

LANDNUTZUNG UND DESERTIFIKATION IN NORD- UND WESTAFRIKA

LAND USE AND DESERTIFICATION IN NORTH AND WEST AFRICA

Hans-Joachim Späth (Hrsg./Ed.)
ISRIC LIBRARY

XF - 97.01

Wageningen
The Netherlands

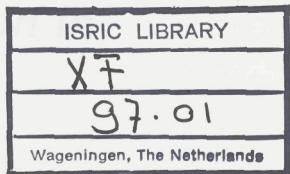
1997

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU
World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe
depository for endangered documents and to make the accrued
information available for consultation, following Fair Use
Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the
materials within the archives where the identification of the
Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the
originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl
indicating the item reference number concerned.

PGS PADERBORNER GEOGRAPHISCHE STUDIEN

Herausgegeben von
H.K. Barth, D. Düsterloh, G. Fuchs, M. Hofmann,
G. Müller, G. Römhild, W. Schlegel
Schriftleitung: J. Runge

Land Use and Desertification in North and West Africa
Case Studies from Morocco, Niger, and Togo
Band 6



Hans-Joachim Späth (Hrsg./Ed.)

Landnutzung und Desertifikation in Nord- und Westafrika
Fallstudien aus Marokko, Niger und Togo

Land Use and Desertification in North and West Africa
Case Studies from Morocco, Niger, and Togo



Im Selbstverlag des Faches Geographie, FB 1
UNIVERSITÄT PADERBORN
Paderborn

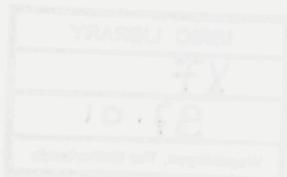
15359

PGS - ADERBÖRNER GEOGRAPHISCHE STUDIEN

Herausgegeben von

H. K. Barth, D. Dattehoff, G. Fuchs, M. Holzmaier,
G. Müller, G. Romppel, W. Schleicher

Schriftleitung: T. Rünge



Band 8

Haus- und Siedlungsbau (Hausbau)

Landnutzung und Bebauung in Nord- und Mitteleuropa
Häuser aus Material, Muster und Modus

Über das Quellen- und Dokumentationsproblem
Gesamtübersicht über die Haus- und Siedlungsbauforschung



Landnutzung und Desertifikation in Nord- und Westafrika

Vorwort

Fallstudien aus Marokko, Niger und Togo

Land Use and Desertification in North and West Africa

Case Studies from Morocco, Niger, and Togo

drückes und intensiv Nutzung der ökologischen Ressourcen. Hauptsächlich durch überdimensionierte und unzureichend kontrollierte Weidewirtschaft und die Zerstörung wichtiger Bewässerungsressourcen in Hohenlanden und Trockengrenzen entstehen die verheerenden Ergebnisse. Eine Analyse zeigt, dass im überdurchschnittlichen Maße die Bevölkerung in den drei untersuchten Staaten von Farmsystemen aus.

Das Beispiel aus dem Niger analysiert die Chancen und Risiken des Übergangs von einer Kriegs- und Flüchtlings- zur Dörflichen Lebensweise. Die Naturwissenschaften zeigen den Zusammenhang zwischen Landnutzung und Artenvielfalt, die soziale Analyse die sozialen Prozesse und die Wirtschaftsökonomie die wirtschaftlichen Prozesse.

HANS-JOACHIM SPÄTH (Hrsg./Ed.)

Die hier-Studie verfolgt das Ziel, die ökologische und soziale Entwicklung in den drei untersuchten Staaten zu untersuchen und dabei die Landnutzungsmuster und damit verbundene morphodynamische Prozesse zu erfassen.

Den Ergebnissen aus Niger und Togo gemeinsam ist erneut der vermehrte soziale Wirkungszusammenhang des Erosions- und Desertifikationsprozesses zu erkennen. Der soziale und ökologische Überlebensstrategien und Naturhaushaltszerstörung zu einem Teufelskreis schließen. Diesen zu durchbrechen und effektivere Lösungsansätze aufzuzeigen, die letztlich eine nachhaltige Verbesserung der Lebenssituation betroffener Menschen bedeuten, ist Ziel der vorliegenden Beiträge. Der Marokkobeitrag liefert ein Beispiel für breitkrepiate, heterogenen und langfristig geplante Nutzungsweisen und wird zentral in die Arbeit integriert.

Die Publikation dieser Fallstudien soll einen Beitrag für die geographische Forschung und Lehre in der Reihe der Paderborner Geographischen Studien leisten. Sie ist als Beitrag für das Seminar und Konzentration von Expertisen zur Desertifikationsproblematisierung in der Physischen Geographie an der Universität Paderborn. Den Herausgeber ist Hans-Joachim Späth. Die Fördnung der Vorbereitung und Durchführung der Beiträge in die Reihe ist durch die Förderung der Forschungseinrichtungen und der Universität Paderborn ermöglicht worden.

Im Selbstverlag des Faches Geographie, FB 1 der Universität Paderborn, wird die Reihe geführt weiterhin. Frau Dr. Ingrid Götz, UNIVERSITÄT PADERBORN, hat die Reihenleitung übernommen und die National Geographic Society hat die Finanzierung der Herausgabe übernommen. Die Bearbeitung und Bearbeitung der Abbildungen ist in der Abteilung für Geographie und Kartographie der Universität Paderborn, unter der Leitung von Prof. Dr. Peter Staub, erfolgt. Die Herausgabe und die Bearbeitung der Abbildungen ist in der Abteilung für Geographie und Kartographie der Universität Paderborn, unter der Leitung von Prof. Dr. Peter Staub, erfolgt.



1997

Paderborn, Februar 1997

Hans-Joachim Späth

Landnutzung und Desertifikation in Nord- und Westafrika

Fallstudien aus Marokko, Niger und Togo

Land Use and Desertification in North and West Africa

Case Studies from Morocco, Niger and Togo

Späth, Hans-Joachim (Hrsg./Ed.):

Landnutzung und Desertifikation in Nord- und Westafrika. Fallstudien aus Marokko, Niger und Togo.

Land Use and Desertification in North and West Africa. Case Studies from Morocco, Niger, and Togo.

Mit Beiträgen von H.-J. Späth und J. Runge.

Umschlaggestaltung: Peter Blank

Paderborn: Selbstverlag des Faches Geographie, Universität Paderborn, 1997
(Paderborner Geographische Studien; Bd. 6).
ISSN 0935-9621
ISBN 3-9800875-6-5

Copyright 1997 Fach Geographie, FB 1,
Universität Paderborn
33095 PADERBORN

Herstellung: RLS Jakobsmeyer
Vattmannstr. 4, 33100 Paderborn

Vorwort

Intensive internationale Desertifikationsforschung hat seit über drei Jahrzehnten wenige weitgreifend brauchbare Veränderungen im Landnutzungsaltag besonders gefährdeter Trockengebiete gebracht. Internationale Hilfsorganisationen konstatieren dies mit wachsender Besorgnis. Dazu dürfte u.a. die starke Spezialisierung der weitverzweigt und isoliert arbeitenden Forschungsansätze, insbesondere aber die fehlende Suche nach einer möglichen Bedeutung der gebotenen Schlußfolgerungen für die von Desertifikation bedrohten Menschen geführt haben. Budgetgetriebene Forschung hat die menschliche Komponente der Desertifikation weitgehend ausgeklammert.

Dieser Band über Probleme der Desertifikation und Landnutzung im westlichen Afrika zielt darauf ab, einen Beitrag zum Brückenschlag zwischen natur-, sozial- und ingenieurwissenschaftlich arbeitenden Disziplinen zu leisten. Der Marokkobeitrag testet die Hypothese vom kausalen Zusammenhang zwischen Bevölkerungsexplosion, Verstärkung des Beweidungsdruckes und Intensivierung der Entwaldung oberhalb von Hangterrassen, der sodann förierten Denudation und der dadurch bewirkten Zerstörung der tieferliegenden terrassierten Bewässerungsinseln im Hohen Atlas in diesem Jahrhundert. Die agro-energetische Analyse weist ein überdurchschnittlich effizientes, profitables und umweltschonendes Farmsystem aus.

Das Beispiel aus dem Niger analysiert den Charakter der sich verschärfenden Feuerholzkrise von Niamey, die Folgen der radikalen Entwaldung für die sahelische Landoberflächen, für agrarisch wichtige Eckwerte des Naturhaushaltes sowie den Handlungs- und Anpassungsspielraum der baumabhängigen traditionellen Farmsysteme.

Die Togo-Studie verbindet kleinräumig erhobene geomorphologische, bodenkundliche und agrarwissenschaftliche Informationen und erklärt auf dieser Grundlage gegenwärtige Landnutzungsmuster und damit verbundene morphodynamische Prozesse.

Den Beispielen aus Niger und Togo gemeinsam ist erneut der verhängnisvolle Wirkungszusammenhang des Erosions- und Desertifikationsgeschehens, in dem sich unangepaßte Überlebensstrategien und Naturhaushaltszerstörung zu einem Teufelskreis schließen. Diesen zu durchbrechen und effektivere Lösungsansätze aufzuzeigen, die letztlich eine nachhaltige Verbesserung der Lebenssituation betroffener Menschen bedeuten, ist Ziel der vorliegenden Beiträge. Der Marokkobeitrag liefert ein Beispiel für praktikable, nutzergerechte langfristige Problemlösungsansätze.

Die Publikation dieser Fallstudien aus dem nördlichen und westlichen Afrika in der Reihe der Paderborner Geographischen Studien ist Beleg für das Bemühen um Konzentration von Expertisen zur Desertifikationsproblematik in der Physischen Geographie an der Universität Paderborn. Den Herausgebern gilt unser Dank für die Aufnahme der Beiträge in die Reihe. Die Förderung der Forschungsarbeiten durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, durch den Deutschen Akademischen Austauschdienst und durch die National Geographic Society, Washington, DC, ist hier dankbar zu vermerken. Unser Dank gebührt weiterhin Frau Dagmar Götte-Weiß für Formatierung der Texte, Herrn Peter Blank für Layout und Bearbeitung der Abbildungen.

Inhalt

Seite

Vorwort von HANS-JOACHIM SPÄTH	5
--------------------------------------	---

TERRASSENLANDSCHAFTEN IM HOHEN ATLAS VON MAROKKO

HANS-JOACHIM SPÄTH, Norman (Oklahoma)	9
---	---

FUELWOOD CRISIS OF NIAMEY. VANISHING FORESTS AND DEVELOPMENT OF AN ARID ISLAND IN THE SAHEL OF NIGER

HANS-JOACHIM SPÄTH, Norman (Oklahoma).....	55
--	----

GEFAKTORENANALYSE ALS GRUNDLAGE FÜR DIE BEURTEILUNG VON LANDNUTZUNGSMUSTERN UND EROSIONSPROZESSEN IN NORD-TOGO

JÜRGEN RUNGE, Paderborn	89
-------------------------------	----

Die geographische Analyse der Landnutzungsmuster und -prozesse im Nordosten Togo ist die Basis für eine Beurteilung der Landnutzungsmuster und -prozesse im Nordosten Togo.

Sie zeigt, dass die Landnutzungsmuster und -prozesse im Nordosten Togo eine wichtige Rolle für die menschliche Entwicklung und das Umweltproblem spielen. Die Landnutzungsmuster und -prozesse im Nordosten Togo sind durch die Agrarwirtschaft, den Kulturrhythmus und die Landnutzungsmethoden bestimmt.

(a) Nach welchen Prinzipien erfolgen die zu beschreibenden Agrarwirtschaftsstrukturen?

(b) Bieten gegenwärtig vorhandene Ressourcenrastra innerer Landwirtschaftlichkeit qualitativ und quantitativ noch ausreichend Voraussetzungen für eine Landschaftserneuerung und langfristige Selbstversorgung und damit für die Existenz der ansässigen Farmsysteme?

Gegenwärtige Tragfähigkeit sowie Charakter und Ausmaß von erforderlichen Maßnahmen und Schutzmaßnahmen werden mit Hilfe dieser Information näher bestimmbar.

Terrassenlandschaften im Hohen Atlas von Marokko

Rezenter physischer Kulturlandschaftswandel, Agrar-ökologische Qualität und Stabilität, Produktionsenergetische Effizienz.

Terrace Landscapes in the High Atlas of Morocco

Recent Physical Change of the Cultural Landscape, Agro-ecological Quality and Stability, Energy Efficiency of Food Production

HANS-JOACHIM SPÄTH, Norman (Oklahoma)

mit 25 Abbildungen und 14 Tabellen

1. Einleitung, Problemstellung, Ziele

Das Phänomen der "forcierten Bodenerosion und Landschaftszerstörung" zieht sich wie ein roter Faden durch die zeitgenössische raumrelevante Trockengebietsliteratur [als kleine Auswahl JOHNSON (1977), GRADUS (1985), GLANTZ (1987), die Desertification Control Bulletin des UNEP oder Volume 10 der Applied Science and Development (1977)]. Viel umsetzbares ist dabei nicht zu finden; brauchbares findet mangels Austausch zwischen Wissenschaft und Entwicklungsbehörden nicht den Weg in die Landbaupraxis und deren Planung. Insbesondere der so drittmittelintensiven Fernerkundung ist es nicht gelungen, ihre Forschungserkenntnisse in kulturell annehmbare Rezepte für alternative konservative Trockengebietsnutzung umzusetzen. "Forcierte Bodenerosion" bleibt demnach ein zwar ausreichend definiertes aber unzureichend berücksichtigtes landschaftsgestaltendes Phänomen.

Solange "Naturlandschaft" als "vernetztes potentiell selbsterhaltendes System" die Grundlage für menschliches primäres Wirtschaften und Überleben bildet, stellen sich für die Agrarökologie zwei Kernfragen mit Blick auf die Landschaftsnutzung schlechthin:

- (a) Nach welchen Prinzipien vollzieht sich die zu beobachtende Agrarlandschaftsauflösung?
- (b) Bieten gegenwärtig vorhandene Ressourcenreste innerhalb einer Landschaftseinheit qualitativ und quantitativ noch ausreichend Voraussetzungen für eine Landschaftserneuerung und langfristige Selbsterhaltung und damit für die Existenz der ansässigen Farmsysteme?

Gegenwärtige Tragfähigkeit sowie Charakter und Ausmaß von erforderlichen Meliorations- und Schutzmaßnahmen werden mit Hilfe dieser Information näher bestimmbar.

MENSCHING (1985) bemerkte zum Thema "forcierte Landschaftszerstörung" hinsichtlich der montanen künstlich bewässerten Hangterrassen im Hohen Atlas von Marokko, daß zunehmender Bevölkerungsdruck im Laufe dieses Jahrhunderts Weide- und Waldnutzung oberhalb der Terrassensysteme ansteigen ließ, somit dort den flächenhaften Bodenabtrag intensivierte und hangabwärts die Terrassenlandschaften zerstörte.

Die marokkanische wie französische geographische Literatur, insbesondere aber nationale Behörden und Statistiken schweigen sich zu dieser Hypothese mit Bezug auf die Berber-rückzugsgebiete im westlichen Maghreb aus.

Die vorliegende Arbeit sucht in ausgewählten Gebieten des zentralen Hohen Atlas nach rezenten physischen Kulturlandschaftsveränderungen, analysiert agrar-ökologische Qualität und Stabilität der subalpinen Bewässerungsterrassen und berechnet schließlich die produktionsenergetische Effizienz des Farmsystems. Damit wird ein methodischer Beitrag zur Tragfähigkeitsforschung ökologischer und ökonomischer Inseln geliefert.

2. Lage des Untersuchungsgebietes und Auswahl terrassierter montaner Landschaften

Im Hohen Atlas konzentrieren sich die bewässerten Hangterrassen im Bereich zwischen den Pässen Tizi-n-Tichka und Tizi-n-Test. Innerhalb dieser Region wurden isolierte Terrassenlandschaften als Studienbeispiele nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Luftbilder sollen bis in die Zeit vor der Unabhängigkeit 1956 einen möglichen physischen Wandel des Kulturlandschaftsbildes dokumentieren und eine Korrelation mit Bevölkerungszahlen ermöglichen.
- Räumliche Isolierung soll den Charakter gegenwärtig aktiver sozio-ökonomischer Einheit gewährleisten.
- Möglichst lange horizontale Kontaktzonen zwischen Weidebereich und darunter liegenden Terrassensystemen sollen möglichst viele potentielle Ansatzstellen für übergreifende flächenhafte schleichende und/oder chaotische Bodenerosion liefern.
- Reine Konkavhänge, die das Erosionsgeschehen forcieren und räumlich konzentriren, werden ausgesondert.
- Als Siedlungslage werden Sporne, konvexe Hangteile oder Riedel außerhalb des terrassierten Bereiches bevorzugt, um Einflüsse der Eigenentwicklung der Siedlungen auf das Bild der Flächenveränderung innerhalb der Terrassenlandschaft auszuschließen.

Die hier nach ausgewählten Terrassenlandschaften konzentrieren sich um

- [1] Imzayn [$8^{\circ} 16'$ w.L.; $31^{\circ} 8'$ n.Br.] am Mittellauf des Assif Anougal, mit Terrassen in Lagen zwischen 1320 und 1400 m ü.d.M. (Abb. 1 und 2);
- [2] Taourirt [$8^{\circ} 12'$ w.L.; $31^{\circ} 4'$ n.Br.] im Quellzirkus des Hsain, mit Terrassen in Lagen zwischen 1540 und 1800 m ü.d.M. (Abb. 3);
- [3] Ameslane [$8^{\circ} 4'$ w.L.; $31^{\circ} 4'$ n.Br.] und [4] Tizgui [in $8^{\circ} 2'$ w.L.; $31^{\circ} 4'$ n.Br.] am Oberlauf des Assif Imigdale, mit Terrassen in Lagen zwischen 1700 und 1850 m ü.d.M. (Abb. 4 und 5);
- [5] Tahaliouin [$7^{\circ} 58'$ w.L.; $31^{\circ} 8'$ n.Br.] und [6] Tizi Oussen [in $7^{\circ} 58'$ w.L.; $31^{\circ} 7'$ n.Br.] am Oberlauf des Assif n'Ouissadene, mit Terrassen zwischen 1700 und 1900 m ü.d.M. (Abb. 6 und 7); und schließlich
- [7] Imlil [$7^{\circ} 55'$ w.L.; $31^{\circ} 8'$ n.Br.] und [8] Around [in $7^{\circ} 55'$ w.L.; $31^{\circ} 7'$ n.Br.] direkt am Fuß des Jbel Toubkal, am Assif n'Aït Mizane, mit Terrassen zwischen 1700 und 2150 m ü.d.M. (Abb. 8).

