

Flächennutzung und Ausmaß der Bodenerosion im Hochgebirgsrelief Südecuadors

von

HILMAR SCHRÖDER und NADJA GUTERMUTH

mit 8 Abbildungen und 4 Tabellen

1 Einleitung

Auf der UNCED-Konferenz im Juni 1992 in Rio de Janeiro wurden zum ersten Mal die Umweltprobleme in den Hochgebirgen unserer Erde grundlegend angesprochen. Im Kapitel 13 der Agenda 21 mit dem Titel „Managing Fragile Ecosystems – Sustainable Mountain Development“ wird dabei deren globale Bedeutung hervorgehoben. Obwohl, je nach Art der Berechnung, etwa nur ein Zehntel bis ein Fünftel der Landoberfläche zu den Hochgebirgen zu zählen ist, lebt rund die Hälfte der Weltbevölkerung von deren Ressourcen. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt der sich verknappenden Wasserressourcen und des zunehmenden Bevölkerungsdrucks ist zu erwarten, dass sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ein grundlegender Wandel der Flächennutzung vollziehen wird. So wird beispielsweise die Erweiterung von forst- und landwirtschaftlichen Nutzflächen im bisher nur wenig oder noch nicht genutzten Steilrelief erhebliche Abtragserscheinungen zur Folge haben. Auch eine Intensivierung des Anbaus auf Flächen, die historisch schon sehr lange Zeiträume in Nutzung waren, werden durch Bevölkerungsdruck und Mechanisierung in Mitleidenschaft gezogen werden. Vor allem infolge des Straßenbaus in bisher unzugänglichen Landschaften wird es zur Ablösung traditioneller Landbauweisen kommen.

Heute schon gehen nach Schätzungen von ZACHER (1982) der Menschheit pro Jahr etwa 20 Millionen Hektar Nutzfläche durch Bodenerosion verloren. Die Standorte, auf denen ein deutlicher Rückgang der Bodenfruchtbarkeit infolge des Abtrags festgestellt werden kann, liegen drei- bis viermal so hoch. Dabei wird überwiegend im semiariden Bereich mit beträchtlichen Auswirkungen gerechnet. Für die inneren Tropen geht man aufgrund des dichten Pflanzenkleides auch im Steilrelief nur von geringen Schäden aus. Das Prozessgefüge der Bodenerosion im Sinne von SCHMIDT (1979) ist bei dichtem Pflanzenbewuchs auf die intensiven Niederschläge eingestellt. Wie verhalten sich aber nunmehr die Oberflächen in den Tropen, die zumindest zeitweilig von der Vegetation entblößt bzw. intensiv durch Weidewirtschaft genutzt werden?

2 Untersuchungsgebiet

Um das Ausmaß der Bodenerosion unter traditionellen Bewirtschaftungsweisen einschätzen zu können, musste ein Hochtal als Untersuchungsraum gewählt werden, welches durch den Straßenbau noch nicht so weit erschlossen ist, dass die Bearbeitung der Felder mechanisiert erfolgen kann. Im Südwesten von Ecuador, ca. 6 km von der peruanischen Grenze im Hochbecken von Amaluzá (Abb. 1), sind diese Bedingungen erfüllt. Die Ortschaft Amaluzá ist an das ecuadorianische Straßennetz angeschlossen und unterdessen auch von Loja aus durch eine Busverbindung erreichbar.



Abb. 1: Lage des Studiengiebts im Süden Ecuadors

bar, jedoch sind die Nutzflächen nicht durch mechanisierte Bearbeitung zu bewirtschaften, da die Wege fast ausschließlich nur zu Fuß oder durch Nutztiere begangen werden können. Weitere Einschränkungen für eine mechanisierte Bodenbearbeitung sind das enorme Steilrelief, welches ackerwirtschaftlich bis über 40° genutzt wird, und die z.T. sehr intensive Tiefenerosion auf den Wegen, die eine Befahrung unmöglich machen (Abb. 2).

Das Untersuchungsgebiet liegt im Randbereich der inneren Tropen (LAUER & ERLNBACH 1987) mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 19,9°C in 1720 m Höhe und fast keinen jahreszeitlichen Temperaturschwankungen (Abb. 3). Das Niederschlagsregime ist von Mai bis Oktober durch eine ausgeprägte Trockenzeit und von November bis April durch eine Regenzeit mit Höhepunkt im März charakterisiert (BENDIX & LAUER 1997). Die Niederschläge setzen in den Monaten Oktober bis Dezember recht allmählich ein, was natürlicherweise einen relativ geringen erosiven Abtrag zur Folge hat. Die Bestellung der Felder ist im November weitestgehend beendet, so dass die sehr intensiven Niederschläge ab Januar auf ein sich schließendes Pflanzenkleid treffen. Diesbezüglich dürfte die nutzungsbedingte Erosionsdisposition ebenfalls niedrig sein. Die Kartierungen fanden im November und Dezember 1997 statt. Die Witterungsvorhersagen im Sommer 1997 legten nahe, dass während dieser Zeit in dem Gebiet mit intensiven Einflüssen des El Niño-Phänomens zu rechnen ist (vgl. auch BENDIX 1994, 1997). Während im Bereich der Costa zwischen Pazifik und Andenwestkette im November und Dezember wirklich das 10-30fache



