

Bodenzerstörung - ein globales Umweltproblem

Klaus Heine, Regensburg

1. Einleitung

Die Umwelt-Mensch-Beziehungen haben sich seit der letzten Eiszeit verkehrt: An der Pleistozän/Holozän-Wende wurden kulturelle Entwicklungen durch Umwelt-Veränderungen beeinflusst; in der Neuen Welt wandelten sich die Wirtschaftsformen der Paläoindianer infolge des Aussterbens der Megafauna. Heute erleben wir eine umgekehrte Entwicklung, nämlich eine anthropogene Veränderung der Geosysteme einschließlich des Weltklimageschehens. Dadurch entstehen globale Umweltprobleme; sie sind die größten Herausforderungen der Gegenwart an die Menschheit, denn unsere derzeitigen Kenntnisse über Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Komponenten des terrestrischen Systems reichen bei weitem nicht aus, um die sich darin abspielenden Prozesse in ihrer Gesamtheit aufzuklären und einheitlich darzustellen. Mit zunehmender Verfeinerung der Meß- und Analysenmethoden treten zudem immer neue bisher unbeachtete Probleme zutage. Das betrifft auch zahlreiche Aspekte der Bodenzerstörung.

Unter "Bodenzerstörung" will ich die Vernichtung, die Unbrauchbarmachung des Bodens verstanden wissen. Damit schließt "Bodenzerstörung" viele Veränderungen des Bodens ein, angefangen von der *Bodenerosion*, sei sie ohne oder mit Einwirkung des Menschen verursacht, über *Nährstoffverluste* als Folge von *Landnutzungsänderungen*, *Versiegelung* der Böden infolge Überbauung durch Siedlungen, Verkehrswege und Industrieanlagen, *Bodenkontamination* infolge von Düngung, Klärschlammauftrag, Einsatz von Fungiziden, Herbiziden, Insektiziden, bis hin zur *Vernichtung natürlich gewachsener Böden* durch sauren Regen, Deposition von zahlreichen chemischen Verbindungen sowie durch anthropogen (?) ausgelöste Klimaänderungen. Bodenzerstörung bedeutet "Minderung der Bodenqualität" bzw. Verlust an Fähigkeiten, eine vielseitige Resource sowohl für natürliche als auch für anthropogene Vorgänge zu sein.

Voraussetzungen für die Ausbreitung von Flora und Fauna auf der Erde war die Bildung der Pedosphäre (vermutlich im Präkambrium, vgl. SCHWARTZMAN & VOLK 1991; FEAKES ET AL. 1989). *Boden* und *Wasser* sind für das Überleben der Menschheit die zentralen Ressourcen. Soll die Welternährung auch zukünftig gesichert sein, muß die Nahrungsmittelproduktion erheblich gesteigert werden, denn heute leben allein in Entwicklungsländern rund 4,1 Milliarden Menschen, das sind etwa drei Viertel der Weltbevölkerung. Bis zum Jahr 2025 wird

ihre Zahl auf rund 7,1 Milliarden angewachsen sein. Allein deshalb gebietet sich ein verantwortungsbewußter Umgang mit der Resource Boden. Da die Bodenbildung und Bodenneubildung einerseits gar nicht anthropogen manipulierbar ist, andererseits nur sehr langsam abläuft (in 10^2 bis 10^6 Jahren), erscheint die fortschreitende Unbrauchbar-Machung unserer irdischen Böden vor dem Hintergrund ernst zu nehmender Weltbevölkerungsprognosen äußerst dramatisch (Fig. 1). Die Bodenzerstörung wird damit zu einem globalen Umweltproblem. Bodenzerstörung ist folglich ein gesellschaftliches Problem, und es stellt sich die Frage, wie biotisch-physikalische Veränderungen in gesellschaftliche Kategorien zu übersetzen sind (GEIST 1992).

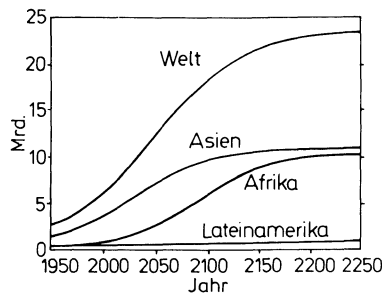


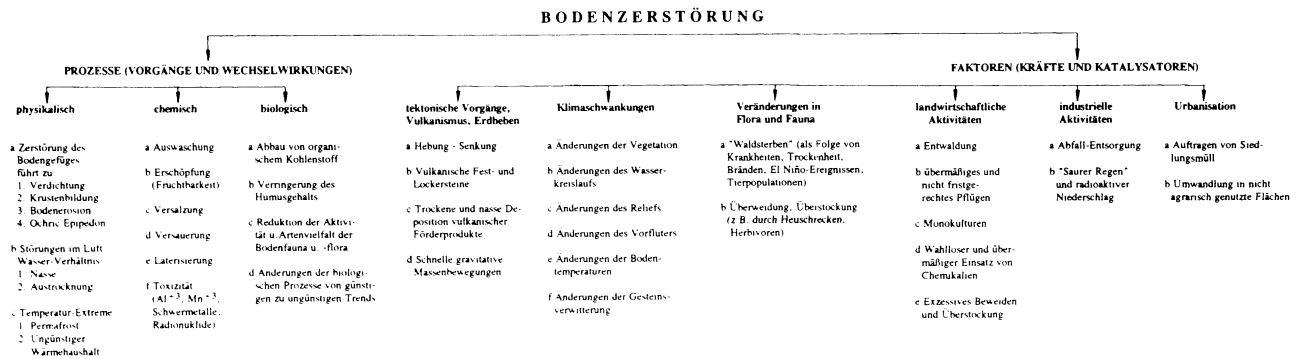
Fig. 1: Welt- und Kontinent - Bevölkerungslinien bis zum Jahre 2250 aufgrund zuverlässiger Berechnungen (nach TUCKWELL & KOZIOL 1992).

Bodenzerstörung heißt, daß Veränderungen der Bodeneigenschaften und -prozesse eintreten, die einen negativen Einfluß auf die bodenerhaltenden Vorgänge ausüben. Bodenzerstörung führt zum Verlust der die Menschheit ernährenden Produktion; sie wird verursacht durch ungünstige Beeinflussung einzelner oder aller physikalischer, chemischer und biologischer Bodeneigenschaften und -prozesse. Die Auswirkungen der Bodenzerstörung können lokaler, regionaler oder globaler Art sein (vgl. LAL ET AL. 1989).

2. Prozesse und Faktoren der Bodenzerstörung

In *Tabelle 1* sind Prozesse und Faktoren der Bodenzerstörung dargestellt. Die *Prozesse* der Bodenzerstörung umfassen physikalische, chemische und biologische Vorgänge und Wechselwirkungen, die die Bodeneigenschaften hinsichtlich Selbstregulierung und Produktivität beeinflussen; die *Faktoren* der Bodenzerstörung sind natürliche oder anthropogen induzierte Kräfte und Katalysatoren, die die Prozesse, die Änderungen der Bodenmerkmale und der bodenerhaltenden Eigenschaften bewirken, in Gang setzen und/oder beschleunigen (LAL ET AL. 1989).

Tabelle 1: Faktoren und Prozesse der Bodenzerstörung (nach LAL ET AL. 1989, verändert)



2.1 Natürliche Faktoren und Prozesse

Natürliche Faktoren und Prozesse tragen zur Bodenzerstörung bei. Tektonische Vorgänge, Vulkanismus und Erdbeben (vgl. *Tabelle 1*) können zu schnellen Veränderungen führen - wie beispielsweise beim Ausbruch des Thera-Vulkans im Jahr 1628 B.C. oder des Vesuvs am 24./25. August 79 ~~B.C.~~ A.D. (SIGURDSSON ET AL. 1985; VOGEL ET AL. 1990). In fast allen Vulkangebieten führen Aschen-Eruptionen, Glutwolken, Lahare und Lavaströme von Zeit zu Zeit zur Überdeckung zumeist fruchtbarer Böden und damit zu ihrer Zerstörung; gleichzeitig stellt die vulkanische Tätigkeit neues Ausgangsmaterial für bodenbildende Prozesse bereit. Hohe Fruchtbarkeit und infolgedessen eine große Bevölkerungsdichte kennzeichnen alle Regionen aus vulkanischen Gesteinen.

Erdbeben können in Gebieten mit starker Reliefenergie großflächig fruchtbare Böden zerstören. LAUER & RAFIQPOOR (1987) haben ein Beispiel aus Ecuador (Erdbeben vom 5.3.1987) anschaulich beschrieben. Sogar tektonische Bewegungen sind in der Lage, in relativ schneller Zeit (vgl. BOCK ET AL. 1993) infolge der veränderten hydrologischen und Boden-wasserhältnisse Geoökosysteme zu zerstören, was zur Aufgabe von Siedlungen und wirtschaftlichen Veränderungen führen kann (zum Beispiel in Yemen, FEDELE 1990).

Klimaschwankungen beeinflussen alle irdischen geökologischen Systeme. Die weltweiten quartären Klimaänderungen sind in Bodenprofilen, Bodenprofilsequenzen und Sedimentationszyklen von den äquatorialen Regenwaldgebieten bis zu den polaren Breiten, von den Tiefländern bis in die höchsten Gebirge nachzuweisen. In den mitteleuropäischen Bergländern wurden die warmzeitlichen Eem-Böden während der nachfolgenden Würm-Kaltzeit weitgehend abgetragen; auf den jungquartären Schuttdecken bildeten sich seit dem Bölling/Alleröd (vgl. HEINE 1993) die holozänen Böden aus, die der Mensch vorfand, als er mit der Bodennutzung begann. In ariden Gebieten können Vorzeit-Böden aus feuchteren Klimaabschnitten heute durch die Prozesse der Desertifikation zerstört werden. Gegenwärtig scheinen bis zu 13 Mio t Staub pro Jahr äolisch von Afrika nach Amazonien verfrachtet zu werden (SWAP ET AL. 1992), was im nordöstlichen Amazonasbecken einen Eintrag von $190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ausmachen kann (dabei $1\text{-}4 \text{ kg Phosphat ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Eiszeitliche Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation sowie der afrikanischen Ökosysteme können zu wesentlich größeren Beträgen der äolisch umgelagerten Afrika-Stäube führen, wie aus den Sedimentationszyklen mariner atlantischer Bohrerkerne hervorgeht (SARNTHEIN ET AL. 1982). Sahara-Staub ist das wichtigste Ausgangsmaterial für Bodenbildungen auf quartären Kalksteinen zahlreicher karibischer Inseln (MUHS ET AL. 1990).

Auch können Klimaänderungen über die Caliche/Calcrete-Bildung und Verwitterung den CO_2 -Haushalt der Atmosphäre beeinflussen; da seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit die Ausdehnung der Wüsten- und Halbwüstengebiete

beträchtlich zurückgegangen ist, wird einerseits weniger C in Kalkkrusten infolge Neubildung gespeichert (KERN & SCHLESINGER 1992); andererseits nehmen Calcretes bei der Verwitterung CO₂ auf, um Bikarbonate zu bilden, die dann als Folge der Abtragung über die Flüsse den Ozeanen zugeführt werden; damit beeinflusst die Verwitterung der Kalkkrusten (Bodenzerstörung) den globalen CO₂-Haushalt, zumal die gegenwärtigen Kalkkrustenvorkommen weltweit auf ca. $0,93 \times 10^{12}$ t geschätzt werden (ADAMS 1993).

