

Diese Art der Kumulation ist nicht auf Gebirgsräume beschränkt, doch äussert sie sich hier besonders deutlich. Die grossen, extensiv bewirtschafteten Areale sind einerseits in der Regel schlecht zugänglich und bleiben damit vor anderer Nutzung verschont. Andererseits fördern die verhältnismässig geringen Entfernungen zwischen extensiv und intensiv bewirtschafteten Arealen diese Bewirtschaftungsform.

Die auf der mikrobiellen Ebene dargelegte N-Flusslimitierung zeigt sich analog auch auf der makrobiellen Ebene. Die zur Aufkonzentrierung des Mists vom Kleinvieh benötigte Energie muss durch den Weidegang beschafft werden. Wenn diese Energie in zu geringer Konzentration anfällt, wie dies am Beispiel der heutigen Bewirtschaftung in Tagoundaft gezeigt wurde, ist eine Verarmung des gesamten

Systems zu erwarten. Hier wird spekuliert, dass bei weiterer Verarmung das Gebiet nur noch halbnomadisch oder sogar nur noch nomadisch bewirtschaftet werden kann. Die vollständige Aufgabe der traditionellen Nutzung dürfte jedoch die realistischste Alternative darstellen.

Eine Betrachtung der antiken mediterranen Landwirtschaft unter den hier dargelegten Gesichtspunkten der N-Bewirtschaftung könnte möglicherweise zu interessanten Zusammenhängen zwischen Klima- und Landschaftsveränderungen im Mittelmeerraum führen. Nach MONTANARI (1993) assen die Römer wenig Fleisch. Sie konnten damit erhebliche Mengen Energie sparen, weil die vegetarische Ernährung etwa 5 bis 10 mal energieeffizienter verläuft als die Ernährung mit tierischen Produkten. Hingegen musste der Stickstoffkreislauf anderweitig aufrecht erhalten werden. Die Zusammenhänge zwischen Erosion und Ziegenwirtschaft sind hinlänglich bekannt. Die Verbindung der letzteren zur Stickstoffbewirtschaftung könnte wertvolle Hinweise auf die damalige Erosionsproblematik liefern, woraus möglicherweise Schlüsse für die Lösung rezenter Erosions- und Bewirtschaftungsprobleme gezogen werden könnten.

Die heutige Marginalisierung von früher extensiv bewirtschafteten Arealen in Gebirgen sollte auch unter dem Gesichtspunkt der enormen Mengen von ausgebrachten mineralischen N-Düngern betrachtet werden. Dadurch wurde der Rückzug aus den extensiv bewirtschafteten Arealen ziemlich sicher beschleunigt – unter Verarmung der vielfältigen Highland-Lowland Interactions. Vielleicht ergäbe sich über die Betrachtung des Stickstoffkreislaufes eine Möglichkeit, heute brachliegende, ehemals extensiv genutzte Areale wieder ähnlich zu nutzen. Damit könnten das Landschaftsbild und die Highland-Lowland Interactions vermehrt gepflegt werden. Allerdings müsste für den derart produzierten Mist ein Markt erschlossen werden, was angesichts der enormen Stickstoffüberflüsse kein einfaches Unterfangen darstellte.

Anmerkungen

1 mol	enthält $6,0 \times 10^{23}$ Atome oder Moleküle.
1 J	(«Joule») ist das Mass für die Energie in SI-Einheiten. 1 [J] = 0,238 cal. 1 cal ist jene Wärmemenge, die 1 cm ³ Wasser um 1 °C erwärmt.
1 W	(«Watt») ist das Mass für die Leistung oder den Energiefluss in SI-Einheiten. 1 W = 1 J/s.
1 g/(P·d)	1 Gramm pro Person und pro Tag
1 kg/(P·a)	1 Kilogramm pro Person und pro Jahr
1 mol/a	1 mol pro Jahr
1 mmH ₂ O/a	1 Liter Wasser pro Quadratmeter und Jahr
k ... =	10 ³ («kilo»)
M ... =	10 ⁶ («mega»)
G ... =	10 ⁹ («giga»)

Literatur

- BRÄKER, U., 1788: Der arme Mann im Tockenburg. Diogenes Verlag AG, Zürich, 1993, 319 S.
- BUWAL, 1993: Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 209, 74 S.
- FURRER, O. J. & STAUFFER, W., 1986: Stickstoff in der Landwirtschaft. Gas-Wasser-Abwasser 66: 460–472.
- GEELHAAR, M., 1995: Mutations socio-économiques dans le Bassin de Tagoundaft, Haute Atlas, Maroc. AFRICAN STUDIES SERIES A12, Geographica Bernensia, Bern, 199–219.
- GISI, U., SCHENKER, R., SCHULIN, R., STADELMANN, F. X. & STICHER, H., 1990: Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 304 S.
- HEGG, O., 1990 & 1992: Mündliche Mitteilungen aus dem Institut für systematische Geobotanik der Universität Bern.
- HEILENZ, S., 1988: Das Liebig-Museum in Giessen. Verlag der Ferber'schen Universitätsbuchhandlung Giessen, 58S.
- MASELLI, D., 1995: L'écosystème montagnard-agro-sylvo-pastoral de Tagoundaft (Haut Atlas occidental, Maroc): ressources, processus et problèmes d'une utilisation durable. African Studies Series A12, Geographica Bernensia, Bern, 1–197.
- MONTANARI, M., 1993: Der Hunger und der Überfluss – Kulturgeschichte der Ernährung in Europa. Verlag C.H.Beck, München, 251 S.
- PFISTER, C., 1990: The Early Loss of Ecological Stability in an Agrarian Region. In: Brimblecombe, P. & PFISTER, C., (eds.): The Silent Countdown. Springer, Heidelberg, 265 S.
- SCHEFFRAHM, 1993: Mündliche Mitteilung aus dem Anthropologischen Institut der Universität Zürich.

Persönlich

Diesen Artikel widme ich der Erinnerung an die sieben Jahre, die ich mit Dir, lieber Bruno, am Geographischen Institut der Universität Bern verbringen durfte. Ich wünsche Dir weiterhin viel Erfolg in Deinen Unternehmen während des wohl unabhängigsten Abschnitts Deiner Karriere.

Prof. Dr. Peter Germann, Abteilung Bodenkunde, Geographisches Institut der Universität Bern