Abb. 2: Schluchtenwegerosion in 1950 m Höhe

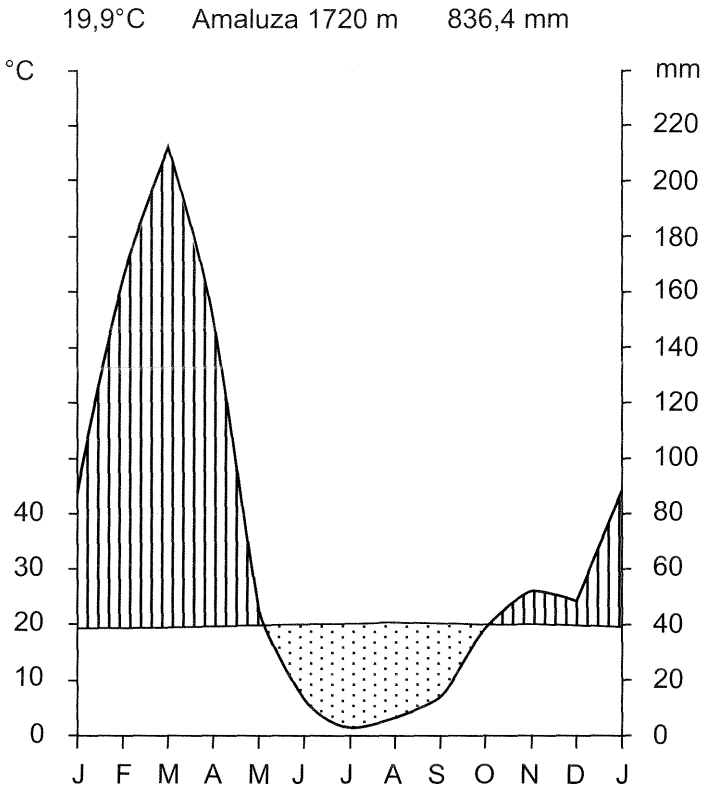


Abb. 3: Klimadiagramm der Station Amaluza

(SCHRÖDER & ADLER 1999) der normalen Niederschläge fielen, konnten im Hochbecken von Amaluza, welches durch vier Gebirgsketten mit Höhen zwischen 1 500 und 2 500 m von der Costa getrennt ist, in keinem Fall Niederschläge beobachtet werden, die ihre Ursache im El Niño-Phänomen hatten. Die Niederschläge kamen während des Kartierungszeitraums ausschließlich über die Cordillera de Sabanilla, welche die Andenhauptkette darstellt. Diese Kette ist hier nur knapp über 3 500 m hoch, was offensichtlich nicht ausreicht, um als Wasserdampfsperre gegenüber dem Amazonastiefland zu wirken. Obwohl die Niederschläge durch intensive Wolkenbildung über der Costa häufig drohten, fiel Regen nur bei klarem Wetter im Bereich der Costa. Bei aussetzendem Westwind gelangte dann die Feuchtigkeit über die Cordillera de Sabanilla, östlich von Andaluza, und führte zu Starkniederschlägen.

Da nach BENDIX (1998) der Verlauf des El Niño-Phänomens eher ungewöhnlich war, da die mit Abstand intensivsten Niederschläge während des Kartierungszeitraumes gefallen sind und bereits ab März ein Abschwächen beobachtet werden konnte, ist davon auszugehen, dass der Einfluß des El Niño-Phänomens im Hochtal von

Amaluza unbedeutend war. Ob dies für alle El Niño-Phänomene und für andere Hochtäler auch zutrifft, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Die agrarische Nutzung im Hochgebirgsbecken von Amaluza in Südecuador ist nicht wie in vielen anderen Hochtälern in den Anden durch einen vertikalen Austausch der Produkte (LAUER 1987) gekennzeichnet. Das Steilrelief unterhalb des Ortes bietet kaum Anbaumöglichkeiten und nach oben hin wird die Weidenutzung bei ca. 2 600 m durch den einsetzenden Nebelwald begrenzt.

3 Methodik der Flächennutzungs- und Bodenerosionserfassung

Ackerwirtschaftliche Nutzung führt zur zeitweiligen Entblößung der Oberfläche von der abtragshemmenden Vegetation und damit zum verstärkten Bodenabtrag. Unter ökologischen Gesichtspunkten würde der Bodenerosion vorgebeugt, wenn während der Zeiträume intensiver Starkniederschläge eine möglichst geschlossene Bodenbedeckung mit festem Wurzelgeflecht vorhanden wäre, die in der Lage ist, die Bodenaggregate zu binden.

Besonders gefährdet ist die Phase nach der Bodenbearbeitung bei einsetzenden Starkniederschlägen, also für das Untersuchungsgebiet während des Kartierungszeitraums. Um eine qualitative Einschätzung vornehmen zu können, müssen die wesentlichsten Flächennutzungsarten, die im Sinne einer Realnutzungsanalyse (KRAUSE 1988) kartiert wurden, bewertet werden.

3.1 Realnutzungseinheiten (Abb. 4)

3.1.1 Ackerflächen

Unter Ackerflächen werden diejenigen Realnutzungseinheiten verstanden, die durch Bodenbearbeitung (im Untersuchungsgebiet ausschließlich Feldbau mit der Hacke) zeitweilig von der Vegetation entblößt und die mit Feldfrüchten bestellt werden. Weitflächig relevant sind fünf Feldfrüchte: Zuckerrohr, Yuca (= Maniok), Banane, Bohnen und Mais.

- *Zuckerrohr*: Nach einer relativ kurzen Aufwuchsphase erfolgt die Ausbildung eines dichten Wurzelgeflechts. Durch einsetzenden Blattmassenverlust, der als Streu die Bodenoberfläche bedeckt, ist ein zusätzlicher Schutz während der Reifephase vorhanden, so dass in der Aufwuchsphase von einer mäßigen, sonst geringen Erosionsdisposition ausgegangen werden kann.
- *Yuca*: Während der gesamten Aufwuchs- und Reifephase bestehen zwischen den Pflanzen größere ungeschützte Zwischenräume, die nur unwesentlich von Wildkräutern besetzt werden. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass während der gesamten Anbauzeit eine hohe, in der Aufwuchsphase sogar eine sehr hohe Erosionsdisposition besteht.

