

SP  
56



# Erosion – eine globale Gefahr

1

Franz Kollmannsperger





# Erosion – eine globale Gefahr

Franz Kollmannsperger

Eschborn 1979

Herausgeber :

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1, Postfach 5180, 6236 Eschborn 1

Druck: typo-druck-roßdorf ohg, Bruchwiesenweg 19, 6101 Roßdorf 1.

Printed in Germany

Titel - Nr. 92-2312

## Vorbemerkung

Das Titelbild zeigt eine „Mondlandschaft“. Es wurde aufgenommen bei Tarija in Bolivien, einem Tal, das sich noch vor wenigen Jahrzehnten als intaktes Ökosystem präsentierte.

Schluffige Böden nacheiszeitlichen Ursprungs, extreme Niederschlagsverhältnisse mit einer Konzentration auf wenige Tage und Monate des Jahres, traditionelle extensive Beweidung, irrationelle Ackerbautechniken ohne Terrassenbau und Bodenbedeckung, intensive Brennholznutzung für häusliche und industrielle Zwecke, verstärkt durch den ständig zunehmenden Bevölkerungsdruck, führten zu einer großflächigen Zurückdrängung der Vegetationsdecke und zum Voranschreiten der Flächen- und Streifen-erosion. Sedimentation von Flüssen und Staubecken, ständige Bedrohung der Infrastruktur und der Siedlungen, Abnahme der Bodenfruchtbarkeit, Reduzierung der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf 6,5% der ursprünglichen Anbaufläche bilden einen Teufelskreis, der von Bolivien nicht aus eigener Kraft durchbrochen werden kann. Deshalb wurde an die Bundesrepublik Deutschland der Antrag auf Technische Zusammenarbeit bei der Planung und Durchführung agroforstlicher Sanierungsmaßnahmen gestellt.

Wiederaufforstung, Wildbachverbauung, kontrollierte Beweidung, Einschränkung der Brennholzgewinnung, angepaßte Landbau- und Bewässerungstechniken unter Beteiligung der Landbevölkerung sind vorgesehen.

Die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH erwartet, daß sich ein solcher multidisziplinärer Ansatz zur Rehabilitierung degradierter Böden bei gleichzeitiger Nahrungsmittel-, Futter- und Energieproduktion zu einem Schwerpunkt-Projekttyp entwickeln wird. Besonders drängend sind derartige Maßnahmen in den Bergregionen der Tropen. – Die GTZ führt derzeit über 40 ähnliche Projekte durch bzw. bereitet sie vor.

Aus diesem Grunde wird die vorliegende Arbeit von Franz Kollmannsperger von der GTZ herausgegeben. Sie faßt in leicht überschaubarer und klarer Form die Grundlagen und die komplexe Verkettung der Ursachen zusammen, die zu den verheerenden Erosionserscheinungen führen.



Es darf angenommen werden, daß die Broschüre als theoretisches Hilfsmittel für alle mit der Erosionsproblematik befaßten Personen und Projekte dienen wird.

Die GTZ ist der Boehringer Mannheim GmbH, die das Copyright einer früheren Publikation im Rahmen des Mannheimer Forums 78/79 freundlicherweise zur Verfügung stellte, zu besonderem Dank verpflichtet.

Eschborn,  
September 1979

O. Frhr. v. Grotthuss  
GTZ-Fachbereich Forst- und Holzwirtschaft

## Erosion – eine globale Gefahr

FRANZ KOLLMANNSPERGER

### 1. Die Situation

1974 stellte ein amerikanischer Satellit im Golf von Bengalen mit Infrarotaufnahmen eine riesige Untiefe von  $> 50\,000\text{ km}^2$  Größe fest. Sie besteht aus dem Schlamm, den Brahmaputra und Ganges im Meer absetzen\*. Der Bodentransport der Flüsse übertrifft nach neuesten Erkenntnissen alle bisherigen Vermutungen.

Das Material stammt aus dem Himalaya. »The change is man-made, and could alter the lives of about 100 million people for the worse, as tens of millions have already learned«. Schon haben die Midlands im Himalayastaat Nepal, früher ein Waldland, nur noch 10–15% Wald, im Osten etwas weniger, im Westen etwas mehr. Auch der Himalaya verliert sein Waldkleid. Dieser Wald hatte mit seinen intakten Böden bisher einen Großteil der Monsunregen gebunden und den Wasserhaushalt in ein Gleichgewicht gesetzt.

Schon 1928 hatte die Konferenz von Dhera Dun warnend auf die Folgen der Waldzerstörung im indischen Himalaya für das Bergland und für die Ebene des Indus und des Ganges hingewiesen: zunehmende Erosion, progressive Austrocknung der Böden, Absinken des Grundwassers im Vorland, Verlust der Bodenfruchtbarkeit, Verarmung der Bevölkerung. Seither sind 50 Jahre vergangen. Die Bevölkerung hat sich verdoppelt und wird sich in den nächsten 30 Jahren wiederum verdoppeln. Dann kommen alle Hilfsmaßnahmen zu spät. Schon jetzt ist das Ausmaß entwaldeter, von der Erosion bis aufs Gestein entblößter Hänge katastrophal groß.

\* Cl. STERLIN: »Nepal« in »Atlantics«, Oktober 1976.



Kurz nach dem Zweiten Weltkrieg informierte der englische Botaniker E.P. STEBBING, der im Auftrag der UNESCO die Südsahara bereist hatte, die Öffentlichkeit darüber, daß die größte Wüste der Erde im Gebiet des mittleren Niger jährlich um 1 Kilometer nach Süden vordringe.

In einer alten Chronik berichtet der arabische Historiker MOHAMMED KATI von einer Pilgerreise, die er 1497 im Gefolge des Regenten von Timbuktu nach Mekka unternahm. Diese Reise führte mit dem ganzen Hofstaat des Fürsten und mit 1500 Soldaten, darunter 500 Reitern, von Gao am Niger über Agades nach Bilma, durch die Landschaft Borku südlich des Tibestigebirges, am Ennedigebirge entlang durch die Wüste des Sudan nach Omdurman am Nil. Heute liegt diese ganze Route in der Wüste und ist für Reiter nicht mehr benutzbar. Es gibt weder Wasser noch Weide. Die Wüste ist in den seit KATIS Pilgerfahrt vergangenen 480 Jahren um mindestens 400 Kilometer nach Süden vorgestoßen. Nach neuesten Berichten soll sie jetzt stellenweise jährlich bis zu 3 Kilometer Land nach Süden gewinnen.

Im April 1976 sah ich im südlichen Nepal auf einer Fahrt durch den Terai, daß ein verhältnismäßig kleiner Fluß, der Lothar-River, an der Austrittsstelle in die Ebene die Straße weggerissen und den größten Teil der Felder eines Dorfes weggewaschen oder zugeschottert hat. Die Bauern mußten das Dorf verlassen und neues Land suchen.

Abtragung und Überschotterung sind die Folge der Waldzerstörung im Einzugsgebiet des Lothar-River in den Siwalik-Bergen. Bisher bot der Terai im Süden Nepals noch unberührte Wälder und fruchtbare Böden. Es ist klar, daß sich jetzt eine Flut landloser Bauern in dieses Waldland der Ebene und der Siwalik-Kette mit Gipfelhöhen bis zu 1500 m ergießt. Luftaufnahmen zeigen, daß beispielsweise 1972 nur noch 69% der Waldflächen von 1964 vorhanden waren, daß in 8 Jahren ein Waldverlust von 31% entstand. Wenn die Einwanderung im bisherigen Ausmaß anhält – und es besteht kein Grund, daran zu zweifeln – dann ist der Terai innerhalb der nächsten 10–15 Jahre voll besetzt.

Nach nepalischen Berichten erhöhen sich die Betten der Terai-flüsse durch Ablagerungen in den Ebenen jährlich um etwa 15–30 cm. Das führt zu Überschwemmungen und zu Flußbettverlagerungen. So hat der Kosi-River im indischen Staat Bihar

15 000 km<sup>2</sup> fruchtbaren Landes unter Sand und Schotter begraben. 6,5 Millionen Menschen wurden zur Abwanderung gezwungen. In den Ebenen kommen zu den Schäden durch Sedimentablagerungen nach der Entwaldung noch die Schäden durch Winderosion hinzu.

C. RATHJENS beschreibt die semiariden Gebiete der Wüste Tharr an der indisch-pakistanischen Grenze als eine *man-made desert* durch Überbeweidung und landwirtschaftliche Übernutzung. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Viehdichte und dem Grad der Vegetationszerstörung. Im westlichen Teil, wo geringer Regenfall nur eine geringe Viehdichte zuläßt, ist die Vegetation besser erhalten als im östlichen Teil, wo zwar mehr Regen fällt, dieser Umstand aber auch einen größeren Viehbestand möglich macht. Früher wurden hier in Galeriewäldern Tigerjagden abgehalten. Der Zustand der heutigen Vegetation läßt nicht mehr ahnen, daß so etwas einmal möglich war.

## 2. Die Rolle des Bevölkerungswachstums

Es gibt eine sehr einfache, universale Erklärung dafür, daß sich in der ganzen Welt, und vor allem in den Entwicklungsländern, plötzlich eine katastrophale Änderung der Landschaft, der Vegetation, der Böden und der Fruchtbarkeit abzeichnet und die Trockengebiete auszudehnen beginnen: die sogenannte »Geburtenexplosion«. Die Weltbevölkerung nimmt jährlich um etwa 80 Millionen zu. Täglich vermehrt sie sich um die Einwohnerzahl von 2 Großstädten. Selbst wenn ab sofort nur noch soviel Kinder geboren würden, daß nur noch die Zahl der Eltern ersetzt wird, würde die Weltbevölkerung wegen der höheren Lebenserwartung der heutigen Menschen dennoch zunächst noch weiter ansteigen. Alle in den Entwicklungsländern seit Jahrtausenden erprobten Anbau- und Wirtschaftsmethoden erweisen sich aber als ungeeignet, eine schnell wachsende Bevölkerung zu ernähren. Eine wesentliche Produktionssteigerung ist bisher nur auf den besten und zudem bewässerten Böden möglich. Im allgemeinen haben gute Böden reiche und arme Böden arme Besitzer. Deshalb werden sehr oft die Reichen reicher und die Armen bleiben arm. Es besteht keine andere Wahl, als den Anbau in Gebiete auszudehnen, die sowohl klimatisch als auch biologisch am Rande oder so-



gar jenseits der effektiven Agrargrenze liegen: in semiaride Gebiete mit 2–3 Dürren innerhalb von 10 Jahren; oder in zu große Höhen, wo dem Vegetationszyklus nur eine sehr beschränkte Zeit gegeben ist; oder, was am häufigsten vorkommt, in zu steile Bergänge, wo die Erosion den Anbau gefährdet. In den Gebirgslandschaften erfaßt die Ausdehnung des Anbaus tatsächlich bereits Hänge mit einer Neigung von mehr als 35°. Damit ist die effektive Anbaugrenze definitiv überschritten. Der Hang ist zu steil, die Beete sind zu schmal und die Bodenaufgabe über dem Gestein bei Steilhängen relativ dünn. Bei dieser Art des Anbaus besteht bei Starkregen eine akute Erosionsgefahr.

Die unvermeidliche Vermehrung der Weidetiere stellt neue Ernährungsprobleme, die ohne weitere Zerstörungen der Natur nicht gelöst werden können. Die Antwort auf die Frage, wie die zunehmende Bevölkerung ernährt werden soll, besteht konkret stets in harten Eingriffen in eine Natur, die weltweit schon bis an die Grenzen des Erträglichen genutzt wird.

Das rein agrarische Kathmandubecken in Nepal mit seinen 2 Ernten im Jahr hat nach den Schätzungen der *Town Planning* etwa 2000 Menschen je km<sup>2</sup>. Das ist 4,5 mal die Menschendichte meiner saarländischen Heimat mit Industrie und vielen Arbeitsmöglichkeiten. Wo aber nicht mehr geboten werden kann als die Sicherung der nackten Existenz, da ist das Gefühl einer Verantwortung für Umweltschäden verständlicherweise kaum zu wecken. Da geht es ums Überleben, nicht um Zukunftssicherung. Der Druck auf die Nährfläche wird daher weiterwachsen. Die 1977 ausgesprochene Warnung des Weltbankpräsidenten McNAMARA, daß die Geburtenexplosion eine ebenso ernste Bedrohung der Welt darstelle wie eine nukleare Auseinandersetzung, mag vielen bei uns als pessimistische Vision erscheinen. Aber die Industrieländer sind von den wirtschaftlichen, sozialen und politischen Konsequenzen dieser »Zeitbombe« unausweichbar mitbetroffen. Heute leben nach B. ANDREAE (1976) 70% der Weltbevölkerung in Entwicklungsländern. Etwa 400 Millionen Menschen leiden dort in irgendeiner Form an Hunger. Es ist zu befürchten, daß sich diese Zahl in den nächsten 10 Jahren auf 750 Millionen erhöhen, also nahezu verdoppeln wird. Die Bevölkerung in den Industrieländern nimmt in der gleichen Zeit nur unwesentlich zu. Der Druck auf die Nährfläche wird also speziell in den Entwicklungs-

ländern immer stärker. Entsprechend größer wird die Verantwortung der reichen und technisch überlegenen Industrieländer. Der Erhöhung des Nahrungsbedarfs um etwa 70% wird dann aber nur eine Produktionssteigerung um etwa 50% gegenüberstehen. Nur 33% der festen Erdoberfläche wird landwirtschaftlich im Verhältnis Dauergrasland zu Anbauflächen wie 3:1 genutzt.

In den Agrarländern liegt der Prozentsatz der Agrarflächen mit 31% um 9% niedriger als in den Industrieländern. Die Hälfte allen Getreides wird in den Industrieländern erzeugt, wo nur 1/4 der Menschheit lebt. Dort, wo der größte Nahrungsbedarf vorliegt, wo zumindest zeitweise Hunger herrscht und wo der Druck auf die Nährfläche stetig steigt, sind die Hektarerträge am niedrigsten. Dabei geht in den Industrieländern die Anbaufläche zurück. Die Bundesrepublik verliert täglich mehr als 100 ha Naturland (360 km<sup>2</sup> im Jahr) zugunsten von Wirtschaft, Verkehr und Siedlung.

### 3. Die Zerstörung der Vegetation

Wald ist die mächtigste Entfaltung pflanzlichen Lebens auf der Erde. Er erzeugt, bezogen auf Zeit und Flächeneinheit, mehr organische Substanz als irgendeine andere pflanzliche Biozönose an gleicher Stelle. Zugleich ist Wald auch die Vegetationsform, die am haushälterischsten mit Wasser umgeht. Überall, wo die klimatischen Bedingungen Bäumen eine Dauerexistenz möglich machen, verdrängt der Wald alle anderen Pflanzengesellschaften. Ursprünglich trug die Erde einmal zwei weitgehend geschlossene Waldgürtel, die mehr als 80% aller Waldflächen ausmachten: den nördlichen Waldgürtel von Alaska bis zum Atlantik, von Skandinavien bis Kamtschatka mit der südlich anschließenden Zone der Mischwälder und den tropischen Regenwaldgürtel (Amazonas-, Kamerun- und Kongobecken, Malaysia, Insulinde) mit den lichten Wäldern der sie einschließenden Savannen. Den Übergang zu den Wüsten vermittelten Grasfluren.

Das Bevölkerungswachstum und der damit steigende Holzbedarf haben dazu geführt, daß ein Großteil dieses ursprünglichen Bestandes ohne jeden Gedanken an die Zukunft zerstört wurde. Die Hälfte des Welt-Holzeinschlags dient heute der Gewinnung von Brennholz. Abb. 1 zeigt, daß in den Entwicklungsländern Holz bis



zu 75% (maximal: 90%) als Brennholz mißbraucht wird. Die Nutzung steigt hier, während sie in den Industrieländern sinkt. Holz ist volumen- und gewichtsmäßig ein wichtigerer und häufiger verwendeter Rohstoff als Stahl und Kunststoffe.