Bodenzerstörung wird auch durch Änderungen der Flora und Fauna verursacht. Erosion durch Tiere, beispielsweise in afrikanischen Savannen, hat PASSARGE schon 1904 beschrieben; er unterschied zwischen indirekter und direkter zoogener Erosion. Heute können in Wild- und Naturreiservaten durch übergroße Elefantenpopulationen nicht nur Savannenwälder sondern auch die Savannenböden in wenigen Jahren völlig degradiert werden; dies ist im Etoscha-Park Namibias geschehen (vgl. auch WALTER & BRECKLE 1984).

2.2 Anthropogene Faktoren und Prozesse

2.2.1 Historische Dimension

Unter "historischer Dimension" soll in Anlehnung an RATHJENS (1979) der Wandel der menschlichen Eingriffe (Faktoren) in die Prozesse der Bodenzerstörung im Laufe der menschlichen Entwicklungsgeschichte und die wechselnde Ausprägung der vom Menschen geschaffenen oder beeinflussten Bodenzerstörung während der jüngeren Vergangenheit verstanden werden.

Die östliche Mediterraneis ist ein Gebiet Jahrtausende währender Beeinflussung der Umwelt durch den Menschen. Dank der exakten archäologisch-historisch-geographischen, vor allem aber palynologischen Forschungen können die Ursachen der anthropogen ausgelösten Landschaftsveränderungen und Bodenzerstörung seit vor- und frühgeschichtlicher Zeit aufgezeigt werden (BOTTEMA ET AL. 1990). Schon seit dem 7. Jahrtausend B.C. führt in Jordanien ein Mißmanagement der natürlichen Ressourcen zu starker Bodenzerstörung (KÖHLER-ROLLEFSON & ROLLEFSON 1990). Seither, bis in die Gegenwart, wird das gesamte Mittelmeergebiet zur klassischen Landschaft der Bodenzerstörung (vgl. u.a. BRÜCKNER & HOFFMANN 1992; HEMPEL 1979; ERGENZINGER 1990; BINTLIFF & VAN ZEIST 1982). Aber auch aus anderen Regionen der Erde werden Prozesse der Bodenzerstörung seit der Intensivierung des Ackerbaus beschrieben; in Papua Neuguinea, wo nur an steilen Hängen unter natürlichem Regenwald infolge rascher Abtragung Bodenzerstörung erfolgt (LÖFFLER 1972), verursachen menschliche Eingriffe seit 6000 Jahren erhöhte Erosion (GILLIESON ET AL. 1986, vgl. auch BESLER 1987). Gleiches gilt für Polynesien seit der Besiedlung vor ca. 2000 Jahren (KIRCH ET AL. 1992) oder für Süd-Grönland nach der nordischen Einwanderung im 10. Jahrhundert (JACOBSEN 1987). Ob in Japan (KADOMURA 1980), in Südafrika (HEINE 1987a), in Ostafrika (MÄCKEL & WALTHER 1984), in Nordeuropa (ALHONEN

1987), in Südosteuropa (DEGENS ET AL. 1976) oder in der Neuen Welt (HEINE 1987b): seit der Mensch Weidewirtschaft, Waldrodung und Ackerbau betreibt, werden die natürlichen Bodenressourcen mehr oder minder stark degradiert (Fig. 2). Den Einfluß der Menschen auf die Umwelt hat STARKEL (1987) in einem Transekt für Eurasien und Afrika während der letzten 10 ka dargestellt (Fig. 3); in Abhängigkeit von verschiedenen Landschaftszonen setzt die Landnahme und Landnutzung des Menschen zu unterschiedlichen Zeiten ein.

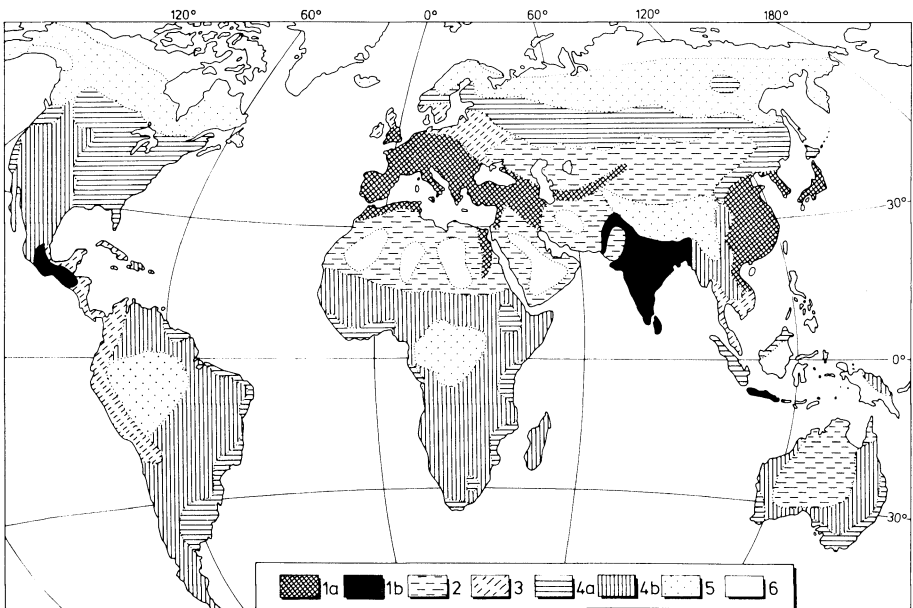


Fig. 2.: Der Einfluß des Menschen auf die Böden (nach STARKEL 1987, verändert). 1. Gebiete mit früher Landwirtschaft und Bodenzerstörung; starke Bodennutzung bis zur Gegenwart. a) mit abnehmender Bodenerosion in den letzten Jahrhunderten, b) mit zunehmender Bodenerosion in jüngster Zeit aufgrund des Bevölkerungsdruckes. 2. Aride/semiaride Gebiete mit intensiver Nutzung (Ackerbau und/oder Viehzucht) in der Antike während verschiedener Kulturepochen und in verschiedenen Räumen; gegenwärtige Nutzung in der Regel mit künstlicher Bewässerung. 3. Gebiete mit teilweise intensiver Landnutzung während der vergangenen 1000-1500 Jahre. 4. Gebiete mit starker Bodenzerstörung in den letzten zwei Jahrhunderten. a) Intensive mechanisierte Landwirtschaft (Monokulturen), b) extensive traditionelle Landwirtschaft in Gebieten mit Nahrungs- und Energie-Knappheit. 5. Gebiete ohne wesentliche Veränderung durch anthropogene Nutzung. Bei Waldvernichtung und landwirtschaftlicher Nutzung setzt starke Bodenzerstörung ein. 6. Bisher anthropogen mehr oder weniger unveränderte Gebiete (Wüsten, Arktis).

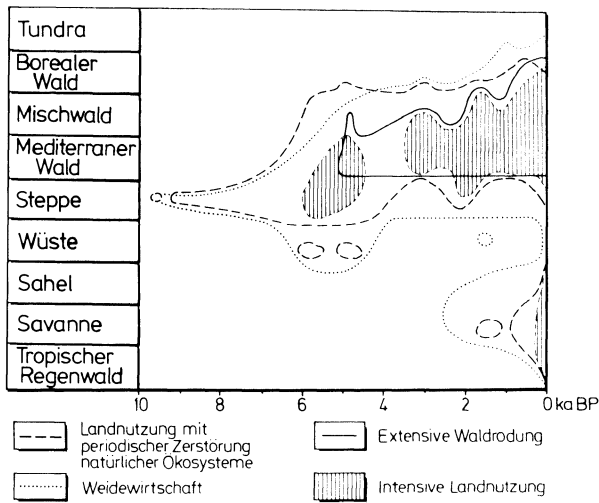


Fig. 3: Die Besiedlungsgeschichte des Menschen in einem euroasiatisch - afrikanischen Profil (nach STARKEL 1987)

Am Beispiel des Hochbeckens von Puebla/Tlaxcala in Zentralmexiko habe ich (HEINE 1978, 1983, 1988; COOK 1986) die Beziehungen zwischen Klimagang, Geomorphodynamik bzw. Bodenzerstörung und Kulturentwicklung schematisch dargestellt (Fig. 4). Aus der Zuordnung von Klimaentwicklung und Siedlungsentwicklung geht deutlich hervor, daß Klimagang und Kulturentwicklung sich niemals unmittelbar beeinflusst haben. Der Mensch selbst ist immer der wirkliche Träger des Kulturwandels gewesen (LAUER 1981). Die *Bodenzerstörung* ist das Ergebnis der Auseinandersetzung des Menschen mit seiner Umwelt. Verschiedene Phasen der Bodenerosion fallen mit Zeiten des Bevölkerungswachstums, der Siedlungsausweitung und Landnahme zusammen. Bereits zur Zeitenwende (Tezoquipan) waren große Areale bis auf harte Tepetate- und Caliche-Horizonte erodiert. Den geomorphologisch-sedimentologischen Befunden nach zu urteilen, waren die stark erodierten Flächen in Zentralmexiko vor 2000 Jahren ausgedehnter als heute. Das Tenanyecac H.A.D. (100-650 B.C.) wird durch Stagnation, Siedlungskonzentration und Bevölkerungsrückgang gekennzeichnet. In Gebieten, die zuvor starke Bodenzerstörung zeigten, ist der Bevölkerungsrückgang an den Hängen und die Siedlungskonzentration in den Beckenlagen besonders ausgeprägt. In den Ebenen und Niederungen ist eine große Siedlungszahl seit der dritten bzw. vierten Kulturstufe durchgängig bis zur siebten Stufe belegt. Diese Siedlungskontinuität ist auf Gebiete beschränkt, die nicht von der Bodenzerstörung betroffen waren. Mit erneuter Ausweitung des Siedlungslandes und Zunahme der Bevölkerung ver-

stärkt sich auch die Bodenzerstörung wieder (Stufe VI). Eine Abschwächung der Erosion fällt dann in der Stufe VII mit dem Bevölkerungsrückgang zusammen. Dynamische Zyklen der mesoamerikanischen Staaten (vgl. MARCUS 1992) scheinen wesentlichen Anteil an den Zyklen der Bodenzerstörung zu haben; die Zeit zwischen ca. 100-650 ~~B.C.~~ mit geringer Bodenzerstörung (vgl. auch FOWLER 1987) fällt in die Phase des schwindenden Einflusses von Teotihuacan auf die Nachbargebiete, gleichzeitig jedoch mit der größten Bevölkerungskonzentration in Teotihuacan selbst zusammen. Daher verwundert es nicht, wenn in Zentralmexiko die Phasen der Bodenzerstörung weder zeitlich noch räumlich synchron auftreten.

H.A.D.