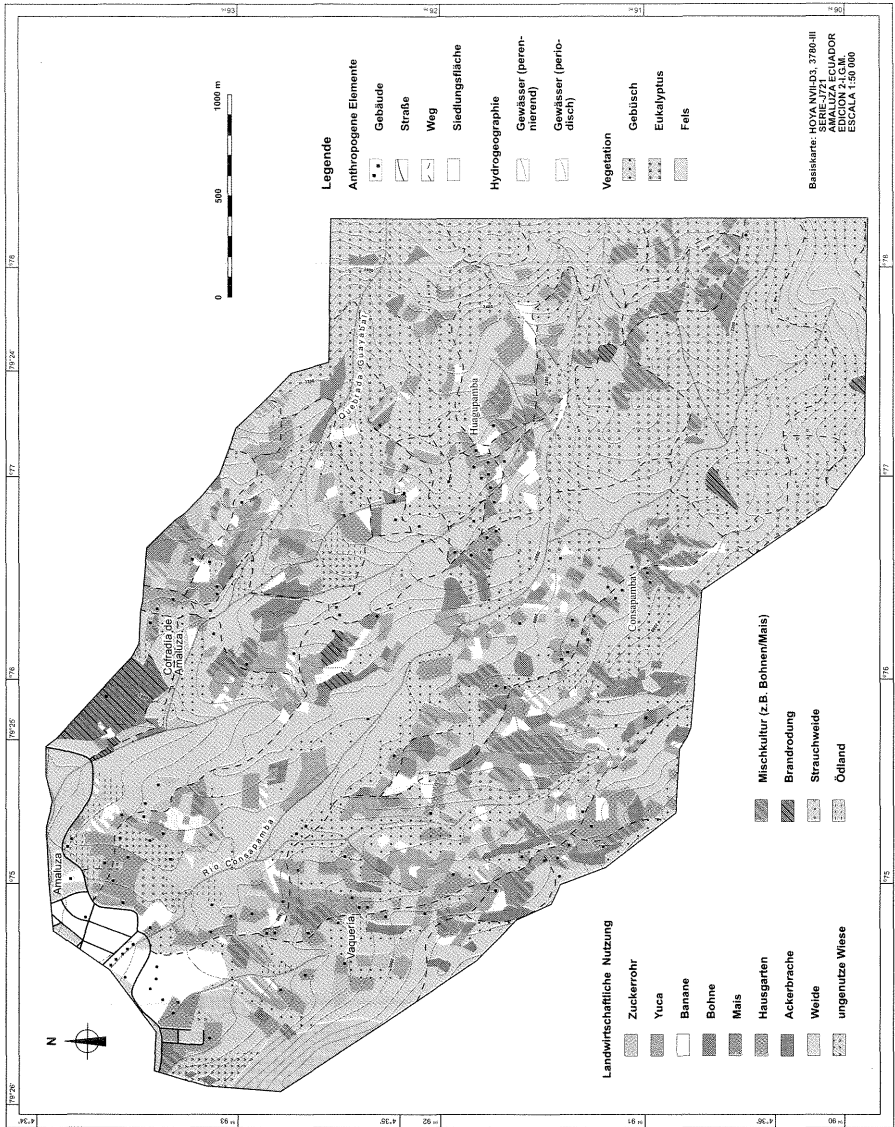


Abb. 4: Realnutzungseinheiten im Einzugsgebiet des Rio Consapamba bei Amaluza

- *Banane*: Während der Aufwuchsphase erfolgt recht schnell die Ausbildung eines großen Blattwerks, welches bei dicht stehenden Pflanzen fast flächendeckend sein kann. Obwohl die Spritzwirkung auf der Bodenoberfläche erheblich reduziert ist, muss in der Aufwuchsphase von einer hohen und in der Reifephase von einer mäßigen Erosionsdisposition ausgegangen werden, da die Stauden nur einen geringen Schutz vor Oberflächenabfluss (auch bei Fremdwasserzufuhr) bieten.

Baut man Zuckerrohr, Yuca und Banane in einer Mischkultur an, so kann wohl nach einer kurzen erosionsgefährdeten Aufwuchsphase von einem optimalen Erosionsschutz gesprochen werden. Auch die Kombination von Zuckerrohr und Banane erweist sich als günstig, da die Banane die Spritzwirkung reduziert und das Zuckerrohr stark den Abfluss behindert. Nicht so vorteilhaft ist die Kombination von Banane mit Yuca bzw. Zuckerrohr mit Yuca. Bei ersterem wird der Abfluß nur unwesentlich reduziert und bei letzterem bleibt die Spritzwirkung hoch. Der Anbau der Mischkulturen wird häufig nur auf sehr kleinparzellierten Flächen bis in Höhen von etwa 1900 m realisiert. Je größer die Flächen sind, desto eher besteht die Tendenz zur Monokultur. Yuca, Banane und Zuckerrohr werden ab einer Höhe von 1900 m seltener. Die höchste Anpflanzung von Bananen befand sich in 2100 m Höhe. Die tropischen Nutzarten werden in der Höhe durch Bohnen und Mais ersetzt.

- *Bohnen*: Während der gesamten Aufwuchs- und Reifephase bildet sich keine Blattmasse bzw. kein Wurzelgeflecht, das Erosionsschutz bietet. Deshalb muss von einer extrem hohen Erosionsdisposition ausgegangen werden.
- *Mais*: Auch diese Feldfrucht besitzt nur ein unzureichendes Blattwerk und Wurzelgeflecht, so dass die Erosionsdisposition während der gesamten Anbauphase extrem hoch ist.

Bohnen und Mais werden sehr oft als Mischkultur angebaut. Aber auch da bleibt, insbesondere während der Aufwuchsphase, die extrem hohe Erosionsdisposition bestehen. Eine gewisse Ergänzung bilden dann beide Feldfrüchte während der Reifephase. Aber auch während dieser Zeit muss noch von einer hohen Erosionsdisposition ausgegangen werden.

Alle weiteren Feldfrüchte und Kombinationen zwischen ihnen sind flächenhaft unbedeutend, so dass darauf nicht näher eingegangen werden soll.

Eine für das Erosionsgeschehen wichtige Realnutzungseinheit sind die Hausgärten. Sie sind überwiegend kleinflächig, mit häufig tief im Boden verankerten Schutzwällen umgeben und fast ausschließlich mit Mischkulturen bestellt, deren Differenzierung bis zur Einreihigkeit der angebauten Kulturpflanzen gehen kann. All diese Eigenschaften führen zu einem hohen Erosionsschutz, der dadurch noch unterstützt wird, dass die Hausgärten im Steilrelief isohypsenangepasst konfiguriert sind und durch ihre gestreute Lage im Relief häufig zusammenhängende Abtragsbahnen unterbrechen. Neben den o.g. Feldfrüchten werden vor allem Zitrusfrüchte, Tomaten

und Zwiebeln angebaut. Mit einer Ausnahme konnte weder Kartoffel- noch Getreideanbau beobachtet werden. Zum Zeitpunkt der Kartierung waren auch brachliegende Felder flächenhaft unbedeutend; in diesen Ausnahmefällen dann allerdings mit einer sehr hohen Erosionsdisposition.