Nach E. P. ECKHOLM (1975) werden in Tansania bei einer Bevölkerung von 15 Millionen etwa 27 Millionen Tonnen Holz verbrannt. Das entspricht etwa 56% des Holzeinschlags der Bundesrepublik Deutschland bei nur 25% von deren Bevölkerung. Amerikanische Autoren schätzen den Brennholzverbrauch der Entwicklungsländer auf 1 bis 1,5 t/Jahr/Kopf (Science, 1977). Die Erdölkrise verschlimmert die Situation in der ganzen Welt, weil steigende Ölpreise ein Sinken des Brennholzverbrauchs naturgemäß verhindern. Die Umstellung von Brennholz auf Erdöl würde über 10% der jährlichen Erdölförderung verbrauchen. Das bedeutet, daß auf unabsehbare Zeit Holz der wesentliche Energielieferant für die Dritte Welt bleiben wird mit all den Folgen, die eine Waldvernichtung großen Ausmaßes nach sich zieht. Wie weit die Vegetationszerstörung heute schon fortgeschritten ist, zeigt die Nutzung von getrocknetem Kuhdung als Brennmaterial in Indien und im ehemals walddreichen Nepal.

Der jährliche Zuwachs der Weltbevölkerung um 80 Millionen Menschen verursacht auch einen Bedarf von etwa 12 Millionen zusätzlichen Wohnungen. Bis zum Jahre 2000 müssen nahezu 50% der augenblicklichen Wohnungszahl neu geschaffen werden. Der größte Bedarf besteht wiederum in den Entwicklungsländern. Holz ist dabei ein unentbehrlicher Baustoff. Auch diese Entwicklung geht zu Lasten der Wälder.

Die Vernichtung der ursprünglichen Wälder, vor allem der Bergwälder, im Mittelmeerraum und in Vorderasien hat aus einst reichen Kornkammern (Sizilien, Spanien, Nordafrika) Steppen, Sandwüsten und kahle Felshänge gemacht. Im europäischen Rußland wurden nach J. WECK zwischen 1804 und 1928 etwa 42 Millionen Hektar Wald vernichtet. Dabei gingen mindestens 1 Million Hektar ertragreichstes Schwarzerde-Ackerland durch Erosion verloren.

Die Beispiele lassen sich beliebig vermehren. Nur 30% der Waldbedeckung Südkoreas, die 1970 noch rund 70% der Landesfläche betrug, hat noch Hochstämme. Davon sind nur 1% forstlich genutzt. Alles andere sind degradierte, verbuschte Flächen. Auf

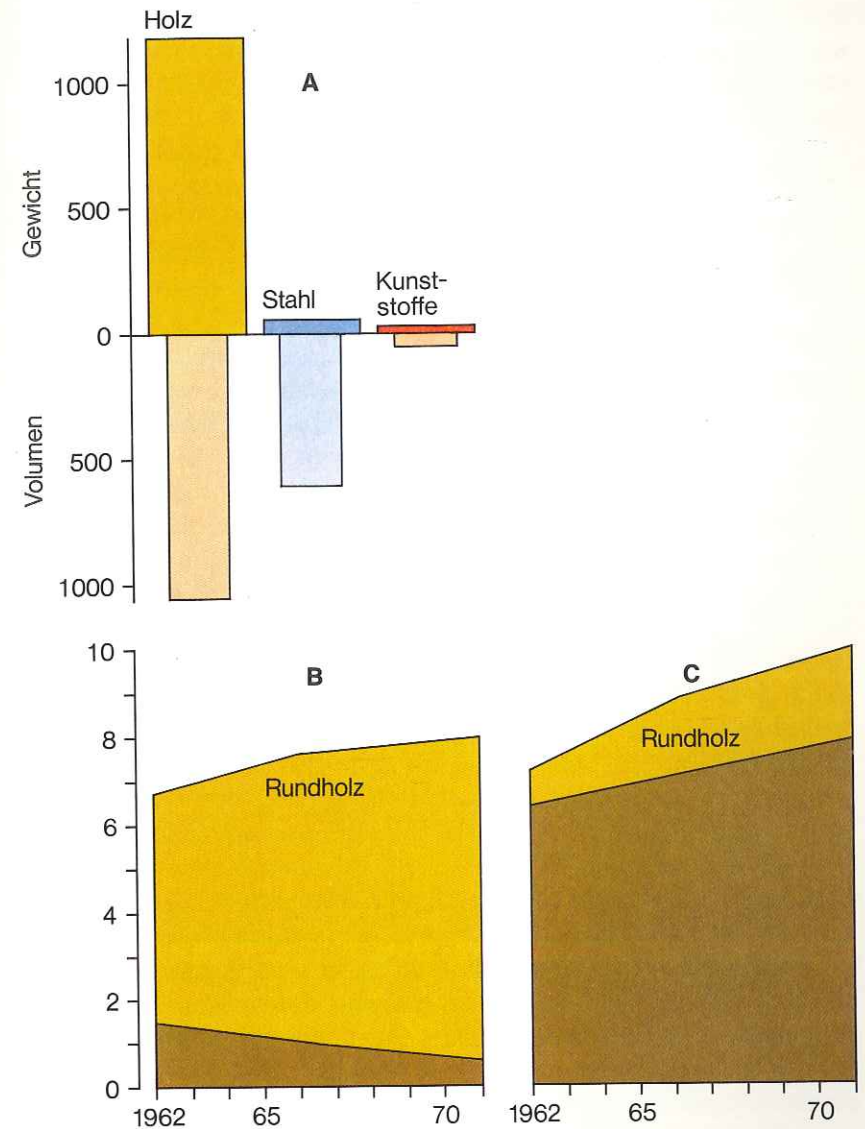


Abb. 1: A = die Weltproduktion von Rundholz, Stahl und Kunststoffen 1971. B = Entwicklung des Rundholzeinschlags im Verhältnis zur Brennholznutzung in Industrieländern und C = in Entwicklungsländern (aus: H. SCHULZ, Der Zwang zur Holzproduktion, 1977).



Madagaskar existieren nach W. RAUH (1973) nur noch 5 Millionen Hektar (8,5 %) der ursprünglichen Vegetation. Unfruchtbare Grasflächen bedecken mehr als 50 % der Insel. Die bedrohliche Zunahme der Erosion und die Änderung des Mikroklimas in Richtung auf zunehmende Trockenheit sind offenbar. Aufforstungen mit Eukalyptus und Kiefern bringen keine Bodenverbesserung und werden vorzeitig genutzt.

Die Karten des indischen Himalaya zeigen ausgedehnte Waldflächen, die nur noch auf dem Papier bestehen. Der Staat bewahrt, zumindest kartographisch, den Anspruch auf Wiederaufforstung der abgeholzten und weitgehend verödeten Hangflächen. Reiseführer, die die Gebirgslandschaften aus veralteter Literatur, aber auch nach neuen Karten beschreiben, versprechen idyllische Schwarzwaldnatur in Gebieten, in denen es schon seit geraumer Zeit nur noch Bergwüsten gibt.

Aber nicht nur die Wälder wurden und werden weiterhin zerstört, auch Savannen und Steppen degradieren. Ich habe auf vielen Reisen in Afrika keine natürliche Savanne und nur an wenigen Arealen noch originäre Steppe angetroffen. Die Verarmung des Bodens und die damit verbundene Zunahme der Trockenheit durch die Zerstörung der natürlichen Vegetationsdecke nehmen bedrohende Ausmaße an.

#### 4. Der ökologische Dreisatz Klima–Boden–Vegetation

Obwohl jeder der 3 Faktoren Boden, Klima und Vegetation für sich aus einem Komplex verschiedener Teilelemente besteht, bilden sie zusammen dennoch eine Einheit. Wie die Zahnräder einer Uhr greifen sie ineinander, beeinflussen sich gegenseitig und schaffen durch den Gleichgewichtszustand der Einzelteile die Harmonie des Ganzen. In diesem Ordnungsgefüge erzeugt das Klima, das nur scheinbar eine selbständige Größe darstellt, auf einem bestimmten Boden eine bestimmte klima- und bodenangepaßte Vegetation, die ihrerseits einen entscheidenden Einfluß auf den Boden nimmt. Dieser wiederum ist hinsichtlich seiner Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, zu speichern, den Pflanzen Nährstoffe anzubieten, sowie durch die Kleinlebewelt (Bakterien, Algen, Pilze, tierische Einzeller, Würmer, Insekten), die er beherbergt, an die Vegetation und das Klima gebunden.

Jeder Boden entwickelt eine bestimmte Resistenz gegen die natürliche Erosion, und zwar in Abhängigkeit von der Vegetation seines Standorts und vom Klima. Erosion wird unmittelbar bewirkt durch den Tropfenfall vor allem der Gußregen. Tropische Niederschläge während der Regenzeit sind meist Gußregen. Wasser kann nur erodieren, wenn es kinetische Energie besitzt: als fallende Regentropfen oder fließendes Wasser. Die Erosion als horizontale Verlagerung der oberen Bodenteile oder des gesamten Bodens durch Wasser oder Wind setzt eine Mobilisierung der Bodenpartikel voraus, bevor diese transportiert werden.

Die von den auf einem nackten Boden aufprallenden Regentropfen freigesetzte Energie ist um ein Vielfaches größer als die Energie, mit der die gleiche Menge Wasser beim Abfluß auf den Boden einwirkt. Die frei werdende Energie hängt ab von der Größe der Tropfen, ihrer Geschwindigkeit, der Regendichte und der Dauer des Regenfalls. Bei Gußregen sind die Tropfen relativ groß. Die einzelnen Regengüsse dauern in den Tropen relativ lange. Die Erosionsquote ist deshalb groß.

Die Regentropfen zerschlagen mit ihrer hohen Energie die Bodenkrümel und verspritzen sie um die Aufschlagstelle. An Hängen geht der Spritzeffekt vor allem hangabwärts. Durch diese Mobilisierung der Kleinpartikel werden die Bodenteile transportabel gemacht. Sie fließen gelöst, suspendiert und auch in fester Form in Richtung des Gefälles ab. In Mitteleuropa sind bei heftigen Gewitterregen auf einer erosionsempfindlichen Brache Mobilisierungseffekte von mehr als 20 Tonnen Boden pro Hektar gemessen worden. Das entspricht einer Bodenhöhe von 1,2 mm. Wieviel vom mobilisierten Bodenmaterial abtransportiert wird, hängt von der Dichte und der Art der schützenden Vegetation, vom Hanggefälle und vom Verhältnis Regendichte zu Bodendurchlässigkeit ab.

Es ist klar, daß die Vegetation als Energieauffänger eine unverzichtbare Rolle spielt. Sie verhindert, wenn sich der Hang talwärts nicht versteilt und die Abflußgeschwindigkeit sich nicht vergrößert, den Abfluß eines großen Teiles der mit dem Oberflächenwasser in Bewegung geratenen Bodenteile. Bei Starkregen auf geringem Gefälle, wenn der größte Teil des Regens vom Boden nicht mehr aufgenommen wird, fließt eine zusammenhängende Wasserschicht mit hohem Anteil an suspendiertem Material breit



ab. Sie kann an Gefällstrecken mit nur wenigen Zentimetern Höhenunterschied Rinnen graben und einen Ackerboden weg-schwemmen.

Das System Klima–Boden–Vegetation ist in den Tropen am la-bilsten. Das bedeutet, daß das Zerstören der Wälder und der künstliche Anbau einer nicht adäquaten Vegetation von Kultur-pflanzen, zwischen denen ein relativ großer Abstand unbedeckten Bodens besteht, hier zu einer progressiven Mobilisierung der Oberböden und zu einer immer größeren Ausmaß annehmenden Erosion führen müssen. Richtig angelegte und kontrollierte Terrassen mit fester Frontseite und einem auf der Talseite verlau-fenden, mindestens 15 cm hohen Erdwall, der das Regenwasser staut und die Fließgeschwindigkeit bremst, hemmen die Erosion und gewinnen durch das Sedimentieren der Suspensionen eine zusätzliche Düngung. Die Wasserausläufe der irrigierten Hang-terrassen müssen aber so angeordnet sein, daß der Niederschlag von länger anhaltenden Wolkenbrüchen ohne Schäden an Beeten und Terrassenwällen abfließen kann. Sehr oft enden die Wasser-ausläufe der untersten Terrassen blind im Hanggelände. Dort setzt die Erosion dann bei stärkeren Regenfällen an und führt zur Bildung von Gullys, die die darüberliegenden Terrassen durch Hangabrutschungen bedrohen.

Die wechselseitige Abhängigkeit der Faktoren Klima, Boden und Vegetation bringt es mit sich, daß eine den Boden größtenteils un-bedeckt lassende Monokultur, vor allem der Anbau von Mais, die Erosion fördert. Die Bauern terrassieren bei Maisanbau die Hänge nicht. Staunässe soll vermieden werden. Die Bodenbedek-kung ist unter Mais besonders schütter.

Natürlicher Wald hat dagegen in der Stamm- und Kronenschicht ein ausgeglichenes Mesoklima, das sich vom Makroklima außer-halb des Schattenschutzes wesentlich unterscheidet. Das Mikro-klima des Bodens, abgeschirmt gegen das Mesoklima des Waldes durch die Streuschicht und die Bodenvegetation, bestimmt ent-scheidend die Bodenstruktur, die Zusammensetzung und Dichte des *Edaphon* (der Mikroflora und -fauna im Boden) und den Kreislauf der Nährstoffe.

Die Wurzeln der Bäume, Sträucher und der Bodenvegetation binden den Boden und erschließen die Nährmineralien in ver-schiedener Tiefe. Die Fruchtbarkeit »jungfräulicher« Waldböden