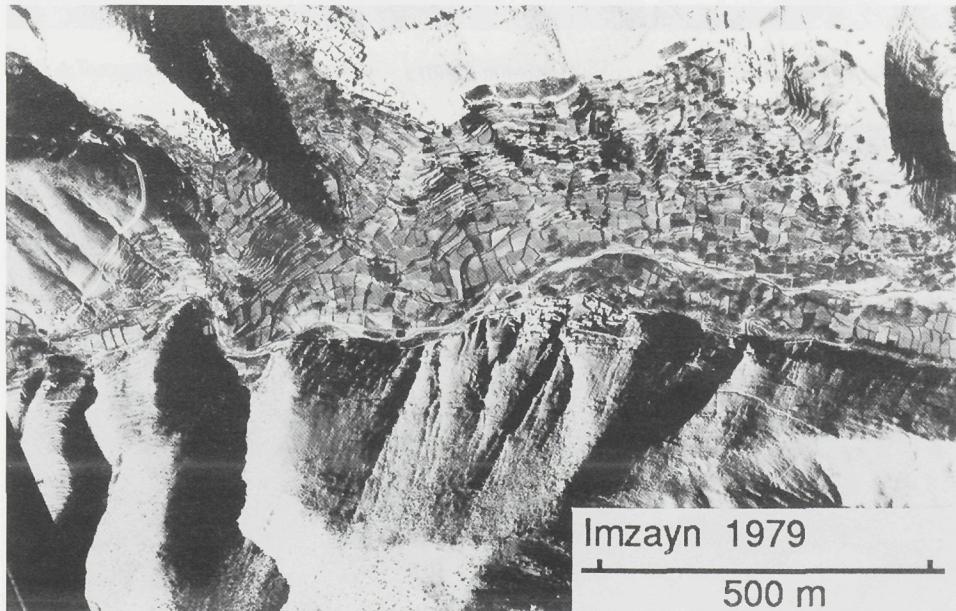


Abb.1:Terrassenlandschaft um Imzayn (Ausschnitt 1), 1979

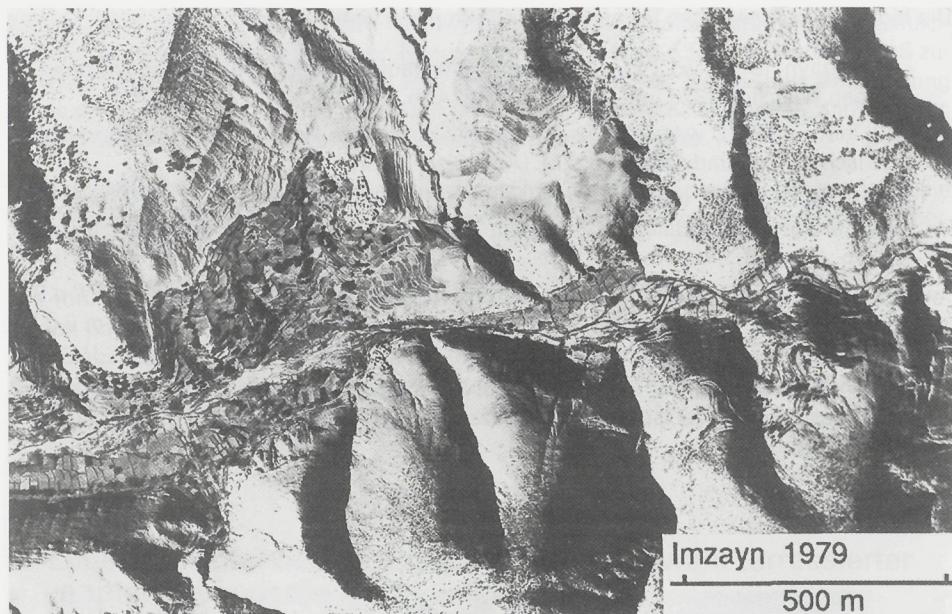


Abb. 2: Terrassenlandschaft um Imzayn (Ausschnitt 2), 1979

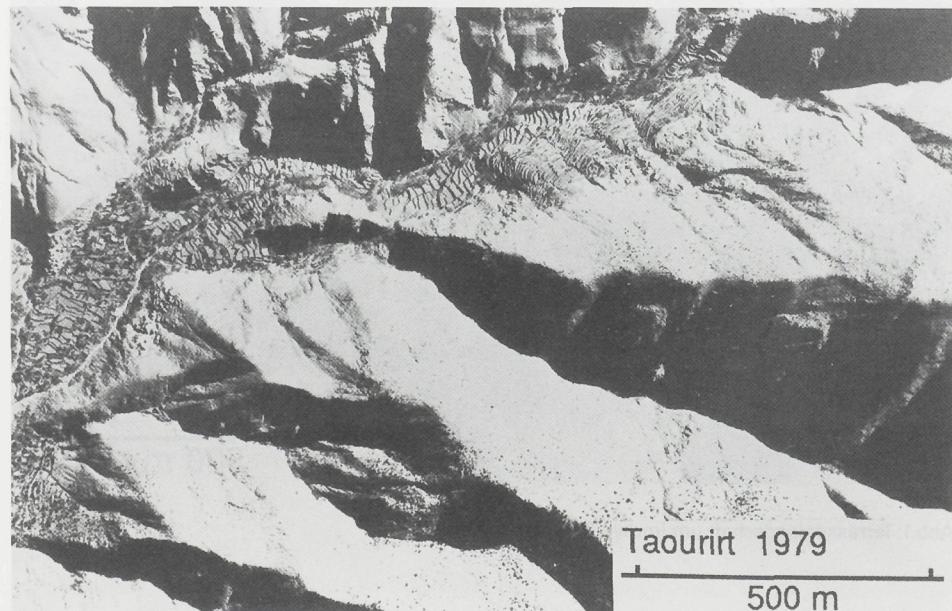


Abb. 3: Terrassenlandschaft um Taourirt (Ausschnitt), 1979

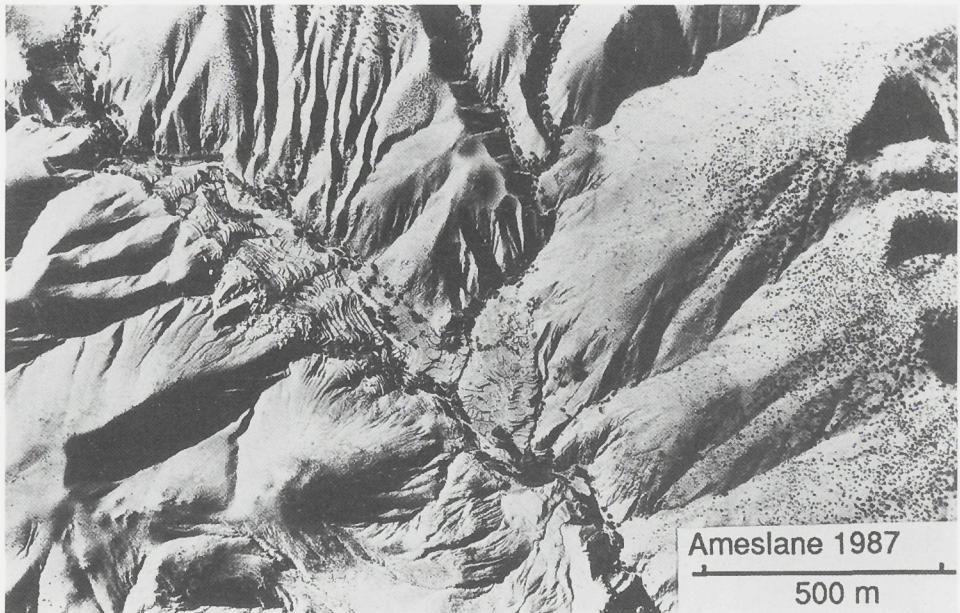


Abb. 4: Terrassenlandschaft um Ameslane (Gesamtansicht), 1987

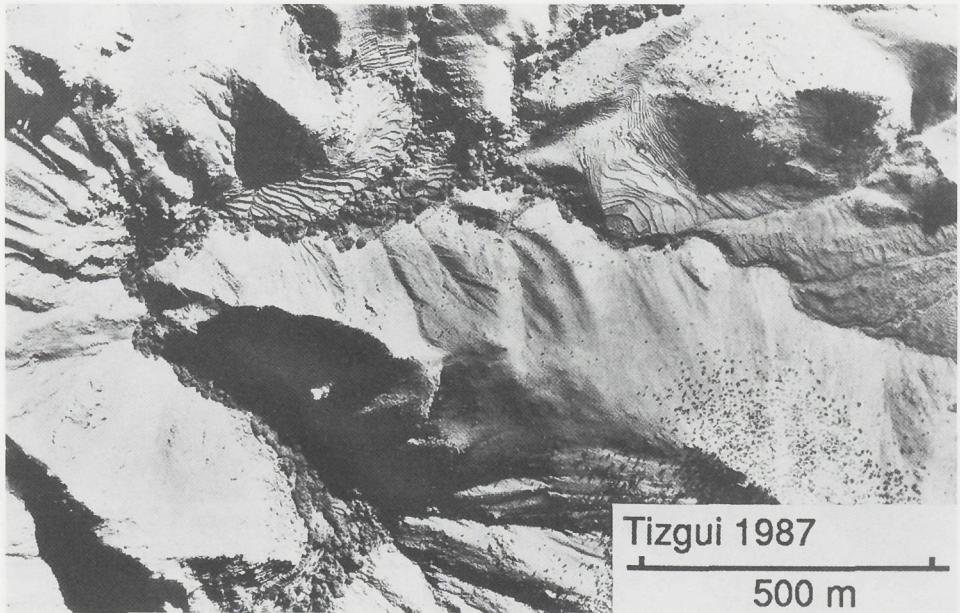


Abb. 5: Terrassenlandschaft um Tizgui (Gesamtansicht), 1987

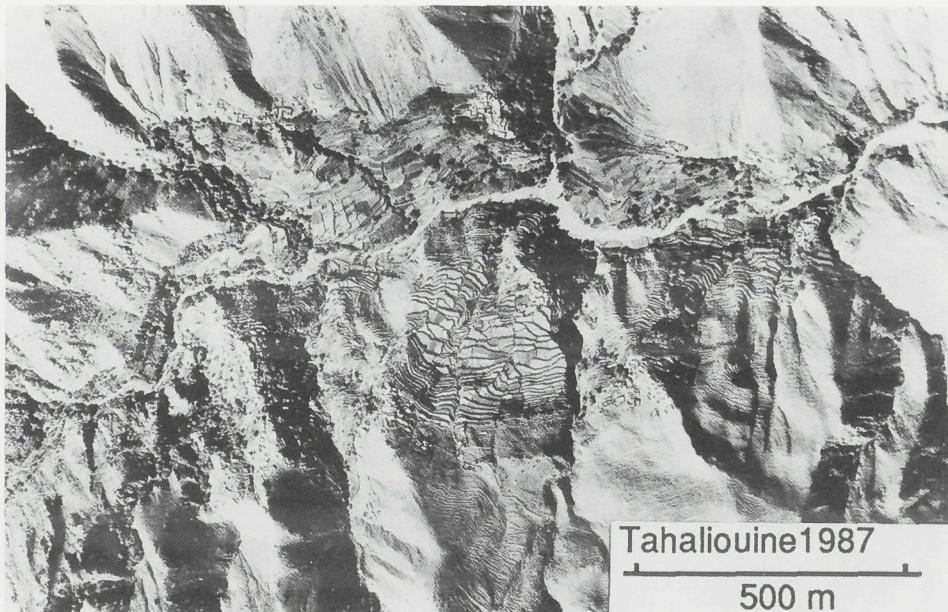


Abb. 6: Terrassenlandschaft um Tahaliouine (Ausschnitt 1), 1987

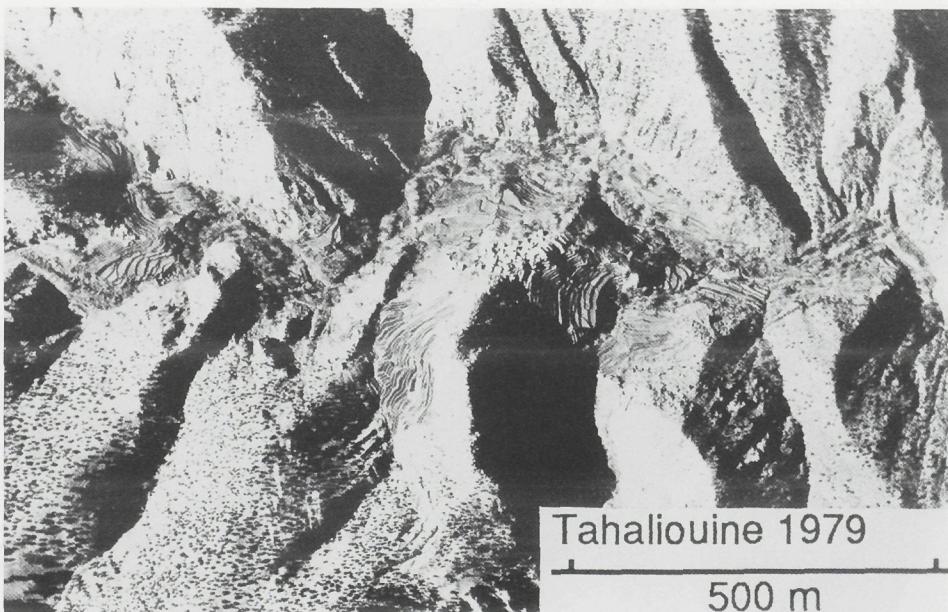


Abb. 7: Terrassenlandschaft um Tahaliouine (Ausschnitt 2), 1979

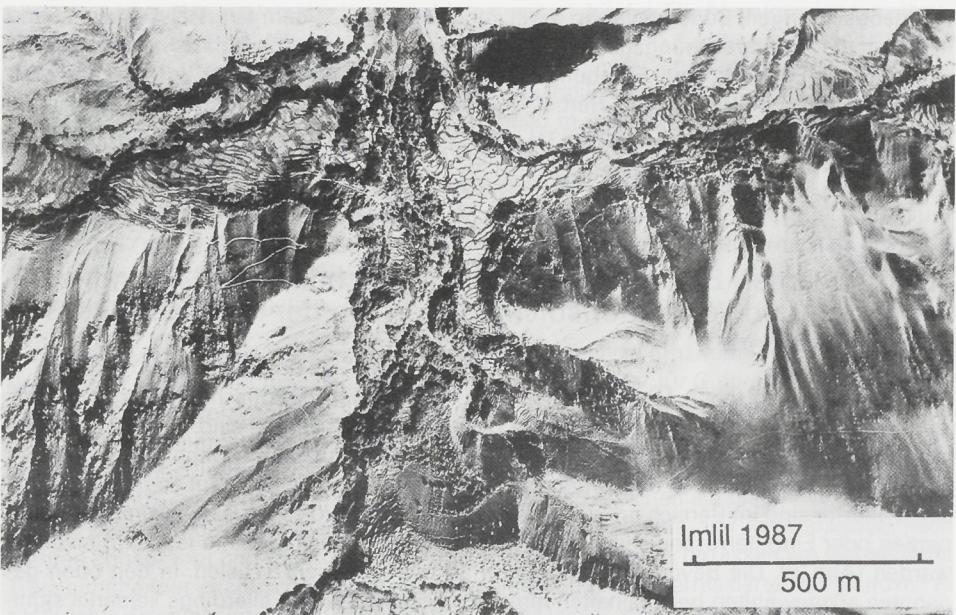


Abb. 8: Terrassenlandschaft um Imlil (Gesamtansicht), 1987

3. Materialien und Methoden

Zur Verfügung stehen stereographische Luftbilder der Serien

- * NH-29-XXII-2ab Mission 103 mit 1: 50 000 für 1950,
- * NH-29-XVI/XVII Mission 311 und 312 mit 1:50 000 für 1964,
- * NH-29-XXII-1A2B Mission 639 mit 1:50 000 für 1970,
- * 2-EF/79-Oued N'Fis mit 1:17 500 für 1979 sowie
- * UAM-0182 Mission 156B und 158B mit 1:20 000 für 1987

durch das *Institut Géographique Nationale*, Paris. Ausschnitte aus den jeweils jüngsten bzw. kontrastreichsten Luftbildern werden hier als Abbildungen 1 bis 8 gegeben.

Topographische Karten im Maßstab 1:50 000 für

- * Azegour, Feuille NH-29-XXII-2a,
- * Amez Miz, Feuille NH-29-XXII-2b und
- * Jbel Toubkal, Feuille NH-29-XXIII-1a

sind durch die *Direction de la Conservation Foncière et des Travaux Topographiques, Division de la Carte*, Rabat zu beziehen.

Feldbeobachtungen, Bodenanalysen (zwei Parallelreihen aus dem längsten Terrassenhang in jedem der 8 Untersuchungsgebiete) zur horizontalen und vertikalen Abwandlung agrarökologischer Eckwerte und Erhebungen zu sozio-ökonomischen und agrar-technischen Themen wurden im Herbst 1987, Herbst 1989 und Frühsommer 1990 durchgeführt. Bodenfeuchteentzug wurde nach SPÄTH (1976) und Energiehaushalte für die Agrarproduktion nach SPÄTH (1985) berechnet.

4. Zur rezenten Entwicklung von Agrarflächen, Bevölkerung, Herden und Vegetationsdichte innerhalb der Terrassenlandschaften

Ein Blick über den Hohen Atlas suggeriert, daß sowohl Terrassenflächenverluste als auch -zugewinne raum-zeitlich ohne scheinbare Gesetzmäßigkeit verteilt sind. Nähere Beobachtungen jedoch legen nahe, daß Flächenverluste fast ohne Ausnahme einhergehen mit dem Verfall von Bausubstanz in den zugeordneten Dörfern oder Weilern. Gut zugängliche Beispiele hierfür sind im Bereich um den Tizi-n-Test zu finden, wo ganze Hänge, einzelne Hangpartien oder Einzelterrassen seit langem nicht mehr bewirtschaftet und langsam nivelliert werden (Abb. 9). Die Bevölkerung wanderte ab; die Terrassen zerfielen. In den oben genannten ausgewählten beispielhaften Terrassensystemen waren allerdings keinerlei signifikante bleibende Zerfallserscheinungen nachzuweisen; die 1950 vorhandenen Terrassen waren auch 1990 noch produktiv. In manchen Fällen, wie z.B. nördlich von Imlil-n-Isli bei Imzayn, werden sogar derzeit nicht bestellte Terrassen weiterhin instand gehalten.

Zweifellos lassen sich auch gegenwärtig im Gelände zahllose in (scheinbarer) Auflösung befindliche terrassierte Hänge oder ganze Hangpartien ausmachen. Aus höheren Hangpartien, insbesondere aus solchen, die jahrelang stark beweidet und davor abgeholtzt worden sind, wandern Gerölle und Schutt ein oder Schutthalde überfahren Hauptzuleiterkanäle und zerstören insbesondere während herbstlicher Starkregen und zur Zeit der Schneeschmelze tieferliegende Partien der Terrassensysteme. Hierfür als Beispiel Situationen aus Imlil und Around, wo bereits auf den 1964er Luftbildern Terrassenschäden im Kontaktbereich mit Schutthalde und überweideten Hängen nachzuweisen sind (Abb. 10 und 11A / B). Es fällt auf, daß selbst westexponierte Hänge, die in der Regenzeit besonders mobil werden, keine Dauerschäden aufweisen. Saisonale Schäden sind einerseits nicht zu vermeiden; sie werden jedoch in der Regel jedes Frühjahr, zumeist in Gemeinschaftsarbeit, gründlich ausgebessert. Luftbilder stellen also lediglich Momentaufnahmen dar.

Zahllose Beispiele sprechen sogar dafür, daß zunächst langsam zerfallende aufgelassene Terrassensysteme mit der Zeit eine gewisse Selbsterhaltungskraft entwickeln können, wenn genügend Vegetation Fuß fassen kann. So lassen z.B. aufgegebene Terrassensysteme südlich von Taddert bei Imlil während der vergangenen 10 Jahre keinerlei fortschreitend destruktiven Veränderungen erkennen, weder an Terrassenrestflächen selbst noch an den Stützmauerresten oder dem etablierten Strauchwerk. Der Prozeß der Terrassenauflösung läuft also keinesfalls immer bis zur völligen Terrassenzerstörung ab. In allen Untersuchungsgebieten ist zudem eine deutliche Verdichtung des Strauchwerkes in vielen Oberhangpartien auszumachen.

In den ausgewählten Untersuchungsgebieten waren häufig Flächenzugewinne nachzuweisen. Hierfür als Beispiele:

[1] ein Bereich südlich von Around (oberhalb von Imlil); hier wurde nach 1950 in Höhen zwischen 2000 und 2200 m.ü.d.M. ein 200 m x 500 m großes westexponiertes Areal neu terrassiert; dies ist das höchste Terrassensystem im Jbel Toubkal Gebiet.

[2] Im Gebiet von Tahaliouine entstanden zwischen den Dörfern Taddert und Aït Ouaougmoute zwischen 1950 und 1964 ein neues 200 m x 400 m und unmittelbar nördlich und südlich von Tizi Oussen jeweils ein 100 m x 100 m großes Terrassengebiet. Zwischen 1964 und 1970 wurde bei Taddert ein 100 m x 100 m großer Bereich terrassiert; bis 1979 wurde selber jedoch wieder aufgegeben.

Bemerkenswert sind die Bemühungen, bestellte Terrassen zu erhalten: Der nordexponierte Hang direkt südlich von Ameslane stellt ein Schulbeispiel dar für Gulli- und Schluchtenbildung im Gefolge von radikaler Entwaldung und Überweidung, wie sie mit großer Regelmäßigkeit im Hohen Atlas zu beobachten sind. Gullies und Schluchten reichen bis über die untere feuchtebedingte Waldgrenze bei etwa 1960 m ü.d.M. hinauf und verlieren sich (bereits in den 1964er Luftbildern) im Waldbereich; bis 1987 reichen sie bis in die Gipfellagen um ca. 2100 m ü.d.M. Der Massentransport hat auf der Talsohle den Assif Imigdale nach Norden abgedrängt und untergräbt und gefährdet die untersten Terrassen am Gegenhang. Trotz anhaltender chaotischer Massenbewegungen durch die terrasierte Hanglandschaft hindurch weisen die Terrassenflächen selbst keine Dauerschäden auf. Die gleichen Vorgänge sind im gesamten Quellzirkus von Taourirt, insbesondere um Warti zu beobachten. Erosion führt also nicht gleichsam gesetzmäßig zu Terrassenverlust. Ohne Ausnahme erweisen sich aktiv bewirtschaftete Terrassenhänge als ökologisch stabile Inseln.

Die Resultate der planimetrischen und visuellen Luftbildauswertung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Im Bereich aktiver Dörfer (Bausubstanz intakt) sind seit 1950 kaum signifikante Flächenverluste nachzuweisen, eher Flächenzugewinne. Periodisch auftretende morphogenetische Verluste werden zumeist unverzüglich, spätestens aber im folgenden Frühjahr wieder repariert.

Flächenverluste, soweit sie sich nachweisen ließen, sind nur signifikant im Umfeld von Dörfern mit rückläufigen Bevölkerungszahlen (Teile der Bausubstanz dem Verfall preisgegeben); hier sind sie aber als Sozialbrache-Erscheinungen zu betrachten, nicht als Folge unkontrollierbarer, vom Menschen stimulierter Bodenerosion.

Es gibt keine verlässlichen Daten zur Rekonstruktion der Entwicklung der Berberbevölkerung im Hohen Atlas. COUVREUR (1986) zeigte für weiter nördlichere Bereiche des Hohen Atlas, daß die historische Entwicklung von einer Vielzahl von Faktoren abhängig gewesen sein kann, so z.B. von der Exposition und Lage des Dorfes an einem Hang, vom Zeitpunkt der Siedlungsgründung und damit der Rangfolge im Wettbewerb um limitierte natürliche Ressourcen wie terrassierbare Hänge, Weide- und Wasserrechte, von den politischen Beziehungen der einzelnen Clans untereinander, oder vom Einfluß der Regional- und Landesregierung. Regionale Transfers der Befunde sind demnach wenig sinnvoll, selbst solche von einem Flußeinzugsgebiet in ein anderes.

Private und offizielle Erhebungen, durchgeführt zum gleichen Zeitpunkt, ergeben stets sehr unterschiedliche Resultate (Tab. 1). Diese Unterschiede belaufen sich beispielsweise für die Bevölkerung des Aït Mizane Clans um Imlil und Around für 1971 auf 25%. Bei auch heute noch anzunehmenden 2000 Personen im Bereich von Imlil und bei ca. 6 km² bewässerter Fläche errechnet sich für Tragfähigkeitsstudien eine Bevölkerungsdichte von 333 Personen/km².

Tab. 1: Bevölkerung des Ait Mizane Clans (um Imlil und Around) im Jahre 1971 nach offiziellen Regierungsquellen und unabhängigen Erhebungen.

Ait Mizane Clan	Nationale Erhebung	Unabhängige Erhebung*
Mzig	404	533
Ait Takhsin	400	528
Arround	465	618
Ait Souks	314	325
Total	1583	2004

*) Nach Daten des Marrakech Délégation Régionale de la Commerce Intérieure. Weitere Daten für 1975 in MILLER (1984, S. 33).

Für den gesamten Hohen Atlas geben private Wirtschaftskreise in Marrakech inoffiziell für 1936 bis 1980 eine jährliche Zuwachsrate von 1% an. Für den gleichen Zeitraum lag der nationale Durchschnitt nach offiziellen marokkanischen Angaben bei 2,6%. Erwartungsgemäß schreitet also das Wachstum im Gebirge wesentlich langsamer voran als in den westlich vorgelagerten fruchtbaren Ebenen und den Großstädten.

Der Verlauf der Bevölkerungsentwicklung im Untersuchungsgebiet lässt sich also nicht mehr rekonstruieren. Sicher ist jedoch, daß der für ganz Marokko gegebenen Zuwachs von 3% (Statistisches Bundesamt 1981/1991) nicht auf den Hohen Atlas zu übertragen sind. Vielmehr kann angenommen werden, daß sehr niedrige Zuwachsraten um 1% und selektive Abwanderung schon seit 1920 die Bevölkerungszahlen relativ konstant gehalten haben. Die zum Unterhalt der verbleibenden Bevölkerung erforderliche Terrassenfläche dürfte seit dieser Zeit ebenfalls unverändert geblieben sein. Überschüssiges - da mangels Arbeitskräfte nicht zu bewirtschaftendes - terrassiertes Areal andererseits wurde sich selbst überlassen und degenerierte.

Zur Vegetationsentwicklung lässt sich darauf aufbauend folgendes bemerken: Die zur Verfügung stehenden historischen Luftbilder wurden zu sehr unterschiedlichen Jahreszeiten aufgenommen; aus der Grauton- und Texturanalyse können also keine Rückschlüsse auf die Genese der Weidevegetationsdichte gezogen werden. Allerdings lässt sich der starke Rückgang der Waldfächen belegen.

Ähnliche Probleme ergeben sich bei der Rekonstruktion der Herdengrößen und der Beweidungsintensität. Es ist anzunehmen, daß beide Variablen zunächst einmal eng mit den Bevölkerungszahlen korreliert sind. VOINOT (1928) schätzte in den 20er Jahren die Herdengrößen auf je 20 Schafe und Ziegen pro Haushalt. Da der Preis für Wolle aber besonders seit 1950 scharf angehoben worden ist, vermutet MILLER (1984) ein Anwachsen der Schaf-

und Ziegenbestände um ca. 30% zwischen 1950 und 1975, im Bereich von Imlil und Around also ein Anwachsen von ca. 40 auf 60 Tiere für solche Haushalte, die sich Sommerweide leisten und Winterfutter bereitstellen konnten. Wenngleich verlässliche Daten nicht zu ermitteln sind, so ist doch anzunehmen, daß die Bestockungsraten im Laufe der letzten fünf Jahrzehnte keineswegs konstant geblieben sind. Der einmal in Gang gesetzte flächenhafte Bodenabtrag im Zuge der intensivierten Beweidung entwickelte eine zunehmende Eigen-dynamik und erreichte je nach Reliefenergie und Niederschlagsgeschehen unterschiedlich rasch katastrophale Ausmaße. Die terrassierte Fläche insgesamt wurde dadurch aber nicht signifikant in Mitleidenschaft gezogen, wohl aber der alljährlich erforderliche Aufwand, die saisonalen Erosionsschäden wieder auszubessern. Damit dürfte Menschings Hypothese (1985) schwer zu testen sein; die dazu erforderlichen Daten sind nicht vorhanden oder nicht zu erarbeiten. Es liegt jedoch nahe, den jüngsten historischen schleichenden Terrassenflächenschwund nur als Sozialbracheerscheinung zu werten.

5. Agrar-ökologische Qualität und Stabilität

Hängiges Gelände, selbst leicht geneigte Terrassenflächen, fördern den Prozeß der schlechenden Bodenverlagerung; dadurch werden mechanische und chemische Bodeneigenschaften, die bodenhydrologischen Eckwerte und somit die ökologische Qualität der Terrassenökotope beeinflußt. Auf Dauer werden die natürliche Produktivität reduziert, wasserwirtschaftliche und kulturtechnische Korrekturmaßnahmen in wachsendem Umfang erforderlich und agrarische Landnutzung eingeschränkt.

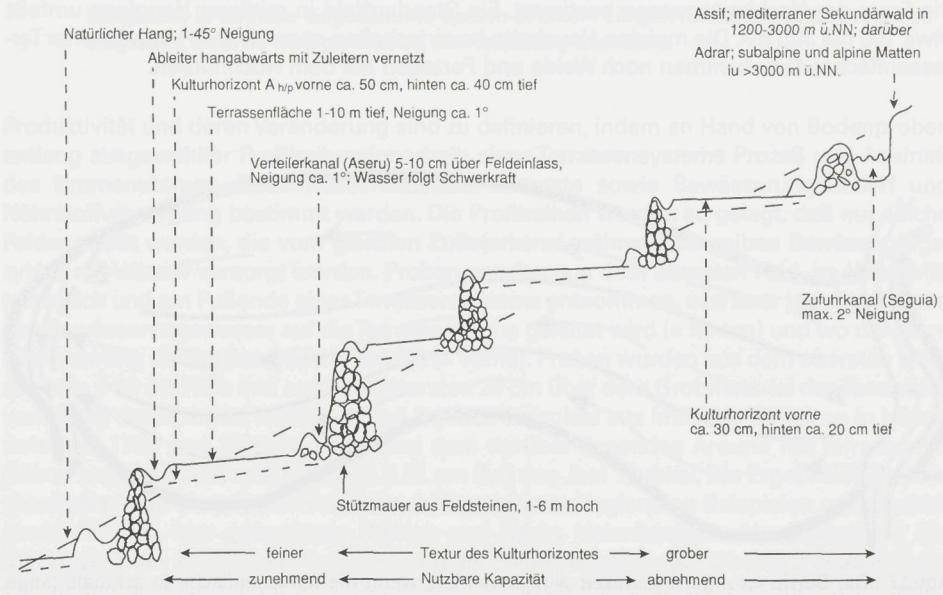


Abb. 12: Physische Merkmale der Terrassensysteme im Hohen Atlas

Hänge von 1° bis 45° Neigung werden terrassiert, wenn sie für kanalisierten, der Schwerkraft folgenden Abfluß erreichbar sind, und wenn das lokale Verwitterungsprodukt mächtig genug entwickelt war, um einen künstlichen Pflughorizont - einen Kulturhorizont - aufzufüllen (Abb. 12).

Alle Terrassen im Hohen Atlas sind dem Typ nach Bankterrassen; die zu terrassierenden Hänge werden also in Treppensysteme verwandelt. Zunächst wird nach hinten in den Hang hineingegraben; hinter einer vorgelagerten 50 cm bis zu 6 m hohen Stützmauer aus Feldstein wird aufgeschüttet (Abb. 13); das bewegte Verwitterungsprodukt wird gesiebt; das Grobmateriale dient als Verfüllung; das Feinmaterial reicht für eine 20-50 cm mächtige künstliche Wurzelzone. Je höher die Lage der Terrassensysteme, desto dünner die natürlichen Verwitterungsböden und desto weniger Material steht zum Aufschütten der künstlichen Wurzelzone zur Verfügung. Der künstliche flachgründige Kulturhorizont wird während des ganzen Jahres mit Stallmist durchsetzt und so melioriert und gedüngt. Terrassensysteme dieser Art stellen demnach Investitionen für viele Jahrzehnte dar (Abb. 14).

Montane Terrassenlandschaften sind also **künstliche Landschaften**. Ohne die beschriebenen kulturtechnischen Eingriffe wären die Hochtäler agrarisch nicht nutzbar. Wie die Oasen am Saharanrand sind auch diese Terrassenlandschaften des Hohen Atlas als ökologische Inseln gesellschaftlich straff organisiert (HOFFMANN-BURCHARDI 1964, DESPOIS 1964, MILLER 1984).

Im Durchschnitt sind Terrassen 2 m bis 10 m breit und 10 m bis 20 m lang; je steiler das Gelände, desto kleiner die Ausmaße; die Terrassen können jede beliebige Form annehmen (Abb. 15 und 16). Form und Layout werden im wesentlichen durch die Hangneigung und die Form der Nachbarterrassen bestimmt. Ein Standardfeld in mittlerer Hanglage umfaßt etwa 100 bis 300 m². Die meisten Haushalte bewirtschaften etwa 2000 m² bewässerter Terrassenfläche; dazu kommen noch Weide und Parzellen auf dem Hochflutbett.

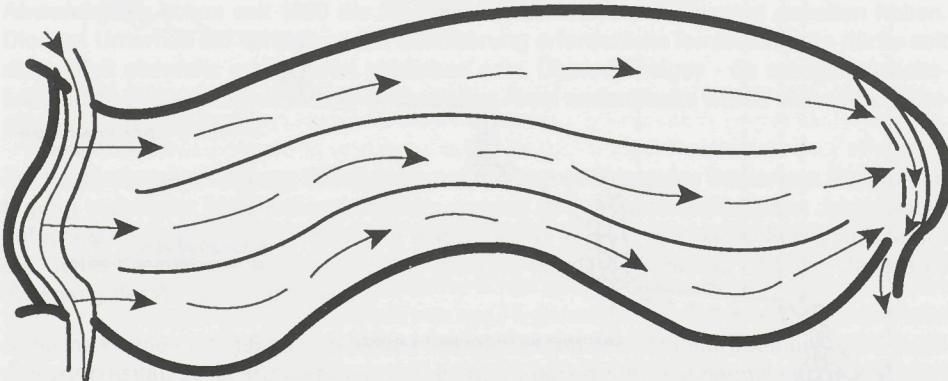


Abb.17: Die Bewässerungswirksamkeit wird minimiert, wenn die Terrassenfläche in schmale lange Streifen gegliedert oder gar über Furchen bewässert wird. Diese Methoden erfordern stärkere Gefälle, erhöhen Fließgeschwindigkeit, Krumentransport und Abwasserquoten.

Die Abbildungen 17 und 18 zeigen, wie etwa gleiche Terrassenformen kulturtechnisch grundsätzlich verschieden genutzt werden können, und welche unterschiedlichen bewässerungsökologischen Folgen sich daraus ergeben. Langstreifen erfordern stärkere Oberflächengefälle und Fließgeschwindigkeit als Kurzsteifen; folglich werden Abspülung und Krumentransport belebt und Abwasserquoten erhöht. Die Bewässerungswirksamkeit wird optimiert, wenn das Wasser von der Längsseite in schmale eingedämmte Becken mit einem Längen-/Breitenverhältnis von 2 zu 1 eingeleitet wird. So wird gleichzeitig die Bodenabspülung minimiert und Überbewässerung vermieden. Im Zuge der bewässerungswirtschaftlichen Terrassennutzung werden demnach agro-ökologische Prozesse in Gang gesetzt, die ihrerseits ganz maßgeblich langfristig die Produktivität und den Instandhaltungsaufwand einer Terrassenlandschaft bestimmen.

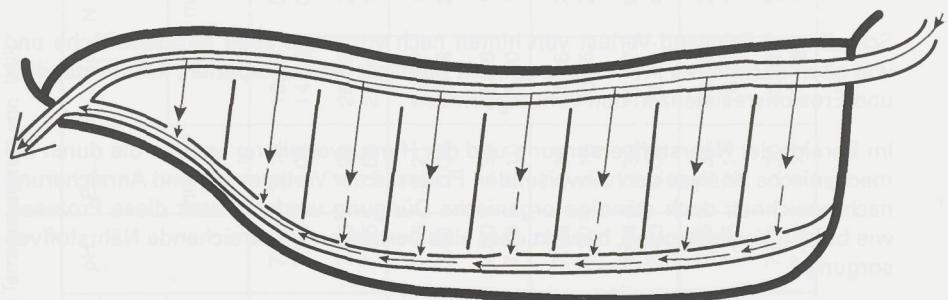


Abb. 18: Die Bewässerungswirksamkeit auf den Terrassen wird optimiert, wenn das Wasser von der Längsseite in schmale eingedämmte Becken in einem Längen-/Breitenverhältnis von 2 zu 1 eingeleitet wird. So wird gleichzeitig die Abspülung minimiert.

Produktivität und deren Veränderung sind zu definieren, indem an Hand von Bodenproben entlang ausgewählter Profilreihen innerhalb eines Terrassensystems Prozeß und Ausmaß des Krumenabtrags, Bodenwasserhaushalts-Eckwerte sowie Bewässerungsbedarf und Nährstoffversorgung bestimmt werden. Die Profilreihen werden so gelegt, daß nur solche Felder erfaßt werden, die vom gleichen Zulieferkanal während desselben Bewässerungszyklus mit Wasser versorgt werden. Proben wurden aus dem obersten Feld, im Hang-Mittelbereich und am Fußende eines Terrassensystems entnommen, und zwar jeweils dort, wo das Bewässerungswasser auf die Terrassenfläche geleitet wird (= hinten) und wo die Überbewässerung die Terrassenfläche verläßt (= vorne). Proben wurden aus dem obersten Horizont aus 0-20 cm Tiefe und aus den untersten 20 cm über dem Grobmateriale der Terrassenverfüllung entnommen. Tabellen 2 und 3 geben Beispiele aus Imlil mit Terrassen in Höhen zwischen 1700 und 1900 m ü.d.M. und dem darüber liegenden Around mit Terrassen in Höhen zwischen 2000 und 2150 m ü.d.M. am Fuß des Jbel Toubkal. Die Ergebnisse der mechanischen und chemischen Analysen in den anderen regionalen Beispielen entsprechen strukturell den hier gefundenen Werten und deren kleinräumigen Abwandlungen: Die Mächtigkeit der künstlichen Krume nimmt als Folge schleichender Oberflächenabspülung von hinten nach vorne auf einer gegebenen Terrassenfläche sowie von oben nach unten innerhalb eines Terrassensystems zu. Für die mittleren Korngrößen (Schluff) ist in der glei-

chen Richtung eine Zunahme im Oberboden zu beobachten. Die chemischen Analysen zeichnen, wenn auch oft nicht sehr ausgeprägt, diese Veränderungen nach. Anhaltende Stallmistzufuhr verdeckt allerdings zumeist ein Verteilungsmuster für chemische Substanzen, wie es (ohne diese Zufuhr) bei anhaltender Oberflächenabspülung und abwärts gerichtetem Bodenwasserstrom zu erwarten wäre. An einem gegebenen Standort nehmen die Tonwerte vom Oberboden zum Unterboden im Gefolge starker Sickerwasserbewegung auf verhältnismäßig groben Böden zu.

Welche produktivitätsbezogenen Konsequenzen lassen sich aus diesen Daten ableiten?

- Die Tonauswaschung von oben nach unten innerhalb eines Standort-Profilis bewirkt eine reduzierte Sorptionskapazität im Oberboden, die dort durch höhere organische Substanz-Gehalte ausgeglichen wird.
- Schluff- und Feinsand-Verlust von hinten nach vorne auf einer Terrassenfläche und von oben nach unten im Terrassensystem reduziert Wasserkapazität, Krümelstabilität und Erosionsresistenz in den Verlustgebieten.
- Im Bereich der Nährstoffversorgung und der Humusverteilung werden die durch die mechanische Analyse nachzuweisenden Prozesse der Verlagerung und Anreicherung nachgezeichnet; doch ständige organische Düngung verdeckt zwar diese Prozesse, wie beim Beispiel Around, bewirkt aber eine permanente ausreichende Nährstoffversorgung.
- Die Mächtigkeit der Bodenprofile wächst vom hinteren zum vorderen Terrassenende und von oben nach unten innerhalb eines Terrassensystems. Die Regenverdaulichkeit bzw. Fähigkeit zur Aufnahme und Speicherung von Bewässerungswasser nimmt in der gleichen Richtung zu; die wasserbedingte Produktivität eines Terrassensystems nimmt also in Richtung der Falllinie von oben nach unten und auf einer einzelnen Terrassenfläche von hinten nach vorne zu.