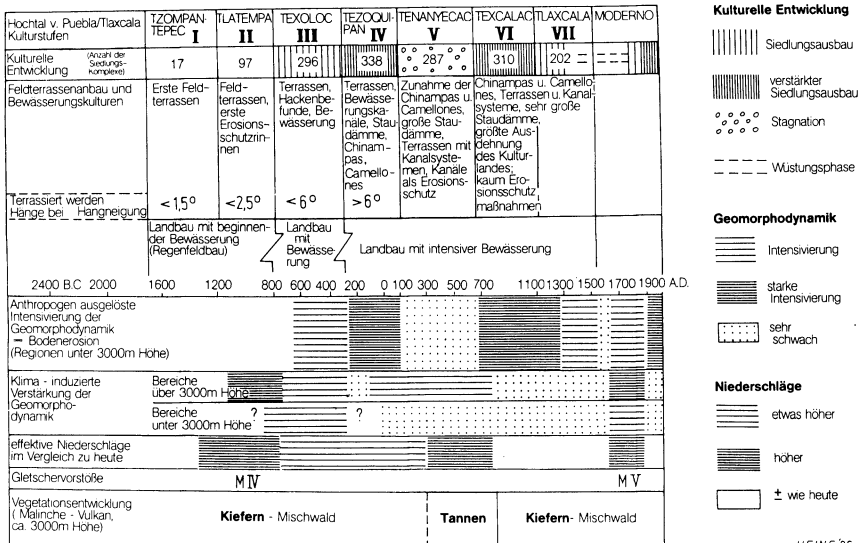


Fig. 4: Schematische Darstellung von Klimagang, Geomorphodynamik (Bodenerosion) und Kulturentwicklung für das Gebiet von Puebla/Tlaxcala (Mexiko) (nach HEINE 1988)

2.2.2 Aktuelle Situation

2.2.2.1 Bodenerosion

Die Bodenzerstörung hat in der Gegenwart und jüngsten Vergangenheit erschreckende Ausmaße angenommen (BROWN 1984). Spektakulär sind die Formen und Vorgänge der Bodenerosion, die für jedermann sichtbar werden, wenn es sich um rasche oder spezifische Vorgänge und Formbildungen (z.B. Grabenreißen) handelt. Doch schon die schleichende Erosion - sie ist fast überall aktiv, wo der Mensch in den Naturhaushalt eingreift - wird häufig übersehen. Im Regensburger Raum ergaben Untersuchungen Abtragswerte von 1 mm/a^{-1} im Durchschnitt für landwirtschaftlich genutzte Flächen

(ELLWANGER 1985; MÜLLER 1983). In tropischen Regionen sind die Beträge oft um eine Zehnerpotenz höher (MOEYERSONS 1990; LIEDTKE 1987; SIEBERT 1990).

Damit erreicht die Erosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Regensburger Raum Werte, wie sie als durchschnittliche Abtragungswerte für die Flußeinzugsgebiete genannt werden, in denen die Bodenerosion am schnellsten abläuft (vgl. Fig. 10). Da 70-80 % des Bodenverlustes durch Starkregenernisse verursacht werden (RICHTER 1987; vgl. auch BORK & BORK 1987), führt die Bodenerosion bei Regensburg nicht zum Austrag des Materials aus dem Catchment, sondern lediglich zur Umlagerung innerhalb des Catchments (Akkumulation am Hangfuß, in Talauen etc., vgl. MÜLLER 1983).

Bilanzen über den globalen Bodenabtrag zu erstellen, bereiten viele Schwierigkeiten. Allein der Austrag aus den Flußgebieten in die Ozeane (Fig. 10) ist noch kein Maßstab für die Bodenerosion im Sinne der Bodenerzörung (vgl. HAMILTON 1987), denn die Herkunft des Materials und seine Zusammensetzung (abgetragenes Bodenmaterial, andere Sedimente bzw. Sedimentgesteine) bleiben unbekannt (vgl. SHARMA ET AL. 1991). Der Gelbe Fluß in China trägt jährlich nach chinesischen Schätzungen 1,8 Mrd. Tonnen Sedimente ins Meer; Hydrologen vermuten, daß 1/4 des Materials, das bei der Bodenerosion abgetragen wird, über die Flüsse dem Meer zugeführt wird, während die restlichen 3/4 im Einzugsgebiet zwischengelagert werden (BROWN 1984). Ähnlich hohe Schwebstoff-Frachten wie der Gelbe Fluß weist der Ganges auf, nämlich $1,6 \text{ Mrd. t a}^{-1}$. Der Mississippi entläßt jährlich nur 331 Mio. t ungelöster Fracht in den Golf von Mexiko, doch die Ackerflächen des Einzugsgebietes in den USA verlieren auf über 1/3 der Flächen mehr als $1000 \text{ t qkm}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (BROWN 1984). Die Figur 10 kann zwar als Ausdruck der Bodenerosion im kontinentalen Maßstab betrachtet werden, allerdings sind die Werte des Bodenabtrags von kultivierten Flächen in der Regel höher als die Legenden vorgeben. Das belegen übereinstimmend sämtliche Detailstudien zum Problem des Bodenabtrags (vgl. beispielsweise für Südostasien: SIEBERT 1990; Nepal: BYERS 1986; Ostafrika: BAGOORA 1988; SUTHERLAND 1991b; MOEYERSONS 1990; LEWIS 1988; Äthiopien: HURNI 1988; Mexiko: HEINE 1983; Ecuador: HARDEN 1988, 1991; Süddeutschland: PLATE 1992). Globale Schätzwerte gehen davon aus, daß ca. 0,5-0,7 % des Ackerlandes jährlich durch Bodenerosion zerstört wird (ZACHAR 1982), und ca. 2 % der genutzten Ackerfläche wird jährlich beträchtlich geschädigt (SCHRÖDER 1992).

2.2.2.2 Bodenversauerung

Neben der Bodenerosion tragen andere Faktoren wesentlich stärker zur Bodenerzörung bei. Erinnert sei nur an die Bodenversauerung (BLÜMEL 1986) infolge des "sauren Regens" (LIKENS & BORMANN 1974) wie auch von trockener Deposition (PRANTL 1986). Wie überall in Europa (vgl. TAMM &

HALLBÄCKEN 1988), so wird auch im Donaustauffer Forst bei Regensburg eine Veränderung des Oberboden-pH-Wertes von pH 4-5 im Jahre 1951 auf pH 3-4 im Jahre 1984/85 beobachtet (SENDTNER 1985). Inzwischen ist eine sehr starke Versauerung der Oberböden mit pH (H_2O)-Werten $<3,3$ sogar für Parabraunerden südlich von Regensburg festzustellen (NILLER 1993). Diese pH-Werte sind vergleichbar mit den Verhältnissen benachbarter Mittelgebirgsböden aus basenarmen Ausgangsgesteinen (vgl. für das Fichtelgebirge: SÜSSER 1987; Hinterer Bayerischer Wald: HOFMANN-SCHIELLE 1988; Bayerischer Wald: EIBERWEISER 1991; VÖLKELE 1992; Naabgebirge: TRAILD 1991). Die Versauerungsfront liegt im Regensburger Raum bereits in rund 0,5 m Tiefe (NILLER 1993). Bei pH-Werten von <4 steigt nicht nur die Pflanzenverfügbarkeit bestimmter Schwermetalle, sondern eine Zerstörung der Tonminerale wie auch anderer Silikate setzt ein. Dies führt langfristig zu einer irreversiblen Degradierung der Böden (BLÜMEL 1986; VEERHOFF & BRÜMMER 1989; NILLER 1993). Da nicht nur über den "sauren Regen" die Bodenversauerung gefördert wird, sondern - vielleicht in gleich starker Weise - auch durch die Stickstoffdüngung, denn mit der Nitratbildung im Boden ist eine Säureproduktion verbunden, sind Luftverschmutzung und intensive landwirtschaftliche Nutzung an der Bodenversauerung beteiligt.

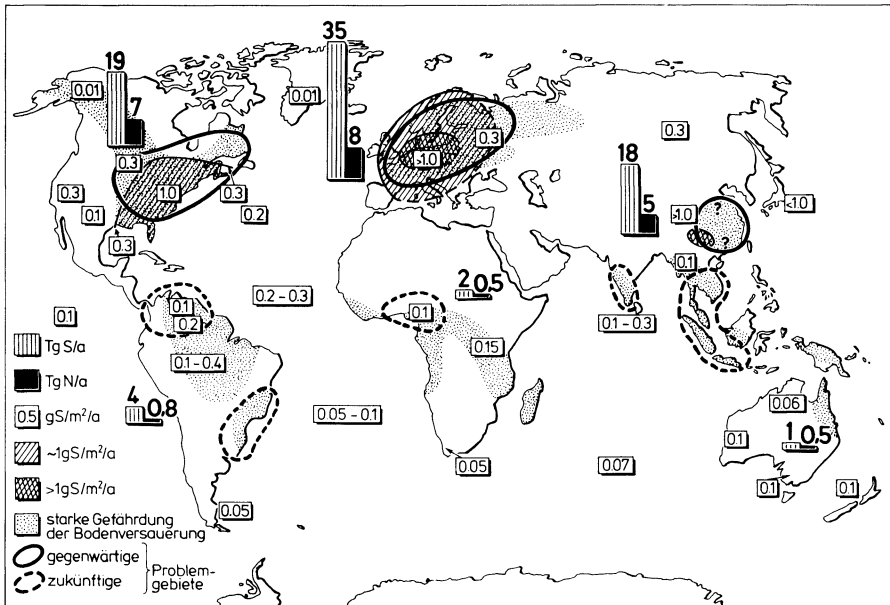


Fig. 5: Jährliche anthropogene Schwefel- und Stickstoff-Emissionen, bezogen auf Kontinente ($1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g}$). Jährliche Deposition von Schwefel durch Niederschläge (die Anteile von Meersalzen und Bodestaub wurden abgezogen) sowie gegenwärtige und zukünftige Problemgebiete hinsichtlich der Bodenversauerung (nach ROHDE 1989).

Die Bodenversauerung durch anthropogene Einwirkungen wird seit 140 Jahren von Wissenschaftlern verfolgt (GORHAM 1989); sie zwingt schon frühzeitig zu ökologischen Forschungen, denn die anthropogene Azidifizierung von Ökosystemen spiegelt Veränderungen in Ausmaß und Bedeutung mehrerer miteinander verbundener Prozesse wider, die die Ionen-Zusammensetzung des atmosphärischen Niederschlags, der Bodenlösungen und des Oberflächenwassers kontrollieren. Es bedarf keiner besonderen Erläuterungen, um die Bodenversauerung als globales Problem zu deklarieren (RODHE 1989). Heute ist die Bodenversauerung in Gebieten mit dichter Bevölkerung und hohem Industrialisierungsgrad extrem stark (Fig. 5). In Verbindung mit Prognosen der Weltbevölkerungs- und Weltwirtschaftsentwicklung und der Verbreitung der Böden, die besonders sensitiv auf die Azidifizierung reagieren, ergeben sich neben den Problemgebieten der Gegenwart auch solche der Zukunft (vgl. RODHE 1989).