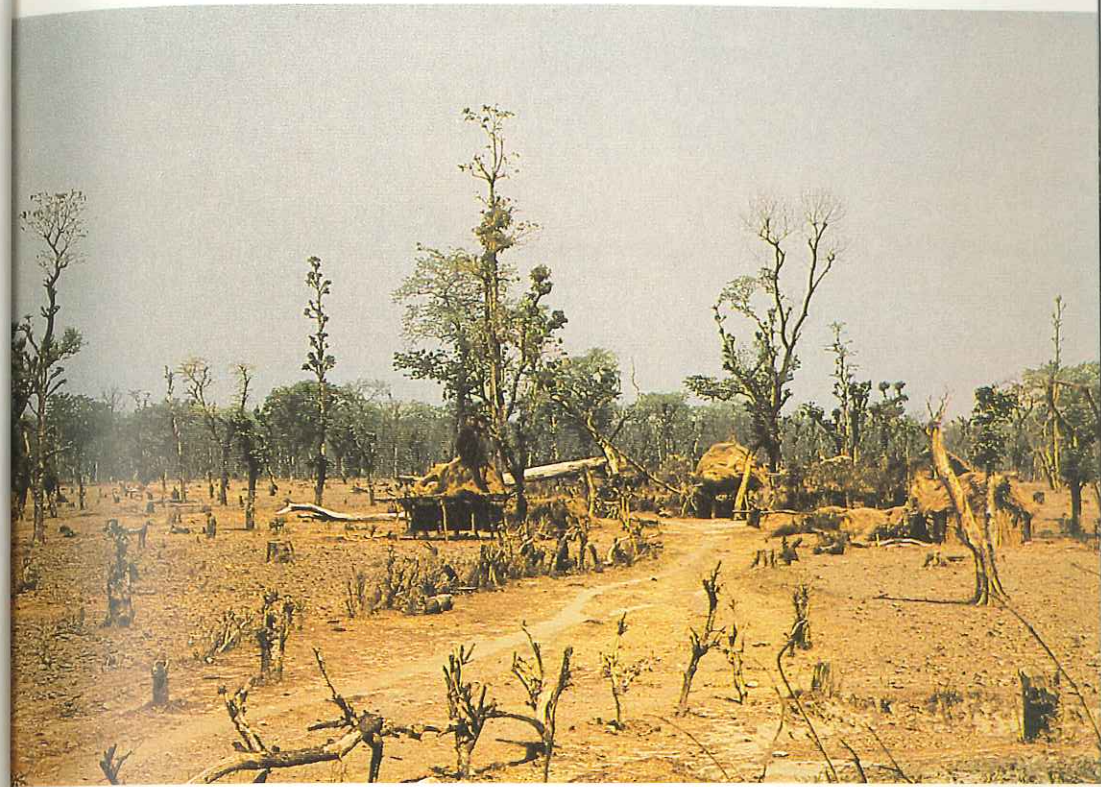
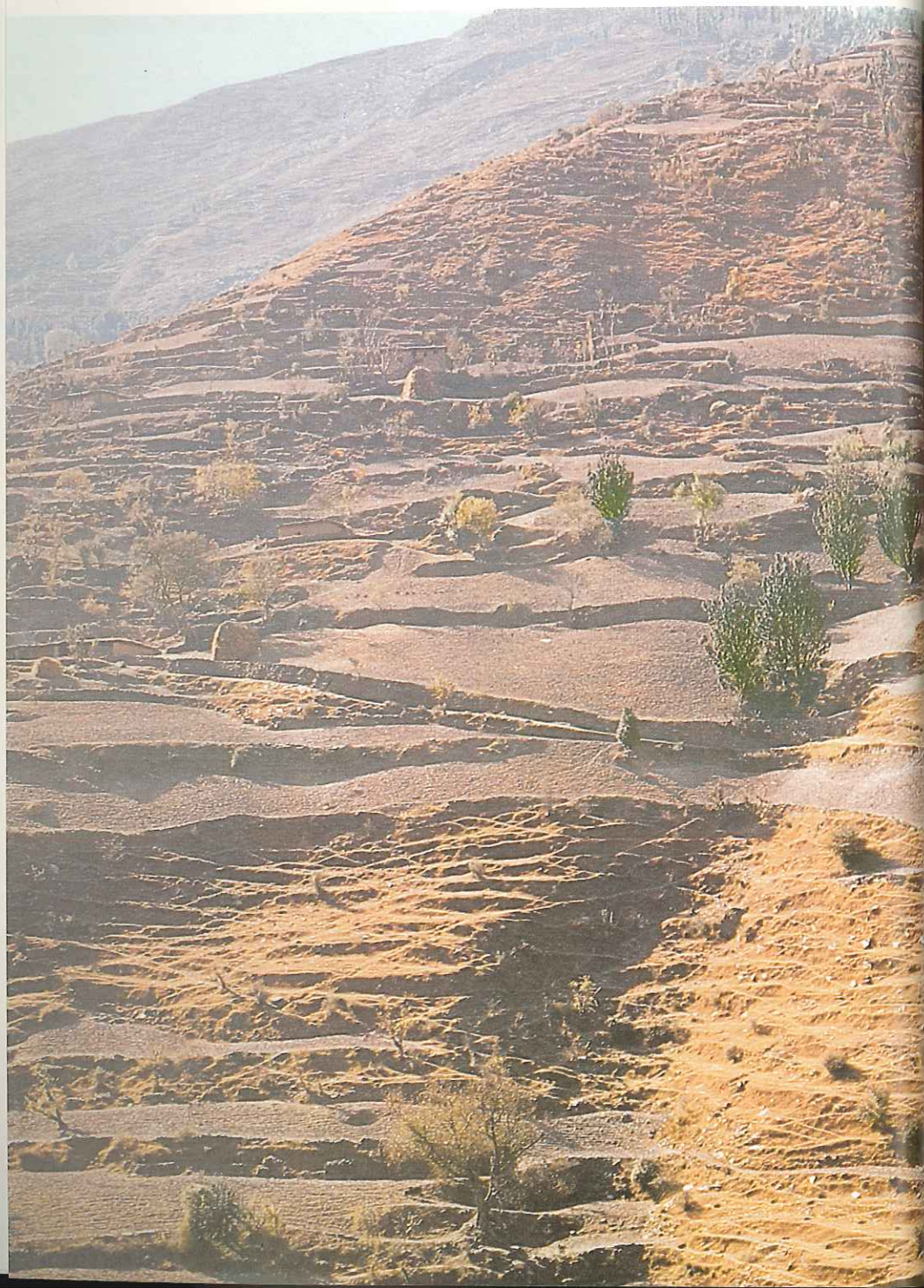


Abb. 2: So beginnt eine Neuansiedlung im Terai (Nepal): Landsuchende Bauern roden den Wald.





*Abb. 4: Nicht ausreichend fest verbaute Terrassenfronten erodieren in kürzester Zeit.*

*Abb. 3: Maisanbau auf Steilhängen in degradierter indischer Landschaft.*





Abb. 5: Bei der Wiederbestellung der Felder im Himalayagebiet werden die Vegetationsreste mit Erde abgedeckt, verbrannt und als Asche im Boden verarbeitet.

in den Tropen wird meist stark überschätzt. Der Umsatz der Nährstoffe (Assimilation, Mineralisation) erfolgt bei dem Treibhausklima tropischer Wälder unvergleichbar schneller als in unseren gemäßigten Breiten. Die Reserve an Nährstoffen steckt in der außerordentlichen Menge der organischen Substanz der Waldvegetation und nicht wie bei uns im Boden.

Das Roden eines Waldes stellt einen folgenschweren Eingriff in das bioökologische Gleichgewicht des von Klima, Boden und Vegetation gebildeten Systems dar. Der Kreislauf der Pflanzennährstoffe, des Humus und des Wassers wird unterbrochen. Boden und Klima ändern sich abrupt und radikal. Das Makroklima bestimmt fortan den Standort. Der seines Erosionsschutzes beraubte Boden verträgt die Sonnenbestrahlung nicht und degradiert, wenn er nicht sehr bald wieder eine schützende Vegetationsdecke erhält. Schon nach 2–3 Jahren sind in den Tropen landwirtschaftlich genutzte Waldböden erschöpft. In Hanglagen setzt dann sofort die Erosion ein.

### 5. Erosion durch Wind

Wind erodiert nur trockene Böden. Deshalb ist die Winderosion ein Phänomen semi- und vollarider Gebiete, in denen die Trockenheit eine geschlossene Pflanzendecke nicht zulässt und der Boden daher nicht durch einen Wurzelverband festgehalten wird. Ackerbau und Viehwirtschaft aber zerstören in den nicht dauerfeuchten Gebieten die Pflanzendecke. Deshalb ist auch die Winderosion heute zum »man-made«-Phänomen geworden. Pflanzenarme Böden sind der atmosphärischen Verwitterung schutzlos ausgesetzt. Die Bodenbestandteile werden zerkleinert und chemisch umgeformt. Bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 15 km/h (in 30 cm Höhe) heben Windwirbel und -walzen das Feinmaterial empor und verwehen es.

Das setzt voraus, daß die Fallgeschwindigkeit der aufgewirbelten Teilchen kleiner ist als die Windgeschwindigkeit. Darüber entscheiden Gewicht und Größe. Teilchen, die kleiner sind als 0,1 mm, werden verweht, also Feinstsande (0,1–0,06 mm), Schluffe (0,06–0,002 mm) und Tone (<0,002 mm). Die Feinstsande und groben bis mittleren Schluffe (0,1–0,006 mm) fallen mit nachlassender Windgeschwindigkeit wieder zu Boden. Alles noch feinere



Material bleibt in der Luft suspendiert und wird in Staubwolken – sofern diese nicht durch Fallwinde oder Regen niedergeschlagen werden – kontinentweit verweht. Löß ist das Produkt solcher Staubverwehungen.

Die Grobsande (2,0–0,5 mm) rollen dagegen, vom Winddruck getrieben, über die Bodenoberfläche, wobei sie einen Teil ihrer kinetischen Energie auf noch ruhende Sandkörner übertragen und so in der Art eines Additionseffektes immer mehr Sandkörner mobilisieren. Die mittleren und feinen Sande (0,5–0,1 mm) springen, das heißt, sie werden zunächst emporgewirbelt und fallen, weil ihre Verwehungsgeschwindigkeit kleiner ist als die Anziehungskraft der Erde und ihr Luftwiderstand, in einer gestreckten Kurve zum Boden zurück, wobei sie auch größere Körner zum Rollen oder Springen mobilisieren und Feinstmaterial der Suspension im Wind übergeben.

Sehr feinkörniges Bodenmaterial ist wegen der größeren Kohäsion der Teilchen durch Wind oder Wasser schwer in Bewegung zu bringen. Wo Vegetation die Windgeschwindigkeit in Bodennähe bremst und Wurzeln den Boden verfestigen, ist Erosion eine Ausnahme. Weil in den semiariden Gebieten mit zunehmender Trockenheit die Pflanzendecke lichter wird, kann der Wind erosiv eingreifen. In diesen Gebieten wirkt jede Bodenentblößung durch Ackerbau und intensive Weide folglich zwangsläufig erosionsfördernd.

Die land- oder weidewirtschaftliche Nutzung von Gebieten mit langer Trockenheit ohne kontrollierte Vorsorge- und Schutzmaßnahmen kann daher nur als »Selbstverwüstung« bezeichnet werden. Im Sandstrahlgebläse der wehenden und springenden Sandkörner verschwindet jede nicht eigens angepaßte Vegetation. Ungestörten Steppen und Savannen schaden auch Dürreperioden nicht, solange perennierende Pflanzen existieren. Der Umbruch dieser gegen Pflanzenverarmung so empfindlichen Böden beim Anbau einjähriger Kulturpflanzen führt dagegen zur Zerstörung aller Dauerpflanzen und überläßt die nackten abgerenteten Felder ungeschützt Regen und Wind.

Nach LOBEK (1939) kann ein Staubsturm mittlerer Heftigkeit in einem Kubikmeter Luft etwa 1 g Staub als Schwebefracht mit sich führen. In diesem Fall würden in jedem Luftwürfel von 1 Kilometer Länge 1000 Tonnen Boden verfrachtet.

Von 1950–60 wurde die Ackerfläche in der UdSSR um  $\frac{1}{4}$ , in Kasachstan auf das Dreifache ausgedehnt. Dann trat unvermeidbar das ein, was die Amerikaner schon 3 Jahrzehnte früher erlebt hatten: 1970 waren in den südrussischen Steppen fast 50% des Bodens mäßig bis stark erodiert. Insgesamt wurden in der UdSSR etwa 2 Millionen Quadratkilometer, also etwa die achtfache Fläche der Bundesrepublik, in verschiedenem Ausmaß durch Erosion geschädigt. Zur Zeit versucht man mit großzügig angelegten Flußstauungen und -umleitungen, Aufforstungen und Anlagen von Waldstreifen das gefährdete Land zu schützen.

Schätzungen besagen, daß in den USA etwa  $\frac{1}{4}$  aller Erosionsschäden auf Windeinwirkung zurückzuführen ist. Der Bodenverlust durch Auswehung beträgt jährlich rund 1 Milliarde Tonnen. Dazu kommen jährlich 4 Milliarden Tonnen Bodenverluste durch Wassererosion. Der Verlust von 5 Milliarden Tonnen Boden insgesamt entspricht einem Betrag von rund 30 t/ha oder einer Abtragungstiefe von 1,8 mm. Der jährliche Bodengewinn durch Verwitterung wird demgegenüber nur auf 0,2 mm geschätzt. Es bleibt somit ein Nettoverlust von rund 1,6 mm. Diese Zahlen geben natürlich nur einen groben Anhaltspunkt. Sie dürfen außerdem nicht verallgemeinert werden. In Erosionsgebieten sind sie wesentlich höher, in vegetationsgeschützten Gebieten liegt dagegen Bodengewinn vor.

Auf die ganze Erde bezogen ist heute eine durch Erosion beschleunigte globale Austrocknung zu verzeichnen, die bei der schnellen Ausdehnung der ariden und semiariden Gebiete eine neue makroklimatische und bioökologische Situation schafft. Angesichts der Tatsache, daß eine Steigerung der Nahrungsproduktion auf mindestens das Doppelte nötig sein wird, um die schnell wachsende Weltbevölkerung im Jahr 2000 noch ernähren zu können, und daß nur die wirtschaftlich entwickelten Industrieländer über die Erfahrung, die Technik und das Geld verfügen, die zur Lösung dieser Aufgabe unentbehrlich sind, kommt auf diese Länder eine epochale Aufgabe zu.

## 6. Die Folgen großräumiger Entwaldung

Im Oberlauf des Seti-River unterhalb Pokhara in den Midlands Nepals konnte der Wasserbauingenieur B. KNOLLMANN 1972/73



für die Nebenflüsse mit einem Einzugsgebiet von mindestens 100 km<sup>2</sup> Größe einen Unterschied der Wasserführung in der Trocken- und Regenzeit von 1:1000 feststellen. Diese enorm hohe Schwankung der Wasserführung ist eine Folge fortgeschrittener Landschaftszerstörung und ausgedehnter Erosion. Wegen der großen Abflußgeschwindigkeit geht jetzt den Bergen, aber auch den Ebenen vor den Bergen, der größte Teil der Niederschläge verloren. Dürren in Gebieten, denen bis vor kurzem genügend Fluß- und Grundwasser zur Verfügung stand, wechseln jetzt mit Hochfluten ab. Quellen versiegen während der Trockenzeit. Das Grundwasser in der Gangesebene sinkt. Die Landzerstörung durch Erdbeben und Bodenfluß im Himalaya erreicht enorm hohe Werte. So transportiert jetzt nach Berichten der nepalischen Regierung allein der Karnali-River jährlich 50 Millionen m<sup>3</sup> festes Bodenmaterial.

Wer heute Nordindien überfliegt, kann mit eigenen Augen sehen, daß sich das System der vom Himalaya dem Ganges zuströmenden Flüsse verändert. Früher wurden die gewaltigen Wassermassen der in den Himalayabergen fallenden Monsumregen und des Schmelzwassers der Himalayagletscher – die Regenzeit liegt im Sommer zur Zeit der Schneeschmelze – großenteils in den Bergen aufgefangen und gespeichert. Hochwasser gab es zwar immer. Doch die Spitzen sind heute zu häufig und erzeugen Flutkatastrophen, wie das Beispiel Bangladesch nahezu Jahr für Jahr zeigt. Solange der Abfluß der Wassermassen ausgeglichen und der Wasserhaushalt der Berge im Gleichgewicht war, flossen die nordindischen Flüsse relativ langsam und mäandrierten. Heute nach der Zerstörung der Wälder und der Waldböden im Himalaya erfolgt der Wasserabfluß zu schnell. Jetzt strömen die Flüsse dem Ganges fast gradlinig zu. Die Mäander werden aufgegeben. Hochwasser im Sommer und Dürren im Winter sind die unvermeidlichen Folgen. Der Landgewinn in den Ebenen und vor allem in den Deltas am Meer macht die Verluste nicht wett. Insgesamt sind etwa 200 Millionen Menschen von den Folgen der Landschaftszerstörung im indischen Himalaya betroffen.