Im Zuge der Frühjahrsfeldbestellung werden diese Differenzen auf Feldern, die von der Längsseite her (also in Kurzstreifen oder -furchen) bewässert werden, wieder weitgehend beseitigt. Katastrophale Bodenverlagerungen, verursacht beispielsweise durch das Brechen eines Zuführkanals, und auch Krumenverlagerung von oberen zu unteren Hanglagen im Zuge exzessiver Überbewässerung werden im Rahmen der allgemeinen Systemrestauration im Frühjahr wieder in die Verlustgebiete getragen.

Die physiographischen, bodenphysikalischen und bewässerungs-ökologischen Eckwerte der untersuchten Terrassensysteme machen diese Zusammenhänge deutlich (Tab. 4).

Tab.2: Korngrößenzusammensetzung und Nährstoffgehalt der Böden im Terrassensystem von Imlil.

Probe Nr. *)	Entnahmetiefe in cm	Ton	Schluff		Sand		pH	E.L. mmhos/cm	P	N	K	O.S. %	CaCO ₃ %
		<0.002	0.002- 0.005	0.005- 0.05	0.05- 0.2	0.2- 2.0							
		mm Durchmesser in % des Feinbodens							mg/kg				
1.1.1	0-20	6.60	8.54	1.62	10.36	72.88	7.36	0.10	10.93	0.94	0.74	1.18	1.04
1.1.2	20-30	9.28	13.60	2.87	11.29	62.96	7.36	0.09	14.63	0.83	0.32	1.17	0.15
1.2.1	0-20	5.04	32.34	15.59	15.98	31.06	7.08	0.29	26.09	2.66	0.45	3.35	1.57
1.2.2	20-40	14.28	21.64	5.38	13.04	45.63	7.45	0.88	20.96	1.41	0.27	1.86	2.13
2.1.1	0-20	8.26	10.32	3.02	15.31	53.09	7.16	0.21	29.32	1.54	0.49	2.73	3.71
2.1.2	20-40	14.28	17.70	10.11	17.99	39.91	7.51	0.08	16.18	2.98	0.46	1.41	1.11
2.2.1	0-20	3.16	26.46	17.46	16.28	36.64	7.00	0.38	46.28	1.41	0.68	5.12	1.21
2.2.2	20-40/50	16.88	23.74	4.94	18.40	36.04	7.46	0.10	15.70	1.36	0.46	2.21	0.83
3.1.1	0-20	3.10	18.86	38.76	17.31	21.96	7.06	0.34	41.86	2.53	0.62	4.68	3.01
3.1.2	20-40	13.74	23.80	12.77	13.40	36.29	7.27	0.15	30.75	2.03	0.48	3.36	1.62
3.2.1	0-20	6.30	14.38	46.85	15.39	17.08	7.04	0.39	59.72	3.43	0.74	6.20	1.59
3.2.2	20-40/50	20.30	28.02	15.06	14.39	22.23	7.43	0.09	21.20	1.64	0.48	2.01	0.16
4.1.1	0-20	6.06	35.38	11.95	20.17	26.43	7.05	0.34	32.66	2.53	0.56	4.39	0.22
4.1.2	20-50	17.68	21.06	12.86	15.16	33.24	7.25	0.11	18.92	1.33	0.48	1.72	0.76
4.2.1	0-20	12.48	29.10	19.21	16.24	22.97	7.06	0.30	43.06	2.90	0.76	3.88	0.58
4.2.2	20-50/60	17.16	23.64	19.89	16.36	22.98	7.26	0.12	17.85	1.78	0.80	2.58	1.90

*) Probe 1.1.1/1.1.2 vom hinteren Ende der obersten Terrasse.

Probe 1.2.1/1.2.2 von der vorderen Kante der obersten Terrasse.

Probe 4.1.1/4.1.2 vom hinteren Ende der untersten Terrasse.

Probe 4.2.1/4.2.2 von der vorderen Kante der untersten Terrasse.

Tab.3: Korngrößenzusammensetzung und Nährstoffgehalt der Böden im Terrassensystem von Around.

Probe Nr. *)	Entnahmee- tiefen in cm	Ton	Schluff		Sand		pH	E.L.	P	N	K	O.S.	CaCO ₃
		<0.002	0.002- 0.05	0.005- 2.00	0.05- 0.2	0.2- 2.0							
		mm Durchmesser in % des Feinbodens						mmhos/ cm	mg/kg				%
5.1.1	0-20	12.72	31.84	9.61	23.12	22.72	7.02	0.36	9.85	2.84	0.18	4.67	4.53
5.1.2	20-25	9.80	14.40	4.62	18.34	52.84	7.27	0.12	5.07	7.59	0.20	1.34	0.47
5.2.1	0-20	11.48	17.30	6.26	17.25	47.71	7.11	0.19	6.02	0.77	0.23	1.55	2.03
5.2.2	20-30	11.06	14.56	25.73	18.83	29.83	7.21	0.10	5.79	0.73	0.18	1.29	2.55
6.1.1	0-20	8.58	15.16	6.89	25.07	44.30	7.35	0.09	18.09	1.16	0.41	1.92	1.78
6.1.2	20-30	14.54	17.98	9.40	18.81	39.28	7.35	0.05	10.81	0.84	0.38	1.26	2.65
6.2.1	0-20	13.38	20.68	10.86	17.55	37.54	7.39	0.13	16.18	1.12	0.41	2.31	4.58
6.2.2	20-40	13.06	18.90	13.99	20.81	33.25	7.19	0.06	8.78	1.17	0.25	1.90	1.76
7.1.1	0-20	12.46	22.46	13.59	22.08	29.42	7.40	0.37	34.81	2.52	0.63	4.41	1.65
7.1.2	20-40	22.20	23.62	11.68	16.11	26.39	6.07	0.15	14.78	1.83	0.30	2.73	3.94
7.2.1	0-20	18.48	23.28	20.11	21.17	16.96	6.56	0.38	29.02	2.30	0.71	3.98	2.29
7.2.2	20-40	20.78	28.84	14.81	16.21	19.36	6.00	0.08	11.76	1.41	0.68	1.67	2.78

*) Probe 5.1.1/5.1.2 vom hinteren Ende der obersten Terrasse.

Probe 5.2.1/5.2.2 von der vorderen Kante der obersten Terrasse.

Probe 7.1.1/7.1.2 vom hinteren Ende der untersten Terrasse.

Probe 7.2.1/7.2.2 von der vorderen Kante der untersten Terrasse.

Tab. 4: Physiographische, bodenphysikalische und bewässerungsökologische Eckwerte der Terrassensysteme von Imlil und Around.

Terrassenlage und Standort	Höhe ü.NN (m)	$A_{h/p}$ -Horizont Hauptwurzelzone (cm)	Textur*)	PWP	FK	nK	WK	Luftmangel		KN-Bedarf St<70% WK (mm)	Schadgrenze St<30% WK (mm)	
								in mm/10 cm Boden (mm)				
Imlil:												
unten vorne	1700	50	IS	10	27	17	85	>68	<60	<26		
unten hinten		40		9	25	16	64	>51	<45	<20		
oben vorn	1900	40	I*S	8	21	13	52	>42	<36	<16		
oben hinten		30		7	18	11	33	>26	<23	<10		
Around:												
unten vorne	2000	35	ulS	8	24	16	56	>45	<40	<17		
unten hinten		30		7	20	13	39	>31	<27	<12		
oben vorne	2100	30	I'S	6	18	12	36	>29	<25	<11		
oben hinten		25		5	16	11	28	>22	<20	<8		

*) Nach Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1971, S. 36/37).

Wasserspannungskurven (Abb. 19 und 20) fassen die Wirkung der Morphodynamik in einem Terrassensystem mit Blick auf den neben der Temperatur wesentlichsten ertragslimitierenden Faktor, die Bodenfeuchte, zusammen. Die nutzbare Kapazität der höher gelegenen Terrassen bleibt beträchtlich hinter jener der tiefer gelegenen zurück; die generell sandigere Matrix auf den höher gelegenen Terrassen (zu erkennen an der relativen Abflachung der Wasserspannungskurven im Feldkapazitätsbereich) speichert andererseits die reduzierte verfügbare Feuchte unter geringerem Saugdruck. Die Wurzelraumkapazität erreicht am Fuß der am tiefsten gelegenen Terrassen von Imlil (unten vorne) Maximalwerte; Minimalwerte sind in Around auf der obersten Terrasse am hinteren Standort zu beobachten.

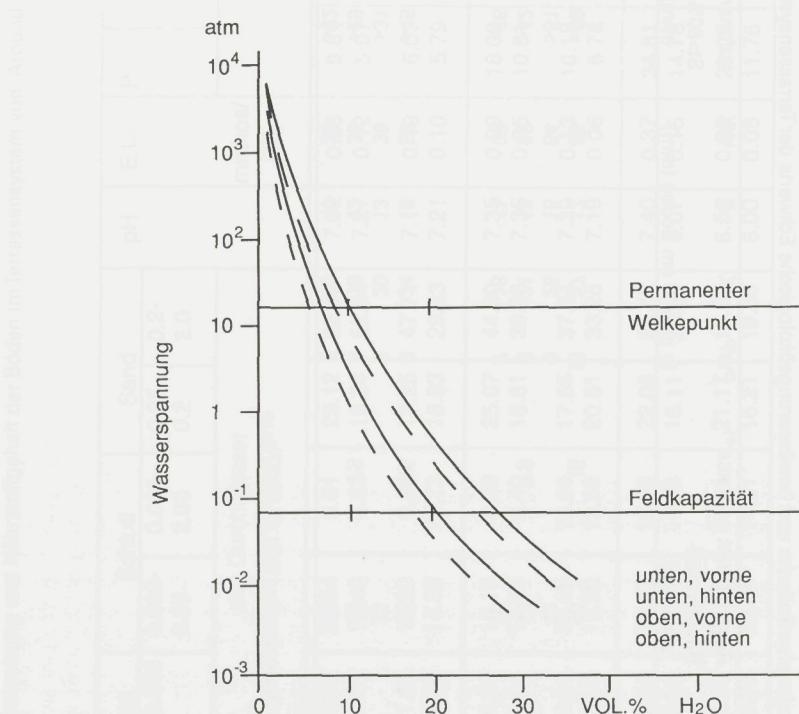


Abb. 19: Wasserspannungskurven im Terrassensystem von Imlil.

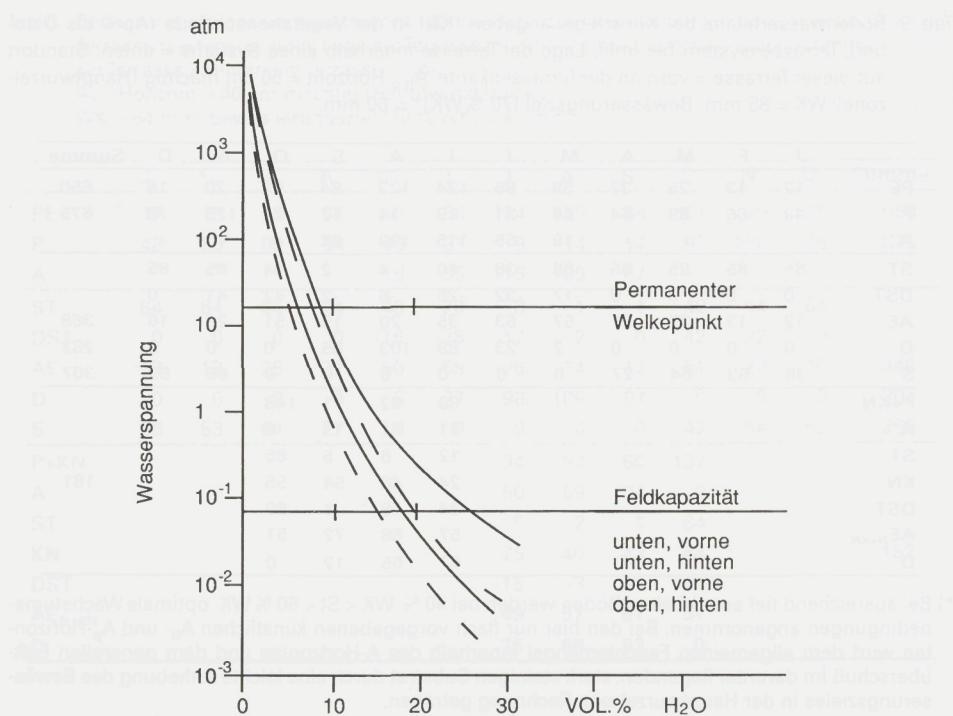


Abb. 20: Wasserspannungskurven im Terrassensystem von Around.

Die natürliche Bodenwasserbilanz und der Bewässerungsbedarf (Tab. 5 bis 12) sind nicht nur eine Funktion von Niederschlag und Temperatur; hangaufwärts kommt die zunehmende Ungunst von Textur und Mächtigkeit des Kulturhorizontes immer mehr zum Tragen. Für ausreichend tief entwickelte Böden werden bei 40% WK < ST < 60% WK optimale Wachstumsbedingungen angenommen (WK = Wurzelraumkapazität). Bei den hier nur flach vorgegebenen künstlichen Ah- und Ap-Horizonten wird dem allgemeinen Feuchtemangel innerhalb des A-Horizontes und dem generellen Luftüberschuß im darunter liegenden stark steinigen Substrat durch eine leichte Anhebung des Bewässerungszieles auf 70% der Wurzelraumkapazität (WK) in der Hauptwurzelzone Rechnung getragen.

Generell folgt der Jahresgang von potentieller und aktueller Evapotranspiration (PE und AE), Verdunstungsanspruch (A = |P-PE|) und Feuchtedefizit (D = PE - AE) dem Verlauf einer Glockenkurve (Tab. 5 bis 12). Die natürliche Bodenwasserbilanz zeigt eine bis zu 100% aufgefüllte Bodenfeuchtereserve (ST) von Spätherbst bis Frühjahr; die beträchtlichen winterlichen Überschüsse (S) sind jedoch bereits aus dem Einzugsgebiet abgeflossen, ehe sich Verdunstungsanspruch (A) und damit später Bewässerungsbedarf (KN) einstellen. KN ist also über Wasserimporte (aus den Reserven der Schmelzwasser) zu decken.

Tab. 5: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober); Terrassensystem bei Imlil; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = unten; Standort auf dieser Terrasse = vorn an der Terrassenkante. $A_{h/p}$ -Horizont = 50 cm mächtig (Hauptwurzelzone); WK = 85 mm; Bewässerungsziel (70 % WK)* = 60 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	12	13	25	37	59	86	124	123	84	51	20	16	650
P	48	66	89	64	40	31	9	14	17	93	126	78	675
A	-	-	-	-	19	55	115	109	67	-	-	-	-
ST	85	85	85	85	68	36	10	4	2	44	85	85	-
DST	0	0	0	0	-17	-32	-26	-6	-2	42	41	0	-
AE	12	13	25	37	57	63	35	20	19	51	20	16	368
D	0	0	0	0	2	23	89	103	65	0	0	0	282
S	36	53	64	27	0	0	0	0	0	65	62	307	-
P+KN						33	62	71	148				-
A						91	61	13	0				-
ST						12	6	5	85				-
KN						24	48	54	55				181
DST						-24	-6	-1	80				-
AE _{N+KN}						57	68	72	51				-
D						67	55	12	0				-

* Bei ausreichend tief entwickelten Böden werden bei 40 % WK < St < 60 % WK optimale Wachstumsbedingungen angenommen. Bei den hier nur flach vorgegebenen künstlichen A_h - und A_p -Horizonten wird dem allgemeinen Feuchtemangel innerhalb des A-Horizontes und dem generellen Luftüberschuß im darunter liegenden, stark steinigen Substrat durch eine leichte Anhebung des Bewässerungszieles in der Hauptwurzelzone Rechnung getragen.

Selbst am Standort mit der wasseraufnahmefähigsten Textur und mächtigsten Krume (Imlil, unten vorne, Tab. 5) stellt sich schon im Mai das erste Feuchtedefizit (PE minus AE = 2 mm) ein. Bereits im Laufe des Juni wird mit einer Bodenfeuchtereserve von ST = 36 mm das optimale Feuchteniveau von 60 mm kräftig unterschritten; im natürlichen Verlauf werden zuerst steigende, sodann aber, mit zunehmender Verknappung immer geringer werdende Beträge der Bodenfeuchtereserve entzogen (DST berechnet nach SPÄTH 1976). Aber selbst unter Einschluß dieser DST bleiben die aktuellen Evapotranspirationsbeträge weit hinter denen der potentiellen Evapotranspiration zurück - das Wachstumspotential wird also nicht im Entferntesten ausgeschöpft. Regenfeldbauerträge auf der Basis natürlicher Niederschlagsdargebote wären als Lebensgrundlage für das lokale Farmsystem unzureichend; hierzu siehe "Steigerung der natürlichen aktuellen Evapotranspiration (AEN) durch Bewässerung (AEN+KN)" in Tab. 13. Dazu muß das Defizit durch Bewässerungsgaben (KN) während der restlichen Vegetationsperiode ausgeglichen werden. KN wird so bemessen und terminiert, daß die am Ende der vorausgehenden Berechnungsphase (hier Monat) gegebene Bodenfeuchtereserve auf 70% der Wurzelraumkapazität (WK) aufgestockt wird und zu Beginn des nunmehr folgenden Monats zur Verfügung steht. Auf Grund der auf einer Terrassenfläche von vorne nach hinten gegebenen Verflachung der Hauptwurzelzone (Tab. 2 und 3 von 50 cm auf 40 cm) reduziert sich in der gleichen Richtung das Wasserspeichervolumen und damit auch letztendlich der Bewässerungsbedarf von 181 mm auf 152 mm. Die gleiche Reduzierung errechnet sich tendentiell, wenn untere mit oberen Hanglagen verglichen werden (Tab. 13).

Tab 6: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober);
 Terrassensystem bei Imlil; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = unten; Standort auf dieser Terrasse = hinten am Terrassenende.

$A_{h/p}$ -Horizont = 40 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
 WK = 64 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 45 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	12	13	25	37	59	86	124	123	84	51	20	16	650
P	48	66	89	64	40	31	9	14	17	93	126	78	675
A	-	-	-	-	19	55	115	109	67	-	-	-	-
ST	64	64	64	64	48	20	3	1	1	42	64	64	-
DST	0	0	0	0	-16	-28	-17	-2	0	42	22	0	-
AE	12	13	25	37	56	59	26	14	17	51	20	16	346
D	0	0	0	0	3	27	98	109	67	0	0	0	304
S	36	53	64	27	0	0	0	0	0	42	84	62	368
P+KN									34	54	60	137	
A									90	69	24	0	
ST									5	2	1	64	
KN									25	40	43	44	152
DST									-15	-3	-1	63	
AE _{N+KN}									49	57	61	51	
D									75	66	23	0	

Tab 7: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober);
 Terrassensystem bei Imlil; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = oben; Standort auf dieser Terrasse = vorn am Terrassenende.

$A_{h/p}$ -Horizont = 40 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
 WK = 52 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 36 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	12	13	25	37	59	86	124	123	84	51	20	16	650
P	48	66	89	64	40	31	9	14	17	93	126	78	675
A	-	-	-	-	19	55	115	109	67	-	-	-	-
ST	52	52	52	52	36	33	4	1	1	42	52	52	-
DST	0	0	0	0	-16	-3	-29	-3	0	42	10	0	-
AE	12	13	25	37	56	34	38	17	17	51	20	16	336
D	0	0	0	0	3	52	86	106	67	0	0	0	314
S	36	53	64	27	0	0	0	0	0	0	96	62	338
P+KN									12	46	52	128	
A									112	77	32	0	
ST									4	1	1	52	
KN									3	32	35	35	105
DST									-29	-3	0	51	
AE _{N+KN}									41	49	52	51	
D									83	74	32	0	

Tab 8: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober); Terrassensystem bei Imlil; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = oben; Standort auf dieser Terrasse = hinten am Terrassenende.

$A_{h/p}$ -Horizont = 30 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
WK = 33 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 23 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	12	13	25	37	59	86	124	123	84	51	20	16	650
P	48	66	89	64	40	31	9	14	17	93	126	78	675
A	-	-	-	-	19	55	115	109	67	-	-	-	-
ST	33	33	33	33	19	4	1	1	1	33	33	33	-
DST	0	0	0	0	-14	-15	-3	0	0	33	0	0	-
AE	12	13	25	37	54	46	12	14	17	51	20	16	317
D	0	0	0	0	5	40	112	109	67	0	0	0	333
S	36	53	64	27	0	0	0	0	0	9	106	62	357
P+KN						35	28	36	39	115			
A						51	96	87	45	0			
ST						4	1	1	1	33			
KN						4	19	22	22	22			89
DST						-15	-3	0	0	32			
AE _{N+KN}						50	31	36	39	51			
D						36	93	87	45	0			

Tab 9: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober); Terrassensystem bei Around; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = unten; Standort auf dieser Terrasse = vorn an der Terrassenkante.

$A_{h/p}$ -Horizont = 35 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
WK = 56 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 40 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	2	2	4	8	13	25	45	42	23	9	4	1	178
P	77	73	84	83	64	18	4	6	23	62	88	116	698
A	-	-	-	-	-	7	41	36	-	-	-	-	-
ST	56	56	56	56	56	50	24	13	13	56	56	56	-
DST	0	0	0	0	0	-6	-26	-11	0	43	0	0	-
AE	2	2	4	8	13	24	30	17	23	9	4	1	137
D	0	0	0	0	0	1	15	25	0	0	0	0	41
S	75	71	80	75	51	0	0	0	0	10	84	115	561
P+KN							22	46					
A							20	0					
ST							17	40					
KN							16	23					39
DST							-7	23					
AE _{N+KN}							29	23					
D							13	0					

Tab 10: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober); Terrassensystem bei Around; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = unten; Standort auf dieser Terrasse = hinten am Terrassenende.

$A_{h/p}$ -Horizont = 30 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
WK = 39 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 27 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	2	2	4	8	13	25	45	42	23	9	4	1	178
P	77	73	84	83	64	18	4	6	23	62	88	116	698
A	-	-	-	-	-	7	41	36	-	-	-	-	-
ST	39	39	39	39	39	33	12	5	5	39	39	39	39
DST	0	0	0	0	0	-6	-21	-7	0	34	0	0	0
AE	2	2	4	8	13	24	25	13	23	9	4	1	128
D	0	0	0	0	0	1	20	29	0	0	0	0	50
S	75	71	80	75	51	0	0	0	0	19	84	115	570
P+KN								21	43				
A								21	0				
ST								7	27				
KN								15	20				35
DST								-5	20				
AE _{N+KN}								26	23				
D								16	0				

Tab 11: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober); Terrassensystem bei Around; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = oben; Standort auf dieser Terrasse = vorn an der Terrassenkante.

$A_{h/p}$ -Horizont = 30 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
WK = 36 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 25 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	2	2	4	8	13	25	45	42	23	9	4	1	178
P	77	73	84	83	64	18	4	6	23	62	88	116	698
A	-	-	-	-	-	7	41	36	-	-	-	-	-
ST	36	36	36	36	36	30	10	4	4	36	36	36	36
DST	0	0	0	0	0	-6	-26	-6	0	21	0	0	0
AE	2	2	4	8	13	24	30	12	23	9	4	1	132
D	0	0	0	0	0	1	15	30	0	0	0	0	46
S	75	71	80	75	51	0	0	0	0	32	84	115	583
P+KN								21	42				
A								21	0				
ST								6	25				
KN								15	19				34
DST								-4	19				
AE _{N+KN}								25	23				
D								17	0				

Ents
wäs
peri
sen
geg
pliu
höh
ziert
basi
riab
zunc
Spe
den
auc
(Tak
sinc

Die
der
ökol

Ohr
bes
zierl
Hau
ren
licht
fach

Tab 12: Bodenwasserbilanz bei Kunstregenangaben (KN) in der Vegetationsperiode (April bis Oktober); Terrassensystem bei Around; Lage der Terrasse innerhalb eines Systems = oben; Standort auf dieser Terrasse = hinten am Terrassenende.

$A_{h/p}$ -Horizont = 25 cm mächtig (Hauptwurzelzone);
WK = 28 mm; Bewässerungsziel (70 % WK) = 20 mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Summe
PE	2	2	4	8	13	25	45	42	23	9	4	1	178
P	77	73	84	83	64	18	4	6	23	62	88	116	698
A	-	-	-	-	-	7	41	36	-	-	-	-	-
ST	28	28	28	28	28	22	5	1	1	28	28	28	
DST	0	0	0	0	0	-6	-17	-4	0	27	0	0	
AE	2	2	4	8	13	24	21	10	23	9	4	1	121
D	0	0	0	0	0	1	24	32	0	0	0	0	57
S	75	71	80	75	51	0	0	0	0	26	84	115	225
P+KN								21	41				
A								21	0				
ST								2	20				
KN								15	18				33
DST								-3	18				
AE _{N+KN}								24	23				
D								18	0				

Tab 13: Kunstregenbedarf (KN), aktuelle Evapotranspiration unter natürlichen Bedingungen (AE_N) und bei Kunstregengaben (AE_{N+KN}) und Steigerung der aktuellen Evapotranspiration während der Vegetationsperiode von April bis Oktober auf den Terrassen von Imlil und Around, Hoher Atlas, Marokko.

Standort	Imlie				Around			
	unten vorne	unten hinten	oben vorne	oben hinten	unten vorne	unten hinten	oben vorne	oben hinten
KN in mm	181	152	105	89	39	35	34	33
AE_N in mm	282	260	250	231	124	115	119	108
AE_{N+KN} in mm	405	370	320	298	136	128	132	122
Steigerung der AE_{N+KN} in % der AE_N	44	42	28	29	10	11	11	13

Entscheidend bei der vergleichenden Interpretation des Bodenfeuchteangebots und Bewässerungsbedarfs sind Ausmaß und Zeitpunkt der ertragslimitierenden Feuchtemangelperioden. Das Beispiel "Imlil" zeigt, daß der Bewässerungsbedarf innerhalb eines Terrassensystems dominant speichervolumenbedingt von unten nach oben ab- und auf einer gegebenen Terrassenfläche von hinten nach vorne zunimmt. Dies ist am Wechsel der Amplitude der unterbrochenen Kurven in Abb. 21 bis 24 zu erkennen. Im noch etwa 300 m höher gelegenen Around ist nicht nur der Bewässerungsbedarf im Vergleich zu Imlil reduziert; dieser Bedarf setzt auch etwa einen Monat später ein. Auf Dekaden- oder Wochenbasis ließen sich diese Unterschiede noch feiner herausarbeiten. Diese raum-zeitliche Variabilität des KN-Bedarfes ist eine direkte Folge des Wechselspiels zwischen hangabwärts zunehmender Bodenverlagerung und Krumenmächtigkeit und damit des Bodenfeuchte-Speichervermögens, der ebenfalls von Around nach Imlil - also hangabwärts - abnehmenden Niederschlags-Fülle sowie der in dieser Richtung ansteigenden Temperatur und damit auch der potentiellen Evapotranspiration. Die Steigerung der AEN+KN gegenüber AE_N (Tab. 13) läßt erkennen, daß Erträge durch künstliche Wasserzufuhr signifikant anzuheben sind, und zwar in zunehmendem Ausmaß hangabwärts.

Die Auswirkungen der untersuchten Geofaktoren auf das räumliche Produktionspotential der untersuchten Terrassenlandschaften werden in einem schematischen bewässerungsökologischen Profil zusammengefaßt (Abb. 25).

Ohne Bewässerung werden nach dem Prinzip des 'Water Harvesting' am hinteren Feldende bestenfalls 2 bis 4 dz Gerste pro ha und an der vorderen Feldkante 5 bis 8 dz pro ha produziert. Dies sind absolut notständische Ertragslagen und herrschen dann vor, wenn der Hauptzuleiterkanal in kritischen phänologischen Phasen zerstört wird, oder wenn aus anderen Gründen für längere Zeit die Wasserzufuhr unterbleibt. Allein die Bewässerung ermöglicht Erträge zwischen 30 und 60 dz Gerste pro ha. Die Gunstlagen sind, wie bereits mehrfach erklärt, Standorte am Hangfuß und vorne an den Terrassenkanten.



Abb. 22: Gang der Witterungsvariabilität bzw. des Wasserhaushalts von Imlil (1978-1980).
Abb. 23: Gang der Witterungsvariabilität bzw. des Wasserhaushalts von Around (1978-1980).