2.2.2.3 Bodenkontamination (Schwermetalle, Chemikalien, Radionuklide)

Die atmosphärische Deposition ist die Quelle zahlreicher Spurenelemente in den Böden. Doch die Konzentration der Spurenelemente hängt auch vom Ausgangsgestein ab (PICKERING 1986), und es ist oft nicht leicht, zwischen den Einflüssen des Muttergesteins, des natürlichen atmosphärischen Eintrags durch Wind und Wasser sowie dem Einfluß menschlicher Aktivitäten zu unterscheiden.

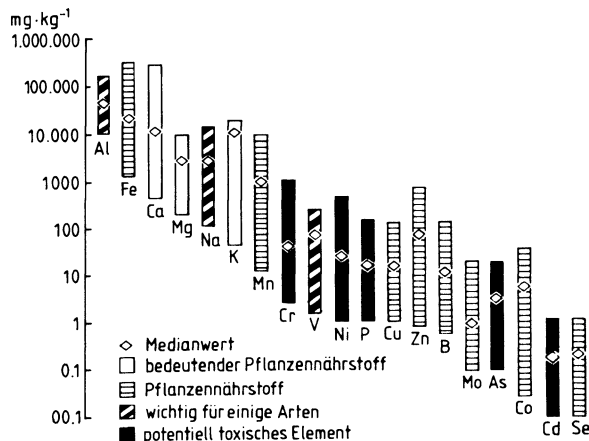


Fig. 6: Schwankungsbreite und Mittelwerte metallischer Spurenelemente in unkontaminierten Böden (in mg/kg^{-1}) (nach MATTIGOD & PAGE 1983 und aufgrund von Daten von BOWEN 1979, aus PAGE & STEINNES 1990).

Die nach MATTIGOD & PAGE (1983) charakteristischen Spurenelemente der Böden sind in Figur 6 dargestellt. Erhöhte Konzentrationen zahlreicher Spurenelemente haben oft natürliche Ursachen wie erzhaltige Gesteine im Unter-

grund (BROOKS ET AL. 1992) oder Sedimentation von spurenelementreichem Material. Doch die anthropogenen Ursachen für eine Anreicherung von Spurenelementen in Böden nehmen ständig zu. Erhöhte Metall-Konzentrationen der Böden in stadt-, industrie- und verkehrsnahen Bereichen (SCHARPENSEEL & BECKMANN 1975; KUNG & YING 1990; LEENAERS ET AL. 1990; RADTKE ET AL. 1990) bezeugen beeindruckend den anthropogenen Einfluß. Vergleiche der Konzentrationen zwischen A_h - und C-Horizonten (Fig. 7) ergeben gleiche Aufschlüsse. Globale Abschätzungen der Bodenkontamination und Bodendegradation aufgrund von Spurenelementen anthropogener Herkunft lassen sich zur Zeit noch nicht vornehmen.

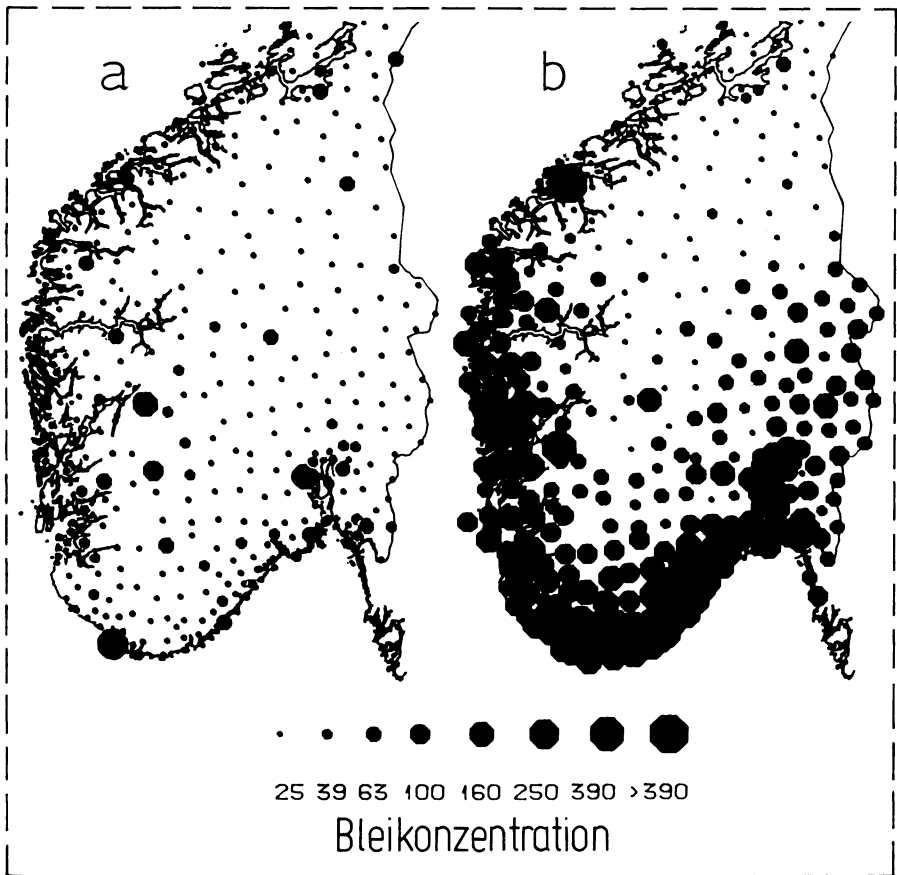


Fig. 7: Bleikonzentration in ppm in Südnorwegen (a) im C - Horizont als Ausdruck der geologischen Verhältnisse (Ausgangsmaterial), (b) im Humus als Ausdruck der Luftverschmutzung (Ferntransport) (nach PAGE & STEINNES 1990).

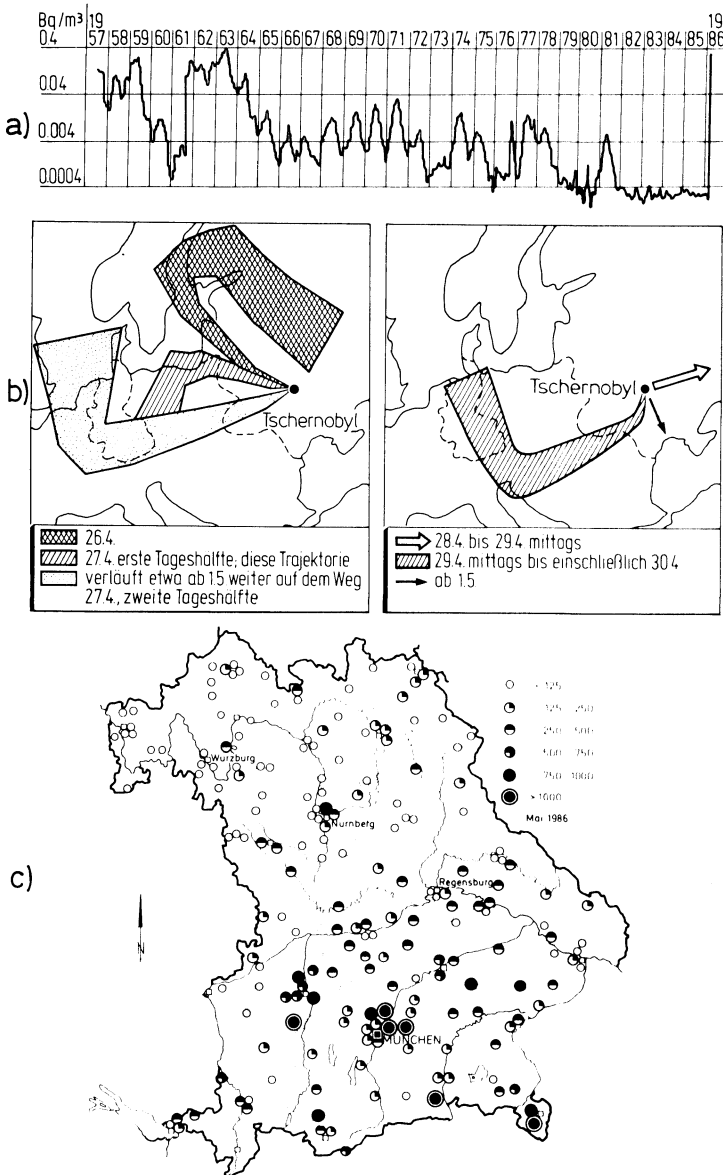


Fig. 8. Der Unfall von Tschernobyl. a) Verlauf der Monatswerte der langlebigen (künstlichen) Radioaktivität in den 30 Jahren 1957 bis 1986, gemessen am Institut für Meteorologie der FU Berlin. Die Monatswerte von 1963-1985 unterscheiden sich um den Faktor 1000 (nach SCHLAAK 1986). b) Angenäherter Trajektorienverlauf für verschiedene Starttermine (nach GRS 1987). c) Bodenbelastung in Bayern durch Cäsium 137 und Cäsium 134 (Bq/kg) bezogen auf die Tiefe 0-3 cm (nach BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1986).

Gleiches gilt auch für die Beeinflussung der Böden (einschließlich des Bodenlebens) durch Insektizide (EDWARDS 1966; BEYER & KRYNITSKY 1989) und andere organische Chemikalien, die selbst in arktischen und antarktischen Böden nachzuweisen sind (PECHER 1992; WANIA & MACKAY 1993).

Besondere Bedeutung hat die Bodenkontamination durch Radionuklide erlangt. Sie kann bis zur völligen Unbrauchbarkeit der Böden führen. Unterschiedliche Mengen radioaktiver Stoffe wurden durch Kernwaffenversuche in den 50er und 60er Jahren - aber vereinzelt auch noch später - und durch Reaktor- und andere Unfälle freigesetzt (NEDOSPASOV & CHERKASOV 1993). Unbedeutend erscheint der Anteil der radioaktiven Emissionen von ordnungsgemäß betriebenen Kernkraftwerken. Am 26.4.1986 wurde ein Teil des Reaktors in Tschernobyl bei Kiew durch Explosion und Feuer zerstört; die in die Troposphäre gelangten radioaktiven Stoffe wurden über Europa verfrachtet und vorwiegend in Verbindung mit Niederschlägen deponiert. Eine erhebliche radioaktive Belastung der Böden in weiten Teilen Europas (Fig. 8) war die Folge. Untersuchungen über die Auswirkungen des Reaktorunfalls auf die Böden und Ökosysteme werden zur Zeit von meinem Institut aus im Bayerischen Wald ausgeführt (vgl. VÖLKELE 1992; VÖLKELE & SENFT 1992; EINSELE & PFEFFER 1990).