Abbildung 6 nach H. CHR. RIEGER (1976) zeigt die komplizierte Verkettung vieler Faktoren, die unter dem Einfluß des Menschen zur Waldvernichtung, zu erhöhtem und schnellerem Wasserablauf, zu Flächen- und Gullyerosion, zu Erdbeben und zu ab-

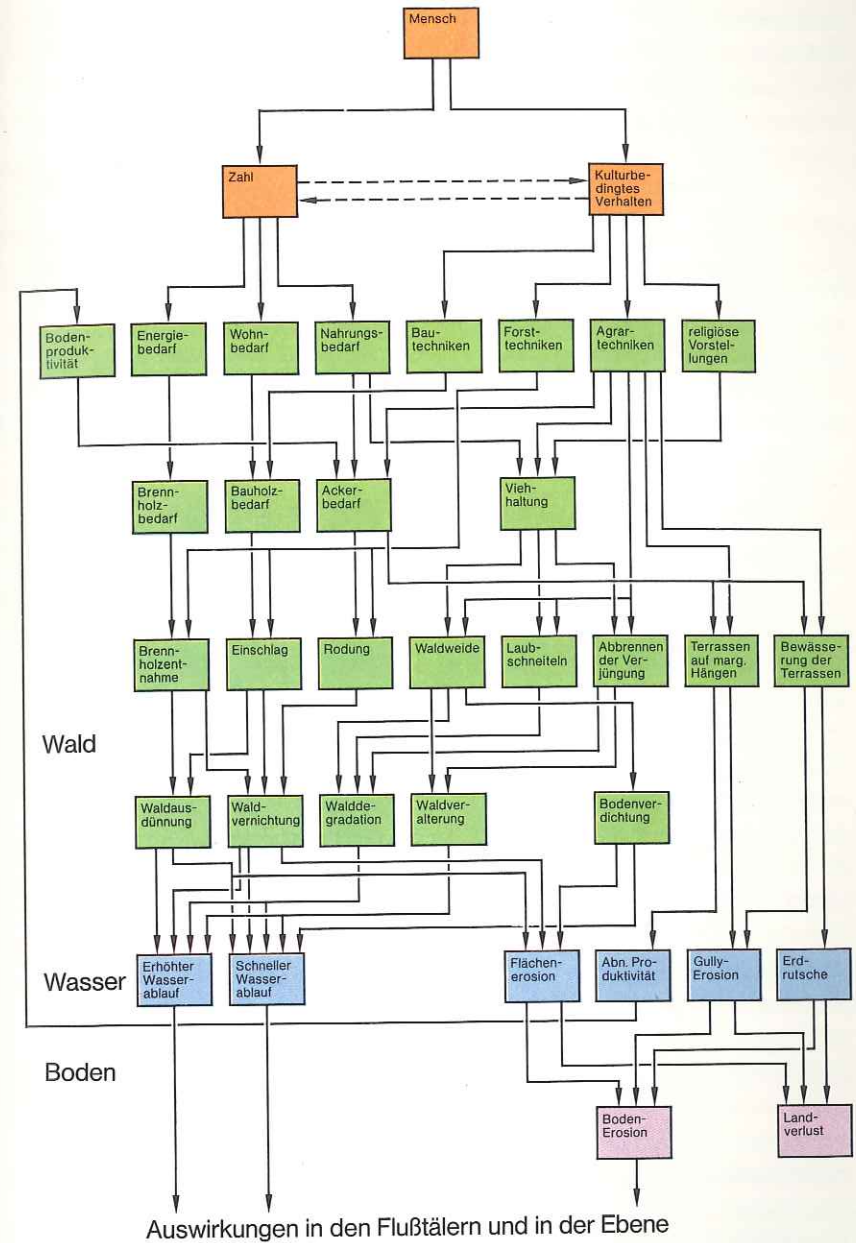


Abb. 6: Die Ursachenverkettung bei der anthropogenen Erosion (aus H. Chr. RIEGER, Himalaya-Wasser, 1976).



nehmender landwirtschaftlicher Produktion führen. Jeden dieser Faktoren, die sehr differenziert und zum Teil nur zeitweise wirken, in den Griff zu bekommen, ist unmöglich. Viele Folgen sind praktisch irreparabel. Zwar läßt sich eine zerstörte Vegetation, wenn noch Boden vorhanden ist, regenerieren, wenn auch nicht in der alten Form. Dazu braucht man allerdings Zeit. Gerade die aber ist in überbevölkerten Ländern nicht vorhanden.

Typisch für alle Formen der Erosion ist die Beschleunigung der Prozesse. Ein gestörter Wasserhaushalt kann mit Einzelmaßnahmen nicht wieder regeneriert werden. Man kann die Natur nicht bändigen wie ein wildes Tier oder ihren Lauf herumwerfen wie ein Steuer. Im Haushalt der Natur wirkt alles gleichzeitig zusammen in einem komplizierten Netzwerk.

## 7. Landschaftsökologische Analyse der Umweltfaktoren

Um das Phänomen »Erosion« mit allen Konsequenzen beurteilen zu können, muß man die beteiligten Faktoren zunächst einzeln analysieren. Erst danach kann man versuchen, die Gesamtzusammenhänge zu verstehen und das Übel an der Wurzel zu packen.

*7.1. Das Relief* bestimmt die absoluten und die relativen Höhen und damit die Steilheit und die Länge der Hänge. Bei mittleren Höhen werden die Hänge bis zu einer Neigung von 30–35° landwirtschaftlich genutzt. Deshalb sind meist die Höhenplateaus mit den flacheren Gipfelhängen und ebenfalls der wieder flacher werdende untere Hangauslauf im Anbau. Das steile Mittelstück, das zunächst noch bewaldet blieb, wird unter dem Bevölkerungsdruck gerodet und dient als Weide. Es ist der Erosion am stärksten ausgesetzt und wird sehr oft zum nutzlosen Ödland. Die Ausdehnung dieser Ödflächen nach unten und oben ist auf die Dauer nicht zu vermeiden. Nur eine Aufforstung kann weitere Schäden verhüten. Bei Entwaldung der Hänge ohne ausreichenden Pflanzenschutz verdichten die Böden und nehmen die Niederschläge nur noch langsam auf.

Die Hänge laufen normalerweise konkav nach unten aus. In den Tropen, vor allem in den Monsunländern, macht sich unter der Einwirkung des Regenwassers eine Tendenz zu konvexer Verstei-

lung der Hänge bemerkbar, vor allem, wenn der Hang in einen Bach oder Fluß ausläuft. Bei starkem Gefälle vertiefen sich die Bäche durch natürliche Erosion. Nach der Entwaldung der Wasserscheiden und dem damit verbundenen Einbruch großer Fremdwassermassen schreitet die Versteilung der Unterhänge so schnell voran, daß die Anbauterrassen abrutschen und den ganzen Hang nach oben bedrohen. Auch bei hohen Niederschlagswerten in der Regenzeit trocknen diese erodierten Hänge während der Trockenzeit irreparabel aus.

Topographisch bedingt sind auch die Höhenstufen der Waldformationen. Pflanzengesellschaften sind an ihrer Existenzgrenze empfindlich. Je länger die Einwirkung einer Trockenzeit dauert, um so größer sind die Erosionsschäden, wenn die originäre Vegetation durch eine nicht adäquate ersetzt wird.

### *7.2. Klimatische Aspekte:*

*7.2.1. Niederschläge:* Die Erosion ist direkt abhängig von der Menge und der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge. Wichtig sind die monatlichen Daten und die Höchstmengen pro Tag. Die Angaben vermitteln einen Eindruck, welche kinetische Energie das abfließende Oberflächenwasser entwickelt und welche Gefahren entwaldeten Hangflächen ohne adäquate Vegetation oder mit nicht gesicherten Terrassen drohen.

Der Vergleich der mittleren Niederschlagsmengen und der Regen- und Trockenzeiten von 3 Stellen in den Midlands des nepalischen Himalaya von 1400–5500 mm (Abbildung 7) mag als ein Beispiel für die Klimasituation in Gebirgen mit akzentuierten Regen- und Trockenzeiten dienen. Die Dauer der Trockenzeit mit 2 bis 8% der Gesamtniederschläge beträgt in diesem Falle 4–6 Monate, die der feuchten Zeit (Vormonsun + Monsun) mit 92 bis 98% des gesamten Niederschlags 6–8 Monate. Die Zahl der Starkregen wächst mit der Zunahme des Niederschlags und nimmt mit der Höhe schnell zu.

Tagesniederschläge von 100–200 mm sind im Himalaya relativ häufig, von 300 oder gar 400 mm Ausnahmen. Angenommen, es fallen 100 mm an einem Tage oder gar während eines Regengusses, dann sättigt sich der auf Rodungen verdichtete Boden sehr schnell und nimmt praktisch kein Wasser mehr auf. Das bedeutet, daß dann von jedem m<sup>2</sup> nahezu 100 Liter Wasser abfließen oder



von jedem Hektar 1000 m<sup>3</sup> Wasser. Je größer die Hangfläche, um so mehr Wasser strömt zusammen, je steiler der von Vegetation nicht mehr geschützte Hang, um so schneller fließt das »Fremdwasser« ab. In allen Bergländern, in denen die Starkregen wegen des extremen Landschaftsreliefs schon intakten Böden gefährlich werden, muß jeder Eingriff in die geschlossene Walddecke katastrophal wirken.

Im Mai 1975 fand ich bei einer Wanderung in den nepalischen Midlands an der Einmündung des Shere-Khola in den Charnawati-Khola (Khola = Bach) Gesteinsblöcke und Bachschutt 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> m hoch auf das Bett des Hauptbachs geschoben. Der Charnawati-Khola war durch die Blockaufschüttung an die Außenseite seines Bettes gedrängt worden. Das Gewicht der Steine nur an der Mündung betrug etwa 10 000 Tonnen. Dazu kommen noch die mitabtransportierten Kiese, Sande, Schluffe und Tone, deren Gesamtgewicht ein Vielfaches des Gewichts der Steinblöcke beträgt. Ein Starkregen im entwaldeten Einzugsgebiet des Shere-Khola hatte diese gewaltige Transportenergie freigesetzt. Da wurde eindrucksvoll sichtbar, welche Kräfte an der Landschaftszerstörung arbeiten. Der gesamte Wasserhaushalt ist durch Entwaldung und Erosion in Unordnung geraten.

7.2.2. Zum Niederschlag gehört auch *der Tau*. Ihm kommt große biologische Bedeutung zu, weil er das Wasserdefizit an trocknen Standorten vermindert, einen Verdunstungsschutz bewirkt und von vielen Pflanzen unmittelbar aufgenommen werden kann. Tau bildet sich bei Abkühlung der Luft unter die Temperaturgrenze, die zur Aufnahme der jeweiligen Feuchtigkeit erforderlich ist. Je feuchter die Luft über dem Boden und je größer der Taufänger ist, um so stärker setzt die Taubildung ein. Deshalb bildet ein durch Erosion vegetationsfreier oder schwach bedeckter Boden bei gleicher Luftfeuchte und gleicher Temperatur wegen des Fehlens der Taufänger keinen oder nur wenig Tau.

Ich maß in Kathmandu in 1300 m Höhe einen nächtlichen Taufall im April bis maximal 1,5 Liter je m<sup>2</sup> und konnte feststellen, daß sich von 20–6 Uhr auf nackter Erde nur 4–11 % der auf grasbedecktem Boden gemessenen Taumenge bildete. Wahrscheinlich wird in der Trockenzeit die Taubildung auf nackten Böden noch geringere Werte annehmen. Das bedeutet, daß dann, wenn die

	Kathmandu 1.323 m	Pokhara 918 m	Lumle 1.646 m
Januar	39	39	63
Februar			
März	27	71	52
April	60	53	115
Mai	60	174	346
Juni	261	607	879
Juli	453	1005	1432
August	343	677	1388
September	119	657	543
Oktober	26	98	260
November			
Dezember	15	12	44
total	1.403	3.393	5.522
Monsun-Regen	83,8%	89,7%	95%
Monsun-+ Vormonsun-Regen	92,4%	98,5%	97%

Abb. 7: Vergleich der mittleren monatlichen und jährlichen Niederschläge in mm von Kathmandu, Pokhara und Lumle in Nepal.





Versorgung durch den Tau biologisch notwendig wird, auf sonnenexponierten, durch Erosion nackt oder vegetationsarm gewordenen Hängen der Wassermangel nur noch von wenigen Pflanzen mit spezieller Anpassung ertragen werden kann.

7.2.3. Auch die *Verdunstung* ist über vegetationsfreier oder vegetationsarmer Erde beträchtlich größer als über bewachsenem Boden. Die Werte erhöhen sich an sonnenexponierten Schräglächen. 1974 stellte ich in Kathmandu auf ebenem Gelände fest, daß die Verdunstung über nackter Erde um 18–40% höher lag als über Grasboden. Auf einem sonnenexponierten Hang von 32° Neigung über nackter Erde lag die Verdunstung bis zu 191% höher als über Gras. Das sind beträchtliche Unterschiede. Büsche und Baumreihen verlangsamen die Luftbewegung und hemmen die Verdunstung. Böden ohne ausreichenden Vegetationsschutz, wie sie unter dem Einfluß der Erosion entstehen, sind gekennzeichnet durch höhere Verdunstung und wesentlich niedrigere Taubildung. Erosion hat progressive Austrocknung der Böden zur Folge.

7.2.4. Die Zerstörung der Wälder und die Schaffung lichter Gehölze durch unkontrollierte Holznutzung, Waldweide, Schneiteln der Bäume und Brände und die Anlage von Ackerfeldern bis zur Entwicklung nackter Erosionsflächen ist gleichbedeutend mit einer *Änderung des Temperaturverlaufs im Boden*. Auf ungeschützter Erde dringt die Wärme schneller und tiefer in den Boden ein. Die Temperaturgegensätze zwischen Tages- und Nachtmaxima, im Walde recht gedämpft, wirken sich auf ungeschütztem Boden biochemisch ungünstig aus. Das Maximum des Humusaufbaus liegt bei etwa 22–30 °C, also niedriger als das Maximum des Abbaus bei etwa 31–40 °C. Anomal schnell sich erwärmende Böden in den Subtropen und Tropen bauen daher die Humusstoffe rasch ab. Auch ohne Erosion entarten ungeschützte Böden, vor allem bei südlichen Hanglagen. Nur die Nordhänge nehmen weniger Wärme auf.

Die Wärmeverteilung im Boden hängt auch von der Leitfähigkeit des Bodens ab. Diese wird vom Wassergehalt, der Bodendichte, von der Struktur und der Zusammensetzung des Bodens bestimmt. Der tägliche und jahreszeitliche Temperaturwechsel im Wurzelraum bestimmt die Dauer und Intensität der Mineralisa-

tion und das Zahlenverhältnis von Bakterien und Pilzen und damit die Wirksamkeit des Edaphon. Der Wurzelraum ist für die Pflanzen ebenso wichtig wie der Luftraum. Von der Temperatur unmittelbar abhängig sind die Viskosität des Bodenwassers und die biochemische Umsatzgeschwindigkeit (RGT-Regel). Hohe Temperaturschwankungen bedeuten Schwankungen der Umsatzintensität, wobei die Abbauwerte des Humus überwiegen. Eine Messung des Temperaturverlaufs im Boden und der Verdunstung sowohl auf nackter Erde als auch unter Grasbedeckung im Mai 1974 in Kathmandu (Abbildung 8) bestätigte die empfindliche Reaktion des nackten Bodens. Die Erwärmung ist auf nacktem Boden bis in 50 cm Tiefe nachweisbar. Das Diagramm läßt erkennen, daß der Wurzelraum als biologisch wichtigster Teil des Bodens bei fehlender oder nicht ausreichender Vegetationsbedeckung in einer Tiefe von 5–20 cm täglich 5–6 Stunden lang Temperaturen im Bereich des Optimums für den Humusabbau ausgesetzt ist. Das Edaphon ist stenotherm und verträgt größere Temperaturschwankungen nicht. Vegetation dämpft die Einstrahlung, so daß weder der Wasserhaushalt noch die Tätigkeit des Edaphon beeinträchtigt werden. Der Humusverzehr wird zumindest kompensiert.

7.2.5. *Das Licht* ist ein Faktor, der das Leben der Pflanzen und die Struktur des Bodens über die Erwärmung der Bodenoberfläche mitbestimmt. Auf einer Wiese in unseren Breiten beträgt der Lichtenergiewert in 1 m Höhe etwa 1 cal/cm<sup>2</sup>/min, am Boden einer Wiese jedoch nur noch 20%. So groß ist die Strahlungsfiltration durch das Gras. Der Energieumsatz findet in den Kronen der Bäume und in den Blattspalten der Grasfluren statt. Auf erodierten Böden vollzieht er sich an der Bodenoberfläche und setzt die tieferen Bodenschichten höherer Wärme und größerer Trockenheit aus.

Erodierte Böden unterliegen einem völlig veränderten Mikroklima: maximale Insolation, die an sonnenexponierten Hängen nur noch Xerophyten eine Lebensmöglichkeit gewährt, hohe Erwärmung und hohe Verdunstung, keine Taubildung. Der biologisch aktive Oberboden verliert die Erosionsresistenz. Die Wasserspeicherung nimmt ab bis zur völligen Austrocknung. Die Böden degenerieren zu Ödland.