3.1.2 Weide

Bei den Weideflächen des Untersuchungsgebiets handelt es sich zum großen Teil um ehemalige Ackerflächen. Eine Ausnahme bilden die peripher und auch oft in sehr steilen Hanglagen befindlichen Flächen. Ausgliedert wurden die Areale, bei denen kein Tierfraß beobachtet werden konnte; sie wurden unabhängig davon, ob eine Mahd vorhanden oder zu erwarten war, als ungenutzte Wiese bezeichnet. Unter dem Gesichtspunkt des Erosionsschutzes können diese Areale genauso behandelt werden, wie quasinatürliche Flächen, da sie ein dichtes, völlig abtragungsschützendes Wurzelgeflecht aufweisen. Des weiteren wurde die Realnutzungseinheit „Strauchweide“ ausgeschieden. Hierbei handelt es sich um Flächen, bei denen eindeutig Beweidung stattfindet, auf denen jedoch infolge des zu geringen Beweidungsdrucks überwiegend fraßresistente Sträucher wuchsen. Gegenüber den normalen Weideflächen haben wir es hier mit einer Konzentration von Schäden auf den Teilen zu tun, die derzeit noch einer intensiven Beweidung unterliegen. Dort allerdings ist der Schädigungsgrad häufig höher. Eine Sonderform stellen die Ödlandflächen dar. Hierbei handelt es sich um Bereiche, bei denen die Nutzung eingestellt oder stark vermindert werden musste. Oft sind es Oberflächen unterschiedlich alter Rutschungen. Überwiegend ist auf steilen oder schwer zugänglichen Hanglagen die Verbuschung so weit fortgeschritten, dass entweder keine Beweidung mehr stattfinden kann oder nur noch die Viehgangeln durch die Gebüsche beweidet werden. Diese Flächen wurden dementsprechend auch als „Gebüsche“ aufgeführt. Bodenerosionserscheinungen sind hier flächenhaft unbedeutend. Im Kartierungsgebiet gibt es keine größeren Waldflächen. Bedeutend sind aber die Aufforstungsflächen mit Eukalyptus. Insbesondere in der Aufwuchsphase treten noch intensive Bodenerosionserscheinungen auf. Mehrfach konnten in Altbeständen nicht mehr aktive Erosionskerben beobachtet werden. Mit dem Dichterwerden des Unterwuchses verringert sich jedoch die Abtragsdisposition.

3.2 Geomorphodynamik – Bodenerosion

Unter Bodenerosion wird im allgemeinen der über das natürliche Maß hinausgehende Bodenabtrag durch Wasser, Wind und Gravitation verstanden. Da es im Gelände meistens sehr schwer ist, die Ursache der Materialverlagerungen zu bestimmen, wird in bezug auf die Gesamtheit der Abtragserscheinungen von Geomorphodynamik gesprochen (Abb. 5). Neuere Untersuchungen zur Bodenerosion im lateinamerikanischen Teil der feuchten Tropen liegen u.a. von BECKER (1994), HAGEDORN (1995), ADLER (1997) und SCHRÖDER & ADLER (1999) vor. Auffallend bei den Ergeb-

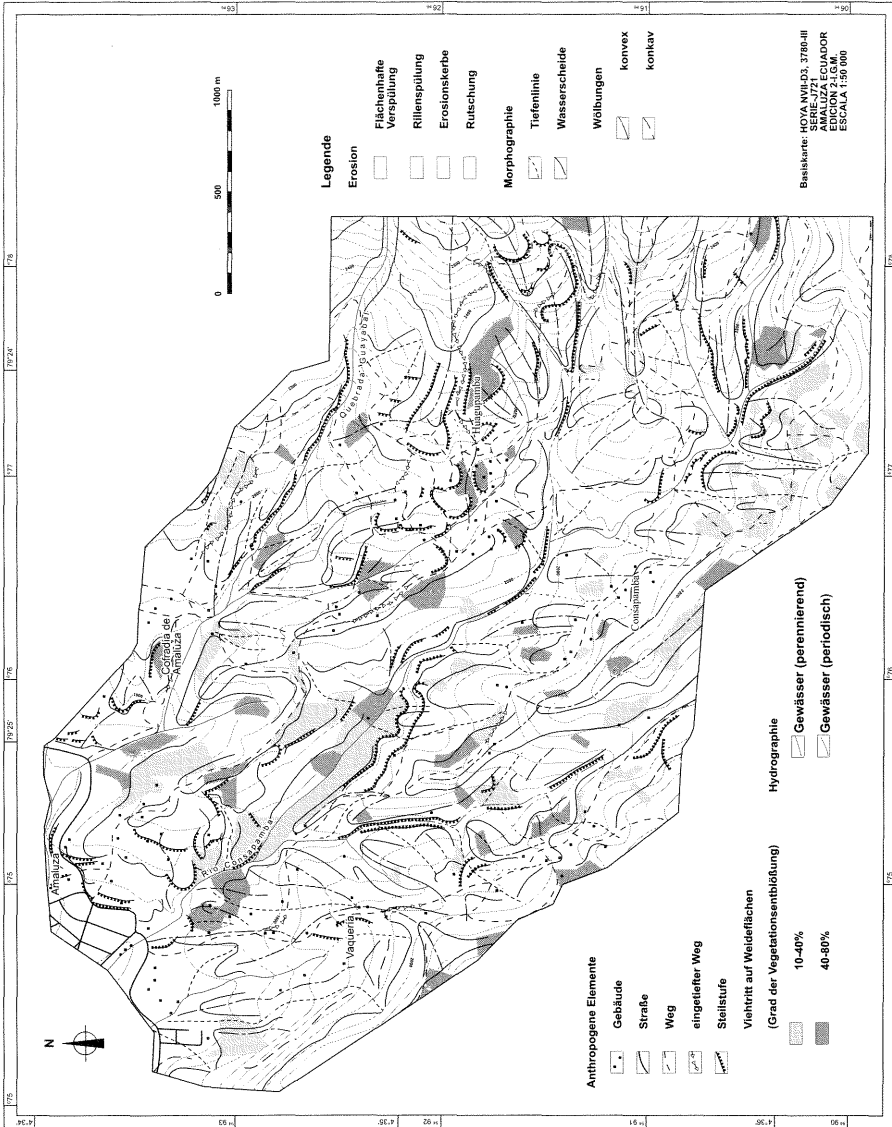


Abb. 5: Geomorphodynamik im Einzugsgebiet des Rio Consapamba bei Amaluzá

nissen ist, dass die Oberflächen sich, insofern sie nicht gerade frisch bearbeitet wurden, gegenüber normalen Starkniederschlägen wie sie im Rhythmus der Regen- und Trockenzeiten auftreten, sehr stabil verhalten. Tritt jedoch eine Wasserübersättigung in den oberen Bodenhorizonten auf und handelt es sich zudem noch um schluffreiche Böden, so kann es in kurzer Zeit zu derart intensiven Abträgen kommen, dass die normalerweise in den Außertropen verwendeten Auffangvorrichtungen versagen und dies, obwohl beträchtlich kleinere Bezugsflächen (10 m^2) als zum Beispiel bei den gängigen Bodenabtragsgleichungen (USLE, CREAM, ABAG u.ä.) gewählt wurden (HAGEDORN 1995, ADLER 1997). Auffallend ist auch, dass die linear-konzentrischen Abspülungen überdurchschnittlich häufig von Rutschungen begleitet werden. Diese Kombination ist im außertropischen Bereich nur selten, jedoch häufig bei neu anthropogen geschaffenen Böschungen (z.B. durch den Straßenbau) zu beobachten.