2.2.2.4 Bodenzerstörung durch komplexe Vorgänge

Bodenzerstörung ist häufig das Ergebnis sehr komplexer Prozesse. Die *Desertifikation* resultiert aus der Vegetationszerstörung als Folge von Überweidung, Viehtritt, Feuerholzentnahme, wiederholtes Abbrennen und/oder unangepassten landwirtschaftlichen Praktiken. Sie führt zur allgemeinen Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und beschleunigter Zerstörung des Bodens durch Erosion (Wind und Wasser), Verschlammung, Versalzung, Alkalinisierung etc. Der übermäßige Verlust an Bodenmaterial, Nährstoffen und mitunter auch Samen in dem Ökosystem schadet der Regenerationsfähigkeit und führt oft zu irreversiblen Schäden (VERSTRAETE & SCHWARTZ 1991). Die Beziehungen zwischen dem Boden, der Vegetation und der Atmosphäre im Kontext der Desertifikation sind äußerst vielschichtig. Eine große Schwierigkeit, die Prozesse zu modellieren, ergibt sich aus den sehr unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstäben, in denen sie sich abspielen (AVISSAR & VERSTRAETE 1990). Allein durch Wind- und Wassererosion können im Sahel jährlich bis zu 200 t Boden km^{-2} abgetragen werden, das sind etwa 5 mm Oberbodenabtrag a^{-1} (KLAUS 1986).

Komplex sind die Vorgänge der Bodenzerstörung auch im tropischen Regenwald. Die Folgen menschlicher Eingriffe für die Geökosysteme tropischer Regenwälder sind Störungen im fortwährenden Mineralstoffkreislauf, der zwischen Biomasse und Boden stattfindet (WEISCHET 1984, 1990; BRUENIG 1992). Es handelt sich um ein weitgehend geschlossenes System ohne Nettopro-

duktion. Geringe Mengen neuer Nährstoffe werden durch den Regen und über Aerosol-Transport von Afrika sowie durch Verwitterung des Untergrundes für den Nährstoffkreislauf bereitgestellt. Dieses sensible System reagiert daher extrem anfällig auf anthropogene Eingriffe, denn Rodung und Brand führen zum Absterben der Mycorrhiza-Pilze; damit sind die Nährstoff-Fallen des Geoökosystems beseitigt, und die Mineralabfuhr durch Erosion und durch Auswaschung in die Tiefe kann ungehemmt einsetzen (WEISCHET 1984, 1990).

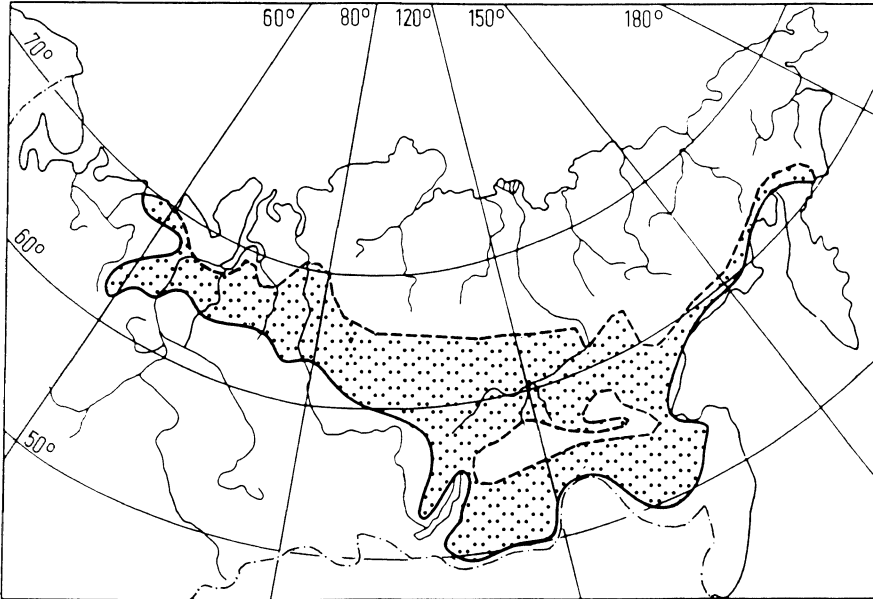


Fig. 9: Simulierte Verringerung der russischen Gebiete mit kontinuierlichem Permafrost bei einer globalen Erwärmung um 2°C (nach ANISIMOV 1989, aus: KOSTER & NIEUWENHUIJZEN 1992)

Doch nicht nur in Gebieten der Regenwaldvernichtung, der fortschreitenden Desertifikation und der Kontamination durch saure Niederschläge, Spurenelement- und Radionuklideinträge findet eine Bodenzerstörung großflächig statt, sondern auch die Böden von unbewohnten und wenig belasteten Regionen sind gefährdet (MITCHELL ET AL. 1990). Am Beispiel der Permafrostgebiete sei auf mögliche Veränderungen hingewiesen. Permafrost reagiert sehr empfindlich auf Temperaturschwankungen. Der Temperaturanstieg seit der Kleinen Eiszeit, der sich weltweit auch in den Untergrundtemperaturen nachweisen läßt (LEWIS 1992), führt in Permafrostgebieten zum Auftauen des Bodens. Eine anthropogen ausgelöste weltweite Temperaturzunahme um nur 2°C hätte für das asiatische Rußland eine großflächige Reduzierung des Permafrostes zur Folge (Fig. 9; KOSTER & NIEUWENHUIJZEN 1992; ANISIMOV 1989). Eine Zerstörung der charakteristischen Permafrostböden hätte große Auswirkungen auf die

Geoökosysteme der Periglazialgebiete sowie auf die Aufnahme und Abgabe von CO_2 und CH_4 an die Atmosphäre (MALMER 1992); damit würde der globale Kohlenstoffhaushalt der Atmosphäre bzw. der globale Kohlenstoffkreislauf beeinflusst (OECHEL ET AL. 1993; SMITH & SHUGART 1993; WEBB & OVERPECK 1993), denn Tundraböden enthalten 15 % des weltweit in Böden gebundenen Kohlenstoffs (WHALEN & REEBURGH 1990).

3. Globale Bilanzen

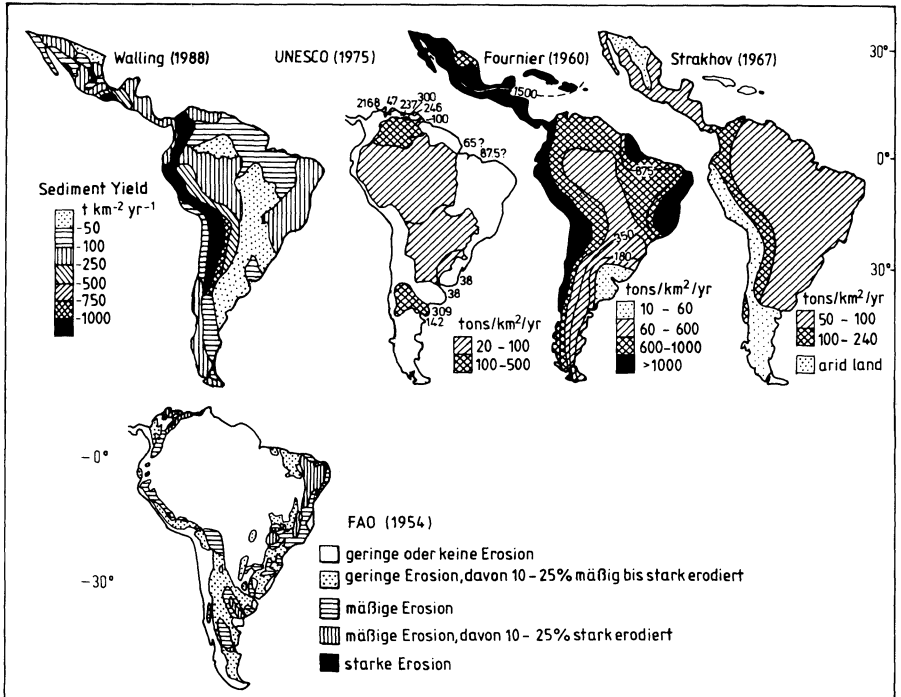


Fig. 10: Vergleich des Bodenverlustes für Lateinamerika (nach Jansen 1980, verändert; siehe auch LAL 1988 und LAL ET AL. 1989), sowie Ausmaß des Oberbodenverlustes in Südamerika (nach CONSERVATION FOUND & FAO 1954, aus: JANSEN 1980).

Soll das Phänomen "Bodenzerstörung" im globalen Kontext behandelt werden, so stellt sich die Frage nach globalen Bilanzierungen. Wird allein der Vorgang der Bodenerosion herausgegriffen und für den lateinamerikanischen Raum betrachtet, ergeben sich beim Vergleich der Angaben über Bodenverluste nach verschiedenen Quellen (Fig. 10) große Unterschiede. Es wird deutlich, daß die Erstellung globaler Bilanzen der Bodenerosion zur Zeit nicht möglich ist. Dies trifft auch für andere Formen der Bodenzerstörung zu (vgl. z.B. SCHARPENSEEL ET AL. 1990). Die Ursache liegt in der Anwendung sehr unter-

schiedlicher Methoden bei der Ermittlung der verschiedenen Faktoren und Prozesse der Bodenzerstörung.

4. Methodisches

Von den verschiedenen Faktoren der Bodenzerstörung wurde der Bodenerosion durch Wasser und Wind bisher die größte Aufmerksamkeit geschenkt. Bei der Erfassung der Bodenerosion lassen sich in Deutschland grundsätzlich zwei Wege unterscheiden: Die Schadenskartierung und die Gefährdungskartierung (vgl. BUCH & HEINE 1985). Die Schadenskartierung stützt sich auf die Erfassung der sichtbaren Bodenerosionsformen (z.B. MÜLLER 1983) oder der Nutzungshorizonte (z.B. ELLWANGER 1985), um aus Bodenprofilverkürzungen Rückschlüsse auf bereits erfolgte Erosionsleistungen zu ziehen. Unter Verwendung des Cäsium 137, das den Kernwaffenversuchen entstammt, konnten in jüngster Zeit große Fortschritte bei der Ermittlung quantitativer Bodenerosionsabschätzungen in Abhängigkeit von der Zeit gemacht werden (z.B. KULANDER & STRÖMQUIST 1989; LOUGHRAN ET AL. 1987; MARTZ & DE JONG 1987, 1990, 1991; SUTHERLAND 1991a; SUTHERLAND & DE JONG 1990). Die Gefährdungskartierung versucht, die Anfälligkeit der einzelnen Landschaften gegenüber der Bodenerosion darzustellen, wie sie nach der Kombination der die Bodenerosion beeinflussenden Faktoren zu erwarten ist (RICHTER 1976). Sehr unterschiedliche Methoden werden zur Bestimmung der Gefährdung angewendet; die USLE (Universal Soil Loss Equation nach WISCHMEIER & SMITH 1978) ist die am weitesten verbreitete. In Verbindung mit der Bodenerosionsforschung wurden weltweit Testflächen und Meßparzellen eingerichtet, um genaue Aufschlüsse über die einzelnen, an der Erosion beteiligten, Prozesse und deren Ursachen zu erlangen (RICHTER 1987; DIECKMANN ET AL. 1985; BRYAN 1990; BORK ET AL. 1991; HEINE 1983; PERL 1990; etc.). Wenngleich für kleine Regionen aufgrund der Kombination von Beobachtungen und Messungen auf Testflächen und den angrenzenden Arealen recht zuverlässige Abtragswerte des Bodens und damit Hinweise auf die teilweise oder völlige Zerstörung des Bodens gewonnen werden konnten, so lassen sich häufig diese Daten jedoch nicht über größere Räume und/oder längere Zeiten extrapolieren (HEINE 1983). Es bleibt bei punkthaften Messungen, und die daraus abgeleiteten Werte können nicht verallgemeinert werden. Für globale Bilanzen sind sie kaum brauchbar.