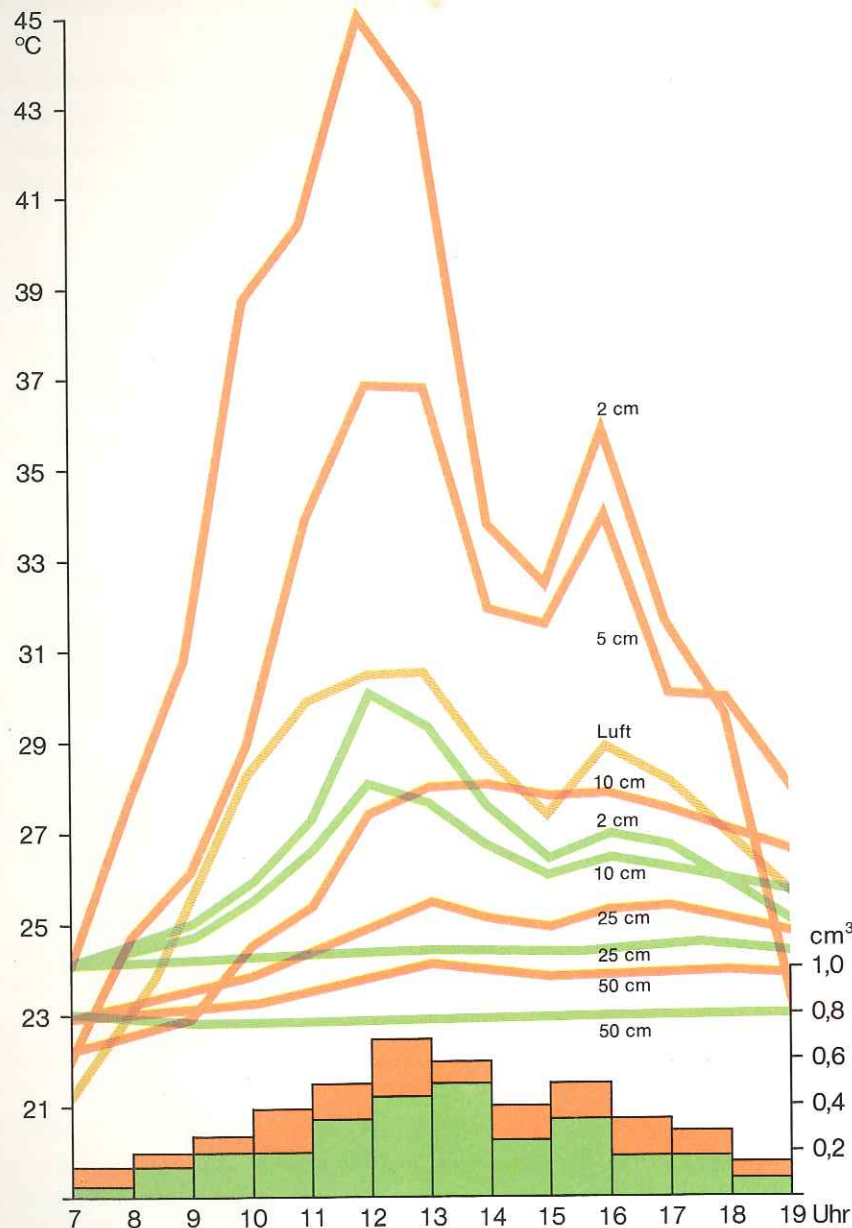


Abb. 8: Temperaturverlauf im vegetationsfreien Boden — und unter Grasbedeckung — in verschiedener Tiefe im Kathmandubecken am 29. 5. 1974 auf ebenem Gelände; gleichzeitig gemessene Verdunstungswerte in  $\text{cm}^3$  über Gras ■, über nackter Erde ■. Temperaturverlauf der Luft in 2 m Höhe —. Infolge Wolkenbildung zwei Temperaturspitzen.

### 7.3. Mineralogische Faktoren

Unter »Boden« versteht man das Mineralgefüge, das vom Unterstein aufwärts zur Oberfläche hin durch chemisch-physikalische Prozesse und in Oberflächennähe unter Mitwirkung des Edaphon sowie durch Vermischung mit organischen Substanzen im A-Horizont zerkleinert und umgewandelt wird. In vielen Gebirgen mit metamorphem, verwitterungsaktivem Gestein, so in weiten Teilen des Himalaya, oder mit lockeren Sedimenten wie in den Siwalikbergen Indiens und Nepals, haben die Hänge besonders erosionsanfällige Böden. Die leicht spaltbaren Glimmerschiefer verwittern an der Bodenoberfläche durch Quellung und Hydrolyse, so daß in ungestörten Lagen ein tiefgründiger B-Horizont mit hohem Anteil erosionsanfälliger Feinmaterialien entsteht. Die Vegetationszerstörung oder die Vegetationsbeeinträchtigung durch unkontrollierte Land- und Weidewirtschaft an solchen Hangböden führt zu besonders schneller Ausdehnung der Erosionsflächen.

Eine absolute Erosionsresistenz gibt es nicht. Hartes Kalkgestein löst sich unter der Einwirkung von  $\text{CO}_2$ -haltigem Regenwasser auf, verschrattet auf nackten Felsböden und neigt zur Verkarstung. Solange eine dichte Vegetation und ein tiefer intakter Boden den Kalk überlagern, wird das Regenwasser vom Boden absorbiert. Bei Vegetationszerstörung versickert das Wasser im klüftigen Kalk. Vegetationsarme Kalkböden sind trocken. Die Entwicklung zu Ödland ist für Kalkbergländer typisch, wie die Verkarstung der entwaldeten Mittelmeerinseln und -bergländer beweist.

### 7.4. Biologische Aspekte

Man kann den Grad der Erosion auch pflanzensoziologisch definieren. Von der originären autochthonen Vegetation eines bestimmten Standorts bis zu der durch Erosion verursachten Degradationsphase lösen Sukzessionen im Verlaufe der progressiven Austrocknung und Verarmung des Bodens einander ab. Die Zusammensetzung der jeweiligen Pflanzengesellschaft, die sich den veränderten Umweltbedingungen anpaßt, ist zugleich auch Ausdruck der erosionsbedingten Standortveränderung. In allen tropischen und subtropischen Gebieten verdrängen auf erodierten Böden weltweit verbreitete, trockenheitsresistente Pflanzen mit



großer ökologischer Valenz die einheimische Flora. Auf degenerierten Weiden, Ödflächen, aber auch auf abgeernteten Anbau-terrassen in den Midlands des Himalaya habe ich 55 Pflanzenarten (23 Familien) gefunden. Nur 30% dieser Arten stammen aus dem Himalaya vom tropischen bis zum alpinen Bereich, 70% dagegen sind fremder Herkunft: sie stammen aus Indien, Südost-asien, Australien, Europa, Amerika und Afrika. Die Artendichte ist sehr gering:

17 Familien stellen je 1 Gattung mit je 1 Art,  
4 Familien stellen 6 Gattungen mit insgesamt 8 Arten,  
die *Labiatae* stellen 3 Gattungen mit insgesamt 5 Arten,  
die *Compositae* stellen 15 Gattungen mit insgesamt 25 Arten  
(45%).

Von den 16 Himalayapflanzen sind nur 10 bodenständig (62,5%), die übrigen 6 stammen aus dem westlichen trockenen Himalaya, bzw. aus dem alpinen Gebiet.

Nach der Entwaldung und der fortgesetzten Degradierung der Böden und der Nachfolgevegetation entsteht eine biologische Lücke, in die einheimische Pflanzen nicht ohne weiteres eindringen können. Sie ist mit Fremdpflanzen besetzt, die seit der Zeit des portugiesischen Welthandels eingeschleppt wurden. Diese zeichnen sich durch überlegene ökologische Eigenschaften aus: starke Vermehrung, schnelle Verbreitung, hohe Keimfähigkeit, Schnellwüchsigkeit der Keimlinge und hervorragende Anpassung an Wärme und Trockenheit.

Kompositen, Gramineen und Labiaten gehören in diesem durch Erosion geschaffenen, starker Bestrahlung ausgesetzten trockenen Makroklimabereich zu den wohl am besten angepaßten Pflanzen. Das ehemalige Mikroklima der Waldböden ist verschwunden. Das Makroklima wirkt jetzt ungedämpft und begrenzt die Arten- und Individuenzahl in dieser »Lücke«. In einer originären Steppe wären Hunderte von Pflanzenarten zu finden. Die Zusammensetzung der Kurzgrasflora mit 70% Pflanzen fremder, darunter 30% nicht-asiatischer Herkunft, ist Folge der bioklimatischen Umweltveränderung.

Auf den so degenerierten Böden tritt ein neues Konkurrenzverhältnis auf. Es kommt zu einer Artenänderung, zur Neubesiedlung mit Adventivpflanzen, die je nach dem Erosionsgrad des

Standortes oft xerophytische Sukzessionen, immer aber un stabile Gesellschaften bilden. Die Konkurrenzbedingungen werden mit progressiver Bodenentartung immer härter. Das Eindringen von Fremdpflanzen in eine geschlossene stabile Klimaxgesellschaft ist nur sehr schwer möglich. Vegetationsarme Böden stehen dagegen allen Bewerbern offen, die genetische Konkurrenzvorteile mitbringen.

Mitentscheidend bei diesem Vorgang ist das Edaphon. Auch die Kleinlebewelt des Bodens wird von zunehmender Erwärmung und Trockenheit des Bodens in ihrer Zusammensetzung und Individuenzahl beträchtlich verändert. Das Zahlenverhältnis von Bakterien und Pilzen wird zugunsten der Pilze (bis 90%) verschoben. Da Bakterien im Unterschied zu Pilzen relativ wenig organische Substanz für den eigenen Stoffwechsel verbrauchen, den Stickstoffkreislauf beschleunigen und die übrigen von den Pflanzen benötigten Nährstoffe bei der Humuszersetzung freigeben, werden nackte, bakterienarme Böden auch ohne Auswaschung schnell nährstoffarm. Zudem werden die Keimlinge auf erodierten Böden hoher Hitze, schneller Austrocknung und Abschwemmung ausgesetzt. Nur Schnellkeimer mit rascher Tiefbewurzelung können sich durchsetzen. Bei der Krümelbildung des Oberbodens helfen vor allem Bakterien, die Bodenpartikel durch Verkittung mit ihren Stoffwechselprodukten zu festigen und die Krümelung zu erhalten. Erodierte edaphonarme Böden verbakken schnell und erzeugen harte Krusten, die nur langsam Wasser aufnehmen. Sie begünstigen somit den Abfluß des Oberflächenwassers und beschleunigen die Erosion.

Wichtig für das Leben im Boden ist die Masse der Wurzeln, vor allem der kurzlebigen, einzelligen Wurzelhaare. Sie stellen einen wesentlichen Nährstoff des Klein-Edaphon dar. Erodierte Böden sind arm an Wurzeln. Auch Moose fehlen den durch Erosion degradierten Waldböden. Nach GERWIG kann der Moosrasen unserer Gebirgswälder bis zu 1 m<sup>3</sup> Wasser je Ar aufsaugen und halten. Ihre Kleinheit erlaubt es den Moosen, sich in den Lücken zwischen den Bodenpflanzen einzunisten. Zudem sind sie weitgehend unabhängig vom Mineralgehalt der Unterlage. Sie beschleunigen den Kreislauf von Wasser und Nährsalzen im Boden. Auch Regenwürmer sind an der Regeneration der Bodenfruchtbarkeit beteiligt. Sie legen an der Erdoberfläche Exkrementhäuf-



chen ab, die aus durchgearbeiteter, mit pflanzlichen Nährstoffen angereicherter Feinerde bestehen. Ich konnte in der Bundesrepublik Exkrementgewichte bis zu 30 t/ha/Jahr nachweisen. Das entspricht einer Aufschüttung von etwa 1,8 mm Erde pro Jahr. In den feuchten Tropen können diese Werte um ein Vielfaches ansteigen. Regenwürmer pflügen die Erde und erhalten sie durch ihr Röhrensystem für Luft und Wasser durchgängig. Sie verteilen aber auch mit ihrer Wühlarbeit die Bakterien, Pilze und Protozoen im Boden. Voraussetzung für diese Tätigkeit ist eine dichte Vegetationsdecke, die einen Humusboden bildet und vor Boden-erhitzung bewahrt.

In den Waldböden, die durch Untervegetation und eine Streuschicht gegen Verdunstung geschützt sind und einen normalen Nährstoffumlauf haben, kommen sie bis zur Waldgrenze vor. Ich fand im Himalaya in 3000 m Höhe noch 14 Tiere je m<sup>2</sup>. Die Arten- und Individuenzahl je m<sup>2</sup> gibt einen guten Anhalt für die Beurteilung der Böden und des Vegetationszustandes. Degradierete Böden sind regenwurmfrei. In einem normalen Boden ist das Regenwurmgewicht größer als das Gewicht der auf ihm lebenden Menschen und Weidetiere.

Die schnelle Vermehrung der bäuerlichen Bevölkerung ist mit einer Ausdehnung der Viehhaltung verbunden. Die Erosion aber steht in direktem Zusammenhang mit der Zahl der Weidetiere. Am Südrand der Sahara, wo die Ausdehnung der Wüste am größten ist, wurden durch Entwicklungsprojekte große Weideflächen, die aus Mangel an Tränkwasser nicht genutzt werden konnten, durch künstliche Brunnen erschlossen, um den Lebensraum der Nomaden zu erweitern. Bis dahin hatte ein Gleichgewicht zwischen dem Nahrungsangebot der kargen Steppe, der Menge des Tränkwassers und der Zahl der Weidetiere bestanden. Nach dem Bau der Brunnen vermehrten sich die Tiere dagegen unkontrolliert. Die Übernutzung der Weiden, vor allem aber das Zertrampeln und das völlige Abweiden der Vegetation im Umkreis der Brunnen, haben die Winderosion und die Ausdehnung der Wüste seitdem merklich beschleunigt.

Der Bau neuer Straßen ermöglicht eine Ausdehnung der Waldweide, des Schneitelns der Bäume zur Blattfutttergewinnung und der Holznutzung. Diese täglichen Kleinaktionen summieren sich im Laufe weniger Jahre zur unaufhaltbaren Zerstörung der Wäl-



*Abb. 9: Der Srinagar-See in Nordindien lag noch vor einigen Jahrhunderten inmitten eines fruchtbaren Waldgebirges. Heute sind alle Berge in diesem Gebiet abgeholzt und als Folge davon erodiert.*





*Abb. 10: Termitenhügel am heute vegetationslosen Rand der Südsahara bezeugen, daß hier noch im Wüstensand begrabene Baumstämme existieren müssen, von denen die Insekten sich unterirdisch ernähren können.*



*Abb. 11: Hier kreuzt in der Sahara ein jüngerer Flußlauf ein älteres Flußbett. Wasser führt er nur noch während der seltenen Regenfälle.*





Abb. 12: Die große Zahl von Tumuli in der Südsahara bezeugt das schnelle Wandern der großen Wüste nach Süden.

der. Auf den asphaltierten, die Waldgebiete durchschneidenden High Ways erkennt man die Nähe bäuerlicher Siedlungen schon lange im voraus an der zunehmenden Verdünnung und Zerstörung des Waldes beiderseits der Straßen. Jungwuchs und Unterholz fehlen. Sie sind der Dauerbeweidung zum Opfer gefallen. Mit dem Rückgang des Vegetationsschutzes aber beginnt auch hier die Bodenentartung.

Die landschaftsökologische Analyse zeigt, daß ein immer größer werdendes Bündel von Problemen im Zusammenhang mit der Entwaldung auftritt. Der deutsche Forstmann F. HESKE hat schon vor 40 Jahren die Situation in Indien, beispielgebend für alle anderen Länder, klar erkannt: »Wehe den Landstrichen, wo der Wald vernichtet wurde! Hier herrscht immerwährende Not, und auf kahlen Hängen wandert halbverhungertes Vieh. Der Dünger muß Brennstoff sein, anstatt aufs Feld hinausgeschafft zu werden, und der Wassergehalt der Flüsse im entwaldeten Gelände schwankt periodisch zwischen zerstörenden Überflutungen, die nach der Regenzeit das arme Land wie die Rache des zehnarmligen Shiwa heimsuchen, und völliger Trockenis in der ganzen langen regenlosen Zeit, so daß keine Bewässerung der ausgedörrten Kulturen möglich ist«.

## 8. Landwirtschaftliche Aspekte

Das Ernährungsproblem in den Entwicklungsländern, so dringend geworden durch die Geburtenexplosion, wird durch die Naturwidrigkeit des Ackerbaus in den Tropen außerordentlich erschwert. Außer den USA, Kanada, Australien, Neuseeland, Argentinien und Thailand sind alle Nationen heute noch Nahrungsmittelimporteure. Das wird sich so schnell nicht ändern. Bis zum Beginn des neuen Jahrtausends müssen 6 Milliarden Menschen ernährt werden. Das setzt die Verdoppelung der Nahrungsproduktion voraus. Weil eine Ausdehnung der Anbauflächen in den meisten Ländern nur noch in beschränktem Maße möglich ist, muß die Produktion auf den bereits bearbeiteten Flächen zwangsläufig erheblich gesteigert werden. Das bedeutet aber, daß der Energiebedarf für die Landwirtschaft sich nahezu verdreifachen wird.