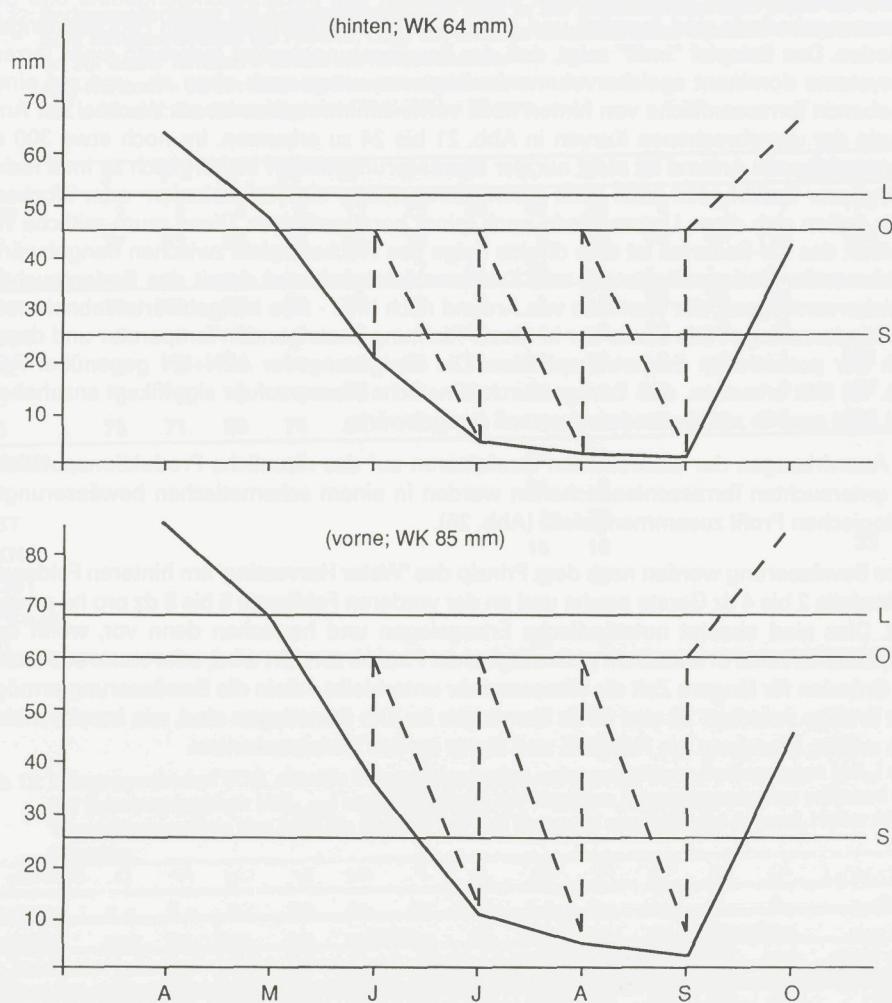


Abb. 21: Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr
(unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Imlil (unten).

Abb

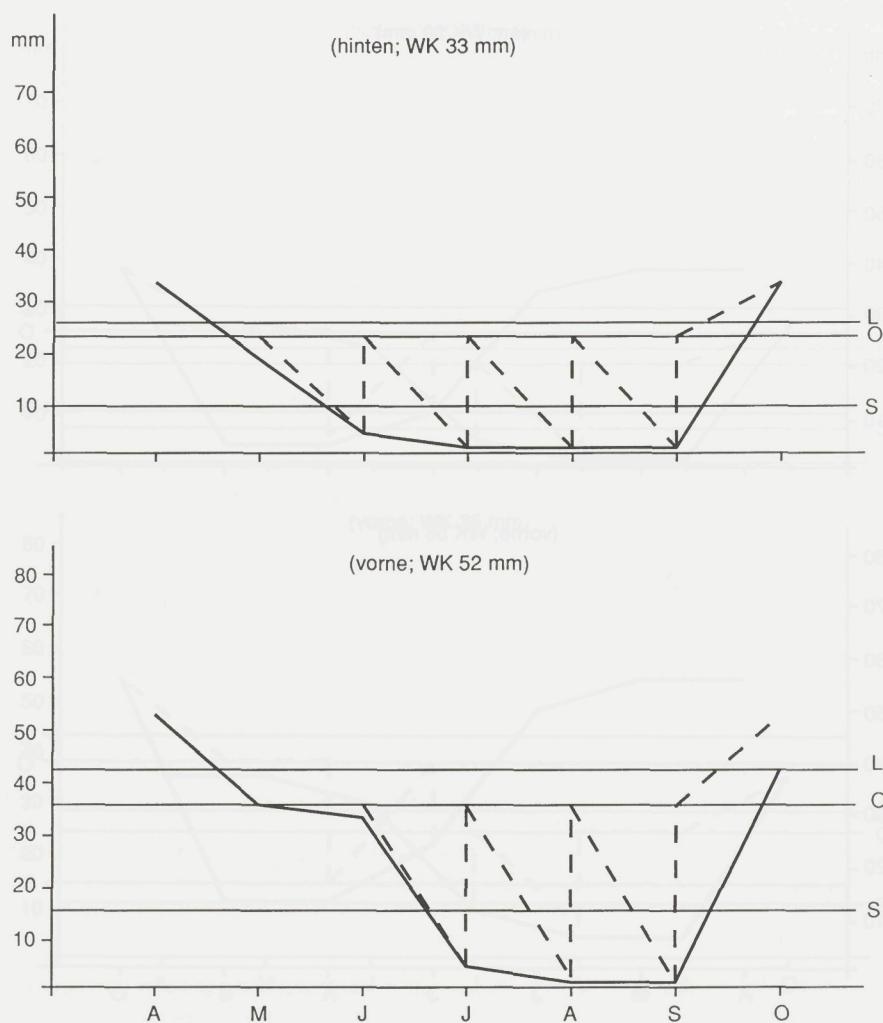


Abb. 22: Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Imlil (oben).

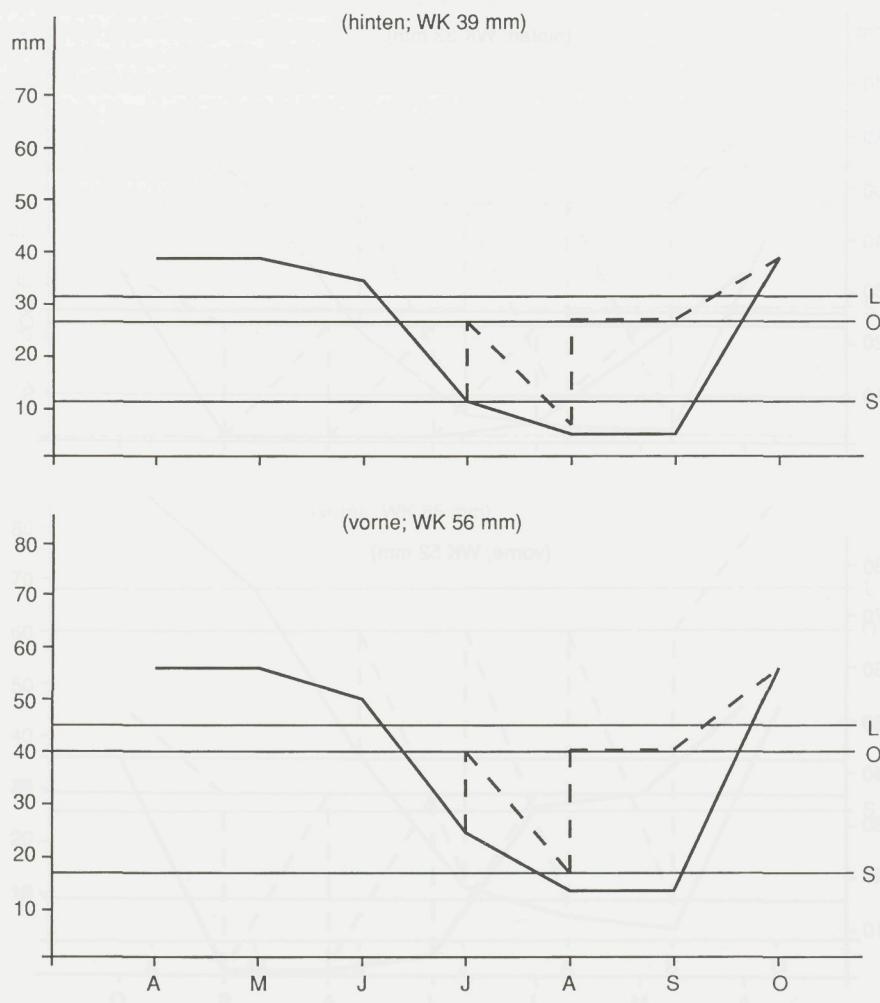


Abb. 23: Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Around (unten).

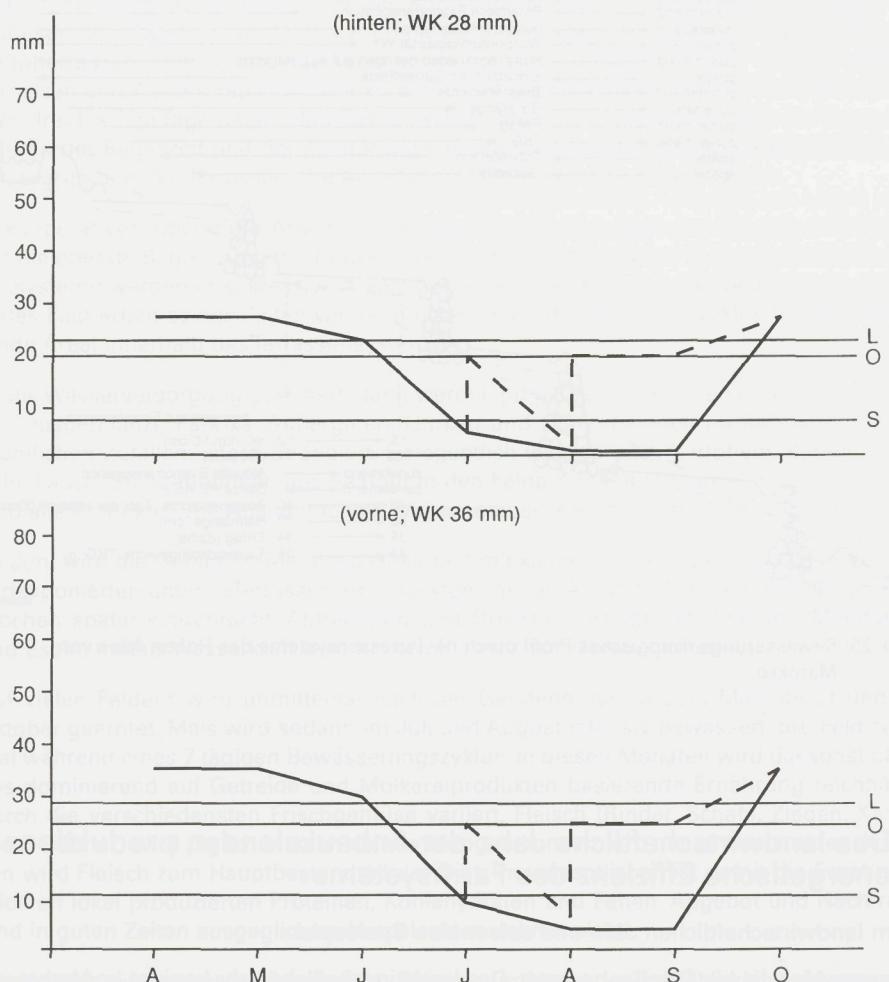


Abb. 24: Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Around (oben).

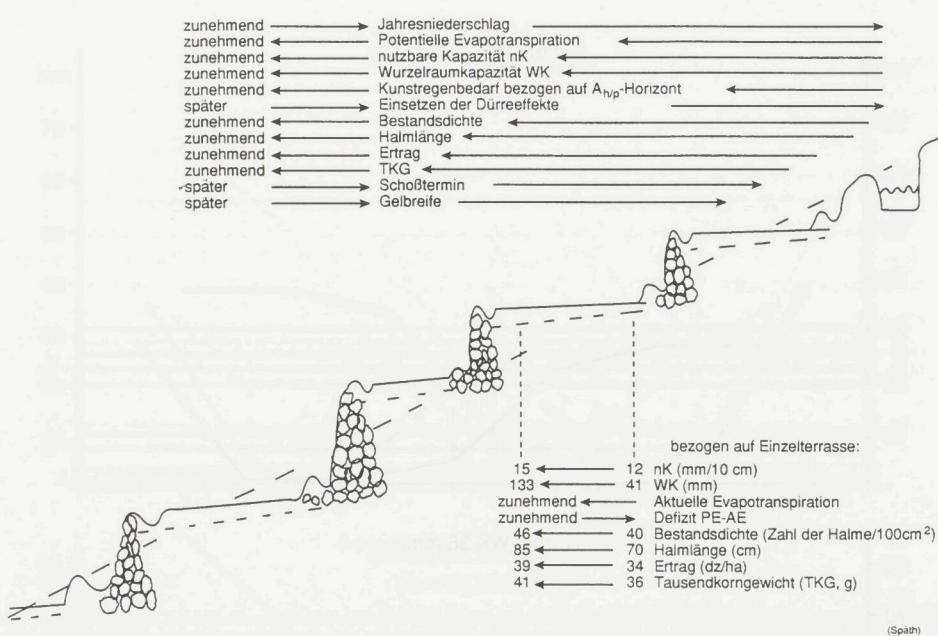


Abb. 25: Bewässerungsökologisches Profil durch die Terrassensysteme des Hohen Atlas von Marokko.

6. Das landwirtschaftliche Jahr, der Anbaukalender, produktions-energetische Effizienz des Farmsystems

Zum landwirtschaftlichen Jahr und saisonalen Speiseplan:

Sommer-Mais ist bis Oktober geerntet. Das landwirtschaftliche Jahr beginnt im Herbst von neuem. Auf etwa $\frac{2}{3}$ der Terrassenfläche wird Winter-Gerste gesät. Mit einem Maulesel-Ge- spann wird bis zu 30 cm tief gepflügt, die Saat untergeharkt und an der Oberfläche Bewäs- serungsfurchen angelegt. Ein Team von 5 Personen bestellt dergestalt pro Tag ca. 10 bis 15 Felder von je 100 bis 400 m². Auf dem restlichen Drittel der Fläche werden im Frühjahr ver- schiedenste Gemüse und im Juni schließlich Sommermais (z.T. auch auf den abgeernteten Gerstenfeldern) angebaut. Stallmist wird intensiv vor der Feldbestellung und während des ganzen Winters zugeführt. Hühnermist bleibt besonders für Gemüse reserviert.

Im Winter, wenn periodisch Schnee fällt, werden Walnüsse entschalt und vermarktet, unge- färzte Wolle zu Kleidung und Decken verarbeitet oder verkauft und das soziale Netz ge- mäß uralter Traditionen verdichtet.

Nächtliche Temperaturen über dem Gefrierpunkt bringen den Frühling: Walnuß-, Kirsch-, Apfel- und Feigenhaine verwandeln die Terrasseninseln in ein Blütenmeer. Frühgemüse, insbesondere Zwiebeln, und Frühkartoffeln werden ausgepflanzt. Gleichzeitig werden die Hauptterrassen, der Hauptzuleiterkanal sowie die Verbindungswege und -pfade zwischen Terrassen und Weilern repariert; alle körperlich fähigen Männer leisten ihren Anteil zu diesem drei bis fünf Tage dauernden Gemeinschaftsprojekt zur Instandhaltung der Oase. Die Spuren der Regenzeit und der Zerstörung werden beseitigt. Gerste, im Oktober zuvor gesät, ergrünt auf den Terrassen. Die Agrarlandschaft erwacht zu neuem Leben.

In kooperativer rotierender Arbeit wird sodann das Wasser über den Hauptzuleiterkanal, der die oberste Begrenzung der bewässerbaren Hangpartien darstellt, zugeteilt: Die Terrassensysteme werden in sukzessive Areale gegliedert, die nacheinander bewässert werden. Jedes Feld erhält seinen Anteil während eines jeden Bewässerungszyklus für das betreffende Areal innerhalb des Terrassensystems.

Ist die Wasserversorgung gesichert, dann werden junge Salatpflänzchen und Tomatenstauden ausgepflanzt; Paprika, Auberginen, Gurken und Honigmelonen pikiert - und alles in räumlichen Zufallsmustern arrangiert. Gelegentlich werden auch Kartoffeln, Rüben, Zwiebeln, Lauch, Stangenbohnen aus Saatgut in den Feldern in Reihen gezogen. Bis Ende Mai sind alle Produkte - mit Ausnahme von Wintergemüse, Karotten und Rüben - ausgebracht.

Im Juni wird die Gerste in Gemeinschaftsarbeit mit kleinen Sicheln geerntet, als erstes auf südexponierten unteren Terrassen. Im höchstgelegenen Around wird die Ernte bis um drei Wochen später eingebbracht. Abtransport und Dreschen erfolgt mit Hilfe von Maultieren und Eseln; mittels Wasserkraft wird für den Eigenbedarf Gerste gemahlen.

Auf vielen Feldern wird unmittelbar nach der Gerstenernte im Juni Mais gesät und im Oktober geerntet. Mais wird sodann im Juli und August intensiv bewässert, pro Feld zweimal während eines 7-tägigen Bewässerungszyklus. In diesen Monaten wird die sonst überaus dominierend auf Getreide und Molkereiprodukten basierende Ernährung reichhaltig durch die verschiedensten Frischgemüse variiert. Fleisch (Rinder, Schafe, Ziegen, Kaninchen, Hühner) wird täglich in sehr kleinen Mengen konsumiert; nur zu besonderen Anlässen wird Fleisch zum Hauptbestandteil der Diät. Im wesentlichen ist damit die Ernährung reich an lokal produzierten Proteinen, Kohlehydraten und Fetten. Angebot und Nachfrage sind in guten Zeiten ausgeglichen, in schlechten Jahren nicht.

Wenngleich die pastorale Wirtschaft im Rahmen umfassender Tragfähigkeitsanalysen eine zentrale Rolle spielt, so wird sie hier dennoch nicht untersucht, weil sie den geographischen Bereich außerhalb der bebauten Terrassen betrifft und Schafe und Ziegen hauptsächlich der Wolle und Haare wegen gehalten und später verkauft werden und damit nur indirekt die Produktionsenergiehaushalte beeinflussen. Für die hier durchgeföhrten Be trachtungen gewinnt die Viehzucht ernährungsmäßig allerdings dann zentrale Bedeutung, wenn nach Mißernten Lebensmittel gekauft oder eingetauscht werden müssen.

Produktionsenergie-Haushalte:

Produktionsenergie-Haushalte - hier am Beispiel von Imlil errechnet - müssen notgedrungen auf einer Reihe von Annahmen, Verallgemeinerungen oder Vereinfachungen basieren:

Maximal 10% der bewässerten Terrassen ($0,6 \text{ km}^2$) werden während eines gegebenen Jahres gebracht oder erleiden Ertragsdepressionen als Folgewirkung beschädigter Zuleiterkanäle und gelten hier als unproduktiv.

Chemikalien (Dünger, Herbizide und Pestizide) finden keine Verwendung.

Für Kulturenergie-Input:

Zwei Drittel der bebauten bewässerten Terrassenfläche von $5,4 \text{ km}^2$ ($3,6 \text{ km}^2$) tragen jedes Jahr Winter-Gerste und danach Sommer-Mais; ein Drittel der Fläche ($1,8 \text{ km}^2$) produziert Gemüse nach den in Tab. 14 gegebenen Verteilungswerten.

Tab. 14: Anbauflächen, Erträge, Energiegehalte (Umrechnungsfaktoren) und Nahrungsenergieproduktion (bezogen auf die Anbaufläche pro Produkt) für Gerste, Mais und Gemüse im Terrassensystem von Imlil*

Produkt	Anbaufläche (x 1000 m ²)	Ertrag (kg/m ²)	Energie (kcal/kg)	Nahrungsenergie (x 10 ⁶ kcal)
Gerste	3.600	0,45	3.300	5.346
Mais	3.600	0,45	3.480	5.637
Kartoffeln	300	4	760	912
Karotten	300	6	300	540
Bohnen	300	6	1.000	1.800
Rüben	300	6	180	324
Zwiebeln	60	5	260	78
Linsen	60	6	2.120	763,2
Knoblauch	60	2	260	31,2
Kopfsalat	60	15	230	207
Paprika	60	5	360	108
Radieschen	60	1,5	80	7,2
Zucchini	60	20	380	456
Auberginen	60	7	380	159,6
Gurken	60	15	200	180
Tomaten	60	20	360	432
GESAMT				16.981,2

*) Annahmen: Keine Schnecken, bedarfsgerechte Versorgung mit Sonne und Wasser, guter Boden.

Arbeitszeit für Feldbestellung (Einarbeitung von Stallmist, Säen und Furchen der Feldoerflächen) jeweils für Winter-Weizen und Sommer-Mais: Fünf Personen bearbeiten 15 Felder (zu je 300 m^2) in 10 Stunden; die $3,6 \text{ km}^2$ des Imlilbeckens sind demnach für jedes Produkt in 40000 Stunden bearbeitet. Für Gemüse insgesamt in 20000 Stunden auf $1,8 \text{ km}^2$. Dieser äußerst intensive Bearbeitungsprozeß - etwa eintausend Menschen sind daran beteiligt - ist jeweils nach ca. 4 Tagen im gesamten Imlilbecken abgeschlossen.

Arbeitszeit für Bewässerung. Für Gerste: auf 3,6 km² (12000 Felder) 1/4 Stunde je Feld pro Woche; je zwei Wochen im Herbst und Frühjahr, insgesamt 12000 Stunden. Für Mais: auf 3,6 km² (1200 Felder) 1/2 Stunde je Feld pro Woche im Juli und August, insgesamt 48000 Stunden. Für Gemüse (Zeit einschließlich Unkrautbekämpfung): auf 1,8 km² (6000 Felder) 2 Stunden je Feld pro Woche im Juli und August, insgesamt 96000 Stunden.

Instandhalten der Terrassen und Hauptzuleiter- und Verteilerkanäle erfordert 1000 Stunden pro Jahr.

Als Saatmenge werden für Gerste und Mais 1 dz/ha angesetzt.

Unberücksichtigt bleiben als Kulturenergie-Input (a) Saatgut von Gemüse sowie Arbeit zum Aufziehen desselben, (b) Treibstoff für gelegentlich eingesetztes kleines motorisiertes Ackergerät, (c) fixierte Energie und Instandhaltung von Handgerät und motorisiertem Gerät, (d) Nahrungsenergie in Futtermitteln für Last- und Zugtiere, (e) Energiewert von Stallmist sowie (f) Gehzeit zwischen Gehöft und Feldern zum Verrichten von Feldarbeit.

Für Nahrungsenergie-Output:

Tab. 14 gibt den Ertrag und Nahrungsenergie-Output der verschiedenen Ackerprodukte (Gerste, Mais und Gemüse) wieder.

Für den Bereich Imlil und Around werden bei einer Gesamtbevölkerung von ca. 2000 Personen 200 Groß-Haushalte mit je 10 Personen angenommen. Bei durchschnittlich mindestens 2 Milchkühen pro Haushalt und mindestens 10 Liter Milch pro Kuh pro Tag (mit 1000 kcal/l nicht-entrahmter Frischvollmilch) berechnen sich 2000 kcal pro Person pro Tag.

Ziegen- und Hammelfleisch wird in kleinen Mengen Teil der Ernährungspalette (hauptsächlich zu festlichen Anlässen); Fleisch und die oben angeführte Frischvollmilch bleiben bei der Berechnung der Agrarproduktions-Energiebilanz jedoch unberücksichtigt.

Für das gesamte Imlil-Becken (mit 6 km²) berechnen sich auf der Basis der in Tab. 14 gegebenen Werte sowie der oben definierten Annahmen und Vereinfachungen ein jährlicher Gesamt-Kulturenergie-Input von 363 586 000 kcal, ein Gesamt-Nahrungsenergie-Output von 16 981 200 000 kcal sowie ein Output/Input-Quotient von 47. Mit diesem Quotienten rangiert das Farmsystem der Berber hinsichtlich der Wirksamkeit seines Energieumsatzes leicht vor dem "Peasant Farming"-System Chinas mit Output/Input = 41 (LEACH 1976, S. 119). Pro Person errechnen sich (bei 2000 Personen) etwa 23 000 kcal/Tag. Laut Ernährungsliteratur benötigt ein Erwachsener zwischen 2500 und 3500 kcal pro Tag. Die in diesen terrassierten Gebirgssoasen erwirtschafteten Nahrungsenergiewerte sind demnach etwa zehn mal so hoch wie der Landesdurchschnitt für Marokko von 2640 kcal pro Person pro Tag (CLEAVER 1982); in den USA werden vergleichsweise 3300 kcal pro Person pro Tag verbraucht (PIMENTEL 1980). Dies erklärt, warum die Berberrückzugsgebiete wirtschaftlich autark sind, die Märkte aller Küstenstädte sowie die regionalen Unterzentren reichlich mit Grundnahrungsmitteln und Gemüse aus den Terrassengebieten versorgt werden können und warum sich für die Berber wirtschaftlich keine Notwendigkeit abzeichnet, ihre räumliche Isolierung aufzugeben, um sich politisch stärker in das restliche Marokko einbinden zu lassen.

7. Schlußfolgerung

Zum einen war zu zeigen, daß die eigentlichen Terrassenlandschaften selbst nur sehr wenig zum nationalen Problem der Bodenerosion beitragen. Sie sind zwar - als künstliche ökologische Inseln - selbständig auf Grund exzessiver Entwaldung und Überweidung in höheren Höhenstufen bedroht, existieren aber mit dieser Herausforderung in manchen Hochtälern schon mindestens 500 Jahre lang. Andererseits gibt es genügend Anzeichen und Beispiele dafür, wie scheinbar permanent geschädigte Hanglandschaften, also die eigentlichen Verursacher des nationalen Erosionsproblems, restauriert und stabilisiert werden können, und wie so der Fortbestand der montanen bewässerten Terrassenlandschaften im Hohen Atlas indirekt etwas sicherer gestaltet werden kann.

Agro-ökologisch stellen die bewässerten Terrassenlandschaften produktive, stabile Inseln dar. Der wichtigste ertragslimitierende Faktor ist die geringe Mächtigkeit der künstlichen Krume; mangelndes Feuchtespeichervolumen erfordert kontinuierliche Bewässerung. Oberflächenbewässerung sortiert und verlagert feine Bodenkorngruppen und bewirkt damit ein kleinräumig differenziertes Ertragspotential, welches kulturtechnisch zu regulieren und zu minimieren, aber nicht ganz zu verhindern ist.

Die produktionsenergetische Analyse hat gezeigt, daß diese Bewässerungsinseln signifikante Nahrungsüberschüsse produzieren können. Sie sind trotz des geringen technischen Aufwandes eigenständig in der Lage, die ortsansässige Bevölkerung energetisch solide zu versorgen und durch die Überschüsse den Anschluß an die externe Geldwirtschaft zu sichern. Intensivierung des Anbaus könnte nur mit Mechanisierung und radikaler Terrainmodifizierung und nachfolgendem sprunghaften Anwachsen der Erosion innerhalb des Bewässerungsareals einhergehen. Zumindest derzeit werden solche Überlegungen seitens der ortsansässigen Bevölkerung nicht angestellt. Kollektive Bodenerhaltung im Bewässerungsareal wird nach wie vor als oberstes Gebot in der Landnutzung befolgt.

Zusammenfassung

Im Laufe der Geschichte haben die Berber des Maghreb in den subalpinen Hochtälern des Hohen Atlas Zuflucht vor periodisch eindringenden Eroberern gefunden; dort haben sie die steilen natürlichen Hanglandschaften in terrassierte bewässerte Inseln verwandelt.

Nach MENSCHING's Thesis (1985) hat im Hohen Atlas von Marokko zunehmender Bevölkerungsdruck im Laufe dieses Jahrhunderts Weide- und Waldnutzung oberhalb der künstlichen bewässerten Hangterrassensysteme ansteigen lassen, somit dort die flächenhafte Bodenerosion intensiviert und hangabwärts die Terrassenlandschaften und deren Tragfähigkeit zerstört.

Der rezente physische Kulturlandschaftswandel wurde mittels historischer Luftbilder sowie durch Feldbeobachtungen analysiert; Bewässerungsbedarf und Produktivität der kultivierten Terrassen wurden mit gegenwärtigen mikro-morphologischen Prozessen und mechanischen und chemischen Bodeneigenschaften korreliert; Kulturenergie-Inputs wurden der

Nahrungsenergie gegenübergestellt und so die produktionsenergetische Effizienz des Farmsystems bestimmt.

Historische Luftbildanalysen und Feldbeobachtungen legen den Schluß nahe, daß im Umfeld aktiver Dörfer (mit intakter Bausubstanz) seit 1950 kaum signifikante Flächenverluste nachzuweisen sind, eher Flächenzugewinne. Während der Regenzeit und der Schneeschmelze auftretende morphogenetische Flächenverluste werden zumeist unverzüglich, spätestens aber im folgenden Frühjahr wieder repariert. Terrassenverluste, soweit sie sich nachweisen ließen, sind nur signifikant im Umfeld von Dörfern mit rückläufigen Bevölkerungszahlen; hier sind sie aber als Sozialbrache-Erscheinungen zu betrachten, nicht als Folge unkontrollierbarer, vom Menschen stimulierter Bodenerosion. Daten zur Bevölkerungs-, Herden- und Weidevegetationsentwicklung sind nicht zu beschaffen; MENSCHING's These ist demnach in ihrem Gesamtanspruch nicht zu testen.

Kulturtechnische Nutzungsvarianten bestimmen letztlich die agro-ökologische Qualität und Stabilität der Terrassenlandschaften. Die künstlichen Wurzelhorizonte der Bankterrassen verdünnen sich hangaufwärts. Im Zuge der Oberflächenbewässerung reichern sich verschlämmbare Korngrößen im flachen Unterboden an; der Oberflächenbewässerungsstrom transportiert mittlere Korngrößen zur vorderen Feldkante und zum Hangfuß und schafft ein räumlich differenziertes Verteilungsbild der Produktivität. Permanente Zufuhr von Stallmist sorgt für ausreichende Düngung. Insgesamt wird etwa zehn mal mehr Nahrung produziert als zum Unterhalt der ortsansäßigen Bevölkerung benötigt wird. Die Überschüsse sichern den räumlich freiwillig isolierten Berber-Clans die wirtschaftliche Unabhängigkeit.