Im Untersuchungsgebiet sind vier Erosionserscheinungen wesentlich:

- *Flächenhafte Verspülung*: Durch die Bearbeitung der Oberfläche mit der Hacke wird jeweils ein neues Mikrorelief geschaffen. Kommt es mit dem Einsetzen der Regenzeit zu einer allmählichen Intensivierung der Niederschläge, so werden die Hohlformen im Mikrorelief langsam verspült. Ein linear-konzentrischer Abfluss findet nicht oder nur untergeordnet statt. Mit dem Aufgehen der Saat wirken nunmehr die Pflanzen durch Blatt, Stängel und Wurzelwerk erosionshemmend. Die Einebnung des Mikroreliefs kann nur noch verzögert vor sich gehen, so dass diese flächenhafte Verspülung die dominierende Oberflächenform ist. Die umgelagerten Mengen sind nur in seltenen Fällen beträchtlich, jedoch durch Überschüttung auf benachbarte Flächen (Feldraine, Weiden) auch sichtbar. Diese Erosionsform existiert bei exzessivem Oberflächenabfluss mit nur geringen Materialtransportmengen und auf weniger steilen Hängen.
- *Rillenspülung*: Hierunter sind alle Abtragserscheinungen subsumiert, von der Kleinstrille bis zur Rinne, im Sinne von SCHMIDT (1979). Derartige Oberflächenformen treten insbesondere dann auf, wenn nach erfolgter Bodenbearbeitung ein sehr intensiver Niederschlag fällt, der das Speichervermögen des Oberbodens überfordert und bei dem die durch die Bearbeitung geschaffenen Hohlformen nicht mehr in der Lage sind, den linear-konzentrischen Abfluss zu bremsen. Je steiler der Hang, desto wahrscheinlicher wird das Auftreten dieser Erosionsformen. Das Material wird zum großen Teil in und über die präexistente Tiefenlinien abtransportiert. Es ist deshalb häufig nur über das vorhandene Ausraumvolumen zu quantifizieren.
- *Erosionskerben*: Im Gegensatz zu den beiden ersten Abtragserscheinungen sind die Erosionskerben durch den saisonalen Bearbeitungszyklus der Oberfläche nicht oder nur unzureichend wieder zu beseitigen. Im Gegensatz zum Pflug wird durch die Hacke der Oberboden nicht durchgängig gelockert. Die Erosionskerben werden dabei meist mit sehr lockerem Material wieder verfüllt. Sie sind zwar oft oberflächlich dann nicht mehr sichtbar, jedoch setzt jede folgende Erosion un-

mittelbar in ihnen wieder an, so dass die Offenlegung sehr schnell bis unter den Bearbeitungshorizont zustande kommt. Im fortgeschrittenen Stadium müssen die Erosionskerben aus der Nutzung genommen werden; häufig jedoch ohne dass ihre Funktion eingeschränkt wird. Der Abtrag des gesamten lockeren Bodenmaterials und beträchtliche übermannshohe Verkerbungen sind die Folge (Abb. 2).

- *Rutschungen*: Die oft sehr tonreichen Bodenhorizonte haben zwar die Eigenschaft, dass sie sehr viel Wasser speichern können, es jedoch nur verzögert wieder abgeben. Dies bedeutet, dass im Laufe einer Regenzeit das Wasserspeichervermögen überdurchschnittlich stark beansprucht wird. Durch Übersättigung werden die Bindungskräfte reduziert und das Schervermögen heraufgesetzt. Es kommt zu Rutschungen. Sie treten in allen Flächennutzungsarten bei überwiegend sehr steilen Hängen auf. Jedoch ist auffallend, dass sie sich in der Nähe von Ortschaften und an Südhängen konzentrieren. Dies legt die Vermutung nahe, dass diese erosionsgeschädigten Flächen, die heute nur noch zur Beweidung genutzt werden können, früher durch zu schwere Tiere (Rinder, Pferde) beweidet wurden, die nicht nur durch Fraß, sondern auch durch Tritt das Wurzelgeflecht schädigten und eine Verdichtung des Bodens bewirken. Zusätzliche Gleitbahnen entstanden und die Rutschungsdisposition der beweideten Fläche erhöhte sich beträchtlich.

4 Das nutzungsbedingte Ausmaß der Bodenerosion

Die Übertragung von Bodenerosionsmodellen wie von WISCHMEIER & SMITH (1978), AUERSWALD (1984) oder LÖWA (1996) unter außertropischen Bedingungen erprobt und zum Teil mit umfassenden quantitativen Messdaten belegt, ist in den inneren Tropen vor allem aufgrund schwieriger logistischer Bedingungen nur eingeschränkt möglich. Man muss deshalb auf die verfügbaren Daten zurückgreifen und sie entsprechend ihrer Erosionsdisposition beurteilen.

Uninteressant für die Einschätzung des nutzungsbedingten Ausmaßes der Bodenerosion sind die Siedlungs- und Gebäudeflächen, die Felsflächen und das Ödland. Sie nehmen insgesamt 6 % des Untersuchungsgebietes ein. Einen nahezu völligen Erosionsschutz bieten die Gebüschflächen und nichtbeweideten (ungenutzten) Wiesen. Beide Realnutzungsarten bedecken zusammen 13 % der Oberfläche. Von insgesamt 19 % der Flächen ist also kein Bodenabtrag zu erwarten. Setzt man für die Brache den Faktor 1, so sind die Realnutzungsarten entsprechend der Tab. 1 zu bewerten (SCHRÖDER 1982, 1985, KRONEN 1989, HAGEDORN 1995, ADLER 1997).

Berechnet man den Flächennutzungsanteil und den Realnutzungsartenfaktor nach ADLER (1997), der einen jährlichen Gesamtabtrag von 15t/ha/a auf einer tonig-schluffigen Brachfläche unter vergleichbaren klimatischen Bedingungen bei 29° Hangneigung ermittelte, so ergeben sich die in Tab. 2 dargestellten Abtragswerte.

