

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 km² 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 km². 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 km² 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

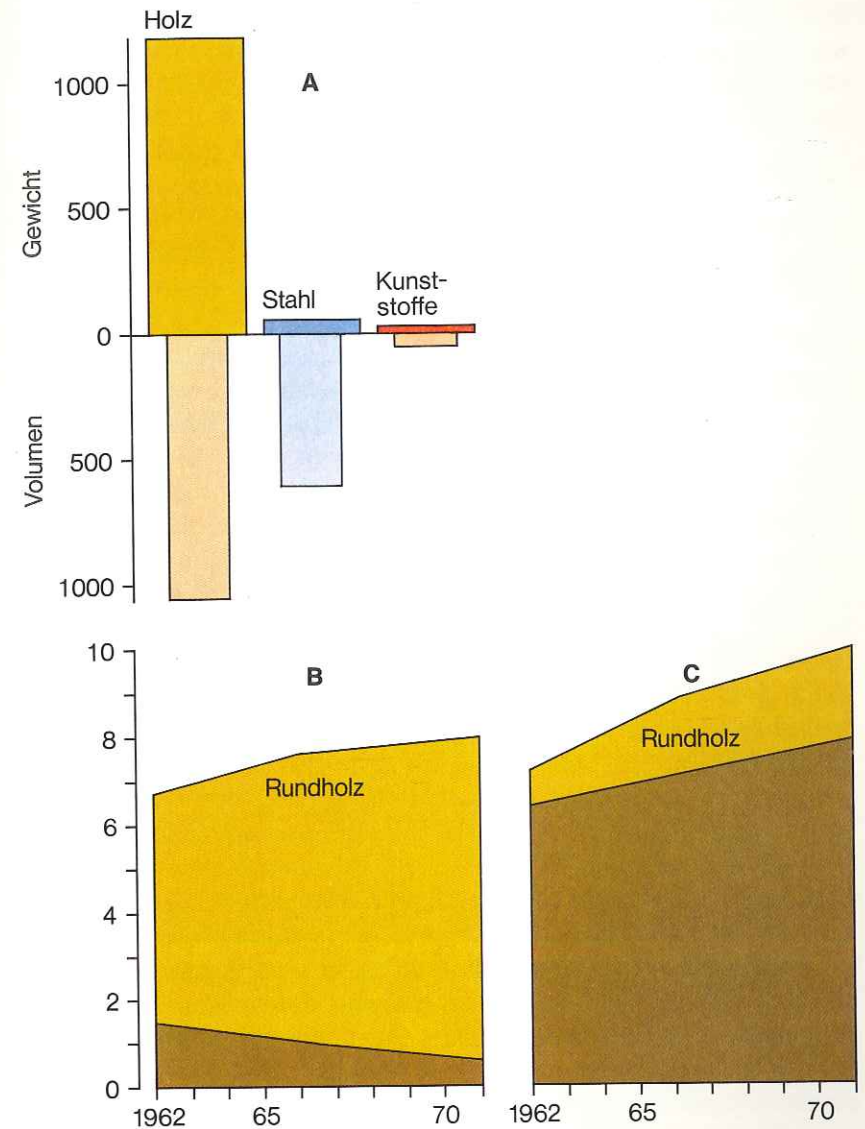


Abb. 1: A = die Weltproduktion von Rundholz, Stahl und Kunststoffen 1971. B = Entwicklung des Rundholzeinschlags im Verhältnis zur Brennholznutzung in Industrieländern und C = in Entwicklungsländern (aus: H. SCHULZ, Der Zwang zur Holzproduktion, 1977).

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 wegswemmen.