Produktionsenergetisch lassen sich kaum Optimierungen realisieren. Der Energieoutput/Input-Quotient für dieses handarbeitsintensive Farmsystem liegt bei etwa 47. Dieser hohe Wirkungsgrad würde durch intensive Mechanisierung, die allerdings unter dem Aspekt der Bodenkonserierung ohnehin nicht möglich wäre, drastisch sinken, weil dadurch zwar die Kulturenergie-Inputs, nicht aber die Nahrungsenergie-Outputs erhöht werden könnten.

Abstract

Avoiding invaders throughout history, the Berber of the Maghreb have taken refuge in subalpine valleys of the High Atlas. Natural slope landscapes under grass or forests have been converted into terraced irrigated islands.

"Since the turn of the century, growing population and associated overgrazing and increasing deforestation above the terraced slopes have lead to intensified soil erosion in forests and range lands, which in turn destroys downslope terrace systems reducing local carrying capacity." This hypothesis by MENSCHING (1985) has been tested in the West-Central High Atlas of Morocco.

Recent physical changes of the cultural landscape have been assessed (air photo time series and field visitations) for selected isolated terrace systems; irrigation requirement and productivity of cultivated land has been related to current micro-morphological

processes and mechanical and chemical soil properties; agro-energetic performance has been calculated.

Findings suggest that during the past fifty years total terraced acreage remained unchanged in proportion to local population; individual cultivated slope landscapes retain their productivity under current communal management. Minor terrace decay or loss are associated only with localized population decline. For lack of reliable data correlations between population, herd size and grass cover development cannot be established.

Irrigation practices are determining agro-ecological quality and stability. Shortening the run of surface irrigation lessens soil transport and overirrigation. Depth of the shallow artificial root zones diminishes upslope. Downward soil water streams are accumulating clay fractions in lower soil profile horizons; surface water movement is transporting silt fractions to the front edge of fields and the base of slopes resulting in spatially differentiated levels of productivity. Constant manuring keeps fertility levels high.

Overall production is ten times the amount needed to meet food requirement of the local population. Food surplus is sold in large coastal cities and regional towns and provides a basis for limited economic and political independence of the voluntarily isolated farming system.

In terms of agro-energetic performance there is very little room for improvement; the overall food energy output / cultural energy input ratio of 47 is ranking amongst the highest of sedentary low-technology self-sustained agricultural systems. Intensified mechanization would, in addition to inducing catastrophic soil loss, drastically reduce this level of efficiency by keeping food energy output at current levels yet increasing cultural energy inputs.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1971): Kartieranleitung. Hannover.
- CLEAVER, K. M. (1982): The Agricultural Development Experience of Algeria, Morocco, and Tunisia. A Comparison of Strategies for Growth. World Bank Staff Working Papers, No. 552, Washington D.C.
- COUVREUR, G. (1968): La Vie Pastorale dans le Haut Atlas Central (1). *Révue de Géographie du Maroc*, Nr. 13, S. 3-54.
- COUVREUR, G. (1986): L'Évolution Récente de la Population du Haute Atlas Central (1960-1982). RGM, Vol. 10, Nouvelle Série, Nr. 1-2, S. 63-75.
- DESPOIS, J. (1964): Les Paysages Agraires Traditionnels du Maghreb et du Sahara Septentrional. *Annales de Géographie*, Nr. 396, Jg. LXXIII, S. 129 - 171.
- GLANTZ, M.H.(ed.) (1987): Drought and Hunger in Africa. Denying Famine a Future. Cambridge.

- GRADUS, Y. (ed.) (1985): *Desert Development. Man and Technology in Sparselands.* D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- HOFFMANN-BURCHARDI, H. (1964): Die Berber im Hohen Atlas Zentralmarokkos. *Geographische Rundschau* 16, S. 1 - 14.
- JOHNSON, D. (ed.) (1977): *The Human Face of Desertification.* Economic Geography Vol. 53 No. 4, October 1977.
- LEACH, G. (1976): *Energy and Food Production.* IPC Science and Technology Press, Guildford.
- MENSCHING, H. (1985): Slope Erosion and its Control in the traditional Farm Land of the Rif Atlas Mountains in Morocco. *Stuttgarter Geographische Studien*, S. 31-37.
- MILLER, J. (1984): *Imlil. A Moroccan Mountain Community in Change.* Boulder.
- PIMENTEL, D. (1980): *Food, Energy and the Future of Society.* Colorado Associated University Press, Boulder.
- PIMENTEL, D. & TERHUNE, E.C. (1977, 2): Energy and Food. In: *Ann. Rev. Energy.* S. 171-195.
- SPÄTH, H.-J. (1976): Feuchtedefizit und Kunstregenbedarf auf Niederrheinischen Ökotopen. *Erdkunde*, Bd. 30, S. 83 - 97.
- SPÄTH, H.-J. (1985): Bilanzierung des Produktionsenergie-Flusses in der Trockenlandwirtschaft. *Der Tropenlandwirt, Zeitschrift für die Landwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 86. Jahrgang, S. 141-171.
- VOINOT, L. (1928): *Les Reraira. Revue de Géographie Marocaine*, Vol. 7, No. 8, S. 129-207.
- Applied Science and Development. Special Issue on the Occasion of the UN Conference on Desertification in Nairobi 1977, Vol. 10, 1977.
- Statistisches Bundesamt, 1981 und 1991, Wiesbaden.
- UNEP (1986): *Desertification Control Bulletin*, No. 13.
- USDA (1975): *Nutritive Value of American Foods. ARS Agricultural Handbook* No. 456.

Danksagung

Diese Forschungen wurden unterstützt durch das Institute for Dryland Development der University of Oklahoma, das Geographische Institut der Universität Paderborn und das Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II in Rabat; Oliver Spaeth und Jennifer Spaeth assistierten bei der Feldarbeit. Allen sei herzlich gedankt.

Liste der Abbildungen

- Abb. 1 Terrassenlandschaft um Imzayn (Ausschnitt 1), 1979
- Abb. 2 Terrassenlandschaft um Imzayn (Ausschnitt 2), 1979
- Abb. 3 Terrassenlandschaft um Taourirt (Ausschnitt), 1979

- Abb. 4 Terrassenlandschaft um Ameslane (Gesamtansicht), 1987
- Abb. 5 Terrassenlandschaft um Tizgui (Gesamtansicht), 1987
- Abb. 6 Terrassenlandschaft um Tahaliouine (Ausschnitt 1), 1987
- Abb. 7 Terrassenlandschaft um Tahaliouine (Ausschnitt 2), 1979
- Abb. 8 Terrassenlandschaft um Imlil (Gesamtansicht), 1987
- Abb. 9 Zerstörtes Terrassensystem am Gegenhang rechts (am Tizi-n-Test).
- Abb. 10 Eine Geröllhalde überwandert den Hauptzuleiterkanal (entlang der Baumreihe am Gegenhang) und dringt in das tiefer gelegene Terrassensystem ein (bei Mzikene westlich von Imlil).
- Abb. 11A Einzelblöcke und Steinlawinen aus den überweideten Oberhängen bedrohen während der Regenzeit und Schneeschmelze die Felder im Kontaktbereich von Terrassensystem und beweidetem höher gelegenem Areal.
- Abb. 11B Terrassenlandschaft von Arrhen bei Imlil am Assif n' Ait Mizane, nach Konservierungsarbeiten im Frühjahr.
- Abb. 12 Physische Merkmale der Terrassensysteme im Hohen Atlas.
- Abb. 13 Aufwendig erstelltes und instandgehaltenes Terrassensystem südlich von Around. Stützmauern aus gut gerundeten Geröllen deuten auf kräftige Morphodynamik entband der Abflußrinnen hin.
- Abb. 14 Intaktes Terrassensystem von Aït Souka bei Imlil; rechts am Hang der Hauptzuleiterkanal oberhalb der Baumgruppen. Trotz massiver Schäden an den Oberhängen präsentiert sich die Bewässerungsoase in bestem kulturtechnischen Zustand.
- Abb. 15 Hangneigung und Form der Nachbarterrassen bestimmen die Konfiguration einzelner Terrassen.
- Abb. 16 Terrassenformen werden im wesentlichen durch die Form der Nachbarterrassen und die Hangneigung bestimmt.
- Abb. 17 Die Bewässerungswirksamkeit wird minimiert, wenn die Terrassenfläche in schmale lange Streifen gegliedert oder gar über Furchen bewässert wird. Diese Methoden erfordern stärkere Gefälle, erhöhen Fließgeschwindigkeit, Krumentransport und Abwasserquoten.
- Abb. 18 Die Bewässerungswirksamkeit auf den Terrassen wird optimiert, wenn das Wasser von der Längsseite in schmale eingedämmte Becken in einem Längen-/Breitenverhältnis von 2 zu 1 eingeleitet wird. So wird gleichzeitig die Abspülung minimiert.
- Abb. 19 Wasserspannungskurven im Terrassensystem von Imlil.
- Abb. 20 Wasserspannungskurven im Terrassensystem von Around.
- Abb. 21 Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Imlil (unten).
- Abb. 22 Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Imlil (oben).

- Abb. 23 Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Around (unten).
- Abb. 24 Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit künstlicher Wasserzufuhr (unterbrochene Kurve) im Terrassensystem von Around (oben).
- Abb. 25 Bewässerungsökologisches Profil durch die Terrassensysteme des Hohen Atlas von Marokko.

List of Figures

- Fig. 1 Terrace landscape near Imzayn (section 1), 1979
- Fig. 2 Terrace landscape near Imzayn (section 2), 1979
- Fig. 3 Terrace landscape near Taourirt (section), 1979
- Fig. 4 Terrace landscape near Ameslane (total), 1987
- Fig. 5 Terrace landscape near Tizgui (total), 1987
- Fig. 6 Terrace landscape near Tahaliouine (section 1), 1987
- Fig. 7 Terrace landscape near Tahaliouine (section 2), 1979
- Fig. 10 Rock avalanche migrating across main irrigation supply canal (along tree line on opposite slope) and invading lower lying terrace system (near Mzikene west of Imlil).
- Fig. 11A Individual boulder and rock avalanches from overgrazed upper slopes are threatening fields in the contact zone between terraced terrain and higher slope sections during the rainy season and snowmelt.
- Fig. 11B Terrace landscape of Arrhen near Imlil on the Assif n' Ait Mizane.
- Fig. 12 Physical parameters of the terrace systems in the High Atlas.
- Fig. 13 Terrace system south of Around requiring high maintenance input. Retention walls made from large fluvial gravel are indicative of intensive morphodynamics along local stream channels.
- Fig. 14 Well maintained terrace system of Aït Souka near Imlil; to the right main supply canal above the line of trees. Inspite of massively damaged upper slopes the oases remains in perfect condition.
- Fig. 15 Slope angle and shape of neighboring terraces determine shape and configuration of individual terraces.
- Fig. 16 Terrace configuration will be determined to a large extent by shape of neighboring terraces and slope angle.
- Fig. 17 Irrigation efficiency will be minimized, if terraces are divided into long narrow basins or furrows. This irrigation method requires rates.
- Fig. 18 Irrigation efficiency will be optimized, if water enters from the longer side into small short basins with a length-to width ratio of 2/1. At the same time top soil loss and waste water will be minimized.
- Fig. 19 Moisture retention curves for the terrace system of Imlil.

- Fig. 20 Moisture retention curves for the terrace system of Around.
- Fig. 21 Soil moisture regime during the growing season without and with irrigation (dotted curve) for the terrace system of Imlil (site at base of system).
- Fig. 22 Soil moisture regime during the vegetation period without and with irrigation (dotted curve) for the terrace system of Imlil (site at top of system).
- Fig. 23 Soil moisture regime during the vegetation period without and with irrigation (dotted curve) for the terrace system of Around (site at base of system).
- Fig. 24 Soil moisture regime during the vegetation period without and with irrigation (dotted curve) for the terrace system of Around (site at top of system).
- Fig. 25 Irrigation-ecological cross-section across terrace systems in the High Atlas of Morocco.

Liste der Tabellen

- Tab. 1 Bevölkerung des Aït Mizane Clans (um Imlil und Around) im Jahre 1971 (nach offiziellen Regierungsquellen und unabhängigen Erhebungen).
- Tab. 2 Korngrößenzusammensetzung und Nährstoffgehalt der Böden im Terrassen-system von Imlil.
- Tab. 3 Korngrößenzusammensetzung und Nährstoffgehalt der Böden im Terrassen-system von Around.
- Tab. 4 Physiographische, bodenphysikalische und bewässerungsökologische Eckwerte der Terrassensysteme von Imlil und Around.
- Tab. 5 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Imlil; Lage: unten vorne.
- Tab. 6 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Imlil; Lage: unten hinten.
- Tab. 7 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Imlil; Lage: oben vorne.
- Tab. 8 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Imlil; Lage: oben hinten.
- Tab. 9 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Around; Lage: unten vorne.
- Tab. 10 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Around; Lage: unten hinten.
- Tab. 11 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Around; Lage: oben vorne.
- Tab. 12 Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode; Terrassen-system bei Around; Lage: oben hinten.

- Tab. 13 Kunstregenbedarf, aktuelle Evapotranspiration unter natürlichen Bedingungen und bei Kunstregengaben und Steigerung der aktuellen Evapotranspiration während der Vegetationsperiode von April bis Oktober auf den Terrassen von Imlil und Around im Hohen Atlas/Marokko.
- Tab. 14 Anbauflächen, Erträge, Energiegehalte und Nahrungsenergieproduktion für Gerste, Mais und Gemüse im Terrassensystem von Imlil.

List of Tables

- Tab. 1 Population of the Aït Mizane Clans (Imlil and Around) in 1971 according to official sources and independent sources.
- Tab. 2 Grain size combination and nutrient content of soils in the terrace system of Imlil.
- Tab. 3 Grain size combination and nutrient content of soils in the terrace system of Around.
- Tab. 4 Physiographic, soil physical and irrigation-ecological parameters of the terrace system of Imlil and Around.
- Tab. 5 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Imlil; site: base front.
- Tab. 6 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Imlil; site: base rear.
- Tab. 7 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Imlil; site: top front.
- Tab. 8 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Imlil; site: top rear.
- Tab. 9 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Around; site: base front.
- Tab. 10 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Around; site: base rear.
- Tab. 11 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Around; site: top front.
- Tab. 12 Soil water budget under irrigation during the growing season; Terrace system near Around; site: top rear.
- Tab. 13 Irrigation requirement, actual evapotranspiration under natural conditions and under irrigation and increase in actual evapotranspiration during the growing season (April - October) in the terrace systems of Imlil and Around in the High Atlas of Marocco.
- Tab. 14 Cultivated area, yield, energy contents and food energy production for barley, maize and vegetables in the terraces system of Imlil.



Abb. 9: Zerstörtes Terrassensystem am Gegenhang rechts (am Tizi-n-Test).



Abb. 10: Eine Geröllhalde überwandert den Hauptzuleiterkanal (entlang der Baumreihe am Gegenhang) und dringt in das tiefer gelegene Terrassensystem ein (bei Mzikene westlich von Imlil).

Abb
Reg
höh

Ab
ten



Abb. 11A: Einzelblöcke und Steinlawinen aus den überweideten Oberhängen bedrohen während der Regenzeit und Schneeschmelze die Felder im Kontaktbereich von Terrassensystem und beweidetem höher gelegenen Areal.



Abb. 11B: Terrassenlandschaft von Arrhen bei Imlil am Assif n' Ait Mizane, nach Konservierungsarbeiten im Frühjahr.



Abb. 13: Aufwendig erstelltes und instand gehaltenes Terrassensystem südlich von Around. Stützmauern aus gut gerundeten Geröllen deuten auf kräftige Morphodynamik entlang der Außenrinnen hin.



Abb. 14: Intaktes Terrassensystem von Ait Souka bei Imlil; rechts am Hang der Hauptzuleiterkanal oberhalb der Baumgruppen. Trotz massiver Schäden an den Oberhängen präsentiert sich die Bewässerungsoase in bestem kulturtechnischen Zustand.

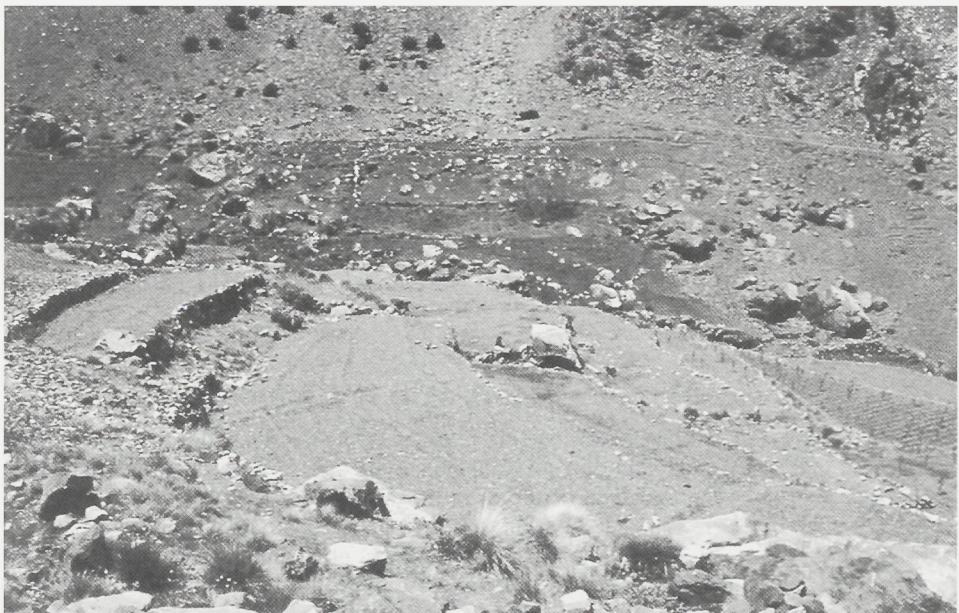


Abb. 15: Hangneigung und Form der Nachbarterrassen bestimmen die Konfiguration einzelner Terrassen



Abb. 16: Terrassenformen werden im wesentlichen durch die Form der Nachbarterrassen und die Hangneigung bestimmt.

Fuelwood Crisis of Niamey

Vanishing Forests and Development of an Arid Island in the Sahel of Niger

HANS-JOACHIM SPÄTH, Norman (Oklahoma)

with 4 figures, 6 tables, and 12 maps

1. Problem Statement and Objectives

The overriding national development goals of the Republic of Niger in the African Sahel are sustainable agriculture and food self-sufficiency. Yet very little land is suitable for rainfed and irrigated crop production, for grazing, or for forest development (FAO 1976; The World Bank 1985). At the same time, increasing aridity observed over the last 30 years (NICHOLSON 1982; Direction de la Météorologie Nationale du Niger 1990) and thus the continued southward shift of the Northern Limit of Cultivation (between the 200 mm and 350 mm annual isohyet) in combination with a marked delay of the first significant rainfall events of the rainy season during the last decade have further reduced arable acreage, grazing lands, and productive forests within the political boundaries of the Republic of Niger.

Annual national population growth at 3,6 % (Ministère de Plan du Niger 1990) leaves its own imprint on land use changes. The three traditional tree-based farming systems (the agrosylvicultural and the agrosylvopastoral systems which dominate south of the 350 mm isohyet, and the sylvopastoral system blending in to the north) are forced to exploit fragile land for food production, to shorten traditional fallow periods, and to overgraze marginal rangeland and forests. Subsequent decline in natural productivity, short-term loss of top soil, wind and water erosion, and desertification have reached alarming proportions. The gap between growing demand for food and forage and declining regional carrying capacity widens (The World Bank 1988, 1990; World Resources Institute 1990).

At the same time, rural and urban population growth and the associated demand for fuelwood for domestic consumption have induced uncontrolled deforestation and widespread destruction of the semi-arid forest biome, the *Brousse Tigrée* on the plateau landscape of the *Continental Terminal* in the southwest of Niger. In the absence of national reserves of oil and gas or significant coal resources, fuelwood supplies for Niamey, the capital of Niger, are becoming critically constrained. Woodlands in the hinterland are cleared at rapidly growing distances from the city. Current prices for fuelwood are soaring, making this vital resource more and more unaffordable especially for the poor, the majority of the population. An economic and social dimension is added to an already bleak ecological imbalance as a result of deforestation - a process leading to rapid top soil loss, irreversible exposure of laterite crusts, increasing surface runoff on the plateaus, to gullying and loss of arable land on the glaciis, to sedimentation and flooding on the

bottomlands, to regional ground water depression - to mention but a few responses of the ecosystem.

Satellite images show a large and expanding circle of barren land around the national population center of Niamey and around regional centers like Torodi, Baleyara or Zinder. Such man-made desert islands can neither be reclaimed in the time-span of a human life nor in terms of available financial resources.

A few data illustrate the current fuelwood crisis of Niamey: Population in 1977 was less than 250000; forests within walking distance from the city outskirts could provide sufficient fuelwood for domestic consumption. In 1988 population was estimated at 700000; forests at 30 to 50 km distance were supplying over 200000 tons of fuelwood each year - a stack of wood over 1000 km long and 1 m high. At current rates of wood consumption (300 kg/capita/annum) and population increase (Government estimates 2,2 million for the capital plus 500000 in satellite cities and slums by the year 2000), the remaining forests of Niger and their productive soils will have disappeared by the end of this century.

A culturally acceptable national intervention plan must solve the fuelwood crisis and save and keep productive the remaining forests - the only forests Niger has.

The international research community has barely begun to be aware of the issue of land surface and social change involved: major funding has focused on modelling shrinking zonal forests or grasslands and other parameters of desertification, mainly in relation to global climate change and meteorological drought, to inappropriate colonial and post-colonial land use and related feedback mechanisms for global models. Only isolated studies have dealt with the ecologically balanced use of woodlands in pre-colonial times (THOMSON 1983), with the theoretical basis to inventory and monitor renewable resources in the Sahel (PANZER 1981), have assessed possibilities to increase the human-ecological carrying capacity of semi-arid lands by means of agroforestry (MAYDELL 1982), or studied forests as a possible solution to the environmental and energy difficulties facing semi-arid west Africa (WEINSTABEL & ZECH 1982). Social perception of and response to deforestation within the broader context of drought and desertification are poorly understood (MORTIMORE 1987). The search for optimal sensors, spectral classification, and technical interpretation dominates recent remote sensing research on tropical ecosystems' change in West Africa (GILRUTH & HUTCHINSON 1990) and elsewhere (RINGROSE, MATHESON, TEMPEST & BOYLE 1990). Today international development agencies are discouraged by overall negative results and lost opportunities in this field of research, conservation, and development. In their evaluation the "poor man's energy crisis" gained and kept its momentum because basic and applied research have ignored the interrelated ecological, economic, and socio-cultural realities of tree-based rural economies; they have treated forests as independent and isolated land cover units instead of viewing and protecting them as the stabilizing component within the context of traditional complex land use systems (CATTERSON, GULICK & RESCH 1987; FAO 1983; BURLEY & HAZELWOOD 1985; The World Bank 1985).

Broad-based research is needed to interpret the role of forests in the hinterland of Niamey/Niger as a component of both an urban and a rural ecological and economic system. In the rural context the multipurpose function of trees is still firmly established in all three traditional foodproduction systems. In the urban setting the forests have to provide energy for cooking and heating for 98 % of all households and a means to earn a

living for the sizeable number of 2600 families (1988).

The objectives of the present study were

- (1) to survey and assess spatial and temporal change of forest resources, patterns of fuelwood production, marketing, and consumption;
- (2) to analyse bio-physical land surface changes as a result of deforestation both on the plateaus, the glacis, and the bottomlands; and
- (3) to determine the response of the tree-based farming system to the general environmental degradation following large-scale deforestation.

2. The Study Area

Deforestation, land surface change, and farming systems' response have been studied between 12° 50' and 13° 50' North and 1° 40' and 2° 40' East, within a circle of 200 km in diameter, with Niamey slightly to the East of its center.

Long-term annual rainfall reaches 400 mm in the North and 550 mm in the South, placing the area of investigation within the Sahelo-Sudanian climatic zone of West Africa.

Three physiographic units prevail: Pliocene sandstones and clay sediments of the *Continental Terminal*, covered by a thick iron crust and a thin layer of sand, forming vast plateaus and mesas with steep escarpments in 250 to 280 m above sea level. Nutrient-deficient and at times toxic soils, spatially concentrated in long, curvilinear strips, support the *Brousse Tigrée*, a largely combretaceous savanna woodland for transhumant grazing. Some 50 m lower, between talus base and bottomland, lie the glacis, remnants of the pleistocene dissection of the plateaus. Recent colluvium, eolian sediments, thin residual sandy or clay soils, and ongoing gullyling and denudation impose limitations on traditional communal rainfed agriculture, shifting cultivation, and post-harvest grazing on this gently sloping morphological transition zone. Recent linear erosion is remodeling the broad valleys and the bottomlands - the *Dallols* - in about 200 m above sea level. Deep alluvium and accessible groundwater support gallery forests, seasonally irrigated small-scale farming and irrigated village gardening on the slowly draining flood plain and adjacent flat lower reaches of the glacis.

3. Methods

A variety of methods have been used to determine (1) rates and extent of deforestation, patterns of fuelwood production, marketing, and consumption; (2) bio-physical land surface changes; and (3) response of the tree-based farming system.

Resource Assessment and Bio-Physical Land Surface Changes:

Landsat MSS imagery for 9/30/1973 and 10/03/1986 (bands 4, 5, 7) was chosen to show temporal and spatial change of (a) forest cover, (b) top soil loss and laterization on the plateaus, and of (c) land use on the glacis and bottom lands. The chosen images

encompass the longest time span possible within the Landsat MSS record to keep data sets as compatible as possible with respect to seasonality (end of rainy season) and cloud cover. The early date allows us to study the effect of regional sub-centers on deforestation in the Southwest as well as the subsequently added effect of intensified traffic between Niamey and the Southwest after the opening of the *Kennedy-Bridge* across the River Niger in 1972.

Prior to classification, both images have been edge-enhanced and geometrically rectified to the 1:200000-scale base map. Information from supervised land cover classifications on Landsat TM images (6/02/1987 and 12/31/1987) as well as ground observation data (April 1988) have been used for a first standard ERDAS unsupervised classification on both Landsat MSS images. The classification has been finalized with input from ground truthing (in August and September 1989 and May 1990). The original 28 land cover classes have been merged, using visual cues, to a final 9 classes land cover legend: forest, shrub, denuded (= harvested) fields, bare soil (productive), exposed laterite crust or weathered laterite, solid rock (other than laterite), fields in crop (= agricultural), and open water (rivers, lakes, seasonal swamps, or ponds).

Ground truthing included surveys of land use on the glacis and bottom lands, of vegetation density and structure on selected forest and agricultural sites, degree of soil loss, dune and gully development, and general land degradation.

Five small study areas of approximately 15 x 15 km were created from the classified images to magnify details of the impact of Niamey's growing need for fuelwood (see Map 2). The sites E1 and E2 ('E' for East, '1' being closer to Niamey than '2' have been located along Route Nationale 25 east from Niamey to Baleyara and the sites SW1, SW2, and SW3 ('SW' for Southwest) Southwest from Niamey to Torodi on Route Nationale 6 to assess deforestation as a function of time and distance from major markets and from major roads. Some of these sites have been located in areas where recent major irrigation development on periodically flooded bottomlands and in fossil dry valleys could not bias forest and shrub land cover change information.

Spatial information regarding change and current status of land use and land surface quality with respect to forest, grass and crop production was drawn - in addition to the Landsat data - from Black-and-White 1:60000-scale photography for 1975 (NIG 1975 40/600), from 1:70000-scale B/W photography for 1979 (NIG 1975/700 IRC FAO Zone 1-4, both sets available from IGN-Paris), from Topographic Maps 1:50 000-scale for 1975 (of the Service de la Topographie et Cadastre de la République du Niger), and from unpublished maps at 1:200000-scale for 1988 on soils, vegetation, surface conditions by natural region (produced by the Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement, PUSF, Section Inventaire des Ressources Naturelles).

Soil samples have been taken from forest sites on the plateaus with forest cover of >60 %, 50 % +/-10 %, <40 %, and 0 %, from rain-fed agricultural sites on the glacis under *Acacia scorpioides*, from fields with average millet stand density, from sites with grass cover (and recent aeolian deposits), and from totally bare (water eroded) sites in the vicinity of productive fields. Six representative sites of each category had been chosen to outline horizontal and vertical changes of physical parameters and textural and chemical soil composition.

Patterns of Fuelwood Production, Marketing, Consumption, and Response of the Tree-Based Farming System:

The source for the socio-economic database have been (1) municipality leaders of the regional sub-centers of Hamdallay (in study area E2) and Torodi (in SW3); (2) the village chiefs with their council in the hamlets of Sirimbana (in SW3), Iboy (in SW1), and Boktili (in E2); (3) the heads of three extended families in each of these hamlets; (4) twenty private households in the most densely populated inner city districts in Niamey (between Boulevard de la Liberté, Boulevard Tanimoune, Boulevard des Saraounya, and Boulevard du Zarmaganda); (5) ten private vendors with varying inventories of firewood, LP-Gas, and charcoal, randomly selected throughout the inner City of Niamey, the peripheral center, and the periphery. Surveys have been conducted in both Peul and Zarma. Available financial and time resources determined the sample size. Complementary data of three commercial banks in the City of Niamey, of the World Bank Project *Energy II* for Niger, of the Deutsche Forstinventur-Service, and of P.U.S.F. of the Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement have served to verify and supplement the generated data for this project.