Tab. 1: Anteile der Flächennutzungsart und Realnutzungsartenfaktor im Untersuchungsgebiet

Flächennutzungsart	Anteil in %	Realnutzungs- artenfaktor
Brache	1	1
Mais	2	0,7
Yuca	2	0,65
Bohnen	4	0,65
Bohnen/Mais	5	0,6
Banane	6	0,55
Banane/Yuca	2	0,5
Zuckerrohr	6	0,45
Mais/Zuckerrohr	2	0,55
Banane/Zuckerrohr/Yuca	3	0,35
Zuckerrohr/Yuca	1	0,5
Brandrodung	6	(ohne Wertung)
Weiden (einschl. Strauchweiden)		
a) 40-80 % Viehtrittschäden	8	0,4
b) 10-40 % Viehtrittschäden	9	0,2
c) 0-10 % Viehtrittschäden	14	0,1
Hausgärten	7	0,1
Eukalyptusforst	3	0,1

Tab. 2: Gesamtabtrag pro Flächennutzungsart im Untersuchungsgebiet

Flächennutzungsart	Fläche in ha	durchschnittl. Flächenabtrag in t/ha	Gesamtabtrag t/a
Brache	11,4	15	171,0
Mais	27	10,5	283,5
Yuca	29,1	9,75	283,75
Bohne	49,8	9,75	485,55
Bohne/Mais	67,5	9	607,5
Banane	82,8	8,25	683,1
Zuckerrohr	81	6,75	546,75
Mais/Zuckerrohr	27,5	8,25	202,25
Banane/Zuckerrohr/Yuca	15,3	7,5	114,75
Zuckerrohr/Yuca	15,3	7,5	114,75
Weiden			
a)	109,7	6	658,2
b)	121,5	3	364,5
c)	189	1,5	283,5
Hausgärten	168,5	1,5	252,75
Eukalyptusforst	40,5	1,5	54,75

Lässt man die Brandrodungsflächen unberücksichtigt, so ist ein Gesamtabtrag im Untersuchungsgebiet von 5424 t/a zu erwarten, dies entspricht einem durchschnittlichen Flächenabtrag von rund 4 t/ha/a. Die Autoren sind sich darüber im klaren, dass diese Zahl nur als grober Anhaltspunkt für eine agrarisch genutzte Landschaft im Randbereich der inneren Tropen gelten kann und die geschätzten Werte neben Messungen anderer Autoren stehen, die den Bodenabtrag für Teilbereiche der ecuadorianischen Anden mit weitaus höheren Zahlen angeben (vgl. BECKER 1994).

So sprechen NINO & TRUJILLO (1986) und KNAPP (1988) davon, dass ein Kleinbauer im Laufe seines Lebens eine ein Meter mächtige Schicht seiner Ackerflächen durch Wassererosion verliert bzw. dass die Felder im Zeitraum von fünf bis fünfzig Jahren ihren fruchtbaren Oberboden verlieren. Berechnungen von CORDERO DOMINGUEZ (1989) mit der ABAG zufolge liegt der quantitative Bodenabtrag zwischen 34 und 95 t/ha/a. Dies würde der vorliegenden Berechnung sehr ähnlich sein, da die einfache Übertragung von außertropischen Abtragsgleichungen häufig zu Differenzen in der Größenordnung von einer Zehnerdimension führt (LÖWA 1996). Messungen von TAPIA ROMAN (1990) erbrachten auf einem 14 % geneigten Hang 82,7 t/ha/a Bodenabtrag.

Die niedrigen Abtragswerte zwischen 4 und 15 t/ha/a ergeben sich u.a. dadurch, dass der Flächennutzungswechsel anders als in den traditionellen Anbausystemen der Anden, nicht mehr in ausreichendem Maße vorgenommen wird. Deutlich gesenkt werden die durchschnittlichen Abtragswerte im Einzugsgebiet dadurch, dass in ortsnahem Gelände viele Weiden nicht mehr ackerwirtschaftlich genutzt werden können, da sie verdichtet oder durch Rutschungen (hier nicht quantitativ besprochen) überprägt sind. Infolgedessen muss auf den Dauerackerkulturen von Abtragsraten ausgegangen werden, die doppelt bis vierfach so hoch liegen, was die Bodenneubildungsrate deutlich überfordern sollte. Dies gilt auch umso stärker, da der Oberboden auf nicht abtragsgeschädigten Flächen von schluffigen vulkanischen Aschen gebildet wird, die bei steilen Hangneigungen nicht mehr vorhanden sind, so dass überwiegend in den phyllitischen Verwitterungsprodukten mit sehr hohen Tongehalten gewirtschaftet werden muss.

5 Auswirkungen auf die Bodenprofile

Die Böden im Tal des Rio Consapamba sind in weiten Teilen stark anthropogen überprägt und weisen zum Teil erhebliche Schädigungen auf, wie aus Abb. 6 und in Tab. 3 deutlich wird. Bodenprofiluntersuchungen zeigen, dass vor allem auf Kuppen und in Hanglagen der humose nährstoffreiche Oberboden weitestgehend abgetragen ist, so dass die Vegetation unmittelbar im C-Horizont wurzelt. Die Humusgehalte liegen an diesen Stellen unter 1%. Lediglich in Senken und Hangverebnungen, wo sich ein Kolluvium ausbilden konnte, bieten höhere Humus- (2-4 %) und Nährstoffgehalte der Böden günstigere Anbauvoraussetzungen. Die pH-Werte liegen durchgängig im stark bis mäßig saurem Milieu (4,8-5,9 $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$).