Auf der Suche nach neuen Wegen der Erosionsgefährdungsabschätzung werden Geographische Informations-Systeme (GIS) zunehmend benutzt, um die Bodenzerstörung in größeren Räumen zu erfassen bzw. die Bodengefährdung zu simulieren (z.B. GARG & HARRISON 1992; JÜRGENS & FANDER 1992). Unter Anwendung der USLE und Satellitenfern-erkundungsdaten wird die Bodenerosion in einem ca. 20 km² großen Einzugsgebiet an der Unteren Saar bestimmt (JÜRGENS & FANDER 1992). Die Bodenerosion kann in $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ be-

stimmt und Bodenschutzmaßnahmen können simuliert werden. Hier eröffnet sich ein Weg, von Standortuntersuchungen (Meßparzellen etc.) über Landschaftsbilanzen zu globalen Werten der Bodenerosion und vielleicht auch der Bodenzerstörung im allgemeinen zu kommen. Erst in Verbindung mit derart gewonnenen Daten erscheint es sinnvoll, Global Change-Modelle und Zukunftsszenarien zu entwickeln (OHRING ET AL. 1991).

5. Schlußbetrachtung

Ökologische Probleme der Menschheit erreichen überwiegend nur dann das Bewußtsein der Bevölkerung, wenn sie spektakulärer Art sind und entsprechend "vermarktet" werden können. Die Bodenzerstörung als großflächiges, heute globales landschaftsökologisches Problem ist ein weitgehend unspektakulärer Prozeß, und darin liegt seine Gefahr. Die Bodenzerstörung wirkt weltweit, permanent und ist in der Regel von der Nutzungsintensität abhängig und somit ein sozialökonomisch determinierter Prozeß (SCHRÖDER 1992). "Soil erosion and degradation is among the most critical environmental hazards of modern times" (LAL 1988). Das trifft besonders für die Dritte Welt zu (FAO 1986; HARRISON 1983; MESSERLI 1992).

Von seiten der Wissenschaft werden ständig Daten dargebracht, die auf die Dynamik und die Risiken der Bodenzerstörung hinweisen. Gleichzeitig werden Modelle und Strategien zur Überwindung der möglichen globalen Konsequenzen entwickelt. Die *Wiederherstellung* eines naturnahen Zustands (z.B. HILLER & BURGHARDT 1993), die *Vorsorge* (vgl. LAL ET AL. 1989; SCHWERTMANN ET AL. 1988; STEINER 1987), *simulierte Modelle* für die Zukunft und *Krisenforschung* (vgl. BOHLE & KRÜGER 1992) in Verbindung mit einer "politisch-ökologischen Sichtweise" von Umweltdegradierung (i.S. von GEIST 1992) können - so hoffe ich - die Umweltprobleme der Zukunft meistern. Da der Mensch immer Gestalter seiner Umwelt war, ist und zukünftig sein wird, rückt die *Sichtweise* des globalen Problems "Bodenzerstörung" in den Vordergrund (Fig. 11): Die Individual-Ebene bezieht sich auf einen schmalen Ausschnitt der Raum-Zeit-Skala; die Lebensqualität des einzelnen steht im Mittelpunkt. In der sozio-ökonomischen Ebene wird der Boden als Resource betrachtet. Die geo/biosphärisch-ökologische Ebene schließt die menschliche Gesellschaft und deren Aktivitäten als Teil eines Ganzen mit ein. Erst wenn das Gegenübertreten von Gesellschaft und Natur, das sog. Mensch-Umwelt-Theorem (GEIST 1992), durch ein politisch-ökologisches Modell ersetzt wird, kann auch das Problem der Bodenzerstörung entschärft werden.

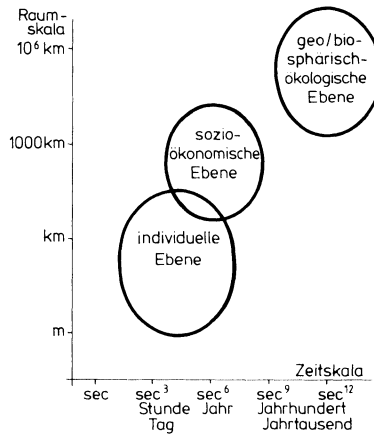


Fig. 11: Drei hierarchische Ebenen, in denen die menschlichen Aktivitäten betrachtet werden können (vgl. GIAMPIETRO ET AL. 1992).

Literatur

- ADAMS, J.M. (1993): Caliche and the carbon cycle. *Nature* 361; 213-214.
- ALONEN, P. (1987): Anthropogenic Sedimentological Changes during the Holocen: Northern Europe. *Striae* 26; 13-19.
- ANISIMOV, O.A. (1989): Changing climate and permafrost distribution in the Soviet Arctic. *Physical Geogr.* 10; 285-293.
- AVISSAR, R. & M.M. VERSTRAETE (1990): The representation of continental surface processes in mesoscale atmospheric models. *Reviews of Geophysics* 28; 35-52.
- BAGOORA, F.D. K. (1988): Soil Erosion and Mass Wasting Risk in the Highlands of Uganda. *Mount. Res. & Dev.* 8 (2/3); 173-182.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1986): Tschernobyl. München.
- BESLER, H. (1987): Slope properties, slope processes and soil erosion risk in the tropical rain forest of Kalimantan Timur (Indonesian Borneo). *Earth Surf. Proc. & Landforms* 12; 195-204.
- BEYER, W.N. & A.J. KRYNITSKY (1989): Long-Term Persistence of Dieldrin, DDT, and Heptachlor Epoxide in Earthworms. *Ambio* XVIII (5); 271-273.
- BINTLIFF, J.L. & W. VAN ZEIST (eds.) (1982): Palaeoclimates, Palaeoenvironments and Human Communities in the Eastern Mediterranean Region in Later Prehistory. *BAR International Series* 133; (i), Oxford.
- BLÜMEL, W.-D. (1986): Säurebedingte Strukturveränderungen an Tonmineralen. *Allgem. Forstzeitschr.* 7; 153-154.

- BOCK, Y., D.C. AGNEW, P. FANG, J.F. GENRICH, B.H. HAGER, T.A. HERRING, K.W. HUDNUT, R.W. KING, S. LARSEN, J.-B. MINSTER, K. STARK, S. WADOWINSKI & F.K. WYATT (1993): Detection of crustal deformation from the Landers earthquake sequence using continuous geodetic measurements. *Nature* 361; 337-340.
- BOHLE, H.-G. & F. KRÜGER (1992): Perspektiven geographischer Nahrungskrisenfor- schung. *Die Erde* 123 (4); 257-266.
- BORK, H.-R. & H. BORK (1987): Extreme jungholozäne hygrische Klimaschwankungen in Mitteleuropa und ihre Folgen. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 37; 109-118.
- BORK, H.-R., J. DE PLOEY & A.P. SCHICK (eds.) (1991): Erosion, Transport and Depo- sition Processes - Theories and Models. *Catena Suppl.* 19; 1-153.
- BOTTEMA, S., G. ENTJES-NIEBORG & W. VAN ZEIST, EDs. (1990): Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape. Proc. INQUA/BAI Symposium on the Impact of Ancient Man on the Landscape of the Eastern Mediterranean Region and the Near East, Groningen, Netherlands, 6-9 March 1989. Rotterdam.
- BOWEN, H.J.M. (1979): Environmental Chemistry of the Elements. London.
- BROOKS, R.R., A.J.M. BAKER & F. MALAISSE (1992): Copper Flowers. The Unique Flora of the Copper Hills of Zaïre. *Nat. Geogr. Res. & Expl.* 8 (3); 338-351.
- BROWN, L.R. (1984): The global loss of topsoil. *J. Soil & Water Conservation* 39 (3); 162-165.
- BRÜCKNER, H. & G. HOFFMANN (1992): Human-induced erosion processes in Mediter- ranean countries. Evidence from archeology, pedology and geology. *GEOÖKO plus III*; 97-110.
- BRUENIG, E.F. (1991): Der Tropische Regenwald im Spannungsfeld "Mensch und Bio- sphäre". *Geogr. Rdsch.* 43 (4); 224-230.
- BRYAN, R.B. (ed.) (1990): Soil Erosion - Experiments and Models. *Catena Suppl.* 17; 1-208.
- BUCH, M. & K. HEINE (1985): Eine Methode zur Erfassung der Bodenerosionsgefähr- dung in Weinbaugebieten, dargestellt am Beispiel der Gemarkung Wiltingen/Untere Saar. *Regensburger geogr. Schr.* 19/20; 183-206.
- BYERS, A. (1986): A Geomorphic Study of Man-Induced Soil Erosion in the Sagarmatha (Mount Everest) National Park, Khumbu, Nepal. *Mount. Res. & Dev.* 6 (1); 83-87.
- CONSERVATION FUND & FAO (1954), Soil erosion survey of Latin America. *J. Soil Water Conserv.* 9. I: 158-168; II; 214-219, 223-229, 237; III; 275-280.
- COOK, A.G. (1986): El control de la erosión en Tlaxcala: Un problema secular. *Erd- kunde* 40 (4); 251-262.
- DEGENS, E.T., A. PALUSKA & E. ERIKSSON (1976): Rates of soil erosion. In: B.H. SVENSSON & R. SÖDERLUND (eds.), "Nitrogen, Phosphorus and Sulphur Global Cy- cles, SCOPE Report 7". *Ecol. Bull.* 22; 185-191.
- DIECKMANN, H., H.-P. HARRES, H. MOTZER & O. SEUFFERT (1985): Die Vegetation als Steuerfaktor der Erosion. *Geoökodynamik* 6; 121-148.
- EDWARDS, C.A. (1966): Insecticide residues in soils. *Residue Rev.* 13; 83-132.
- EIBERWEISER, M. (1991): Untersuchung zum Aufbau, zur Gliederung, Genese und Ver- breitung periglazialer Deckschichten sowie deren Bedeutung für die Pedogenese im