4. Forest Resources and Deforestation

4.1. Spatial and Temporal Changes of Forest Resource

The forests of varying densities in SW Niger, primarily on the plateaus and to a lesser degree on the glaciis and the bottom lands, are composed to 75 % of the species *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, and to a lesser degree of *Acacia ataxacantha*, *Acacia macrostachya*, *Bombax costatum*, *Boscia angustifolia*, *Boscia angustifolia*, *Boscia senegalensis*, and *Combretum glutinosum* (Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement 1986).

Indiscriminate deforestation in the immediate surroundings of Niamey during the 1960s, at that time a mere collection of smaller villages, had left only minor marks on the landscape; the 1973 image still shows a healthy forest cover on all plateaus to the NW, N, NE, E, and SE of the capital (Map 1). Only escarpments show exposed laterite crusts (in purple) as a result of intensified fluvial erosion and continued slope dynamics. Prior to 1973 the forests to the SW of Niamey did not supply the market of the capital due to minimal traffic across the River Niger until the opening of the *Kennedy-Bridge* in 1972. Nogaré - Niamey's smaller twin-city on the right bank of the river - had placed even more modest demands on nearby forests; here as well as in the vicinity of Torodi - the regional sub-center 60 km SW of Niamey - the plateaus show dense forest cover with laterite exposed only along the outer margins of plateaus in close proximity to the major highway.

By 1986 Nogaré had become part of the market of Niamey, and local fuelwood demands of Torodi became totally subordinate to the mushrooming energy demand of the capital (Map 2). The forests have disappeared on the right bank of the Niger and along Route Nationale 6 to Burkina Faso up to a distance of over 45 km; towards the E, NE, and SE of Niamey the forests have been completely harvested along all major highways to about 40 km distance from the capital with even greater spatial depth than in the SW; in this deforested "island"

only irrigated croplands appear as green. Previously densely forested plateaus are now lateritic wasteland that has lost its protective soil cover within 5 to 10 years after clearcutting and thus has been deprived of any means for an ecological recovery. To both sides of the Niger the degree of deforestation, denudation, and laterite exposure is directly related to the proximity of the market of Niamey.

The five study sites provide the following details:

E1 and E2 1973/1986: In 1973 the protected *Forêt Classée de l'Avion* in the SW corner of E1 is still under conservation (Map 3); the system of plateaus along the western edge of E1 13 km E of Niamey is deforested. The plateaus of the entire eastern half of E1, however, are still covered with forests, all of which have disappeared by 1986 (Map 4). The only green left in E1 1986 is irrigated cropland on bottom lands of fossil dry valleys. As late as 1973, Hamdallay, in the center of E2, had been surrounded by densely forested plateaus (Map 5); by 1986 both forests and soil resources have disappeared exposing (purple) laterite crusts (Map 6). Again the only green remaining at this time identifies intensified irrigated agriculture.

SW1, SW2, and SW3 1973/1986: Change followed a different pattern in the SW; in 1973 deforestation had exposed lateritic plateau edges that became increasingly wider with growing proximity to Torodi, the regional sub-center halfway between Niamey and the international border (in the middle of Map 8). At this time, however, the SW did not yet serve as hinterland for the capital. Forest cover in general had been dense enough to effectively protect the eco-system on the plateaus.

By 1986 this E-W-gradient of deforestation had been reversed (Map 7-12). The impact of the sudden opening of the SW for the market of Niamey after 1972 can be noticed not only along Route Nationale 6; laterite crusts retrace most secondary and tertiary access roads to the plateaus; they penetrate deep into every watershed, with greatest laterite frequency closest to the Niger Valley.

Landsat imagery is recording "forest" only for areas with >50 % forest cover. Areas classified as "bare" or "denuded," therefore, are not necessarily "totally deforested"; in such transitional scenarios on the plateaus, forest cover of <50 % is classified as "denuded" or "bare" soil (depending on the productivity of the site), as long as the laterite crust remains unexposed. In most water erosion and grazing scenarios, however, the productive soil cover will be completely removed within 5 to 10 years after clearcutting. The vast majority of plateau landscapes within the "deforested island" around Niamey is classified as "laterite" - an indicator for the total absence of tree cover. Planimetric measurements can use the sharply identified (purple) perimeter of the plateau escarpments for reference.

In the wake of increasingly restricted forest grazing on the lateritic plateaus throughout the entire image, the belt of rain-fed agriculture on the *glacis* had come under mounting grazing pressure, rendering growing numbers of acres barren and unsuitable for future crop production. There is strong evidence for a marked increase in bare soil (white; corresponding to scenario 2.4 in chapter 5) within the agricultural areas of all five study sites.

The forests on the *glacis* and the bottomlands with potential for irrigation are cleared with decreasing abundance of forests on the plateaus and with increasing demand for

communal rain-fed arable land. Rainfed agriculture expands in all study sites ("denuded" for harvested or idle fields; corresponding to scenario 2.3 in chapter 5).

Table 1 summarizes rainfall histories for the two Landsat images. Rainfall preceding the 1973 image date had been roughly 25 % less abundant than rainfall that supported the vegetation in the 1986 image; the true dimension of the general decline of forest and shrub cover, therefore, is hidden by these favorable (pre-fall) 1986 rainfall events.

Year	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Y
1971	0	7	8	0	0	107	109	283	46	11	0	0	570
1972	0	0	0	4	17	64	137	64	111	12	0	0	410
1973	0	0	0	0	0	63	125	148	35	0	0	0	370
1984	0	0	0	0	86	20	85	80	42	6	0	0	319
1985	0	0	0	0	4	129	98	142	112	0	0	0	485
1986	0	0	0	0	1	56	245	153	42	25	0	0	521
Mean	0	0	2	7	34	77	142	198	88	16	1	0	562
Med.	0	0	0	0	24	73	137	189	77	6	0	0	560

October 1971 - September 1973 = 791 mm
October 1972 - September 1973 = 383 mm

October 1984 - September 1986 = 988 mm
October 1985 - September 1986 = 497 mm

Table 1: Precipitation in Niamey/Niger, 1971 - 1986.

Summarized ERDAS statistics compare landcover classification percentage changes from 1973 to 1986 (Table 2). For the entire image forest cover decreases from 17,04 % to 13,71 %, shrub cover from 21,34 % to 14,36 %. The ERDAS Classification Routine, since it operates on digital number values, cannot be refined to discriminate between similar cover types like green trees or irrigated plantations. The dramatic increase in irrigation acreage along the Niger River, its periodic tributaries, and in all dry river valleys with fossile ground water between 1973 and 1986, therefore, reduces the percentages for general loss of forest cover; the 23 % "forest cover" in SW3 1986 in fact accounts mostly for irrigated waterlogged bottomlands along the Goroubi River and its tributaries. As a response to the relative decrease of forest cover, but also as a response to actual areal expansion, percentages of bare soil (white) and denuded soil (beige) increased from 1973 to 1986. In the absence of large-scale irrigation in both SW1 and SW2, laterite, forest, and shrub percentages do reflect true spatial land cover changes. Visual or planimetric comparisons provide evidence for rapidly expanding lateritic plateaus and devastated agricultural areas in all other study sites.

4.2. Forest Utilization

4.2.1 Fuelwood Supply and Demand, Forest Depletion, Consumption and Pricing

Forest Resources: About 1,4 million ha of forest still existed in a circle of 100 km around Niamey in the mid-1980s, which amounts to 45 % of the area in this circle - based on LandsatTM 1976 data (Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement 1986). The average forest density at that time was about 15 stere/ha (12,6 Million m³) with annual new growth (under regional rainfall regimes) of about 0,6 stere/ha (an equivalent of new stocks on 56000 ha). Only 40 % of these resources are economically accessible in Niger (SWIFT & MALIKI 1984). In 1990 wholesalers along the major national highway 200 km southwest of Agadez (at 750 km distance from Niamey) offered wood for the market in the capital.

Fuelwood Demand: One Million people in Niamey and the satellite cities (early 1990s) consume fuelwood at a rate of 1,2 stere/person/year (300 kg), a conservative rate compared to 1984 estimate of 1 kg/capita/day for the Sahel (ORSTOM 1984). Total daily consumption per person decreases somewhat with increasing family size, following equation (1):

$$y = 0,79 + 0,16x \quad (1)$$

where y = daily wood consumption per person; x = No. of persons per household ($r = 0,91$). Total annual consumption of 1,2 Million stere (300000 t) amounts to harvesting about 80000 ha of mature forest. Potential annual increments cannot be realised under indiscriminate clearcutting practices. Domestic cooking and heating require 92 % of this wood supply.

Forest Depletion: Once the rate of consumption exceeds the additions to stocks from natural growth of trees, stocks decline at an accelerating rate as a function of exponential growth of consumption; annual new growth declines in proportion to the volume of stocks. At current rates of fuelwood consumption, forest reproduction, and population growth (10 % for Niamey) the presently existing forests will be lost before the year 2000, not counting the energy demand of the rural population in the hinterland of the capital.

Annual rates of consumption have been estimated to exceed annual new growth of trees (mean annual increment) by a margin of 200 % in the 1980's and by 620 % by the end of the century, not counting the effects of land clearance for agricultural purposes or of extended severe drought (The World Bank 1984). Our own data suggest a more conservative ratio of 2/1 for demand/accessible annual increment for the mid-1980's. The difference, however, seems to be irrelevant given the precipitous speed of the depletion process. The loss of forest can be described by equation (2)

$$\frac{B}{y = 1 - \frac{1}{1 + 200 \times e^{-(0,285 \times B \times t)}}} \quad (2)$$

where y denotes remaining wood stocks (%), B maximum stocks (100 %) = 1, and t is time. In 1972 forest density east and southeast of Study Site SW2 was 100 % (prior to the opening of the bridge across the River Niger); by 1986 stock density on this plateau - still the most densely forested region in the immediate hinterland of Niamey - had been reduced to an estimated maximum of 80 %. By the year 2000 less than 10 % of the original forests will be left in this most favored region within the image (Figure 1).

<u>Land Surface Coverage (%)</u>					
<u>SURFACE</u>	<u>COLOR</u>	<u>E173</u>	<u>E186</u>	<u>E273</u>	<u>E286</u>
Background	Black	.00	.00	.00	.00
Forest	Light Green	14.24	4.18	24.03	9.14
Denuded Plain	Dark Sand	36.31	57.86	17.55	47.19
Bare Soil	White	6.37	11.17	4.10	13.79
Laterite	Dark Purple	30.94	18.26	37.59	17.47
Shrub	Dark Bluegreen	11.07	5.49	16.30	9.64
Agriculture	Yellow	.15	.04	0.19	0.07
Laterite Slopes	Dark Brown	.18	2.00	0.15	2.12
River	Blue	.00	.00	.00	.00
Water, Lakes	Light Blue	.74	.43	0.09	0.01

<u>Land Surface Coverage (%)</u>					
<u>SURFACE</u>	<u>COLOR</u>	<u>SW173</u>	<u>SW186</u>	<u>SW273</u>	<u>SW286</u>
Background	Black	.00	.00	.00	.00
Forest	Light Green	23.18	8.90	13.44	10.51
Denuded Plain	Dark Sand	2.80	24.27	4.19	18.20
Bare Soil	White	0.88	2.81	1.51	2.55
Laterite	Dark Purple	30.88	37.37	39.10	44.84
Shrub	Dark Bluegreen	39.08	20.49	37.17	12.10
Agriculture	Yellow	1.33	0.18	1.28	0.56
Laterite Slopes	Dark Brown	1.60	4.80	2.58	10.34
River	Blue	.00	.00	0.25	.00
Water, Lakes	Light Blue	0.24	.00	0.48	0.22

<u>Land Surface Coverage (%)</u>					
<u>SURFACE</u>	<u>COLOR</u>	<u>SW373</u>	<u>SW386</u>	<u>1973</u>	<u>1986</u>
Background	Black	.00	.00	.00	.00
Forest	Light Green	16.26	23.72	17.04	13.71
Denuded Plain	Dark Sand	6.83	24.81	19.42	33.88
Bare Soil	White	4.50	7.22	6.21	9.56
Laterite	Dark Purple	31.66	19.66	32.74	21.20
Shrub	Dark Bluegreen	33.03	15.10	21.34	14.36
Agriculture	Yellow	3.39	0.78	1.03	0.55
Laterite Slopes	Dark Brown	4.20	7.51	1.26	5.86
River	Blue	.00	.00	0.61	0.80
Water, Lakes	Light Blue	0.12	.00	0.36	0.08

Table 2: Changing Land Surface Cover in the Vicinity of Niamey/Niger from September 30, 1973 to October 03, 1986 (Tropical Dry Climate; Thornsavanna; 300 - 500 mm Annual Rainfall; Land-sat MSS).

Consumption and Pricing: Domestic use accounts for over 98 % of firewood imports to Niamey's approximately 1200 retail markets. Over 95 % of all private households depend on fuel wood as their only affordable source of energy. The relative use of alternative fuels (LP-Gas, kerosene or electricity) is insignificant; the necessary infrastructure and household technology are not developed. Furthermore available household income is insufficient under the current price structure for alternative fuels, as can be deduced from the following data. Over 50 % of all households spend between FCFA 50 and 500 for daily wood purchases (1990 between US \$ 0,17 and \$ 1,70). These necessary energy expenses are about 25 % of total daily household expenses (for meat, vegetables, sauce, other

ingredients, and wood). Thus about one half of all City households (with 2 to 20 persons) must support themselves with a daily budget of US \$ 0,68 to 6,80 - a truly distressed public buying power sending emergency signals to government agencies that design policies for forest management and home economics improvement.

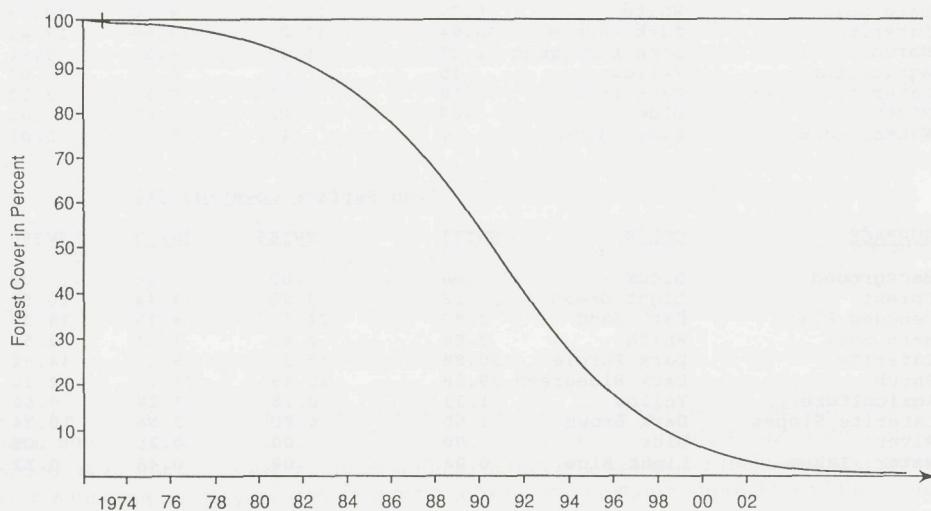


Figure 1: Forest Depletion in Southwest Niger from 1972 to 2002; 1972 Forest Cover 100 %, 1986 Forest Cover 80 %.

The price trend for fuelwood in Niamey does not behave as would be expected on the basis of economic theory. Figure 2, presenting 5-year-increment data for retail prices per kg, measured both in current and constant (1970) FCFA from 1970 to 1990, shows several distinct trends:

- The current price developed in conjunction with hyperinflation; it increased steadily throughout the early 1970's to about FCFA 25/kg in 1975. Explosive growth of supplies after completion of the *Kennedy-Bridge* across the Niger in 1972 did not depress current cost. After 1975 current prices remained relatively stable at about FCFA 25, only to resume a dramatic climb to FCFA 50 and higher in the 1980's and early 1990s.
- The constant price, however, has seen sizeable fluctuation over the past 20 years. In real terms consumer prices changed from 1970 to 1990 - on a 5-year-increment basis - by an increase of about 40 %, followed by a drop of about 50 %, an improvement of about 30 %, and again a decline of about 35 %. Despite the ecological warnings and assessments of scarcity, the fuelwood market overall is seemingly sending signals indicating that fire wood is becoming more plentiful indeed. Several variables have possibly impacted this real price development: large numbers of rural drought-victims are seeking refuge in Niamey since the early 1970's, driving demand and real prices upwards; but low buying

power of this soon domineering clientèle and increasing supplies do not seem to counteract this trend until 1975. Continued drought and reduced wood production per unit area of forest (constrained supplies) overlap with the effect of technically expanding accessible supplies. In concert they cannot sustain the climb of real prices after 1975; continued influx of rural population and deteriorating economic conditions in Niamey may be responsible for the declining trend of real prices until 1980. Adjustment and stabilizing socio-economic conditions in the capital in conjunction with growing energy demand and the establishment of a structured and effective fuel wood production and supply system might explain a brief and slight improvement of real prices in the mid-1980's. Between 1985 and 1990 - Niamey's population is rapidly approaching the 1 Million level - real prices drop to their all-time low; hyper-inflation, decreasing buying power and mushrooming demand of an increasing portion of the population, growing distances between sites of production and market, and ecological depletion signals from the remaining forests act, react, and counteract in the process of real price development.

The quality of available time series data for Gross Domestic Production, Foreign Exchange Rate, Prime Rate, Percentage of Remaining Forest Cover, Transportation Distance, Seasonal Impact on Production, Transportation and Consumption and other pertinent ecological parameters do not lend themselves to testing the significance of various factors influencing the price of fuelwood by means of multiple regression techniques.

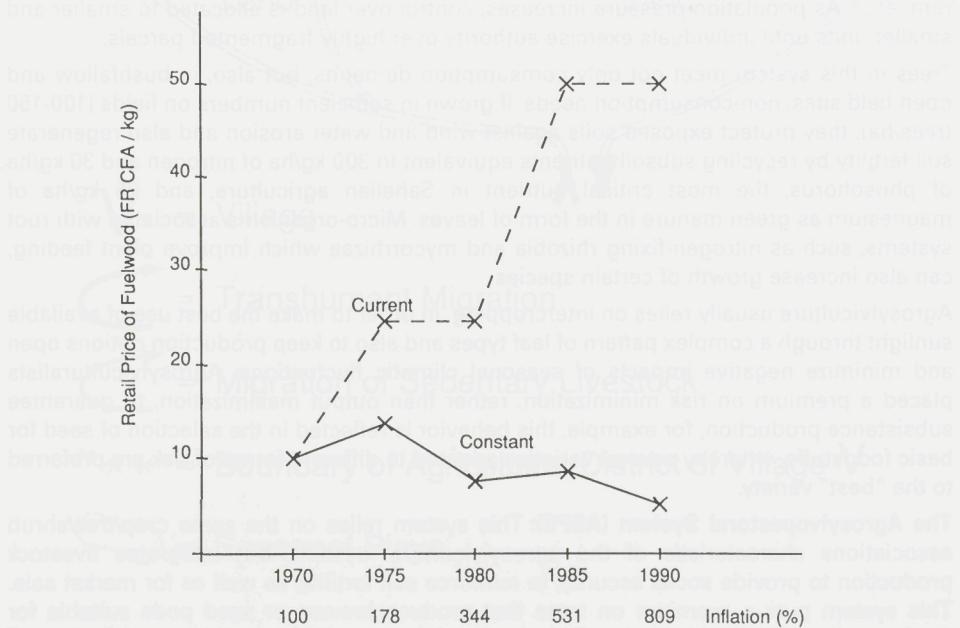


Figure 2: Retail Prices of Fuelwood in Current FCFA and Constant (1970) FCFA from 1970 to 1990 in Niamey/Niger

4.2.2 The Tree-Based Farming Systems

Three tree-based farming systems have evolved over several thousand years in the Sahelo-Sudanian Zone; over time they have been tailored very precisely to contend with the particular regional ecological endowment; they have allowed fairly large populations to exploit marginal regions in a sustainable manner.

The agrosylvicultural and the agrosylvopastoral systems dominate south of the 350 mm isohyet and throughout the area of investigation; the sylvopastoral system blends in to the north. Sometimes these systems coexist in the same region.

The Agrosylvicultural System (ASCS): Production is based on rainfed agriculture in association with trees and shrubs. The system involves cultivation of several main plant species (primarily millet [*Pennisetum typhoides*], guinea corn [*Sorghum bicolor*]) under favorable moisture conditions) as food crops, cotton for cloth, and groundnuts. Secondary products are produced by systematically exploiting natural vegetation (trees for fruits and leaves as well as firewood and building poles, bark for cord and medicine, thorn branches for fencing, grasses for thatching, fodder, green manure, etc.). Small ruminants, particularly goats, often play a major role in this system. Production in the agrosylvicultural system is concentrated during the two- to four-month rainy season. Particularly, adult men often travel during the long dry season in search of temporary work.

Land, initially allocated on a usufructuary basis, tends to become subject to life tenure, then inheritable property and finally, the object of economic transactions (mortgage, sale, rent, etc.). As population pressure increases, control over land is allocated to smaller and smaller units until individuals exercise authority over highly fragmented parcels.

Trees in this system meet not only consumption demands, but also, in bushfallow and open field sites, non-consumption needs. If grown in sufficient numbers on fields (100-150 trees/ha), they protect exposed soils against wind and water erosion and also regenerate soil fertility by recycling subsoil nutrients equivalent to 300 kg/ha of nitrogen and 30 kg/ha of phosphorus, the most critical nutrient in Sahelian agriculture, and 25 kg/ha of magnesium as green manure in the form of leaves. Micro-organisms associated with root systems, such as nitrogen-fixing rhizobia and mycorrhizae which improve plant feeding, can also increase growth of certain species.

Agrosylviculture usually relies on intercropping, in order to make the best use of available sunlight through a complex pattern of leaf types and also to keep production options open and minimize negative impacts of seasonal climatic fluctuations. Agrosylviculturalists placed a premium on risk minimization, rather than output maximization, to guarantee subsistence production; for example, this behavior is reflected in the selection of seed for basic foodstuffs, whereby several varieties adapted to different forms of risk are preferred to the "best" variety.

The Agrosylvopastoral System (ASPS): This system relies on the same crop/tree/shrub associations characteristic of the agrosylvicultural system, but integrates livestock production to provide social security, to reinforce soil fertility, as well as for market sale. This system puts a premium on trees that produce browse or seed pods suitable for fodder. Trees may also be exploited commercially, for gum arabic (*Acacia senegal*), shea nut butter (*Butyrospermum paradoxum*), for medicine and marketable food products, as well as for firewood and building materials.

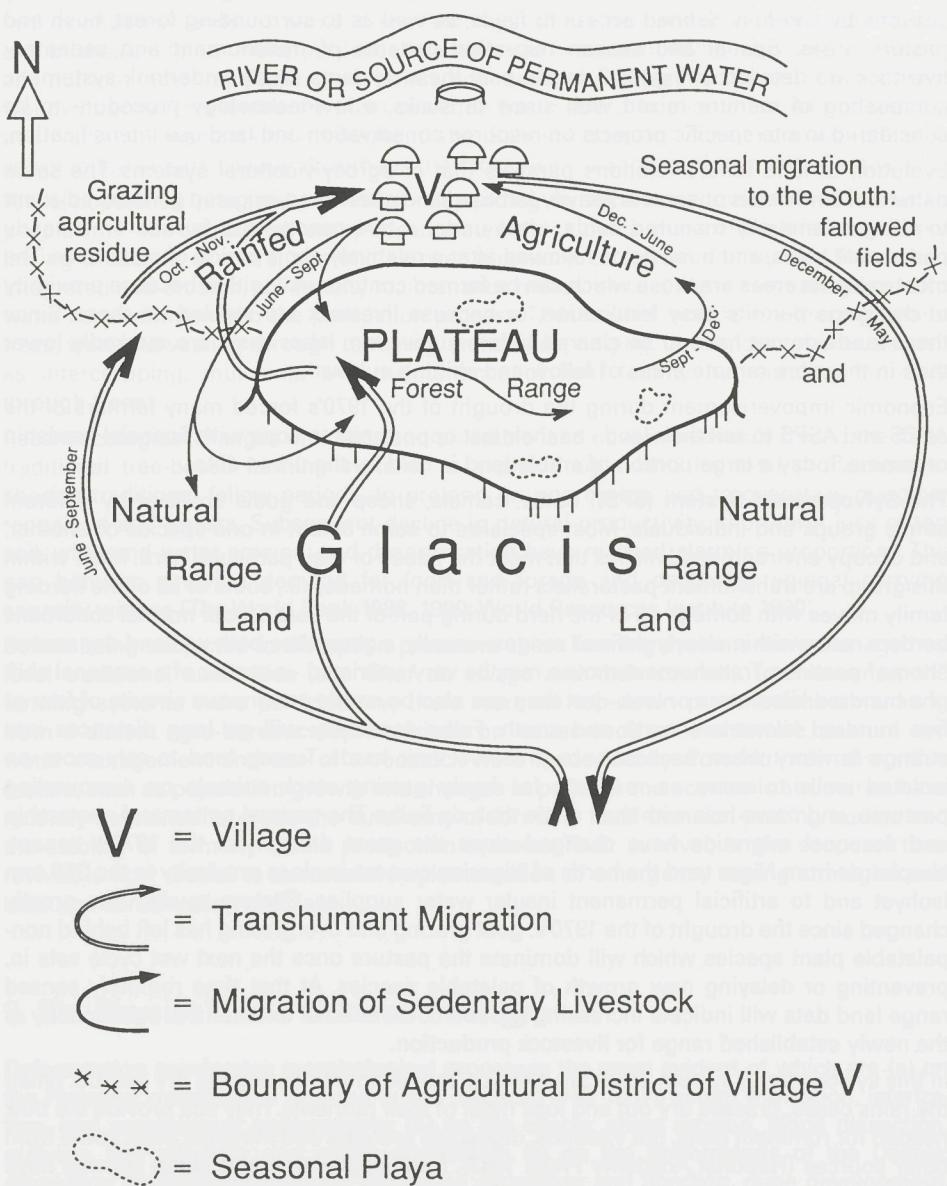


Figure 3: Spatial and Seasonal Migration of Livestock in the Tree-Based Farming Systems in Southern Niger.

Sedentary livestock in such systems must be accommodated during the wet and the dry seasons by carefully defined access to fields, as well as to surrounding forest, bush and pasture areas. Spatial and season migration patterns of transhumant and sedentary livestock are detailed in Figure 3. In the past these systems rarely undertook systematic composting of manure mixed with straw or stalks, a low-technology procedure to be considered in site-specific projects on resource conservation and land use intensification.

Evolution of land tenure relations parallels that of agrosylvicultural systems. The same pattern of land use is observed: heavily fertilized and often hand-irrigated gardens adjacent to villages, annually manured fields, often under a tree canopy and farmed on a nearly permanent basis, and bush fields fallowed after a relatively short period of cultivation. The most valuable areas are those which can be farmed continuously, either because proximity to dwellings permits easy fertilization, or because livestock are stabled on them. Since these lands do not have to be cleared before cultivation, labor costs are markedly lower than in the more remote areas of fallow and shifting cultivation.

Economic impoverishment during the drought of the 1970's forced many farmers of the ASCS and ASPS to sell their land - as their last opportunity to cope with financial hardship or famine. Today a large portion of arable land is held by the urban élite.

The Sylvopastoral System (SPS): Cattle, camels, sheep and goats are kept by different ethnic groups and individuals. Most specialize to some extent in one species or another, and occupy environmental niches that meet the needs of their particular herd. Most within this group are transhumant pastoralists rather than nomads, i.e., some or all of the herding family moves with some or all of the herd during part of the year. Under normal conditions herders move within clearly defined ranges; usually, a group has both wet and dry season "home" pastures. Transhumant moves may be very restricted - a matter of a seasonal shift of a hundred kilometers or less - but they can also be nearly continuous circuits of four or five hundred kilometers north and south. Fulbe especially will go long distances into strange territory when necessary to preserve their herds. Tuareg tend to rely more on isolated wells to serve as magnets for freely grazing stock animals on surrounding pastures, and move less with their cattle than do Fulbe. The general patterns of ownership and seasonal migration have changed since the great drought of the 1970's: tenant-shepherds from Niger tend the herds of Nigerian owners in close proximity to the 350 mm isohyet and to artificial permanent insular water supplies. Pasture quality has greatly changed since the drought of the 1970's: goat grazing and overgrazing has left behind non-palatable plant species which will dominate the pasture once the next wet cycle sets in, preventing or delaying new growth of palatable species. At that time remotely sensed range land data will indicate increasing ground cover and fail to detail the unsuitability of the newly established range for livestock production.

In this sylvopastoral system, trees are a critical fodder source during the dry season. When the rains cease, grasses dry out and lose most of their nutrients. They still provide the bulk needed for ruminant diets, but vitamins, digestible proteins and minerals must come from other sources (National Academy Press 1983). Traditionally, tree and shrub browse have provided these elements.

Common Features: In most traditional farming systems, deliberate tree planting never became a significant activity, since most areas enjoyed a surplus of natural forest cover. Selective cutting and management of the regeneration of natural forest cover, however, often produced stands of preferred tree/shrub species in the fields. Certain trees and

shrubs were also preserved in bush stands, and served as the basis for restoring soil fertility on fallow lands. As part of these farming systems, humans protected trees, shrubs, and bushes useful for many purposes in addition to browse, building materials, fuelwood, and nutrient recycling. Fruits, gum, honey, and medicines all justified protection of certain woody species. This deliberate plant selection has resulted in a large number of specific and valuable associations throughout the Sahelo-Sudanian Zone. Farming under a selected forest park canopy is perhaps the most visible example of this sort of activity.