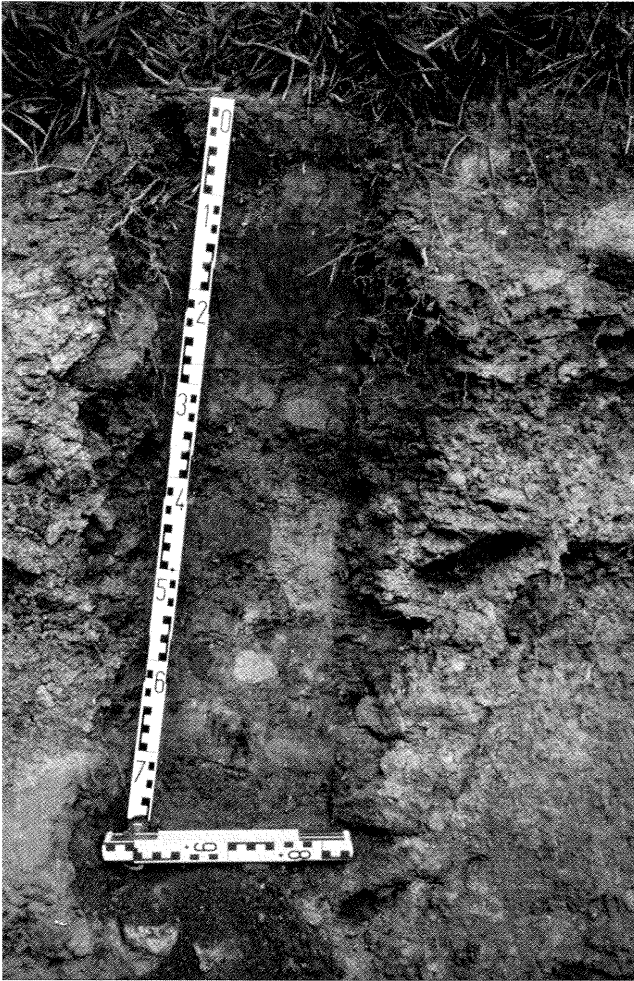


Abb. 6: Stark abtragungsgeschädigter Boden in 1840 m Höhe

Die Untersuchungen ergaben außerdem, dass Profile an ungestörten Standorten hohe Schluffgehalte aufweisen, deren Ursache in vulkanischen Aschen zu sehen ist (Abb. 7, Tab. 4). Im ackerbaulich genutzten Bereich dagegen haben die Böden an vielen Stellen die leicht erodierbare Feinsand- und Schlufffraktion größtenteils verloren und weisen in den Oberböden eine mehr oder weniger lehmige bis tonige Zusammensetzung auf. Die Unterböden sind in den meisten Fällen äußerst tonreich. Gelangen diese Horizonte im Falle erosiver Abspülung des A_n -Horizonts an die Oberfläche, ist eine landwirtschaftliche Nutzung kaum mehr möglich. Der Übergang ehemaliger Acker- zu Weideflächen war an zahlreichen Stellen zu verzeichnen.

Tab. 3: Ausgewählte bodenphysikalische und bodenchemische Kennziffern eines stark abtragsgeschädigten Bodens

Höhe über NN: 1870 m

Relieflage: schwach geneigter Hang

Ausgangsgestein: Phyllite

Nutzung: Bohne/Mais

Neigung: 6°

Exposition: NW

Hori zont	Tiefe [cm]	gS [%]	mS [%]	fS [%]	gU [%]	mU [%]	fU [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Korngrößenverteilung in Gewichtsprozent
A ₀	2										
A _h	16	3,7	5,2	5,1	5,3	9,9	12,0	14,0	35,9	58,8	
P	60	4,5	3,8	3,3	4,3	8,3	10,2	11,6	22,8	65,7	
C _v											

Hori zont	Tiefe [cm]	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	C _e [%]	Humus [%]	N [%]	P [ppm]	K [%]
A ₀	2							
A _h	16	6,75	5,85	0,59	1,02	0,04	6,54	0,02
P	60	6,94	6,11	0,44	0,76	0,06	0,54	0,01
C _v								

Tab. 4: Ausgewählte bodenphysikalische und bodenchemische Kennziffern eines nicht abtragsgeschädigten Bodens

Höhe über NN: 2195 m

Relieflage: Vollform

Ausgangsgestein: Phyllite, vulkanische Aschen

Nutzung: Ackerrainterrasse

Neigung: 0°

Exposition: ohne

Hori zont	Tiefe [cm]	gS [%]	mS [%]	fS [%]	gU [%]	mU [%]	fU [%]	S [%]	U [%]	T [%]	Korngrößenverteilung in Gewichtsprozent
A ₁	2										
A ₀	9										
A _{h1}	20	6,1	6,3	8,3	13,2	20,2	12,6	20,7	46,0	33,3	
A _{h2}	35	4,9	5,9	7,9	17,1	20,5	15,4	18,7	53,0	28,3	
E _{v1}	60	6,5	8,0	8,4	16,7	19,8	13,3	22,9	49,8	27,5	
E _{v2}	88	6,4	5,7	8,1	18,6	21,7	16,5	20,2	56,8	23,2	
C _{v1}	120	3,2	4,8	10,1	24,8	24,6	15,8	18,1	65	16,8	
C _{v2}	180	5,3	8,0	14,0	23,8	21,9	12,9	27,3	58,6	14,1	

Hori zont	Tiefe [cm]	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	C _e [%]	Humus [%]	N [%]	P [ppm]	K [%]
A ₁	2							
A ₀	9							
A _{h1}	20	5,79	5,09	2,20	3,78	0,22	2,00	0,06
A _{h2}	35	5,86	5,13	1,98	3,41	0,20	2,30	0,05
E _{v1}	60	5,87	5,19	0,78	1,34	0,09	1,68	0,05
E _{v2}	88	5,97	5,09	0,33	0,57	0,05	2,02	0,04
C _{v1}	120	5,99	5,01	0,30	0,51	0,03	0,22	0,03
C _{v2}	180	6,17	5,21	0,16	0,28	0,02	-	0,02



Abb. 7: Voll ausgebildetes Bodenprofil in ebener Lage in 2 200 m Höhe

6 Schlussfolgerungen

Die ackerbauliche Nutzung im Hochgebirgsbecken von Amaluza ist aufgrund des Steilreliefs und der klimatischen Bedingungen auf Höhen zwischen 1 700 und 2 200 m begrenzt (Abb. 8). Während im Inneren der Sierra ein großer Artenreichtum an Feldfrüchten existiert (STADEL 1985), konnten im Hochtal von Amaluza in der tierra templada bis 2 000 m nur Yuca (Maniok), Banane und Zuckerrohr und in der tierra fria nur Mais und Bohnen als Hauptanbaufrüchte kartiert werden. Andere Kulturen sind flächenhaft unbedeutend. Großer Artenreichtum herrscht dagegen in den Hausgärten, die auch durch ihre kleinkammerige Anlage und ihre Parzellenbefestigung (Zäune) einen recht sicheren Erosionsschutz bilden. Die nutzungsbedingte durchschnittliche Erosionsdisposition im Untersuchungsgebiet liegt mit etwas mehr als 4 t/ha/a in einer Größenordnung, die in den inneren Tropen nur einen unwesent-

Schematisches Profil der Höhenstufung im Tal des Rio Consapamba (Vegetation - Landnutzung)