Schon jetzt müßte eine Produktionssteigerung auf den ertragrei-



cheren Böden der Entwicklungsländer einsetzen. Die Ausdehnung in ungeeignete Flächen muß aufgegeben werden. Es gibt keinen anderen Weg. Ein größerer Aufwand ist unvermeidbar. Der Boden ist ein lebendiges Substrat, das Edaphon will gefüttert werden: »Eine Kuh lebt auf dem Acker, zehn Kühe im Acker«. Die Übertragung unserer traditionellen Ackerbaumethoden auf die Verhältnisse in den Entwicklungsländern hat eine negative Kehrseite, die nicht mehr länger übersehen werden kann. Eine dieser Methoden ist unter dem Namen der »grünen Revolution« bekannt geworden. Auch das ist die Verpflanzung einer industriell entwickelten Agrartechnologie in Entwicklungsländer. Sie erzielt auf guten Böden hohe Erträge, ist auf die Dauer jedoch bodenbelastend und verlangt mit der Übernahme industrieller Technologien auch ein hohes Maß sozialer Anpassung an die veränderten Produktionsbedingungen, unter anderem die Mitübernahme der Produktionsverhältnisse mit fremden Lebens- und Denkweisen. Sie versagt weitgehend auf den nur während der Regenzeit feuchten Normalböden mittlerer Qualität und ganz und gar auf den Extremböden. Die allermeisten Böden in der Dritten Welt gehören aber diesen Kategorien an. Für sie sollten bioökologisch ausgewogene Methoden der Wiederherstellung von Grünlandschaften vorgezogen werden.

Bei grundsätzlicher Erhaltung der traditionellen Lebensführung sollten adäquate Techniken aufgrund ökologischer Erfahrung angewandt werden. Wir wissen, daß die Anbauflächen nur ein Teil der Grünlandschaft sein dürfen. Es gibt bereits ökologische Anbaumethoden unter Verwendung bodenverbessernder Pflanzen. Eine Synthese dieser Methoden mit dem Wissen der einheimischen Bauern, das eine Erosionsverhütung und eine Verbesserung des Wasserhaushaltes etwa durch Bodenbedeckung (Polykultur, Mulchen, Unkrautnutzung) auf nährstoffarmen Böden zu handhaben versteht, müßte entwickelt werden.

Kostenparend und ohne fremde Hilfsmittel könnten so langfristige Ertragssteigerungen möglich werden. Nicht die Bauern der Entwicklungsländer sollen sich auf unsere Technologien umstellen. Die Aufgabe kann mit darin bestehen, unsere Hilfsmaßnahmen an ihre Situation anzupassen und in enger Zusammenarbeit mit den staatlichen und lokalen Behörden und mit den Forschungsinstituten dieser Länder Vorschläge zu machen, die den

Bedürfnissen der Bevölkerung entsprechen und willig aufgenommen werden. Sonst kommen zu dem Riesenausmaß der Landschaftsschäden in Zukunft noch immer größer werdende Störungen im sozialen Bereich dazu.

Andererseits setzt die unaufschiebbare Rettung der Wälder auch eine Änderung der Erwerbsstruktur voraus. Der ständig wachsende Druck der Bevölkerung auf Wald und Boden kann wirksam nur mit neuen Erwerbsmöglichkeiten aufgefangen werden. Diese Bemühungen müssen parallel mit der Intensivierung der Landwirtschaft erfolgen. Sie sind ebenso wichtig wie die Erhaltung der Wälder und der Schutz der Einzugsgebiete der großen Ströme. Man kann diese Aktionen nicht voneinander trennen. Auch eine soziale Neuregelung des Rechts an Grund und Boden ist anzustreben. Meist sind die erodierten Hänge und die zu sehr geschneitelten Laubwälder im Kommunal- oder im Staatsbesitz. Die gepflegten Terrassen und Hänge sind ebenso wie die richtig geschneitelten Futterbäume fast immer im Privatbesitz.

Wir haben in den Industrieländern inzwischen gelernt, daß bei den modernen Fragen der Landschaftsgestaltung, wie Straßen- und Kanalbau, Neuanlage von Industrien, Ausdehnung der Siedlungen, Nutzung der Wälder, heute die ökologischen Aspekte gleichrangig behandelt werden müssen mit den ökonomischen. Die einseitige Berücksichtigung ausschließlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte würde bei der Enge unseres Lebensraums sonst sehr bald zu Störungen im ökologischen Bereich führen, deren Beseitigung alle ökonomischen Vorteile zunichte machen muß. In den Entwicklungsländern kommen noch die tribalen, religiösen, sozialen und sozio-psychischen Probleme dazu. Sie stehen noch vor den ökonomischen und ökologischen Aspekten. Der Mensch hat die Landschaftsschäden verursacht, der Bevölkerungsdruck beschleunigt die destruktive Entwicklung. Wir können nur helfen, wenn wir die Situation der Menschen in den Entwicklungsländern kennenlernen, begreifen und von ihr ausgehen, anstatt von den bei uns herrschenden Verhältnissen.

### **9. Ist die globale Austrocknung Folge einer Klimaänderung?**

Der französische Klimatologe H. ERHART behauptet, noch im Neolithikum habe  $\frac{2}{3}$  der Erdoberfläche Wald getragen. Mag



diese Zahl auch zu hoch gegriffen sein, fest steht jedenfalls, daß der postneolithische Rückgang der Wälder ein katastrophales Ausmaß erreicht hat. Zweifellos haben auch klimatische Änderungen zur Einengung der Wälder, zur Ausdehnung der Steppen und zur Bildung von Ödflächen beigetragen. Andererseits läßt sich für den nordafrikanischen Raum nachweisen, daß eine Änderung des Klimas hier seit der Römerzeit keine wesentliche Rolle gespielt haben kann.

Die Asphaltstraße von Alexandria nach Kairo in Ägypten führt durch eine scheinbar »echte« Wüste. Wie ich feststellen konnte, ist die Mehrzahl der dort wachsenden Gräser und Kräuter jedoch nicht saharischen, sondern mediterranen Ursprungs. Aus römischen Berichten wissen wir, daß das heute verödete *Wadi Natrun* einst wegen seiner Weinberge und der von prächtigen Gärten umgebenen Villen berühmt war. Für rein saharische Pflanzen ist die relative Luftfeuchtigkeit in Küstennähe noch zu hoch. Überbeweidung durch die aus den vorderasiatischen und nordafrikanischen Steppen- und Küstengebieten in die reichen Kulturoasen im Nildelta vordrängenden Nomaden hat in weniger als 2 Jahrtausenden die labile mediterrane Vegetation im Grenzgebiet ihres Vorkommens unwiderbringlich zerstört.

Schon 1948 schrieb J. P. HARROY in seinem Buch mit dem bezeichnenden Titel »Afrique, terre qui meurt – la dégradation des sols africains sous l'influence de la colonisation«, daß sich der Grundwasserspiegel südlich der Sahara bedrohlich senke, daß die Trockensavanne in die Feuchtsavanne eindringe, daß der Urwald immer mehr Baumarten der Feuchtsavanne übernehme und daß die Vegetationszonen jetzt Defensivcharakter anzunehmen begännen.

Eine sich selbst überlassene degradierte Landschaft regeneriert sich wieder. TH. MONOD ließ das Bergland der Adrar des Iforas in der Sahara für den Durchgang aller Weidetiere (Kamele, Schafe, Ziegen) sperren. Bereits nach wenigen Jahren begann die Wüste »grün« zu werden. Auch dieses Wüstengebiet ist in der jetzigen Form *man-made*. Wohl die meisten Erosionsgebiete würden, sich selbst überlassen, also von jeder menschlichen Einwirkung befreit, über Pionierpflanzen eine neue Vegetationsbedeckung entwickeln, neuen Boden bilden und über verschiedene sich ablösende Sukzessionen am Ende wieder Savanne oder Wald tragen.

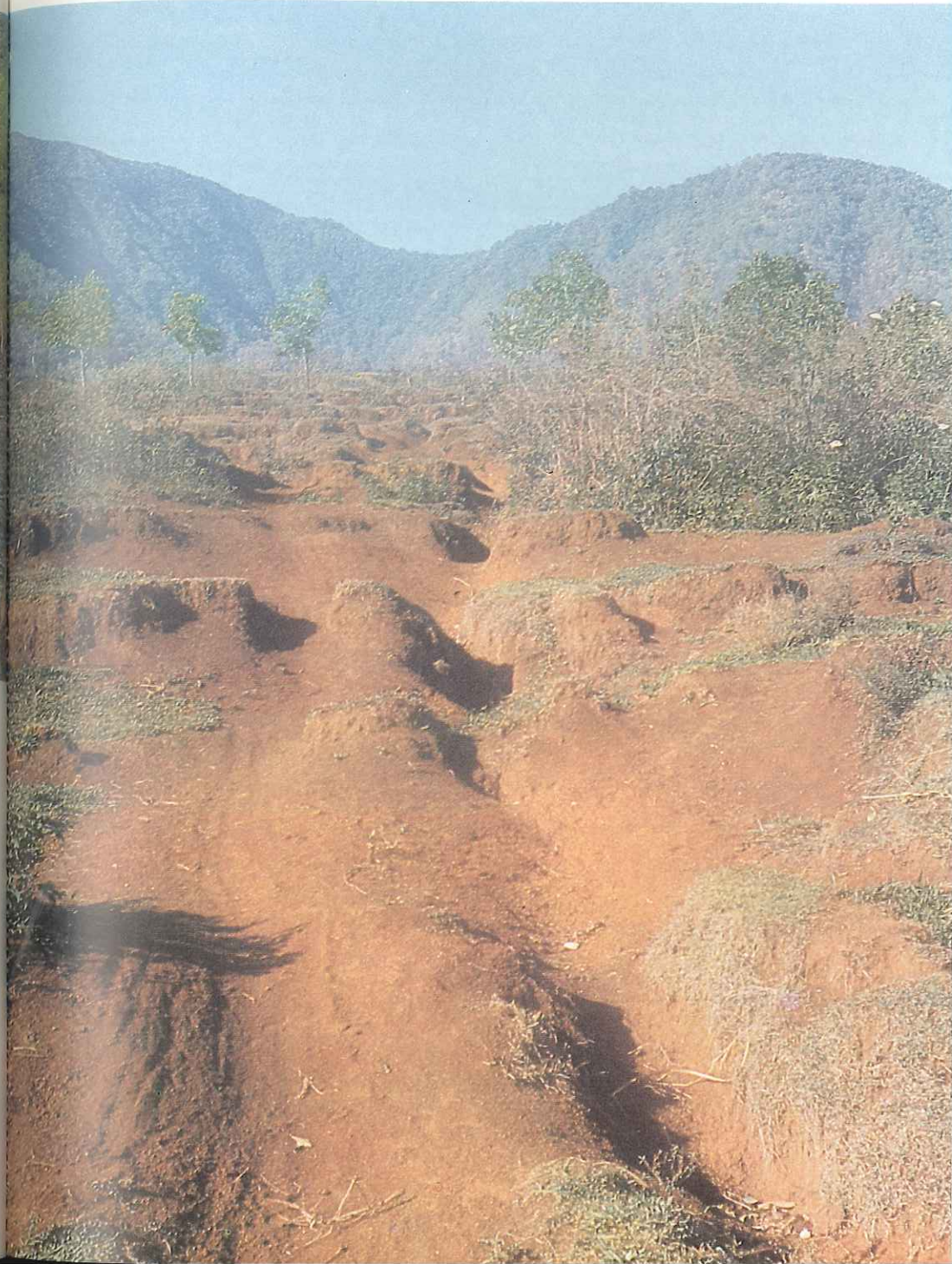


Abb. 13: Zementierte Brunnen sollen in der Sahelzone südlich der Sahara Tränkwasser für das Vieh gewinnen. Sie konzentrieren die Herden jedoch in ihrer Nähe, führen zur Überweidung und bewirken so auf lange Sicht eine Beschleunigung der Vegetationszerstörung in diesem erosionsgefährdeten Gebiet.





*Abb. 14: Brandrodung in Indonesien.*



*Abb. 15: Hangerosion auf der Insel Flores (Indonesien).*





Abb. 16: Entwaldung und Zerstörung der Bodendecke durch Brände hat hier in den Hochtropen (Sundainsel Sumba) zu schon weitgehender Verkarstung einer ehemaligen Waldregion geführt: »man made desert«!

Doch dazu wären bis zu 200 Jahre notwendig. Die Möglichkeit einer Selbstregulation ist damit nur ausnahmsweise gegeben. Optimisten rechnen mit mindestens 30 Jahren, bis die Familienplanung in den Entwicklungsländern wirksam wird. Nicht vor dem kommenden Jahrtausend kann bei günstiger Entwicklung das Bevölkerungswachstum in ein Gleichgewicht mit der Produktion der Nahrungsmittel gebracht werden. In dieser Zeit wird die Lawine der Wald- und Bodenzerstörung weiter rollen. Zugleich muß das Wunder der Eindämmung der Erosion und der Wiederaufforstung in einer überfüllten Welt vollzogen werden. Das Problem erkennen, bedeutet noch nicht, daß es gelöst werden kann. Es bestehen zwei Tatsachen nebeneinander: eine weltweite Erwärmung und eine anthropogene Beschleunigung von Austrocknungsprozessen durch Zerstörung der natürlichen Wald- und Steppengürtel der Erde und der Wälder in den Gebirgen. E. P. STEBBING sieht als Grund für die Verschärfung der Trockenheit im südsaharischen Raum das Zusammentreffen mit einer langsam auftretenden Klimaänderung, die durch den Eingriff des Menschen in die Vegetation der Wüste und des begrenzenden Steppenraumes katastrophal beschleunigt wird. Das gilt aber nicht nur für die Sahara. In Nyassaland sind die Highlands, die noch in den achtziger Jahren dicht bewaldet waren, durch Boden- und Vegetationszerstörungen zu nackten Felslandschaften geworden. Sieht man das Phänomen der Austrocknung in einem weltweiten Rahmen, dann läßt sich nachweisen, daß die gleichen Erscheinungen in allen Kontinenten zu beobachten sind.

Der von SVEN HEDIN im Versickerungsgebiet des Tarim in Ostturkestan entdeckte chinesische Handelsposten Lou-lan war vom Sande verweht. Die uralte Seidenstraße, auf der schon die Römer Seide aus China erhielten, verlief am Nord- und Südrand des Tarimbeckens mit einer Abkürzung über Lou-lan. Sie war früher leichter zu begehen als heute. Auch Zentralasien wird trockener.

Die ältesten Klöster Tibets, alle erst nach dem 7. Jahrhundert n. Chr. entstanden, haben einheimisches Pappelholz verbaut. Heute gibt es dort Pappeln nur noch in Restbeständen. Daß die Wüste Tharr zwischen Indien und Pakistan *man-made* ist, wurde bereits erwähnt.

Die Austrocknung ist ein komplexes Problem. Sie hat mehrere



Gründe. Da ist neben dem schnellen Bevölkerungswachstum auch ein geographischer Grund zu nennen: die morphologische und hydrographische Veränderung der Erdoberfläche. Zentralasien trocknet in dem Maße aus, wie der Himalaya und die meridionalen Gebirge östlich des oberen Saluen und Mekong sich emporheben (Reliefwüste). Die fruchtbare Indus-Ganges-Ebene, die zwischen dem Hochland des Dekkan und dem Himalaya liegt, ist auf die Bewässerung durch die Himalayaflüsse angewiesen. Die Abflußmengen müßten wegen des zunehmenden Wolkenstaus größer werden und die landwirtschaftliche Situation verbessern. Doch die Wälder fehlen, die das Regenwasser speichern könnten. Der Abfluß verteilt sich nicht mehr über das Jahr. Er erfolgt in Hochwassersprüngen während des Sommermonsuns. In Zentralasien verkürzen sich die Oberläufe der großen ost- und südostasiatischen Flüsse aus Wassermangel. Das stellte SVEN HEDIN schon im Anfang dieses Jahrhunderts fest.

Auf der alten paläozoischen Kontinentscholle *Afrika* mit steilem Abfall zum Meer, auf deren ebenen Hochflächen sich auf Hunderten und sogar Tausenden von Kilometern Klima- und Vegetationsveränderungen, der geographischen Breite entsprechend, nur langsam und unauffällig vollziehen, sind große, ursprünglich abflußlose Becken eingebettet: das Nigerbecken, das Tschadseebecken, das Weißnilbecken, das Kongobecken, das Viktoriaseebecken und das Kalaharibecken. Die großen Flüsse fallen über Stromschnellen von den Hochflächen zum Meer hinab. Das heutige afrikanische Flußsystem ist verhältnismäßig jung. Die Ober- und Unterläufe hingen früher nicht zusammen. Die Oberläufe entwässerten in die abflußlosen Becken. Nur die Unterläufe flossen ins Meer.