While population pressure permitted - depending on local conditions, from 5 up to 25 people/km² - the two agriculturally-based systems included a phase of bush fallow, usually lasting a decade or more, sometimes over a century, to restore soil fertility. They often integrated anti-erosion, soil fertility maintenance measures, and water harvesting or in-situ water concentration into the production process. These could include live fencing, shade trees, water harvesting through terracing, stone lines, ridging, bunds, catchments, as well as intercropping, mulching, and maintenance of field fertility by recycling nutrients through trees.

Recent ecological changes in forests and on arable land have increasingly forced the three traditional tree-based farming systems to exploit fragile land for food production, to shorten traditional fallow periods, to prolong grazing cycles, and to overgraze marginal rangeland and forests. Subsequent decline in natural productivity, short-term loss of top soil, wind and water erosion, and desertification have reached alarming proportions. The gap between growing demand for food and forage and declining regional carrying capacity widens (The World Bank 1988, 1990; World Resources Institute 1990).

Before being subjected to disruption pressures these farming systems were managed by local traditional authorities (e.g. *Chef du village* and their council). In this sense, the farming systems were participatory; there were no top-down prescriptions emanating from a distant agro-bureaucracy. Decisions on issues such as land tenure, pasture and water management and use of woodstock were made locally. Powerful new disruptive factors, such as population growth and changes in political and economic structures, have recently combined to erode the autonomy of formerly local decision-making bodies and the stability of formerly stable production systems. Their survival, or the scope of their revival, is now crucial to successful implementation of emergency coping strategies and resource conservation policies.

5. Bio-Physical Land Surface Changes

Deforestation accelerates morphological processes the most evident of which are (a) on the Plateaus: mobilization of fossil dunes (MENSCHING 1987), solum truncation, laterization, and recession of escarpments; (b) on the Glacis: sheet erosion, slope dissection, gullyling, top soil loss, and eolian deposition; (c) on the bottomlands of the Dallols: alluviation of drainage channels, floodplain expansion and flooding, dune development. These processes can be remotely sensed and monitored and brought to the attention of policy makers. But long before these dramatic morphological processes - signaling the final collapse of the ecosystem at large - become evident, less spectacular - but no less devastating - changes are affecting the soil resources reducing productivity at an accelerating rate and sending early warning signals to the local farming systems.

5.1 Soils in the Forests on the Plateaus

Samples have been taken in Mid-September from sites with near 100 % forest cover (Scenario 1.1), from sites with 40-60 % forest cover (Scenario 1.2), from sites with <40 % forest cover (Scenario 1.3), and from sites that have lost all forest, shrubs, herbaceous vegetation and productive top soil (Scenario 1.4). In scenario 1.2 and 1.3 soil samples have been taken from sites between the perimeter of canopy shade under individual trees and outer perimeter of herbaceous ground cover. Physical and chemical properties and their changes have been examined in 0-30 cm depth and 30-60 cm depth.

Soils in scenario 1.1 are generally dark and deep-red, maintaining their color, high moisture content at pF 3, (clayey) consistency, and texture throughout the entire depth of the solum. Soil clod stability is excellent; surface permeability is moderate at about 20 mm/h.

As forest cover approaches 50 %, soil color increases in chroma and value, indicating diminishing contents of organic matter. Surface soils are losing the highly mobile grain diameters, increasing the relative share of the less mobile sizes. These changes translate into reduced formation of erosion resistant soil clods and decreasing soil moisture storage. Depth of solum is reduced; below 30 cm depth compaction is noticeable, consistency is reduced, and small weathered rock fragments are beginning to prevail - an indication of the surface of the weathering iron crust in about 50 cm depth. Surface permeability is moderately slow at about 10-15 mm/h. Fenced-off areas have shown remarkable degrees of recovery over a 5-year period both for forest and herbaceous ground cover. The removal of wood constitutes a severe manipulation of the eco-system: organic matter and nutrient recycling are diminishing; the life base for termites and thus for biological soil formation/regeneration is threatened; collection of dead wood initiates the first stage of forest degradation.

Sheet erosion, periodic flooding, and deposition produce trunkated and highly stratified/interbedded soil profiles on areas with <40 % forest cover (scenario 1.3). Thin clay layers interbed with imported skeletal soils in the upper horizon. Below 30 cm depth small weathered rock fragments abound; the surface of the weathering laterite crust is close. Soil clod stability at the surface is moderate to poor; surface permeability is slow (at <5 mm/h) but varies widely in accordance with the site's most recent erosion and sedimentation history. These sites are at a critical stage of development; ecological recovery is still possible, especially where water harvesting techniques can enhance soil moisture budgets in bare and grassed-in locations.

The unprotected surfaces in scenario 1.4 - but also in scenario 1.3 - are subject to wind and water erosion; within a few (5-10) years the solum disappears often exposing the weathering surface of the iron crust. Pleistocene dunes are reactivated; their sands are washed away or blown onto the Glacis and into the Dalolls. Exposed skeletal subsoils withstand further removal for some time; larger weathered components are varnished. Moisture content is minimal at pF 4. Skeletal soils retain illuviated finer soil materials, which in turn compact during the dry season. These sites are beyond rapid reclamation.

Vertical distribution changes of Organic Matter, pH and Calcium reflect continued alternating soil loss and deposition rather than sequential soil loss events.

Table 3 summarizes soil texture and chemical properties change as a function of deforestation, overgrazing, and erosion in these four forest plateau scenarios. Highly localized and interactive conditions of terrain configuration, original soil properties under climax vegetation, ground cover, terrain climate, and surface drainage result in a wide spectrum of physical and chemical profile characteristics.

a.b.c. ^{*)}	clay	silt (mm diameter)			Sand			pH (KCL)	O.M. %	CaCO ₃ %
		<0.002	0.002- 0.0063	0.0063- 0.02	0.02- 0.063	0.063- 0.2	0.2- 0.63			
1.1.1	46.0	5.75	6.95	11.65	18.1	7.35	2.9	4.17	7.6	0.27
1.1.2	45.75	8.7	7.7	7.6	18.0	8.85	2.55	3.91	9.0	0.31
1.2.1	34.05	4.2	8.3	10.9	23.05	11.65	3.15	3.84	6.9	0.23
1.2.2	28.45	4.45	10.3	13.05	11.55	8.85	19.5	4.01	9.8	0.33
	39.45	3.3	6.85	10.1	21.15	15.2	3.0	3.85	8.0	0.27
1.3.1										
1.3.2	44.05	2.05	4.05	4.4	23.75	17.9	3.55	3.94	6.1	0.25
	25.7	2.3	6.05	12.5	28.35	14.75	7.75	4.11	5.3	0.31
1.4.1										
1.4.2	33.0	2.7	5.15	9.45	22.7	15.1	9.65	4.13	7.0	0.29

*) a = Scenario, b = Site, c = Sample. Sample No. 1 from 0-30 cm depth; Sample No. 2 from >30 cm depth. Further explanation in text.

Table 3: Physical and Chemical Properties of Soils on Forested Plateaus in Southern Niger.

5.2 Soils on the Glacis

Table 4 outlines typical soil texture and chemical property changes as a function of shortened fallow cycles, overgrazing, sheet erosion, and wind deposition in the rain-fed agricultural sector of the Glacis: cultivated sites under isolated trees or groups of acacia trees (scenario 2.1), currently productive millet fields (scenario 2.2), depleted former fields now idle under grass cover (scenario 2.3), and eroding unproductive bare soil (scenario 2.4). It should be noted that Glacis are a transition zone, morphologically participating in both past and current processes of fluvial and eolian denudation and deposition. The result is a solum that varies greatly from the theoretical catena model.

All herbaceous scenarios on the Glacis share one feature: the presence of fine-sandy deposits in the surface layer originating from the newly activated fossil dune fields on the Plateaus.

In the shelter of individual deep rooting indigenous *Acacia albida* or *Acacia scorpioides* (scenario 2.1) improved supplies and recycling of nutrients and microclimatic conditions lead to higher and denser millet stands (and higher grain yields), to improved mulching and soil management potential, to stimulated soil-biological activities and enhanced textural qualities (approaching a loamier matrix), to improved soil moisture retention both at Permanent Wilting Point and even more so at Field Capacity, and to improved clod stability and erosion resistance. At the same time organic matter decomposes faster and eolian deposits are retained more effectively than elsewhere on the Glacis giving the

surface soil a sandy matrix. The solum is over 60 cm deep, changing texture (higher clay content), color (to a darker brown), and increasing consistence in about 40 cm depth. The average millet field (scenario 2.2) shares these characteristics; the dimensions of the field determine the volume of captured eolian sediments and physical surface characteristics. Permanent tillage with the archaic 'hilaire' ('kumbu' in Zarma, 'haiyya tsayé' in Hawsa) and mulching keep surface permeability of these sandy sites moderately high at about 50 mm/h; moisture content remains minimal at pF 4. Soil clods at the surface disintegrate readily showing little erosion resistance. Relatively slightly higher contents of highly mobile grain sizes below the current eolian top layer, often interbedded with layers of clay, can improve available soil moisture. These lower strata of the solum - in fact, everywhere on the Glacis - contain tropical clay and loam interbedded with fine sand both washed off and blown in from the plateaus.

Depleted former agricultural sites, currently under grass (scenario 2.3), retain the bulk of eolian sediments during the dry season, thus enhancing surface infiltration and reducing moisture storage potential. Top layers (20-30 cm) are distinctly lighter in color and less consistent than underlying horizons. Lateral erosion reduced spatial extent of these grassy sites, which rise about 5-15 cm above the surrounding bare soil (scenario 2.4).

Depleted former agricultural sites, now totally bare (scenario 2.4), show highest clay contents in both top and sub-surface layer. Color and high consistency remain unchanged throughout the soil profile. Surface clod stability is excellent, but seasonal sheet erosion further damages these sites. Gullying is common along all linear drainage arteries.

This sequential loss of productive top soil is further evidenced by the vertical changes of Organic Matter and Calcium.

a.b.c. ^{*)}	Clay	Silt (mm diameter)			Sand			pH (KCL)	O.M. %	CaCO ₃ %
		<0.002	0.002- 0.0063	0.0063- 0.02	0.02- 0.063	0.063- 0.2	0.2- 0.63			
2.1.1	23.75	0.95	2.45	5.45	30.8	33.1	2.6	4.25	2.6	0.16
2.1.2	34.55	1.1	3.25	6.7	27.1	25.1	1.9	5.79	3.8	0.17
2.2.1	19.55	0.9	2.5	5.5	34.7	32.8	1.9	4.45	2.0	0.18
2.2.2	33.75	0.6	3.25	10.1	25.15	24.55	1.85	4.66	3.5	0.25
2.3.1	16.15	0.15	0.3	2.9	44.2	32.95	0.8	4.22	1.5	0.19
2.3.2	35.75	0.2	2.05	5.75	26.1	25.65	2.85	4.22	3.9	0.20
2.4.1	28.65	0.3	2.05	5.55	28.9	29.45	2.1	4.07	3.0	0.23
2.4.2	37.15	0.9	2.1	7.95	26.25	22.95	2.0	4.15	3.9	0.29

*) a = Scenario, b = Site, c = Sample. See Footnote on Table 3

Table 4: Physical and Chemical Properties of Soils on Glacis Under Dry-Farming in Southern Niger.

5.3 Productivity Implications

Site specific fertility assessments, based on total nutrient supplies, are not available.

From a water budget point of view (SPÄTH 1976) all eight scenarios are equally disadvantaged (Table 5). Except in August potential evapotranspiration (PE) is greater than precipitation (P); thus, lasting and yield-effective moisture reserves cannot be accumulated in the shallow root zone, irrespective of texture or depth of soil profile. Actual evapotranspiration (AE) is composed almost entirely of rainfall; soil moisture storage and depletion or accumulation are negligible; moisture deficit ($D = PE - AE$) equals evaporation demand ($A = PE - PPT$).

These calculations suggest that Plateaus do not provide more favorable moisture conditions for biomass production than the sandier soils of the Glacis, in spite of their soil textural and terrain qualities which are more conducive to plant-available moisture storage. Surface soil permeability is slower on the Plateaus than on the Glacis; higher percentages of infiltrating water, however, are retained as plant-available moisture under forest, and steeper slope gradients on the Glacis promote runoff and reduce infiltration, rendering these agricultural sites more drought susceptible than the forests. Quite clearly soil moisture based natural production conditions are degraded in the process of deforestation; the relative initial advantages on the Plateaus are diminished; and the relative disadvantages on the Glacis are compounded. The critical development stage has been reached when local runoff rates approach local rainfall amounts effectively minimizing *in situ* evapotranspiration.

Conservation of soil profile depth, localized water concentration, and prevention of runoff (water harvesting by slope length modification) are the most critical means for optimizing infiltration, increasing transpiration, and enhancing the development of deep roots for drought survival.

6. Response of the tree-based farming

6.1 Current Land Use Changes

The bio-physical landsurface changes, starting with the destruction of zonal forests, render the hinterland of rural communities increasingly more arid. Such azonal arid islands expand - new agricultural terrain has to come under excessive use as old areas become depleted - progressively linking up with each other, ultimately pulling the northern limit of rainfed cultivation further south. At this advanced stage the collapse of the zonal savanna ecosystem is complete and constructive response options are no longer available to the farming system.

Our surveys suggest that coping strategies set in at a relatively delayed phase in this destructive process (see Figure 4): on the Plateaus these strategies include a forced reduction of grazing pressure - starting with the gradual elimination of transhumant grazing, followed by a reduced duration of sedentary grazing and ultimately total suspension as a reaction to decreasing availability of biomass and semi-permanent water supplies.

Table 5: Soil Moisture Deficit on Plateaus and Glacis in Southern Niger*).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Σ
PE	215	231	274	242	242	192	172	146	154	191	210	216	2485
P	/	/	4	5	39	59	142	149	72	9	0.3	/	479
A	215	231	270	237	202	133	30	/	82	182	210	216	
$AE_{1.1}$	0	0	4	5	40	59	142	146	73	10	1	0	
$D_{1.1}$	215	231	270	237	202	133	30	0	81	181	209	216	
$AE_{1.2}$	0	0	4	5	40	59	142	146	74	10	0	0	
$D_{1.2}$	215	231	270	237	202	133	30	0	80	181	210	216	
$AE_{1.3}$	0	0	4	5	40	59	142	146	72	12	0	0	
$D_{1.3}$	215	231	270	237	202	133	30	/	82	179	210	216	
$AE_{1.4}$	0	0	4	5	40	59	142	146	74	10	0	0	
$D_{1.4}$	215	231	270	237	202	133	30	0	80	181	210	216	
$AE_{2.1}$	0	0	4	5	40	59	142	146	73	11	0	0	
$D_{2.1}$	215	231	270	237	202	133	30	/	81	180	210	216	
$AE_{2.2}$	0	0	4	5	40	59	142	146	74	10	0	0	
$D_{2.2}$	215	231	270	237	202	133	30	/	80	181	210	216	
$AE_{2.3}$	0	0	4	5	40	59	142	146	74	10	0	0	
$D_{2.3}$	215	231	270	237	202	133	30	/	80	181	210	216	
$AE_{2.4}$	0	0	4	5	40	59	142	146	74	10	0	0	
$D_{2.4}$	215	231	270	237	202	133	30	0	80	181	210	216	

*) Method after Späth, 1975. PE = Potential Evapotranspiration; P = Precipitation; A = $|N-PE|$; AE = Actual Evapotranspiration; D = Deficit PE-AE; all in mm. Potential Evapotranspiration and Precipitation Mean for 1970 to 1988.

Calculation of soil moisture storage (ST): Start with ST = Rootzone capacity (WK) at the end of August in year 1; calculate year 1, year 2 and year 3; use year 3 as average year.

For Scenario 1.1 Profile Depth (PD) = 70 cm; Rootzone capacity (WK) = 160 mm
 For Scenario 1.2 PD = 50 cm; WK = 100 mm;
 For Scenario 1.3 PD = 40 cm; WK = 80 mm;
 For Scenario 1.4 PD = 30 cm; WK = 60 mm;
 For Scenario 2.1 PD = 70 cm; WK = 120 mm;
 For Scenario 2.2 PD = 70 cm; WK = 110 mm;
 For Scenario 2.3 PD = 70 cm; WK = 100 mm;
 For Scenario 2.4 PD = 50 cm; WK = 75 mm.

Furthermore transhumant grazing becomes restricted and then phased out on range and fields of the Glacis. In this current Phase II all arable land on Glacis - including former forest land on the Glacis - and bottomland is either under cultivation or rendered unproductive. Traditional ecological insurance practices such as intercropping and fallowing in long cycles, spatial fragmentation of holdings, diversification of livestock or grazing mobility no longer exist; they are replaced by limited crop rotation, spot manuring, and emergency short-term partial fallowing. Village chiefs no longer have virgin land to assign to growing extended families - the exodus to the capital and the West African coast has begun. Farmers are painfully aware that this forced change in land use will only be of short-lived duration.

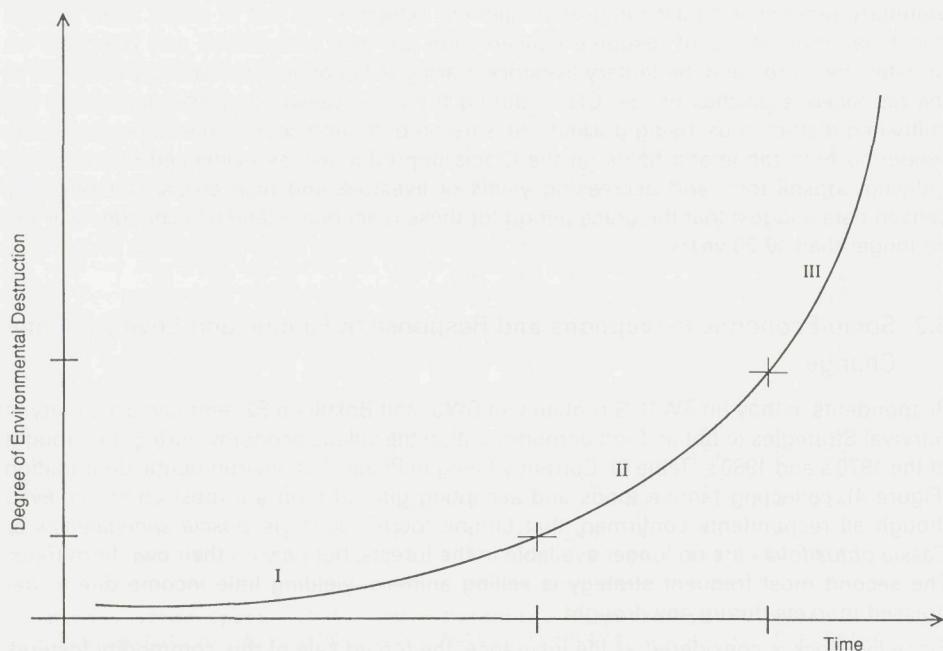
Voluntary preventive forest range management schemes are not in place, even though beneficial implications of resource conservation are well understood and practiced on privately held cropland. Sedentary livestock grazing is becoming increasingly confined to the herbaceous patches on the Glacis during the rainy season and after harvest to the cultivated district; thus, rising grazing pressure on both land cover types is progressively rendering both range and fields on the Glacis unproductive, as evidenced by excessive gullyling, topsoil loss, and decreasing yields of livestock and field crops. Our remotely sensed data suggest that the grace period for these reactionary land use changes will last no longer than 10-20 years.

6.2 Socio-Economic Perceptions and Response to Famine and Environmental Change

Respondents in Iboy (in SW1), Sirimbana (in SW3) and Boktili (in E2) employed a variety of Survival Strategies to obtain food or money within the village economy during the drought of the 1970's and 1980's (Table 6): Currently being in Phase II of environmental degradation (Figure 4), collecting famine foods and accepting gifts of food are most common, even though all respondents confirmed, that famine foods - such as *Boscia senegalensis* or *Cassia obtusifolia* - are no longer available in the forests, but only on their own farm trees. The second most frequent strategy is selling animals, yielding little income due to depressed markets during any drought.

Since livestock is considered as life insurance, the forced sale of this commodity fosters depression; at the same time it initiates the dismanteling of economic and social structures on a village basis. The impoverishing effects of famines are reflected by the high frequency of accepting cash loans; selling firewood is practiced where forests are still available. Selling mats and ropes is a continuous practice in about one out of four households. Accepting cash gifts is perceived to be almost as shameful as begging, and it does occur, especially in families of 20 people and more, even under pre-famine harvest conditions. None of the respondents would labor on neighbors' fields for cash or food; in most cases this opportunity no longer exists since - due to the unavailability of virgin land - the entire village is essentially victimized by the accelerating decay of the local carrying capacity. Nobody is selling manure. Selling land - in the absence of arable land reserves, the least reversible strategy - is not practiced any more by anybody in the surveyed village communities. However, several farms have lost prime agricultural land to members of the urban élite in the course of being unable to meet financial (tax) obligations during extended pre-famine conditions in the recent past. Cash loans and the loss of land lead directly to an increasingly irreversible divestment of assets and vulnerability. Not surprisingly, movement is preferred whenever possible.

Every extended family sends adult men to work in the capital or the cities of the West African coast, most of them returning home for the growing season or harvest; today this is the case even under non-famine conditions, since there is no longer any virgin land to be cleared for cultivation to meet growing local needs. Survival strategies away from home are even more restricted in terms of opportunities. When whole families migrate to varying destinations at the height of a famine, the spectrum reaches from visiting relatives to begging at anonymous strange places.



Phase I: Non-conservative land use, leading to gradual loss of top soil on plateaus and glaci;

Phase II: Severe limitation of forest range, abolition of fallowing, acceleration of soil loss;

Phase III: The last forest islands disappear; transhumant and sedentary livestock migration come to an end; aggressive use of remaining soils on glaci and bottom lands leads to collapse of local ecosystem.

Figure 4: Phased Process of Landsurface Change and Desertification.

Phase I	Phase II	Phase III
Expanding Cultivated Acreage	Collecting Famine Foods (100%)	Accepting Cash Gifts
Collecting Famine Foods	Accepting Food Gifts (100%)	Selling all Animals
Selling Some Animals	Selling Animals (60%)	Collecting Famine Foods
Making Mats and Ropes	Selling Firewood (45%)	Laboring for Cash or Food
Selling Firewood	Accepting Cash Loans (45%)	Selling Firewood & Manure
	Making Mats and Ropes (25%)	Selling Property
	Accepting Cash Gifts (10%)	Begging
	Seasonal Work Away (10%)	Selling Land
		Permanent Exodus

* See Figure 4)

Table 6: Survival Strategies during the Famine of the 1970's and 1980's (Phase II) in Iboy, Sirimbana and Boktili within the Village Economy (See Figure 4).

Today on-farm indigenous insurance options against drought and famine are limited: over one half of all families try to produce and keep in storage more food than needed, knowingly accepting the long-term implications of exhausting their fields. Three quarters of all families expand their continuously cultivated acreage; all others can no longer expand. The loss of some of the most productive land to "fonctionnaires" in the capital further limits potential coping strategies. Relocating the entire village due to depleted local soils is no longer an option. Great care is taken to assure the survival of *Vitellaria*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana* or *Annona arenaria* on family holdings for famine food, since they no longer exist in noteworthy quantities in the remaining forests. Seed supplies are guarded carefully for such drought grains and vegetables as *Panicum subalbidum* and *Detarium microcarpum*. Revenues from sales of mats and ropes, of firewood and seasonal labor in the near capital generating savings are decreasing with increasing supplies of merchandize and labor and with accelerating inflation. Much hope is still placed on the "moral economy" (WATTS 1983), especially in Islamic communities. However, during the bad years of both the 1970's and the 1980's even the relatively wealthy community members had insufficient food for their own families, and were no longer able to assist others - a clear indicator that the critical margins of communal carrying capacities have been reached. Praying is considered to be an insurance option for almost all Muslims and animists alike, especially since it is commonly recognized that limited arable space and forests no longer allow unrestricted implementation of traditional "ecological insurance" and survival mechanisms.

7. Outlook

Given the critical stage of development, the immediately affected people's assessment of current ecological and economic conditions and their future options is perhaps the most appropriate final statement, should long-term ecological stability truly be the overriding objective of an emerging national master plan to reclaim the Sahelian forests and the agro-ecosystem in Niger.

Village chiefs and heads of households recognize a development they no longer control: the lack of sustained long-term conservation-oriented rural development policies, removed and centralized decision making, and progressive monetization of village economies are counterproductive to ecological recovery and survival of indigenous production and insurance systems. The former aim at immediate taxation and profit maximization; the latter, at long-term risk minimization. At the current advanced stage of environmental exhaustion the tree-based farming system has no future - in particular due to the mounting urban demand for forest products. Transhumant grazing - one major insurance factor - is being phased out. The rural exodus provides a link between the traditional local subsistence farming economy and the external cash economy; the exodus is already one major agent of change of social and economic village life, mitigating the harsh local impact of the diminishing regional carrying capacity. Controlled external input into the village economy is seen as instrumental in conserving a modified version of the traditional rural social and economic make-up - provided that the remaining productive soils and forests could be preserved.

Abstract

Influx and explosive growth of population (10 %) in Niamey, the capital of Niger, have induced uncontrolled deforestation throughout the hinterland, over-exploitation of the fragile semi-arid crop land, and overgrazing of marginal rangeland and forests. Accelerated soil erosion and expanding desertification are strikingly visible on satellite imagery. The regional carrying capacity is in rapid decline. At current rates of clear-cutting, the forest biome of Niger will have vanished by the turn of this century. Broad-based research is needed to interpret the role of the savanna-forests as a central stabilizing component of both the urban and rural ecological and economic system and to develop a culturally acceptable national intervention plan.

This article reports data on spatial and temporal change of forest resources, on patterns of fuelwood production, marketing, and consumption; it analyzes bio-physical land surface changes as a result of deforestation both on the plateaus, the glacis, and the bottomlands; and it discusses the response of the tree-based farming system to the general environmental degradation following large-scale deforestation.

Zusammenfassung

Zuwanderung und rapides Bevölkerungswachstum (10 %) nach den Dürren der 1970er und 1980er Jahre haben im Umfeld und Hinterland von Niamey, der Hauptstadt der sahelischen Republik Niger, zu unkontrollierter radikaler Entwaldung, Überbeanspruchung marginaler Kulturflächen und zu Überweidung spärlicher Savannen- und Waldweide geführt.

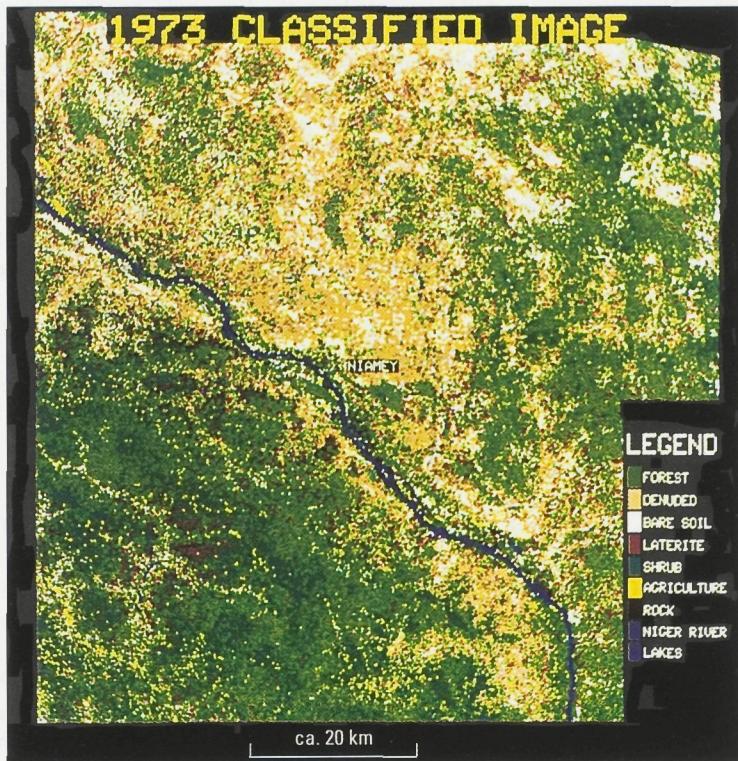
Beschleunigter Bodenabtrag und Zutagetreten des lateritischen Unterbodens im Bereich der ehemaligen Wälder, Profilverkürzungen und Flächenauflösung durch Gully-Systeme im Trockenfeldbaubereich, Sedimentation im Bereich des Bewässerungsfeldbaus auf den breiten Talauen sowie Störungen der natürlichen regionalen Wasserbilanz sind als Ausdruck expandierender Desertifikation im Satellitenbild klar nachzuweisen. Die regionale ökologische Tragfähigkeit schwindet. Der sahelische Wald als Ökotop wird bei anhaltenden Entwaldungsraten bis zum Ende des Jahrhunderts verschwunden sein.

Breit angelegte Forschung sollte sich um eine integrative Interpretation der Funktion des Savannenwaldes als zentrales stabilisierendes Element sowohl des städtischen wie des ländlichen ökologischen wie ökonomischen Systems bemühen, um kulturell annehmbare Prinzipien für den Entwurf eines Nationalen Rahmenplanes zur Rettung der Restwälder zu liefern.

Dieser Beitrag legt Daten vor zur raum-zeitlichen Veränderung der Waldressourcen und zum Muster der Feuerholzproduktion, Vermarktung, und Verbrauch; er analysiert insbesondere bio-physische Veränderungen der Landoberflächen als Folge der Entwaldung auf den Plateaus, den Glacis und auf den Talauen; und schließlich wird umrissen, wie das baum-abhängige traditionelle Farmsystem ohne verbliebenen Handlungsspielraum der Endphase der Landschaftsdegradierung begegnet.