- Raum Lallinger Winkel (Vord. Bayer. Wald). Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Universität Regensburg.
- EINSELE, G. & K.-H. PFEFFER (eds.) (1990): Untersuchungen über die Auswirkungen des Reaktorunfalls von Tschernobyl auf Böden, Klärschlamm und Sickerwasser im Raum von Oberschwaben und Tübingen. Tübinger geowiss. Arb. Reihe C (Hydro-, Ingenieur- und Umweltgeologie), 7; 1-65.
- ELLWANGER, W. (1985): Möglichkeiten der Ermittlung des Bodenabtrags im Raum Regensburg. Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Universität Regensburg, Bd. I; Bd. II (Anhang).
- ERGENZINGER, P. (1990): Erosion Processes in Mediterranean Climate-Typ Landscapes. Z. Geomorph. Suppl. 79; 184-186.
- FAO (ed.) (1986): Protect and Produce. Soil Conservation for Development. Rom, I/Q5, 110/E/3(86/2/3000).
- FEAKES, C.R., H.D. HOLLAND & E.A. ZBINDEN (1989): Ordovician paleosols at Arisaig, Nova Scotia, and the evolution of the atmosphere. *Catena* Suppl. 16; 207-232.
- FEDELE, F.G. (1990): Man, land and climate: Emerging interactions from the Holocene of the Yemen Highlands. In: BOTTEMA, ENTJES-NIEBORG & VAN ZEIST (eds.): Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape, Rotterdam; 31-42.
- FOURNIER (1960): Climate and Erosion. Paris.
- FOWLER, M.L. (1987): Early Water Management at Amalucan, State of Puebla, Mexico. *Nat. Geogr. Res.* 3 (1); 52-68.
- GARG, P.K. & A.R. HARRISON (1992): Land Degradation and Erosion Risk Analysis in S.E. Spain: A Geographic Information System Approach. *Catena* 19 (5); 411-425.
- GEIST, H. (1992): Die orthodoxe und politisch-ökologische Sichtweise von Umweltdegradierung. *Die Erde* 123; 283-295.
- GIAMPIETRO, M., G. CERRETELLI & D. PIMENTEL (1992): Assessment of Different Agricultural Production Practices. *Ambio* XXI (7); 451-459.
- GILLIESON, D., F. OLDFIELD & A. KRAWIECKI (1986): Records of Prehistoric Soil Erosion from Rock-Shelter Sites in Papua New Guinea. *Mount. Res. & Dev.* 6 (4); 315-324.
- GORHAM, E. (1989): Scientific Understanding of Ecosystem Acidification: A Historical Review. *Ambio* XVIII (3); 150-154.
- GRS (1987): Neuere Erkenntnisse zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl. Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS)mbH, GRS-S-40.
- HAMILTON, L. S. (1987): What are the Impacts of Himalayan Deforestation on the Ganges Brahmaputra Lowlands and Delta? - Assumptions and Facts. *Mount. Res. & Dev.* 7 (3); 256-263.
- HARDEN, C. (1988): Mesoscale estimation of soil erosion in the Rio Ambato drainage, Ecuadorian Sierra. *Mount. Res. & Dev.* 8 (4); 331-341.
- HARDEN, C. (1991): Andean Soil Erosion. *Nat. Geogr. Res. & Expl.* 7 (2); 216-231.
- HARRISON, P. (1983): Land and people, the growing pressure. *Earthwatch* No. 13.

- HEINE, K. (1978): Mensch und geomorphodynamische Prozesse in Raum und Zeit im randtropischen Hochbecken von Puebla/Tlaxcala, Mexiko. 41. dt. Geogr.-Tag Mainz, Tagungsber. u. wiss. Abh., Wiesbaden; 390-406.
- HEINE, K. (1983): Bodenabtrag in Zentralmexiko: Messungen - Extrapolationen - Geomorphologisch-sedimentologische Befunde. *Geogr. Ztschr.* 71 (1); 28-40.
- HEINE, K. (1983): Outline of Man's Impact on the Natural Environment in Central Mexico. *Jahrbuch f. Geschichte v. Staat, Wirtschaft u. Gesellschaft Lateinamerikas* 20; 121-131.
- HEINE, K. (1987a): Anthropogenic Sedimentological changes during the Holocene in Southern Africa. *Striae* 26; 41-50.
- HEINE, K. (1987b): Anthropogenic sedimentological changes during the Holocene in Mexico and Central America. *Striae* 26; 51-63.
- HEINE, K. (1988): Klimagang, Geomorphodynamik und Kulturentwicklung in Zentralmexiko. *Jb. Geogr. Ges. Hannover* 1988; 189-211.
- HEINE, K. (1993): Warmzeitliche Bodenbildungen im Bölling/Alleröd im Mittelrheingebiet. *Decheniana* 146 (*im Druck*).
- HEMPEL, L. (1979): Wenn der Boden zum Skelett abmagert. Die Lebensbasis der Mittelmeerländer ist in Gefahr. *Umschau* 79 (13); 405-411.
- HILLER, D.A. & W. BURGHARDT (1993): Neues Leben im toten Boden. *Die Geowissenschaften* 11 (1); 10-16.
- HOFMANN-SCHIELLE, C. (1988): Bodenkundliche Untersuchungen in den Hochlagen des Bayerischen Waldes unter besonderer Berücksichtigung des Mineralkörpers. Diss. LMU München, Forstwiss. Fak..
- HURMI, H. (1988): Degradation and Conservation of the resources in the Ethiopian highlands. *Mount. Res. & Dev.* 8 (2/3); 123-130.
- IGBP (1992): Global Change: Reducing Uncertainties. International Geosphere-Biosphere Programme, The Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.
- JACOBSON, N.K. (1987): Studies on soils and potential for soil erosion in the sheep farming area of South Greenland. *Arctic & Alpine Res.* 19 (4); 498-507.
- JANSEN, M.B. (1980): Land erosion by water in different climates. Uppsala University, Dept. Phys. Geogr., UNGI Rapport 57.
- JÜRGENS, C. & M. FANDER (1992): Soil erosion assessment and simulation by means of satellite remote sensing and ancillary digital data. *GIS* 4; 27-31.
- KADOMURA, H. (1980): Erosion by Human Activities in Japan. *Geo Journal* 4.2; 133-144.
- KERN, R.A. & W. SCHLESINGER (1992): Carbon stores in vegetation. *Nature* 357; 447-449.
- KIRCH, P.V., J.B. FLENLEY, D.W. STEADMAN, F. LAMONT & S. DAWSON (1992): Ancient Environmental Degradation. Prehistoric Human Impacts on an Island Ecosystem: Mangaia, Central Polynesia. *Nat. Geogr. Res. & Expl.* 8 (2); 166-179.
- KLAUS, D. (1986): Desertification im Sahel. *Geogr. Rdsch.* 38 (11); 577-583.

- KÖHLER-ROLLEFSON, I. & G.O. ROLLEFSON (1990): The impact of Neolithic subsistence strategies on the environment: The case of Ain Ghazal, Jordan. In: BOTTEMA, ENTJES-NIEBORG & VAN ZEIST (eds.): *Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Land-landscape*, Rotterdam, 3-14.
- KOSTER, E.A. & M.E. NIEUWENHUIJZEN (1992): Permafrost Response to Climatic Change. *Catena Suppl.* 22; 37-58.
- KULANDER, L. & L. STRÖMQUIST (1989): Exploring the use of top-soil ^{137}Cs content as indicator of sediment transfer rates in a small Lesotho catchment. *Z. Geomorph.* 33 (4); 455-462.
- KUNG, H. & L. YING (1990): Heavy metal concentrations in soils and crops of Baoshan-Wusong area, Shanghai, China. *Catena* 17 (4/5); 417-430.
- LAL, R. (1988): Soil erosion by wind and water: problems and prospects. R. LAL (ed.): "Soil erosion Research Methods", Soil and Water Conservation Society, Ankeny (Iowa), 1-8.
- LAL, R., G.F. HALL & F.P. MILLER (1989): Soil Degradation: I. Basic Processes. *Land Degradation & Rehabilitation* 1; 51-69.
- LAUER, W. (1981): Klimawandel und Menschheitsgeschichte auf dem mexikanischen Hochland. *Akad. Wiss. Lit. Mainz, Abh. math.-nat. Kl.*, Jg. 1981, Nr. 2, 1-50.
- LAUER, W. & M.D. RAFIQPOOR (1987): Das Erdbeben in Ecuador vom 5.3.1987 und seine geographischen Auswirkungen. *Erdkunde* 41; 286-298.
- LEENAERS, H., J.P. OKX & P.A. BURROUGH (1990): Comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. *Catena* 17 (6); 535-550.
- LEWIS, L.A. (1988): Measurement and assessment of soil loss in Rwanda. *Catena Suppl.* 12; 151-165.
- LEWIS, T. (ed.) (1992): Climatic Change Inferred From Underground Temperatures. *Global & Planetary Change (Special Issue)* 6; 71-281.
- LIEDTKE, H. (1987): Bodenerosion und Bodenabtrag in Fidschi. *Münster. Geogr. Arb.* 27; 43-56.
- LIKENS, G.E. & F.H. BORMANN (1974): Acid rain: a serious regional environmental problem. *Science* 184; 1176-1179.
- LÖFFLER, E. (1972): Beobachtungen über Abtragungsvorgänge im immerfeuchten tropischen Regenwald des Vanimo-Gebiets, Neuguinea. *Pet. Geogr. Mitt.* 116 (4); 267-272.
- LOUGHRAN, R.J., B.L. CAMPBELL & D.E. WALLING (1987): Soil erosion and sedimentation indicated by Caesium 137; Jackmoor Brook catchment, Devon, England. *Catena* 14 (3); 201-212.
- MÄCKEL, R. & D. WALTHER (1984): The age and geomorphological interpretation of late Pleistocene and Holocene deposits in the Nyiru-Ndofos mountain region and adjacent plains, northern Kenya. *Palaeoecology of Africa* 16; 343-350.
- MALMER, N. (1992): Peat Accumulation and the Global Carbon Cycle. *Catena Suppl.* 22; 97-110.
- MARCUS, J. (1992): Political Fluctuations in Mesoamerica. *Dynamic Cycles of Mesoamerican States. Nat. Geogr. Res. & Expl.* 8 (4); 392-411.