Das System Klima–Boden–Vegetation ist in den Tropen am labilsten. Das bedeutet, daß das Zerstören der Wälder und der künstliche Anbau einer nicht adäquaten Vegetation von Kulturpflanzen, 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 verlaufenden, 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 Hangterrassen müssen aber so angeordnet sein, daß der Niederschlag von länger anhaltenden Wolkenbrüchen ohne Schäden an Beeten und Terrassenwällen abfließen kann. Sehr oft enden die Wasserausläufe 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 unbedeckt lassende Monokultur, vor allem der Anbau von Mais, die Erosion fördert. Die Bauern terrassieren bei Maisanbau die Hänge nicht. Staunässe soll vermieden werden. Die Bodenbedeckung ist unter Mais besonders schütter.

Natürlicher Wald hat dagegen in der Stamm- und Kronenschicht ein ausgeglichenes Mesoklima, das sich vom Makroklima außerhalb des Schattenschutzes wesentlich unterscheidet. Das Mikroklima des Bodens, abgeschirmt gegen das Mesoklima des Waldes durch die Streuschicht und die Bodenvegetation, bestimmt entscheidend 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 verschiedener Tiefe. Die Fruchtbarkeit »jungfräulicher« Waldböden

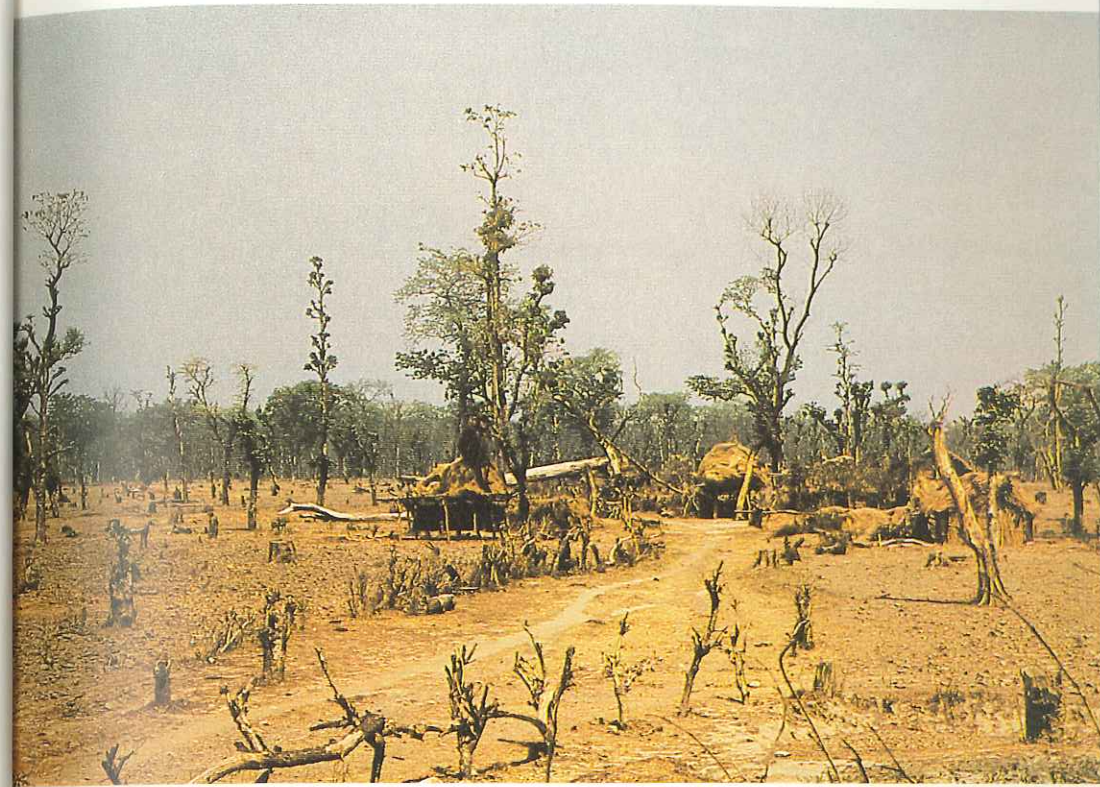


Abb. 2: So beginnt eine Neuansiedlung im Terai (Nepal): Landsuchende Bauern roden den Wald.