Wegen des großen Gefälles und der damit verbundenen größeren Strömungsgeschwindigkeit verlagern sich die peripheren Flüsse ständig rückwärts und zapfen das Flußsystem der Becken an. So kam es mehrmals auf den innerafrikanischen Hochflächen, auf denen sich die Niederschläge der Regenzeit in großen abflußlosen Seen sammeln, zum Abfluß und damit sprunghaft zu einer Austrocknung weiter Gebiete. Der obere Niger floß einst in das »Sahara-Meer«, ein gewaltiges Seengebiet am Südrand der Sahara. Noch sind Deltaarme und Strandterrassen erkennbar. Die über die heute nahezu relieflose Ebene verstreuten Schalen von Mu-

scheln, die man im strömungsfreien, sandigen Untergrund des Flusses noch lebend antrifft, geben einen Begriff von der Größe des alten abflußlosen Sees.

Das abflußlose Kalaharibecken wird jetzt vom Sambesi angezapft. Den Ngamisee, den D. LIVINGSTONE 1850 noch als weite Wasserfläche sah, bezeichnen die neuen englischen Karten als »dry«. Auch der obere Sambesi war zuvor abflußlos in die Kalahari geflossen. Viktoriasee (1134 m) und Tanganjikasee (776 m) waren früher abflußlose Binnenseen mit höherem Wasserstand als heute. Anzapfung durch den Bahr-el-Djebel (oberer Nil) und den Lukuga, einen Nebenfluß des oberen Kongo, führten zu einer Senkung des Wasserspiegels. Ebenso wurde das riesige zentralafrikanische Becken, in dem der Kongo die äquatorialen Regenwasser sammelt, nach Durchnagung der westlichen Schwelle angezapft. Die zahlreichen Wasserfälle von Matadi bis Kinshasa bezeugen den unausgeglichenen Lauf des Flusses. Die Entleerung des Beckens ist noch nicht beendet. Sie vollzieht sich in dem Maße, wie sich die Stromschnellen vertiefen. Noch steht der äquatoriale Urwald in unübersehbarer Weite unter Wasser.

Klimaänderungen wirken langsam, sie lassen sich nur in relativ langen Zeiträumen feststellen. Die weltweiten, im großen und ganzen auf unser Jahrhundert beschränkten oder zumindest offenbar werdenden Austrocknungserscheinungen lassen sich ohne die Annahme einer Klimaänderung verstehen. Afrika mit einer Wüste, die auf einer Breite von 5000 km und einer Tiefe von 1500 km ( $\frac{3}{4}$  der Fläche Europas – Abb. 17) das Klima bis zu den Regenwäldern mitbestimmt, ist durch die Anzapfung der wasserspeichernden Binnenseen empfindlich gegen Vegetationszerstörungen geworden. Ich habe 1957 im Nilsudan am Djebel Marra, einem Vulkangebirge, das 3000 m hoch aus Savannenwäldern emporragt, in 2700 bis 2900 m Höhe Rasen mit europäischen Pflanzen angetroffen, bunt wie eine Alm im Frühsommer, 2600 km von der Südgrenze ihres heutigen Verbreitungsgebietes entfernt. Diese mediterranen Pflanzenrelikte, wie sie auch in den Gebirgen Hoggar (Zentralsahara), Tibesti und Ennedi (am Rande der Sahara) vorkommen, sterben aus. Die nachpluviale klimatogene Austrocknung hat Restbestände in geschützten Lagen von Gebirgen mit Sommerniederschlägen erhalten. Doch die Überbeweidung der Grasflächen durch Kamele, vor allem Zie-



gen, die vollständige Entwaldung des Djebel Marra und die landwirtschaftliche Nutzung bis 2900 m verurteilen die Restbestände zum Aussterben.

Ich sah 3 typische Saharavögel: den Wüstenraben *Corvus ruficollis*, die Hausammer *Emberiza striolata* und den Weißbürzelsteinschmätzer *Oenanthe leucopyga* an aufgegebenen Terrassen in Gipfelnähe. Die Eroberung dieses Vulkanmassivs mitten in der Savanne durch Wüstenvögel ist ein alarmierendes Zeichen dafür, wie sehr der schwarzafrikanische Kontinent trotz seiner noch 30% betragenden Waldbedeckung (1960) von der Austrocknung bedroht ist. Der Wald am Djebel Marra ist von landsuchenden Bauern, die vor langer Zeit unter dem Druck kriegerischer Stämme die Gipfelregion besetzten, vernichtet worden. Intensive Landwirtschaft und Überbeweidung haben die Böden zerstört. Für eine natürliche Regeneration ist der Boden zu trocken geworden. So verödet das Land.

In *Asien* mit dem breiten semiariden Gürtel von Anatolien bis China, dessen hoch gelegenes, von gewaltigen Gebirgen abgesperrtes Zentrum seit dem Ende des Tertiärs immer trockener wird, wo die Landwirtschaft in Indien und China zu einem großen Teil vom Regenfall in weit entfernten Gebirgen abhängt, müssen die Wälder in den Bergregionen geschützt und erhalten werden. ALEXANDER DER GROSSE konnte sein Heer in Persien und Afghanistan auf Straßen ernähren, die heute größtenteils in Halbwüsten liegen. In den anatolischen Bergen zwischen Ankara und dem Schwarzen Meer lag die hethitische Hauptstadt Hattura vor 4000 Jahren noch in Wäldern. Heute lebt dort in waldlosen, trockenen, erodierten Bergen eine dünne Bevölkerung ärmlicher Bauern.

Es ist nicht ganz auszuschließen, daß in den letzten 4000 Jahren das Klima trockener geworden ist. Doch ist das nicht der Grund dafür, daß das asiatische Steppenband zur Halbwüste wurde und die Wüsten sich immer schneller ausdehnen. Unangepaßter Ackerbau und Überbeweidung haben vor allem die Bergländer zerstört. Am Khyberpaß, dem berühmten Einfallstor nach Indien, sah ich in verwüsteter, größtenteils nackter Gebirgslandschaft in Rinnen steiler Berghänge an Nordhängen noch Baumbestände, die nur an den der Sonnenbestrahlung abgewandten Hängen zu existieren vermochten. Zweifellos könnten diese Bergländer, soweit noch Boden vorhanden ist, wieder einen Waldmantel ent-

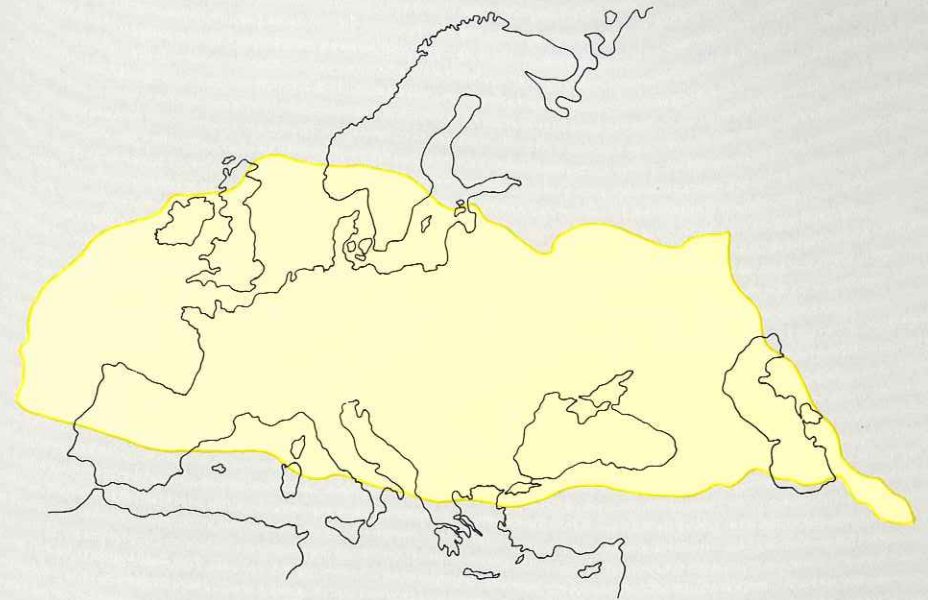


Abb. 17: Europa/Sahara mit Randzonen im gleichen Maßstab übereinanderprojiziert. In diesem Raum extremer Trockenheit gibt es nur oasenhaft-punktförmig fruchtbare Böden (aus: R. GANSSE, *Trockengebiete*, 1968).



wickeln, wenn die pflanzlichen Sukzessionsgesellschaften nicht sofort wieder der unkontrollierten Überbeweidung zum Opfer fielen.

In *Australien* mit der großen Ausdehnung von originären Wüsten und Halbwüsten hat die weiträumige, wenn auch extensive Haltung von Rindern und Schafen durch Vegetationsänderung und -zerstörung zu progressiver Austrocknung geführt, ohne daß einer Klimaänderung die Mitverursachung zugeschrieben werden muß.

In *Südamerika* gibt Brasilien ein Musterbeispiel für Landschaftsaustrocknung: Wälder weichen den Kaffeeplantagen, Urwälder am Amazonas werden mit modernster Technik großflächig gerodet. Zurück bleiben erschöpfte Böden, denen zur Selbstregeneration weder Zeit noch Ruhe gelassen wird. Dasselbe passierte den Maya mit dem Maisanbau.

In den *USA* hat die Emporhebung der Rocky Mountains das Land bis zum 100. Längengrad vom Einfluß des Meeres abgeschnitten und in Steppe verwandelt unter Einschaltung wüstenhafter Teilgebiete. Im Verlauf der letzten 200 Jahre sollen 60 Millionen Hektar Anbaufläche durch Erosion verloren gegangen sein. Das heißt: diese Böden sind jetzt durch menschliche Einwirkung ausgetrocknet und nur noch für extensive Weide nutzbar.

In allen Defensivräumen und Defensivbiotopen wirken Land- und Weidewirtschaft landschaftsdestruktiv. Es müssen besondere Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, damit das bioökologische Gleichgewicht erhalten bleibt und die Agrarwirtschaft ohne Landschaftsschäden befriedigende Dauerernten erzielen kann. Dazu aber gehören Einsichten, die wir in den von der Wissenschaft aufgeklärten Industrieländern jetzt auch für die Gebiete außerhalb unserer humiden gemäßigten Breiten erarbeiten sollten.

### 10. Entwicklungshilfe als geistiger Prozeß

Erosion, Austrocknung und Fruchtbarkeitsverlust sind Sozialschäden, die Summe bzw. Resultate individuellen Mißbrauchs. Man kann sie nicht durch Einzelmaßnahmen reparieren oder verhüten. Die Bauern, die die Bedrohung ihrer Lebensgrundlage durchaus erkennen, müssen Erosionsschutz als Gemeinschafts-

aufgabe verstehen lernen. Vorerst fehlen dazu noch das kommunale Gemeinschaftsbewußtsein und das Gefühl der Verantwortung jedes einzelnen der Gesamtheit gegenüber. Doch wer mit seiner Familie am Rande der Existenz lebt, kann den ersten Schritt in neue Verhaltensweisen noch nicht leisten. Er muß nämlich nicht ohne Grund befürchten, daß er traditionell gesicherte Rechte zugunsten seiner Nachbarn aufgibt. Das gilt für nahezu alle Entwicklungsländer und erschwert die Einflußnahme übergeordneter Stellen. Das Leben verläuft noch unflexibel in traditionellen Bahnen.

Die Gedankenlosigkeit hinsichtlich der zukünftigen Folgen ihrer land- und forstwirtschaftlichen Aktivitäten, die Nichtbeachtung des Rohstoffwertes bei der Weiterverarbeitung, der Mangel an jeglichem Gemeinsinn und das Fehlen von Verantwortungsgefühl gegenüber öffentlichem Eigentum lassen die Handlungsweise der bäuerlichen Bevölkerung in der Dritten Welt ohne Logik und Verantwortung erscheinen. In Wirklichkeit ist ihr Verhalten aus der individuellen Perspektive gesehen absolut logisch. Der Blickwinkel ist nur ein anderer. Die aus ihm abgeleiteten Folgerungen sind durchaus konsequent, wenn auch für uns, die wir in einem wissenschaftlich-technischen Weltbild leben, nicht immer sofort einsichtig.

Das bedeutet unter anderem, daß Entwicklungshilfe geistig vollzogen werden muß. Sie ist erst in zweiter Linie eine Übermittlung von technischem »know-how«. Kollektive Rationalität hat im Bewußtsein der Bevölkerung der Dritten Welt noch keine Grundlage. Das traditionelle Denken ist in den Entwicklungsländern zudem religiös fundiert und damit rationaler Belehrung weitgehend entzogen.

Jeder Mensch lebt aus bestimmten Glaubenshaltungen und Vorstellungen. Bei uns herrscht der Glaube an die absolute Überlegenheit von Wissenschaft und Technik mit allen sich daraus ergebenden ideologischen Konsequenzen. Unsere Aufgabe besteht darin, diese eigenen Voreingenommenheiten und ideologischen Voraussetzungen zu erkennen, nicht darin, sie ohne weitere Überlegung auf andere Kulturen zu übertragen.

P. R. HOFSTÄTTER definiert Kultur als die »Summe der Selbstverständlichkeiten in einem Gesellschaftssystem«. Unsere Selbstverständlichkeiten stimmen nicht mit denen der Menschen einer



Subsistenzwirtschaft überein. Anstatt uns darum zu bemühen, die Selbstverständlichkeiten fremder Kulturen zu verstehen, verabsolutieren wir unsere eigenen. Sehr treffend hat das N. SILBERSCHMIDT formuliert: »Es mutet seltsam an, daß Europa die Kraft zur Ordnung im eigenen Bereich nicht aufbringt, sich hingegen in echatologischer Hoffnung umwälzende Erfolge von einer als wirtschaftliche Rettungsaktion aufgezogenen Hilfe an die Entwicklungsländer verspricht«.

### 11. Prognose

Wir haben gesehen, daß die in allen Kontinenten schnell zunehmende Erosion und Austrocknung eine für die Weltbevölkerung verhängnisvolle Kettenreaktion herbeizuführen beginnt: abnehmende Fruchtbarkeit der Böden führt in immer stärkerem Maße zum Versuch eines Ausgleichs durch Ausdehnung des Anbaus in ungeeignetes Gelände. Die Folgen für die Vegetation, die Struktur des Bodens und das Klima haben wir ausführlich erörtert. Der Mensch ist heute im Begriff, das natürliche Grundgefüge der Landschaft global und irreversibel zu verändern. Der Wendepunkt ist überschritten. Die Gefahr ist akut.

An diesem Punkt drängt sich die Frage auf, ob die große Kulturwende im Neolithikum, die Sammler und Jäger zu Bauern machte, womöglich den Beginn einer Fehlentwicklung eingeleitet hat. Damals begann der Mensch, durch den Anbau monokotylter Getreidegräser sich immer weiter ausdehnende »Kultursteppen« zu schaffen. Damals begann die anthropogene Versteppung der Erde, die in knapp 10 000 Jahren aus langsamen Anfängen das Gesicht der ganzen Erde verändert hat. F. HESKE wies 1937 in Britisch-Indien mit damals noch 25 % Waldbedeckung nach, daß die Bauern auf den Wald als Ernährungsgrundlage angewiesen sind. Allein den Wert der Gerbstoffe und des Schellack schätzte HESKE auf mehr als 110 Millionen Reichsmark pro Jahr. Die Nebenprodukte übertreffen in ihrer Bedeutung für die bäuerliche Bevölkerung den Holzwert (Brenn- und Nutzholz).

In den Tropen ist die pflanzliche Produktion nicht unterbrochen: Die Sonnenenergie steht während des ganzen Jahres gleichmäßig zur Verfügung. Nach H. RUTHENBERG (1976, Abbildung 18) erbringen Ölpalmpflanzungen 30–60 dz, Maniok 200–400 dz mit

Abb. 18: Anbau-Leistungsvergleich pro Hektar und Jahr in den Tropen und in den gemäßigten Breiten (frei nach H. RUTHENBERG, 1976).