- MARTZ, L.W. & E. DE JONG (1987): Using Caesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian Prairie landscape. *Catena* 14 (5); 439-451.
- MARTZ, L.W. & E. DE JONG (1990): Natural Radionuclides in the Soils of a Small Agricultural Basin in the Canadian Prairies and their Association with Topography, Soil Properties and Erosion. *Catena* 17 (1); 85-96.
- MARTZ, L.W. & E. DE JONG (1991): Using Cesium-137 and Landform Classification to Develop a Net Soil Erosion Budget for a small Canadian Prairie Watershed. *Catena* 18 (3/4); 289-308.
- MATTIGOD, S.V. & A.L. PAGE (1983): Applied Environmental Geochemistry. London.
- MESSERLI, B. (1992): Umwelt im Wandel. Dynamik und Risiken von der lokalen bis zur globalen Ebene. *Geogr. Rdsch.* 44 (12); 727-731.
- MITCHELL, J.F.B., S. MANABE, V. MELESHKO & T. TOKIOKA (1990): Equilibrium Climate Change and its Implications for the Future. J.T. HOUGHTON, G.J. JENKINS & J.J. EPHRAUMS (eds.): "Climate Change, The IPCC Scientific Assessment"; 130-172.
- MOEYERSONS, J. (1990): Soil loss by rainwash: a case study from Rwanda. *Z. Geomorph.* 34 (4); 385-408.
- MUHS, D.R., C.A. BUSH & K.C. STEWART (1990): Geochemical Evidence of Saharan Dust Parent Material for Soils Developed on Quaternary Limestones of Caribbean and Western Atlantic Islands. *Quat. Res.* 33 (2); 157-177.
- MÜLLER, B. (1983): Untersuchungen zur Bodenerosion im Gebiet des oberen Wenzelbachs. Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Universität Regensburg.
- NEDOSPASOV, A.A. & A.V. CHERKASOV (1993): Radioactivity of snake venom. *Nature* 361; 409.
- NILLER, H.-P. (1993): Tonmineralogische und bodenchemische Untersuchungen zum Versauerungsgrad von Löß-Parabraunerden ausgewählter Waldstandorte südlich von Regensburg. Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Universität Regensburg.
- OECHEL, W.C., S.J. HASTINGS, G. VOURLITIS, M. JENKINS, G. RIECHERS & N. GRULKE (1993): Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. *Nature* 361; 520-523.
- OHRING, G., E.P. MCCLAIN & J.O. ELLIS (eds.) (1991): Operational Satellites: Sentinels for the Monitoring of Climate and Global Change. *Global & Planetary Change* 4 (1-3); 1-328.
- PAGE, A.L. & E. STEINNES (1990): Atmospheric Deposition as a Source of Trace Elements in Soils. *Global & Planetary Change* 2 (1/2); 141-148.
- PASSARGE, S. (1904): Die Kalahari. Berlin.
- PECHER, K. (1992): Schadstoffe auch in Polargebieten? Organochlorverbindungen als Indizien globaler Umweltverschmutzung. *Geogr. Rdsch.* 44 (4); 231-236.
- PERL, J. (1990): Exakte Erfassung des Bodenabtrags durch Wind. *Die Geowissenschaften* 8 (4); 103-105.
- PICKERING, W.F. (1986): Metal ion speciation - soils and sediments (a review). *Ore Geology Reviews* 1; 83-146.

- PLATE, E.J. (ed.) (1992): Weiherbach-Projekt. Prognosemodell für die Gewässerbelastung durch Stofftransport aus einem kleinen ländlichen Einzugsgebiet. Schlußbericht zur 1. Phase des BMFT-Verbundprojektes. Inst. Hydrologie u. Wasserwirtschaft, Univ., Karlsruhe, H. 41.
- PRANTL, M. (1986): Die Analyse ausgewählter Niederschlagsinhaltsstoffe in Regensburg und im Einzugsgebiet des Otterbaches. Räumliche Verteilung in Abhängigkeit von Luftverunreinigungen und Wettereinflüssen. Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Univ. Regensburg.
- RADTKE, U., R. GAIDA & K.-H. SAUER (1990): Verteilung der Schwermetalle Blei und Zink in unterschiedlichen Böden entlang der Bundesautobahn 46 zwischen Düsseldorf und Wuppertal im Raum Haan/Hilden. *Acta Biol. Benrodis* 2; 173-190.
- RATHJENS, C. (1979): Die Formung der Erdoberfläche unter dem Einfluß des Menschen. Stuttgart.
- RICHTER, G. (1976): Eine Übersichtskarte der mittleren Bodenerosionsgefährdung für die Bundesrepublik Deutschland. G. RICHTER (ed.), "Bodenerosion in Mitteleuropa", Darmstadt; 361-382.
- RICHTER, G. (1987): Investigations of soil erosion in Europe. C.P. BURNHAM & J.I. PITMAN (eds.): "Soil Erosion", *Seesoil* 3; 14-27.
- RODHE, H. (1989): Acidification in a Global Perspective. *Ambio* XVIII (3); 155-160.
- SARNTHEIN, M., J. THIEDE, U. PFLAUMANN, H. ERLKENFEUSER, D. FALTERER, B. KOOPMANN, H. LANGE & E. SEIBOLD (1982): Atmospheric and oceanic circulation patterns of northwest Africa during the past 25 million years. In: U. VON RAD ET AL. (eds.): "Geology of the Northwest African Continental Margins". Berlin, 545-604.
- SCHARPENSEEL, H.W. & H. BECKMANN (1975): Schwermetalluntersuchungen an terrestrischen, hydromorphen und subhydriken Böden aus ländlichen sowie stadt- und industrienahen Bereichen. *Landwirtsch. Forsch.* 28 (2); 128-134.
- SCHARPENSEEL, H.W., M. SCHOMAKER & A. AYOUB (eds.) (1990): Soils on a warmer earth. Effects of expected climate change on soil processes, with emphasis on the tropics and sub-tropics. *Developments in Soil Science* 20, Amsterdam.
- SCHLAAK, P. (1986): Die aktuellen Werte der Radioaktivität der Luft und des Niederschlagswassers in Berlin-Dahlem (FU) nach der Reaktor-Katastrophe am 25./26. April 1986 in Tschernobyl bei Kiew in der UdSSR im Vergleich zu den Messungen in den vergangenen drei Jahrzehnten. Beilage zur Berliner Wetterkarte 51/86, SO 12/86 (15.5.1986); 1-4.
- SCHRÖDER, H. (1992): Bodenerosive Landschaftsschäden in Fernerkennungsaufzeichnungen. *Bonner Geogr. Abh.* 85; 53-67.
- SCHWARTZMAN, D.W. & T. VOLK (1991): Biotic enhancement of weathering and surface temperatures on earth since the origin of life. *Global and Planetary Change* 4 (4); 357-371.
- SCHWERTMANN, U., R.J. RICKSON & K. AUERSWALD (eds.) (1988): Soil Erosion Protection Measures in Europe. *Soil Technology Series* 1.
- SENDTNER, R. (1985): Untersuchungen zur Bodenversauerung im Donaustauffer Forst. Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Univ. Regensburg.

- H/A.D.
- SHARMA, P.D., A.K. GOEL & R.S. MINHAS (1991): Water and sediment yields into the Sutlej River from the High Himalaya. *Mount. Res. & Dev.* 11 (2); 87-100.
- SIEBERT, S.F. (1990): Hillside Farming, Soil Erosion, and Forest Conservation in Two Southeast Asian National Parks. *Mount. Res. & Dev.* 10 (1); 64-72.
- SIGURDSSON, H., S. CAREY, W. CORNELL & T. PESCATORE (1985): The Eruption of Vesuvius in ~~B.C.~~ 79. *Nat. Geogr. Research* 1 (3); 332-387.
- SMITH, T.M. & H.H. SHUGART (1993): The transient response of terrestrial carbon storage to a pertubated climate. *Nature* 361; 523-526.
- STARKEL, L. (1987): Man as a Cause of Sedimentological changes in the Holocene. *Striae* 26; 5-12.
- STEINER, F. (1987): Soil Conservation Policy in the United States. *Environmental Management* 11 (2); 209-223.
- STRAKHOV, N.M. (1967): Principles of Lithogenesis, Vol. I., Edinburgh-London.
- SÜSSER, P. (1987): Art, Menge und Wirkungsweise der Puffersubstanzen in Mineralbodenhorizonten forstlich genutzter Böden des Fichtelgebirges. Diss. TU München, Fak. Landwirtschaft und Gartenbau (Lehrstuhl Bodenkunde), Weihestephan.
- SUTHERLAND, R.A. (1991a): Caesium-137 and sediment budgeting within a partially closed drainage basin. *Z. Geomorph.* 35 (1); 47-63.
- SUTHERLAND, R.A. (1991b): Selective erosion and sediment source, identification, Baringo District, Kenya. *Z. Geomorph.* 35 (3); 293-304.
- SUTHERLAND, R.A. & E. DE JONG (1990): Quantification of Soil Redistribution in Cultivated Fields, Using Caesium 137, Outlook, Saskatchewan. *Catena Suppl.* 17; 177-193.
- SWAP, R., M. GARSTANG, S. GRECO, R. TALBOT & P. KALLBERG (1992): Saharan Dust in the Amazon Basin. *Tellus* 44 B (2); 133-149.
- TAMM, C.O. & L. HALLBÄCKEN (1988): Changes in Soil Acidity in Two Forest Areas With Different Acid Deposition; 1920s to 1980s. *Ambio* XVII (1); 56-61.
- TRAIIDL, R. (1991): Untersuchungen zum Aufbau, zur Verbreitung, Differenzierung und Genese periglazialer Deckschichten sowie deren Bedeutung für die Bodenentwicklung im östlichen Teil des Naabgebirges. Unveröff. Diplomarbeit (Phys. Geogr.), Universität Regensburg.
- TUCKWELL, H.C. & J.A. KOZIOL (1992): World population. *Nature* 359; 200.
- UNESCO (1974): Gross Sediment Transport into the Oceans. First preliminary edition; Paris
- VEERHOFF, M. & G. BRÜMMER (1989): Silicatverwitterung und Tonmineralumwandlung in Waldböden als Folge von Versauerungsprozessen. *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.* 59/II; 1203-1208.
- VERSTRAETE, M.M. & S.A. SCHWARTZ (1991): Desertification and global change. *Vegetatio* 91; 3-13.
- VOGEL, J.S., W. CORNELL, D.E. NELSON & J.R. SOUTHON (1990): Vesuvius/Avellino, one possible source of seventeenth century BC climatic disturbances. *Nature* 344; 534-537.
- VÖLKEL, J. (1992): Deckschichten und Bodenentwicklung im Bayerischen Wald. Erste Ergebnisse radioökologischer Untersuchungen. *Bonner Geogr. Abh.* 85; 130-148.

- VÖLKELE, J. & B. SENFT (1992): Radioaktive Kontamination der Böden im Bayerischen Wald, Raum Zwiesel-Bayerisch Eisenstein. In: K.O. HONIKEL & H. HECHT (Hrsg.): "Radiocäsium in Wald und Wild - Vorträge, gehalten beim Dreiländertreffen am 23.-24. Juni 1992 im Nationalpark Bayerischer Wald, St. Oswald." Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach; 3-18.
- WALLING, D.E. (1988): Measuring sediment yield from river basins. R. LAL (ed.): "Soil Erosion Research Methods", Soil and Water Conservation Society, Ankeny (Iowa); 39-74.
- WALTER, H. & S.W. BRECKLE (1984): Spezielle Ökologie der Tropischen und Subtropischen Zonen. Ökologie der Erde II. Stuttgart.
- WANIA, F. & D. MACKAY (1993): Global Fractionation and Cold Condensation of Low Volatility Organochlorine Compounds in Polar Regions. *Ambio* XXII (1); 10-18.
- WEBB, R.S. & J.T. OVERPECK (1993): Carbon reserves released? *Nature* 361; 497-498.
- WEISCHET, W. (1984): Agrarwirtschaft in den feuchten Tropen. *Geogr. Rdsch.* 36 (7); 344-351.
- WEISCHET, W. (1990): Das Klima Amazoniens und seine geoökologischen Konsequenzen. *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br.* 80; 59-91.
- WHALEN, S.C. & W.S. REEBURGH (1990): Consumption of atmospheric methane by tundra soils. *Nature* 346; 160-162.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook 537, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- ZACHAR, D. (1982): Soil erosion. Amsterdam-Oxford-New York.