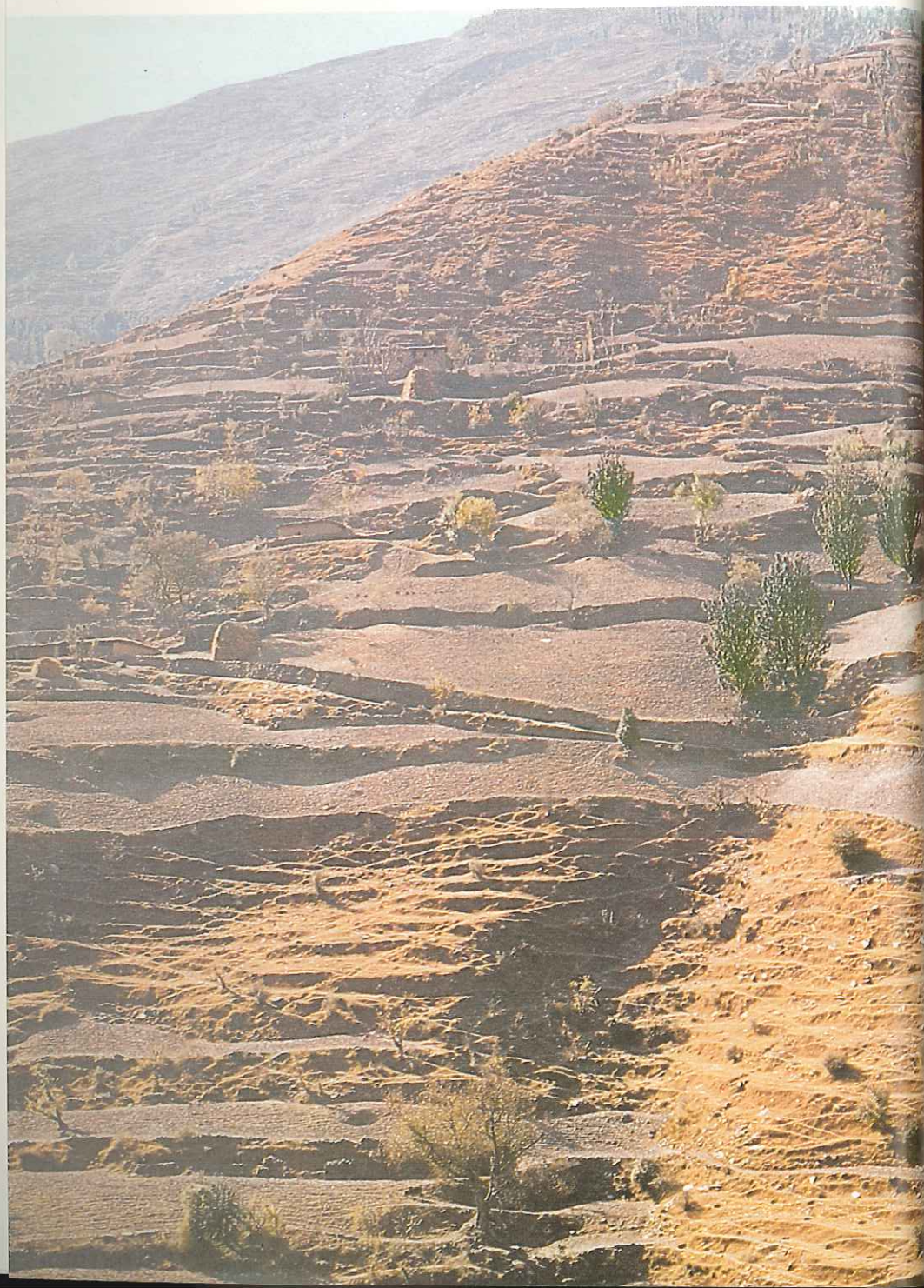


Abb. 4: Nicht ausreichend fest verbaute Terrassenfronten erodieren in kürzester Zeit.