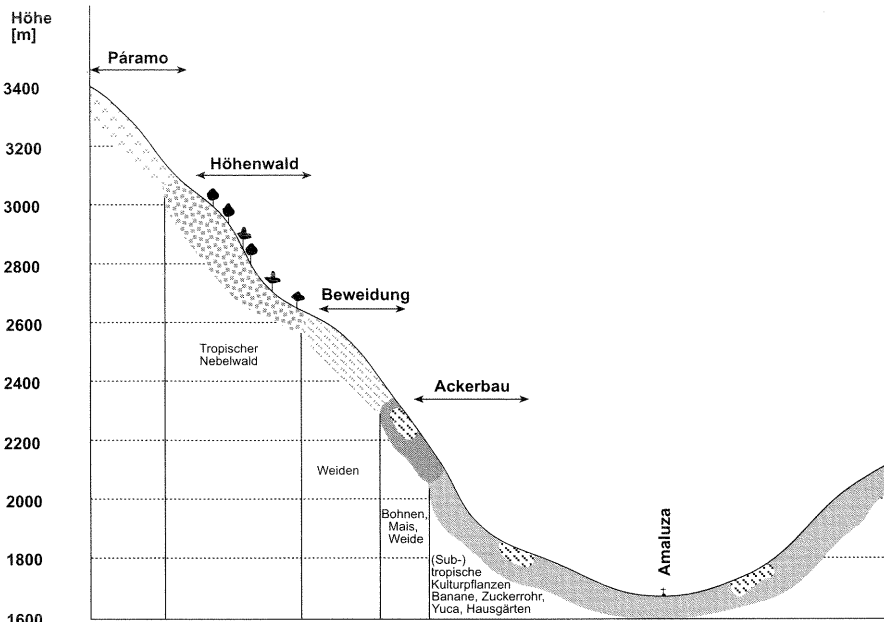


Abb. 8: Höhenstufung des Untersuchungsgebiets

lichen Rückgang der Bodenfruchtbarkeit vermuten lässt. Da aber infolge historischer Bodenerosion und einer Vielzahl von Rutschungen der Nutzflächenwechsel nicht mehr in erforderlichem Maße garantiert ist, muss man davon ausgehen, dass auf Ackerflächen beträchtlich höhere Bodenverluste zu verzeichnen sind. Darauf weist auch die intensive erosive Zerstörung des Wegenetzes hin.

Zusammenfassung

In einem zum Pazifik hin geöffneten Hochtal im Südwesten Ecuadors, sechs Kilometer von der peruanischen Grenze, wurden Untersuchungen zum Einfluss der Realflächennutzung auf den Bodenabtrag durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der im November/Dezember 1997 ermittelte potentielle Realnutzungsabtrag nur bei etwa 25 % des potentiellen Brachflächenabtrags lag. Insbesondere die weitverbreitete kleinkammerige Hausgärtenkultur und der Anbau von Mischkulturen, unter denen die abtragsschützende Bananen-Zuckerrohr-Yuca-Kombination hervorzuheben wäre, führen zu einem deutlich verringerten Bodenabtrag.

Literatur

- ADLER, S. (1997): Historische und rezente Bodenerosion in Los Nevados – Venezuela. Erlangen, Dipl.-Arb., Inst. f. Geogr.
- AUERSWALD, K. (1984): Die Bestimmung der Faktorenwerte der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung durch künstlichen Starkregen. Diss., Lehrstuhl Bodenkunde Weißenstephan, München.
- BECKER, B. (1994): Integrierter Erosionsschutz in den Anden. Tropenlandwirt 50, Witzhausen.
- BENDIX, J. & W. LAUER (1997): Die Niederschlagsjahreszeiten in Ecuador und ihre klimatische Interpretation. Erdkunde 46, Bonn, 2, S. 118-134.
- BENDIX, J. (1994): Adjustment of the Convective-Stratiform Technique to estimate 1991/93 El Niño rainfall distribution in Ecuador and Peru by means of Meteosat-3 IR data. Int. J. Rem. Sens. 18, S. 1387-1394, 2707.
- BENDIX, J. (1998): A comparative analysis of the major El Niño events in Ecuador and Peru over the last two decades. Terra Nostra 5, Köln, S. 12-13.
- CORDERO DOMINGUEZ, J.R. (1989): Formulación de una tecnología para la determinación de índices de erosión – Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- HAGEDORN, A. (1995): Untersuchungen zur Bodenerosion in der Kaffeeregion Soconusco/Südamerika. Mitt. d. Fränk. Geogr. Ges. 42, Erlangen, S. 165-181.
- KNAPP, G. (1988): Ecología cultural prehispánica del Ecuador. – Selbstverlag, Banco Central de Ecuador, Quito, Ecuador.
- KRAUSE, K.-H. (1988): Konzeption einer komplexen Flächennutzungskartierung unter ökologischen Aspekten im Maßstab 1:50.000. Hall. Jb. f. Geow. 13, Gotha, S. 67-89.
- KRONEN, M. (1989): Bodenerosion in Paraná/Brasilien. Trierer Geogr. Studien 7, Trier.
- LAUER, W. & W. ERLENBACH (1987): Die tropischen Anden. Geogr. Rundschau 39, Braunschweig, 2, S. 86-95.
- LAUER, W. (1987): Geoökologische Grundlagen andiner Agrarsysteme. Tübinger Geogr. Studien 96, Tübingen, S. 51-71.
- LÖWA, K. (1996): Zur Anwendung der Universal soil loss equation und der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung im großmaßstäbigen Bereich – dargestellt am Beispiel des Querfurter Raumes. Halle, Diss., Inst. f. Geogr.
- NINO, G. DE & G. TRUJILLO (1986): La erosión actual y potencial en Ecuador: Localización, manifestaciones y causas. – La erosión en el Ecuador. Documentos de Investigación, No. 6, Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, Quito, S. 5-14.
- SCHMIDT, R.-G. (1979): Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. Methoden und ihre Anwendung in der Rheinschlinge zwischen Rheinfeldern und Wallbach (Schweiz). Physiographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie 1, Basel.
- SCHRÖDER, H. & S. ADLER (1999): El Niño 1997/98 in Guayaquil (Ecuador). Geogr. Rundschau 51, Braunschweig, 9, 5502-507.
- SCHRÖDER, H. (1982): Qualitative und quantitative Untersuchungen zur Erfassung der bodenerosiven Abspülung, dargestellt mittels Testuntersuchungen im Einzugsgebiet der Weida (Pegel Stedten). Halle, Diss., Inst. f. Geogr.
- SCHRÖDER, H. (1985): Erfassungsmethodik und Ausmaß bodenerosiver Abspülungen auf Hanglagen im südöstlichen Harzvorland – Raum Querfurt. Hall. Jb. f. Geow. 10, Gotha, S. 81-92.

- STADEL, C. (1985): Del Valle al Monte. Landnutzung und Höhengliederung im Raum Patate-Pelileo, Ecuador. *Die Erde* 116, Berlin, S. 7-25.
- TAPIA ROMAN, V.H. (1990): Diagnóstico social, económico y físico. Provincia de Chimborazo. – Ecofuturo, Riobamba, Ecuador.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH (1978): Predicting soil erosion losses – a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* 537, US Department of Agriculture, Washington.
- ZACHER, D. (1982): *Soil erosion*. Amsterdam, Oxford, New York.