Kulturpflanzen	Tropen	gemäßigte Breiten
Öl aus Palmpflanzungen	30–60 dz	
Raps		5–12 dz
Reis	80 dz bei 3 Ernten 120 dz	
Maniok	200–400 dz ( 70–130 dz reine Stärke)	
Kartoffeln		30–50 dz reine Stärke
Futtergräser (Trockenmasse)	100–150 dz (maximal: 500 dz)	40–50 dz

33 % Stärke, Reis 80 dz, bei 3 Ernten 120 dz, Futtergräser 100–150 dz, maximal bis 500 dz je Hektar und Jahr. Die Leistungen der meist einmaligen Ernten in den gemäßigten Zonen werden also weit übertroffen. Die tropischen Böden sind jedoch nach der Zerstörung der schützenden Pflanzendecke sehr empfindlich. Der Humus, aufgebaut in Jahrhunderten, ist nach wenigen Jahren verbraucht.

Die Mineraldüngung wiederum hat bei abnehmender Fähigkeit des Bodens zur Wasserspeicherung abnehmende Wirkung. Die Böden sind schnell erschöpft und erfordern bei richtiger Behandlung hohe Aufwendungen. Wenn Wasser fehlt, was sehr oft der Fall ist, ist ein Anbau nur in der Regenzeit möglich.

Die genannten Maximalleistungen kommen nur auf guten, intensiv gepflegten Böden vor. Der Kern des Ernährungsproblems liegt nach H. RUTHENBERG nicht am Leistungspotential, sondern an der Naturwidrigkeit und den destruktiven Begleiterscheinungen des Ackerbaus in den Tropen. Baumpflanzungen sind im Durchschnitt leistungsfähiger und leichter zu handhaben. Dazu kommt der landschaftsökologische Nutzen dieser Kulturwälder. Kulturbaumpflanzungen sind in den Tropen naturgemäßer. Sie



bieten höhere Hektarerträge als die Kultursteppe der gemäßigten Breiten. (Außerhalb der Tropen dagegen liefert die »Kultursteppe« mehr Nahrung.) Sie könnten bei einem angemessenen Größenverhältnis von Land- und Forstwirtschaft zu Nahrungsquellen werden und auch die Belieferung mit den Nebenprodukten gewährleisten – wenn sich die Entwicklung umkehren ließe. Doch der bisher eingeschlagene Weg läßt sich nicht ohne weiteres umkehren. Es sollte jedoch wenigstens erreicht werden, daß dem »tree-farming« größere Bedeutung zuerkannt und die Entwaldung durch Anlage von Kulturbaumpflanzungen, etwa Öl- und Kokospalmdäner, aufgehalten wird.

In diese Richtung zielt das neue Aufforstungs- und Walderhaltungsprogramm der indischen Forstverwaltung, das erstmalig im Himalayastaat Himachal Pradesh erprobt wird. Bisher verfolgten die indischen Forstbehörden vorwiegend ökonomische Gesichtspunkte ohne Berücksichtigung der vitalen Interessen der bäuerlichen Bevölkerung. Deshalb wurde auch kein dauerhafter Erfolg erzielt. Die Bevölkerung war nicht in die staatlichen Programme integriert.

Seit 1976 ist ein entscheidender Wandel eingetreten. Es wurde eine Konzeption erarbeitet, die den Wald und seine Erhaltung mit den Interessen und Bedürfnissen der Bauern verbindet. Kommunale Land- und staatliche Forstwirtschaft wurden zum ersten Male integriert: Wiederaufforstung, Schutz der noch bestehenden Wälder und Verjüngung der übermäßig genutzten Wälder in Zusammenarbeit mit den Dörflern.

Das Ziel ist die Beendigung der bisherigen unkontrollierten Ausbeutung der Bestände und die Herbeiführung einer geregelten Nutzung. Dem dienen folgende Maßnahmen:

1. Gewinnung von Brenn- und Nutzholz für die Dorfgemeinden in eigens zu schaffenden Baumbeständen in Dorfnähe mit schnell wachsenden und rasch regenerierenden Baumarten.
2. Gewinnung von Laubfutter und von Streu für das Vieh durch Schneiteln bestimmter Laubbäume, ferner Gewinnung von Gras als Viehfutter, Pflanzen einer möglichst großen Zahl verschiedener Arten von Futterbäumen und gleichzeitiges Verdichten der bisher zu sehr geschneitelten Eichenwälder.
3. Förderung der Landwirtschaft durch Anlage von Bewässe-

rungskanälen und Hilfe bei der Erosionsbekämpfung, Sicherung der Einzugsgebiete der größeren Flüsse, um den Wasserhaushalt zu regulieren.

Das Programm sieht ein Bündel von Bedingungen vor, die die Dörfler zu ihrem Vorteil annehmen müssen:

- Verbot der Waldweide,
- Mithilfe bei der Anlage von Zäunen, die dem frei weidenden Vieh den Zugang zum Wald verwehren, und beim Bepflanzen der Hänge.
- Aufteilung der Schneitelwälder auf die Familien, so daß die zu starke Laubnutzung in Dorfnähe, die zum Absterben der Futterbäume und der dorfnahen Eichenwälder führte, unterbunden wird.

Das riesige Nahrungspotential der Wälder für das Vieh soll so genutzt werden, ohne daß die Gefahr einer weiteren Entwaldung heraufbeschworen wird.

Es gibt kein universales Konzept für die Wiederherstellung des ökologischen Gleichgewichts. Eines ist sicher: Der neue Versuch der indischen Behörden unter Einbeziehung von Land- und Forstwirtschaft ist wegweisend. Wichtig ist aber auch zu wissen, daß es bei Fragen dieser Art niemals um die grundsätzliche Entscheidung für die eine oder die andere Alternative gehen kann. Der traditionellen Hochleistungslandwirtschaft mit ihrer starken Abhängigkeit von der Belieferung mit industriellen Chemikalien, deren aufwendiger Einsatz nur auf guten, bewässerungsfähigen Böden lohnt (und der dort auch gefördert werden soll) steht die agrarökologische Methode nicht als Alternative, sondern als Methode der Wahl zur Versorgung mittlerer und ärmerer Böden zur Seite.

Man weiß, daß die Böden der bewässerten Reisfelder (sawahs), die auf Java jährlich bis zu 3 Ernten liefern, von Blaualgen mit Nährstoffen versorgt werden, wenn man sie richtig behandelt. Man weiß auch, daß die Wurzeln der meisten unserer Waldbäume in Symbiose mit *Mykorrhizapilzen* leben und ihren Stickstoffbedarf auch auf armen Böden mit Hilfe der Pilze decken. Knöllchenbakterien vermitteln den Leguminosen Stickstoff in gebundener Form. Stickstoffversorgung und Erosionsbekämpfung sind damit Schlüssel zur Lösung der Welternährungskrise.



Die Getreideerträge stehen im direkten Verhältnis zum Stickstoffgehalt der Böden. Die steigenden Kosten für den Energieaufwand zur Herstellung von Kunstdünger machen es den Entwicklungsländern jedoch unmöglich, sich dieser Methode zu bedienen, ohne immer mehr in finanzielle Abhängigkeit von den Industrieländern zu geraten. Gelänge es dagegen, eine biologische Bodenverbesserung durch Anreicherung von Luftstickstoff mit Hilfe von Bakterien oder Pilzen auch für Getreidegräser zu entwickeln, dann könnte eine schnelle Steigerung der Nahrungsproduktion für die wachsende Menschheit die Wälder entlasten. Das Diagramm der Abbildung 19 zeigt die Ursachen und Wege der Entwicklung originärer Klimaxgesellschaften zum Ödland über degenerative und regenerative Stadien in den Tropen. Je primitiver die Zivilisation ist und je größer die Bevölkerungsdichte, um so größer ist auch die Erosionsgefahr und um so schneller kommen die lebensnotwendigen Kreisläufe von Wasser und pflanzlichen Nährstoffen im Boden zum Erliegen. Eine Rückkehr zu den Klimaxformen von Wald und Steppe (Stadium I) und eine Regeneration von Ödland (Stadium IV) ist überall dort unmöglich, wo der Bevölkerungsdruck weiter wirkt.

Regenerative und degenerative Kreisläufe kommen nur zwischen den Stadien II und III vor. Hier muß der Hebel zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ansetzen: Daueranbau mit hohem Ernteertrag und Verhinderung, daß die Sekundärwälder und die sekundären Grasfluren durch Überbeweiden, unkontrolliertes Schneiden, illegale Holzentnahme und Brände progressiv degradieren. In Deutschland sind Wälder Baumpflanzungen auf meist ärmeren Böden, die bei landwirtschaftlicher Nutzung unzureichende Erträge bringen. Ihre Ökonomie wird längst biologisch, landschafts- und agrarökologisch gewertet. Die Gesamtfläche, das »grüne Viertel« der deutschen Landoberfläche, bleibt erhalten. Intakte Kulturwälder und Kultursteppen bestimmen das floristische Bild der mittel- und westeuropäischen Landschaft. Die Industrieländer erhalten mit großem finanziellem Aufwand das Kapital der hohen Fruchtbarkeit ihrer Böden. In Berlin sind sogar sterile Dünenlande zu fruchtbarem Gartenland geworden.

Hier liegt ein ruhender Pol gegenüber der beunruhigenden Tatsache, daß immer größere Teile der Erde dem Raubbau an Wald und Boden ausgesetzt sind. Noch können die über große Agrar-

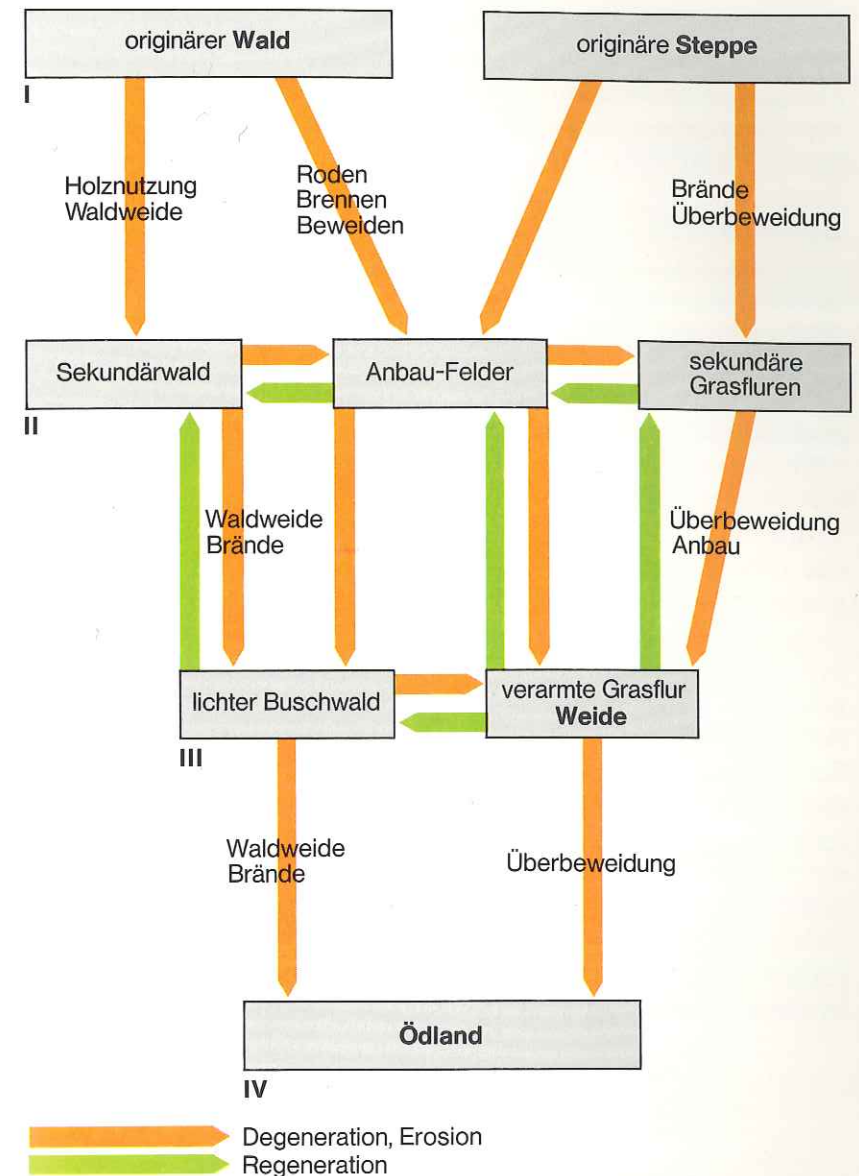


Abb. 19: Degenerative und regenerative Stadien der Entwicklung der ursprünglichen Wald- und Steppenformationen zu Ackerland, zu sekundären Klimax-Gesellschaften und zur Endphase »Ödland«. Die Entwicklung von I zu IV vollzieht sich über die Kreisläufe II/III. Sie entscheiden über die Erhaltung der Nutzbarkeit oder über das Ausscheiden als Ödland.



flächen verfügenden Länder Australien, Kanada und die USA den Weltgetreidemarkt beliefern und die Menschheit vor akuten Hungersnöten bewahren. China, mit 850 Millionen Menschen der volkreichste Staat der Erde, hat den Hunger beispielgebend besiegt, und zwar nicht durch eine bloße landwirtschaftliche Produktionssteigerung, sondern zugleich durch Dämpfung des Bevölkerungswachstums, Familienplanung, Aufforstung und Entwicklung der Landwirtschaft zeitigen hier rasche Erfolge, die durch gelegentliche klimabedingte Mißernten zwar erschwert, aber nicht grundsätzlich aufgehoben werden.

Schon 1957 habe ich in meinem Buch »Drohende Wüste« auf die Gefahren der fortschreitenden Austrocknung hingewiesen. Jetzt sind sie weltweit erkannt. Im August/September 1977 legte die »Wüstenkonferenz« der UNO in Nairobi/Kenia einen Situationsbericht und ein Aktionsprogramm vor. Danach ist  $\frac{1}{3}$  der Erdoberfläche arid oder semiarid. 630 Millionen Menschen (16% der Weltbevölkerung) leben in Trockenräumen, die sich auf der ganzen Erde ausdehnen. Jetzt weiß man, daß in diesen Trockenräumen bei steigender Bevölkerungszahl alle Anbau- und Weidegebiete überbeansprucht sind. Jede Unregelmäßigkeit des Regens führt zwangsläufig zu Erntekatastrophen (ein typisches Beispiel sind die regelmäßig wiederkehrenden Hungersnöte in der afrikanischen Sahelzone).

Afrika mit der größten Wüste der Erde (Abbildung 17) ist am stärksten betroffen. Die afrikanischen Staaten haben in der UNO ein besonderes Gewicht. Daher ist vielleicht die Hoffnung berechtigt, daß der wachsende Druck der UNO und die Einsicht der Industrieländer die Durchführung der 1977 in Nairobi international konzipierten und kontrollierten Aktionsprogramme im Interesse der ganzen Welt durchsetzen werden.

#### Weiterführende Literatur:

- ANDREAE, B.: Räumliche Grenzen des Nahrungsspielraumes – der Landbau im Spannungsfeld zwischen Extension und Intension. Naturw. Rundschau 1976, 11.
- EGGER, K.: Ausbeutung oder Kooperation, Landbau in ökologischer Verantwortung. Scheidewege, E. Klett Verlag, Stuttgart, 1976, 2.
- HOENNINGER, H.: Manual of reforestation and erosion control for the Philippines. Ges. für technische Zusammenarbeit, Eschborn, 1975.
- KOLLMANNSPERGER, F.: Man-made landscape changes in the Himalayas and change in microclimate and biotopes. Ges. für technische Zusammenarbeit, Eschborn, 1977.
- RIEGER, H. Chr.: Himalaya-Wasser – Literaturanalyse über die Frage der Auswirkungen von Entwaldung, Erosion und sonstigen Störungen im Einzugsgebiet des Ganges und des Brahmaputra; Südasien-Institut, Heidelberg, 1976. Himalaya ecosystems research mission: Nepal Report – India Report; Südasien-Institut, Heidelberg, 1976.
- RUTHENBERG, H.: Das Welternährungsproblem – Erfolge, Schwierigkeiten und Aufgaben. Stimmen der Zeit, 1976.
- WALTER, H.: Vegetationszonen und Klima. Ulmer Verlag, 1971.