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 km² 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 m³ 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-

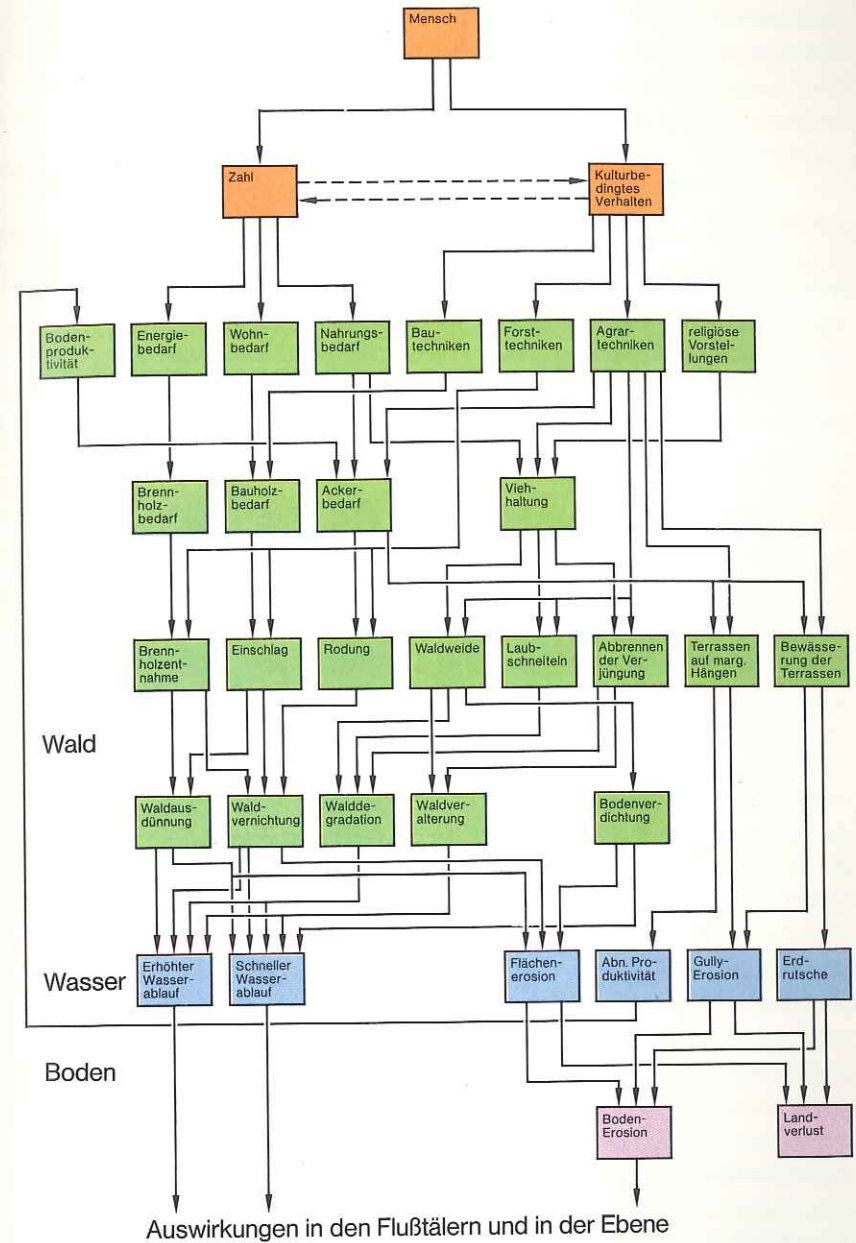


Abb. 6: Die Ursachenverkettung bei der anthropogenen Erosion (aus H. Chr. RIEGER, Himalaya-Wasser, 1976).

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 m² nahezu 100 Liter Wasser abfließen oder

von jedem Hektar 1000 m³ 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 2¹/₂ 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 m² 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.