Acknowledgments

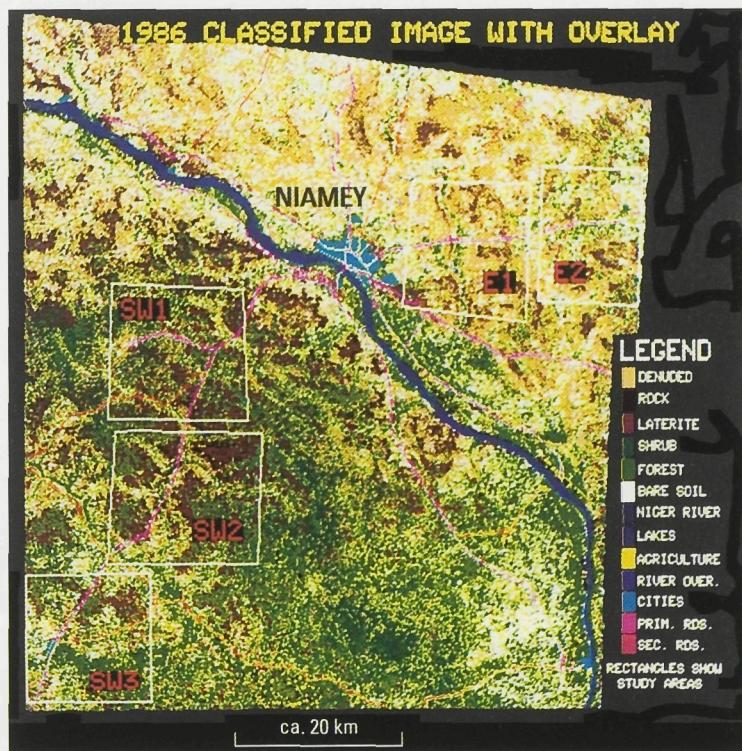
Field research in Niger was supported by grants from the National Geographic Society, the University of Oklahoma, and the National Science Foundation of Germany. I am especially grateful to Maman Guéro (Forester with PUSF), Garba Ide (Geographer at the University of Niamey), and my son Oliver for their enduring assistance in the field, to Lynn Francis for her assistance in image processing, and to my colleagues from the Universities of Paderborn and Würzburg for sharing their regional expertise. Of the many who helped with this work, I would like to recognize the contributions of Jan de Winter (DFS), Adamou Aboubacar (Dean of the College of Arts and Sciences at the University of Niamey), and my friend Hans-Karl Barth, who shared his knowledge and convictions about the Sahelian ecological plight. Permission for research was granted by le Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de la Technologie du Niger.



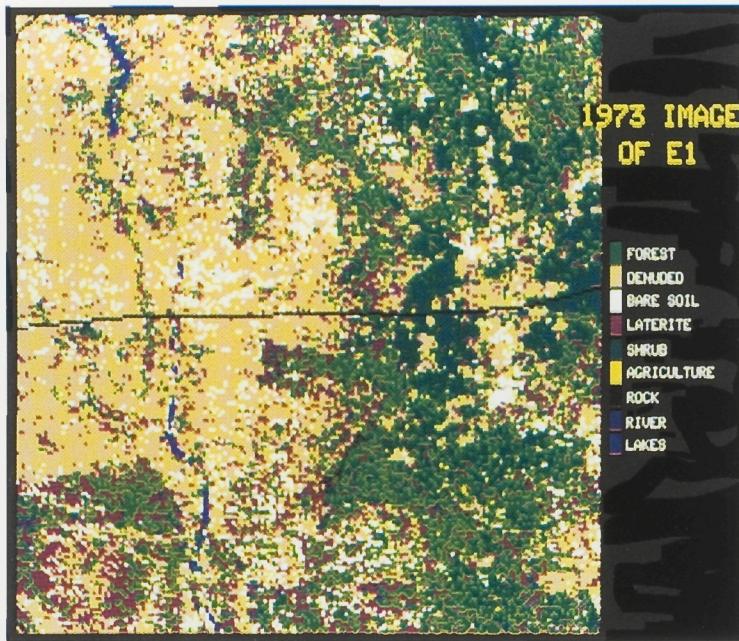
Map 1: Land Surface Cover in Southwest Niger; Landsat MSS 1973

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Veränderungen im Waldbestand nicht nur auf die Bevölkerungsvergrößerung zurückzuführen sind, sondern dass auch die wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen eine Rolle spielen. Die Ergebnisse der Untersuchungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer gezielten landwirtschaftlichen Entwicklung und die erforderlichen Maßnahmen, um die bestehenden Probleme zu lösen. Sie legen die Grundlagen für das Entwickeln eines nationalen Raumplanungskonzepts zur Gestaltung der ländlichen Raumplanung und zur Förderung der ländlichen Entwicklung. Das Konzept soll die Prinzipien für das Entwickeln eines nationalen Raumplanungskonzepts zur Gestaltung der ländlichen Raumplanung und zur Förderung der ländlichen Entwicklung festlegen.

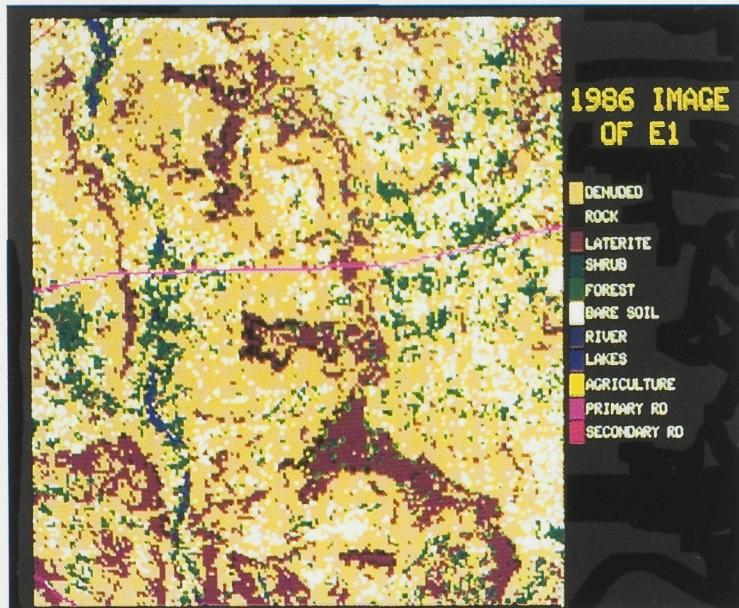
Der Beitrag legt Daten vor zur raum-zeitlichen Veränderung der Waldressourcen und zum Muster der Feuerholzproduktion, Vermarktung, und Verbrauch, er analysiert insbesondere bio-physische Veränderungen der Landoberflächen als Folge der Entwaldung auf den Plateaus, den Gletschern und auf den Tälern; und schließlich wird umrissen, wie das baum-abhängige traditionelle Farmsystem ohne verbliebenen Handlungsspielraum der Endphase der Landschaftsdegradierung begegnet.



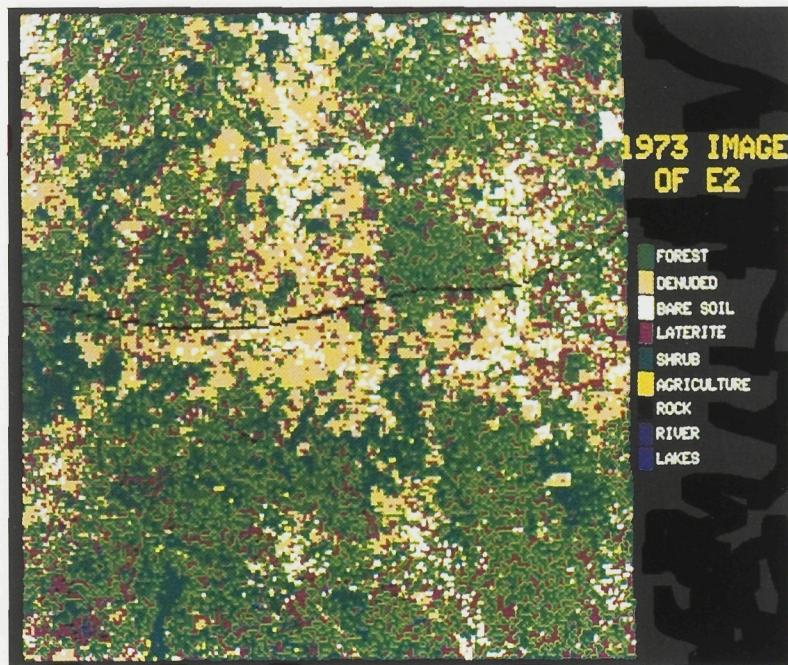
Map 2: Land Surface Cover in Southwest Niger; Landsat MSS 1986



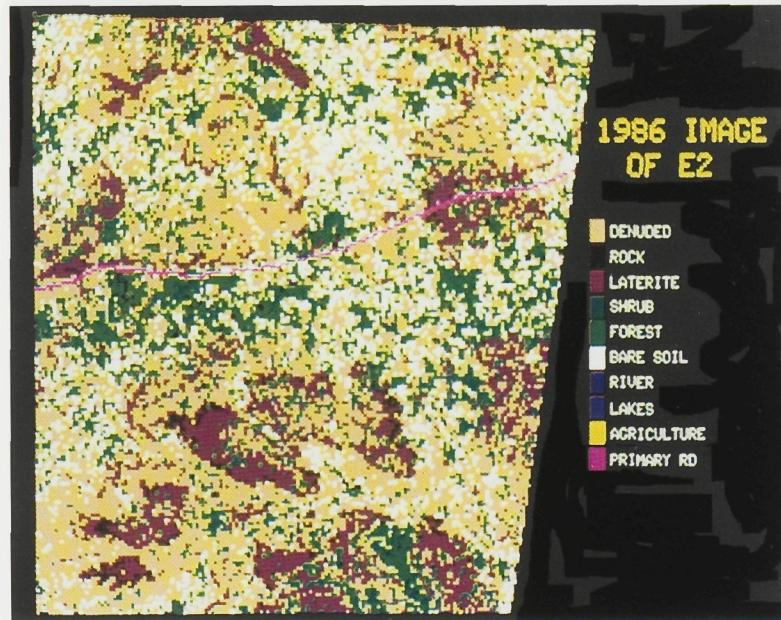
Map 3: Land Surface Cover in Site E1; Landsat MSS 1973



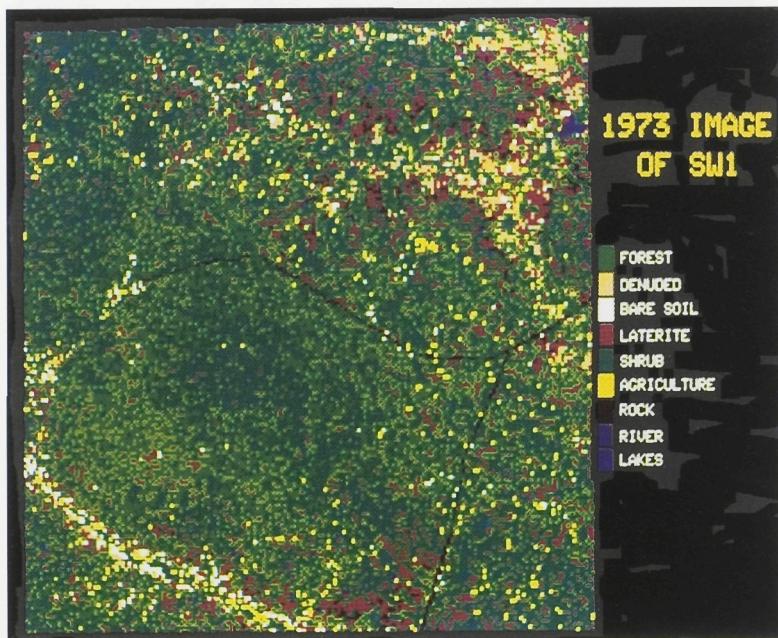
Map 4: Land Surface Cover in Site E1; Landsat MSS 1986



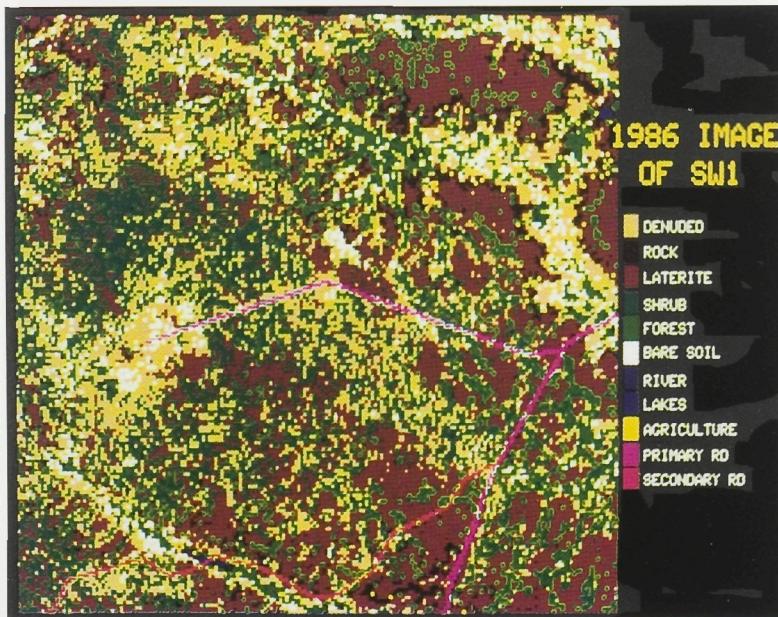
Map 5: Land Surface Cover in Site E2; Landsat MSS 1973



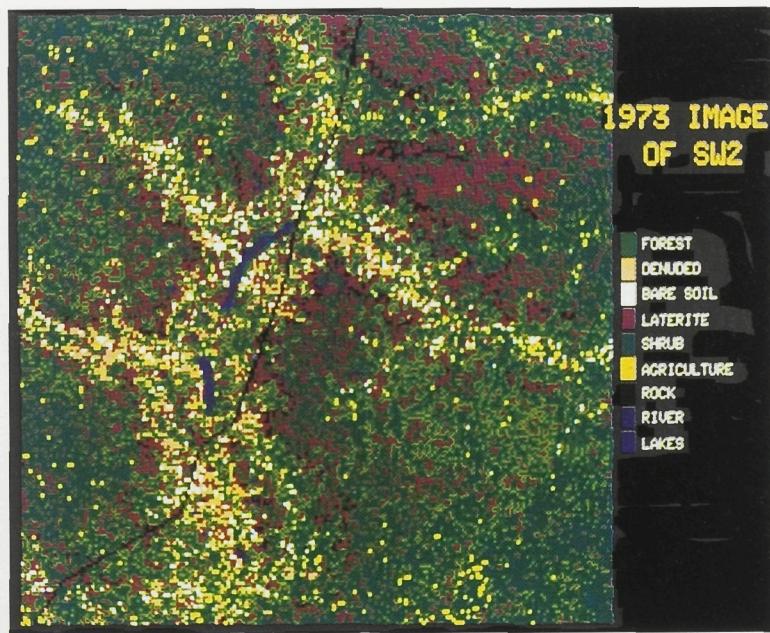
Map 6: Land Surface Cover in Site E2; Landsat MSS 1986



Map 7: Land Surface Cover in Site SW1; Landsat MSS 1973



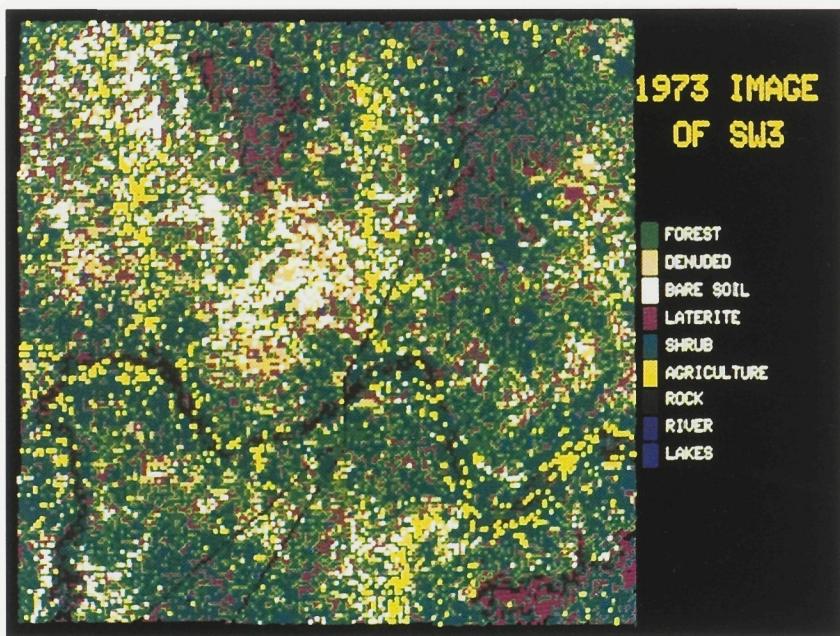
Map 8: Land Surface Cover in Site SW1; Landsat MSS 1986



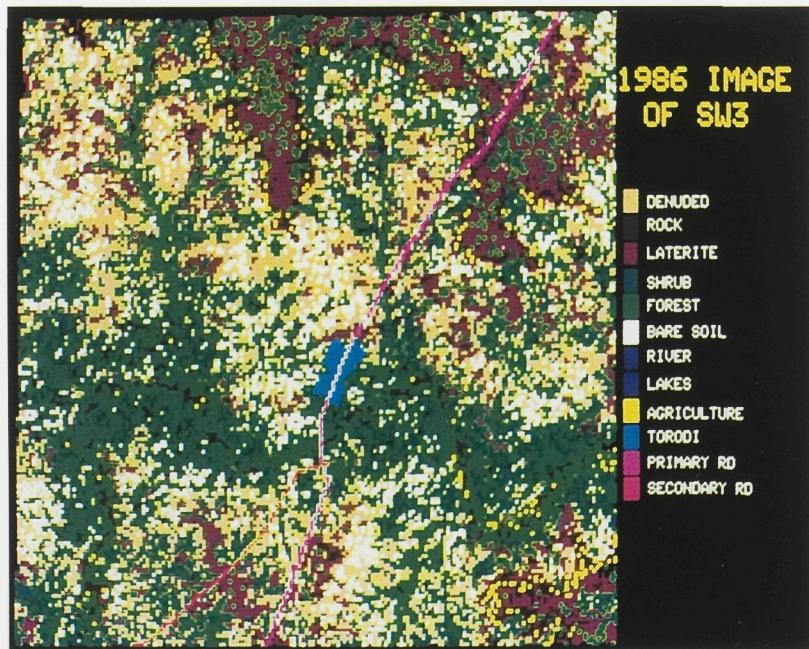
Map 9: Land Surface Cover in Site SW2; Landsat MSS 1973



Map 10: Land Surface Cover in Site SW2; Landsat MSS 1986



Map 11: Land surface Cover in Site SW3; Landsat MSS 1973



Map 12: Land Surface Cover in Site SW3; Landsat MSS 1986

References

- ALLEN, J. & D. BARNES (1985): The causes of deforestation in developing countries. *Annals of the Association of American Geographers* 75: 163-184.
- BURLEY, F.W. & P. HAZELWOOD (1985): Plans and precedents for saving tropical forests. *The Annual Report of the World Resources Institute*; Washington, D.C.: 64-72.
- CATTERSON, T.M., F.A. GULICK & T. RESCH (1987): Rethinking forestry strategy in Africa: Experience drawn from USAID activities. *UNEP, Desertification Control Bulletin*, No. 14: 30-37.
- CHAUVIN, H. (1982): When an African city runs out of fuel. *Unasylva* 33: 11-20
- Direction de la Météorologie Nationale du Niger (1990): Continuous climate data.
- FAO (1976): Etude prospective pour le développement agricole des pays de la zone Sahélienne 1975-1990. Rome.
- FAO (1982): Les disponibilités de bois de feu en région Sahélienne et l'Afrique occidentale. FO:Misc 82/15; Rome.
- FAO (1983): Wood for energy. *Forestry Topics Report* No. 1, Rome.
- GILRUTH, P.T. & C. HUTCHINSON (1990): Assessing deforestation in the Guinea highlands of West Africa using remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56: 1375-1382.
- HOSIER, R. (1988): The economics of deforestation in Eastern Africa. *Economic Geography*: 121-136.
- HOSIER, R. & M. MILUKAS (1989): Woodfuel markets in Africa: Depletion or development? Draft Paper for presentation at the Association of American Geographers Conference, Baltimore.
- MAYDELL, H.-J. von (1982): Möglichkeiten zur Erhöhung der human-ökologischen Tragfähigkeit durch agroforstliche Maßnahmen in semi-ariden Gebieten tropischer und subtropischer Gebirge. In: *Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung* 8: 121-130.
- MENSCHING, H. (1987): Die Grenzen der Sahara in Raum und Zeit: Geomorphologische Bemerkungen zum Paläoklima der nordafrikanischen Wüste vom Tertiär bis heute. *Nova acta Leopoldina NF* 53: 169-184.
- Ministère de Plan du Niger (1990): Population Cencus.
- Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement; PUSF (1986): Les régions naturelles IV et VII. Niamey.
- MORTIMORE, M. (1987): Shifting sands and human sorrow: Social response to drought and desertification. *UNEP Desertification Control Bulletin*, No. 14.
- National Academy Press (1983): Agroforestry in the West African Sahel, Washington, D.C.
- NICHOLSON, S. E. (1982): The Sahel: A climatic perspective. CILSS/Club du Sahel.
- ORSTOM (1984): Improving the forestry potential of the Sudano-Sahelian nations (mimeo). Dakar.

- PANZER, K.F. (1981): Inventory and monitoring of renewable resources in the Sahel. *Natural Resources and Development* 14: 78-88.
- RINGROSE, S., W. MATHESON, F. TEMPEST & T. BOYLE (1990): The development and causes of range degradation features in Southwest Botswana using multi-temporal Landsat MSS Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56: 1252-1262.
- SPÄTH, H.-J. (1975): Feuchtedefizit und Kunstregenbedarf auf Niederrheinischen Ökotopen. *Erdkunde* 30: 83-97.
- SWIFT, J. & A. MALIKI (1984): A cooperative development experiment among nomadic herders in Niger. *Overseas Development Institute, Paper 18c*; London.
- The World Bank (1984): Fuelwood consumption and deforestation in African countries. *World Bank Staff Working Papers No. 704*.
- The World Bank (1985): Desertification in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. Wasgington, D.C.
- The World Bank (1988): *World development report 1988*; Oxford University Press.
- The World Bank (1990): *World development report 1990*; Oxford University Press.
- THOMSON, J.T. (1983): The precolonial woodstocks in Sahelian West Africa: The Example of Central Niger. In: Tucker, R. and J. Richards (eds.): *Global deforestation and the nineteenth century world economy*. Duke Press Policy Studies: 167-177.
- WATTS, M. (1983): Silent violence, food, famine, and peasantry in Northern Nigeria. Berkeley.
- WEINSTABEL, P. & W. ZECH (1982): Forestry as a possible solution to the environmental and energy difficulties facing semi-arid Africa. *Applied Geography and Development* 20: 70-87.
- World Resources Institute (1990): *World resources 1990-91*; Oxford University Press.

Geofaktorenanalyse als Grundlage für die Beurteilung von Landnutzungsmustern und Erosionsprozessen in Nord-Togo

JÜRGEN RUNGE, Paderborn

mit 40 Abbildungen, 9 Tabellen, 4 Farbfotos und 6 mehrfarbigen Kartenbeilagen in Tasche.

1. Einleitung

Die Geofaktoren Gestein, Relief und Boden sowie die klimatischen Verhältnisse bestimmen in ihrem Zusammenwirken das Landnutzungspotential an einem Standort. Die geowissenschaftliche Standortanalyse stellt für alle Projekte, die sich mit der landwirtschaftlichen Entwicklung in einem Raum befassen, eine unabdingbare Voraussetzung dar. Dies trifft auch besonders für geographisch relevante Vorhaben im Bereich der Technischen Zusammenarbeit in Afrika zu, wo es heute noch häufig an großmaßstäbigen Voruntersuchungen im Rahmen von geplanten Projekten mangelt. Gerade für die Staaten in den tropischen Regionen Afrikas ist es notwendig, jene Standortinformationen zu kennen und beurteilen zu können, um sich in realistischer Weise über das geowissenschaftliche Potential und die sich daraus ableitenden Entwicklungsperspektiven im klaren zu sein.

In der vorliegenden Studie wurde am Beispiel von sechs kleinräumigen Untersuchungsgebieten im westafrikanischen Togo versucht, geomorphologische, bodenkundliche und agrarwissenschaftliche Standortinformationen zu erheben, diese kartographisch umzusetzen und Erklärungsansätze für die gegenwärtigen Landnutzungsmuster und die morphodynamischen Prozesse abzuleiten.

2. Geographische Grundlagen

Die Republik Togo hat eine Fläche von 56.785 km². Das Staatsgebiet erstreckt sich langgezogen in Süd-Nord-Richtung vom Golf von Guinea bis an die Grenze von Burkina Faso (von 6°-11°N und 0°-1°30'E). Schätzungsweise mehr als drei Millionen Menschen, verteilt auf über 30 Volks- und Sprachgruppen, leben in Togo. Mit durchschnittlich über 50 Einwohnern/km² und einer kleinbäuerlichen Wirtschaftsstruktur gehört Togo zu den am dichtesten besiedelten Staaten in Afrika (Atlas du Togo 1981).

Detaillierte Geländeuntersuchungen wurden in Nord-Togo (9°-11°N) durchgeführt. Dieser im landschaftlichen Übergangsbereich von Guinea-Sudan zur Sudan-Sahel Zone (AUBREVILLE 1949) gelegene Großraum war besonders interessant, da hier innerhalb von nur wenigen hundert Kilometern differenzierte naturräumliche und siedlungsgeschichtliche Verhältnisse untersucht werden konnten.

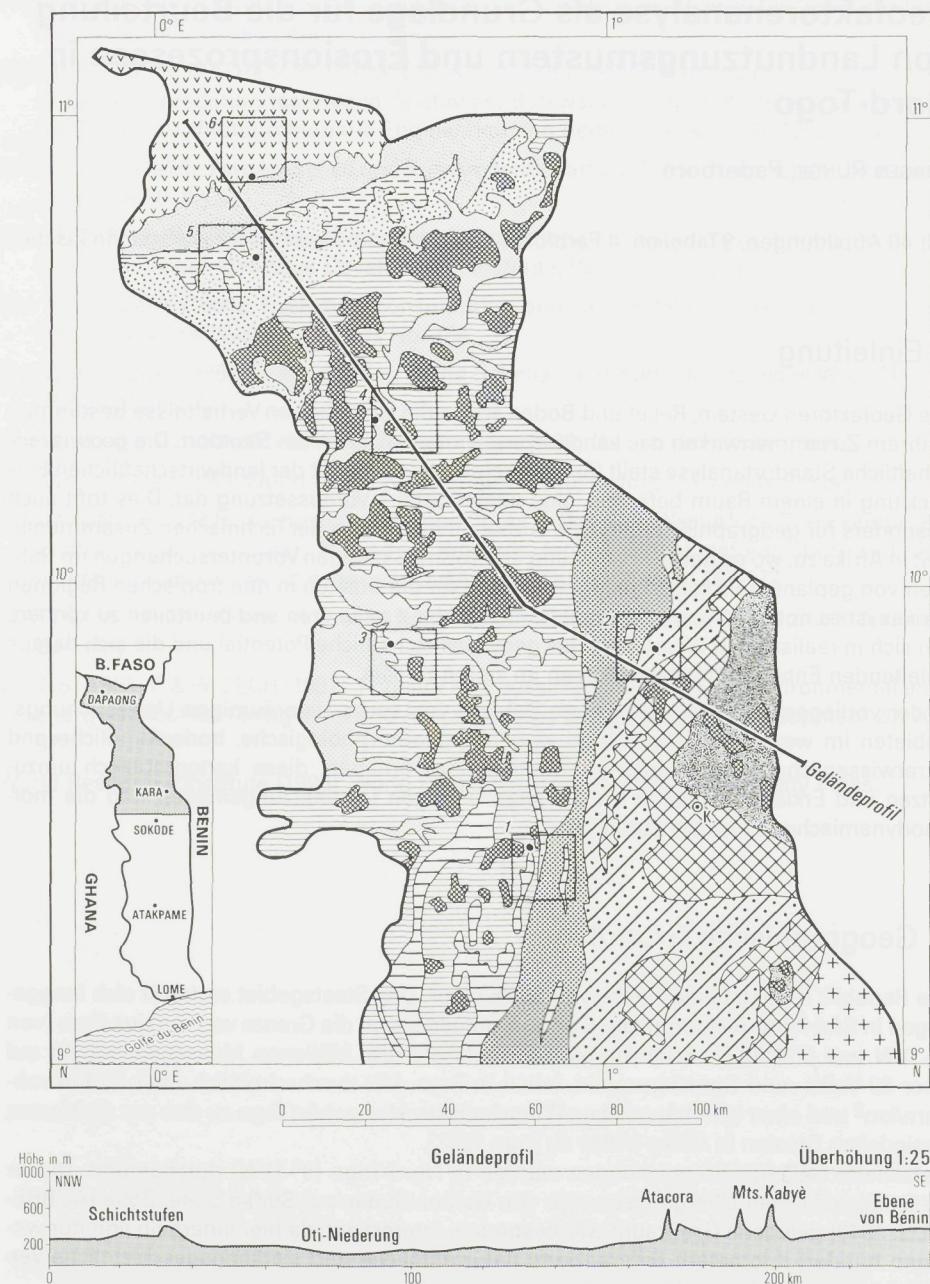
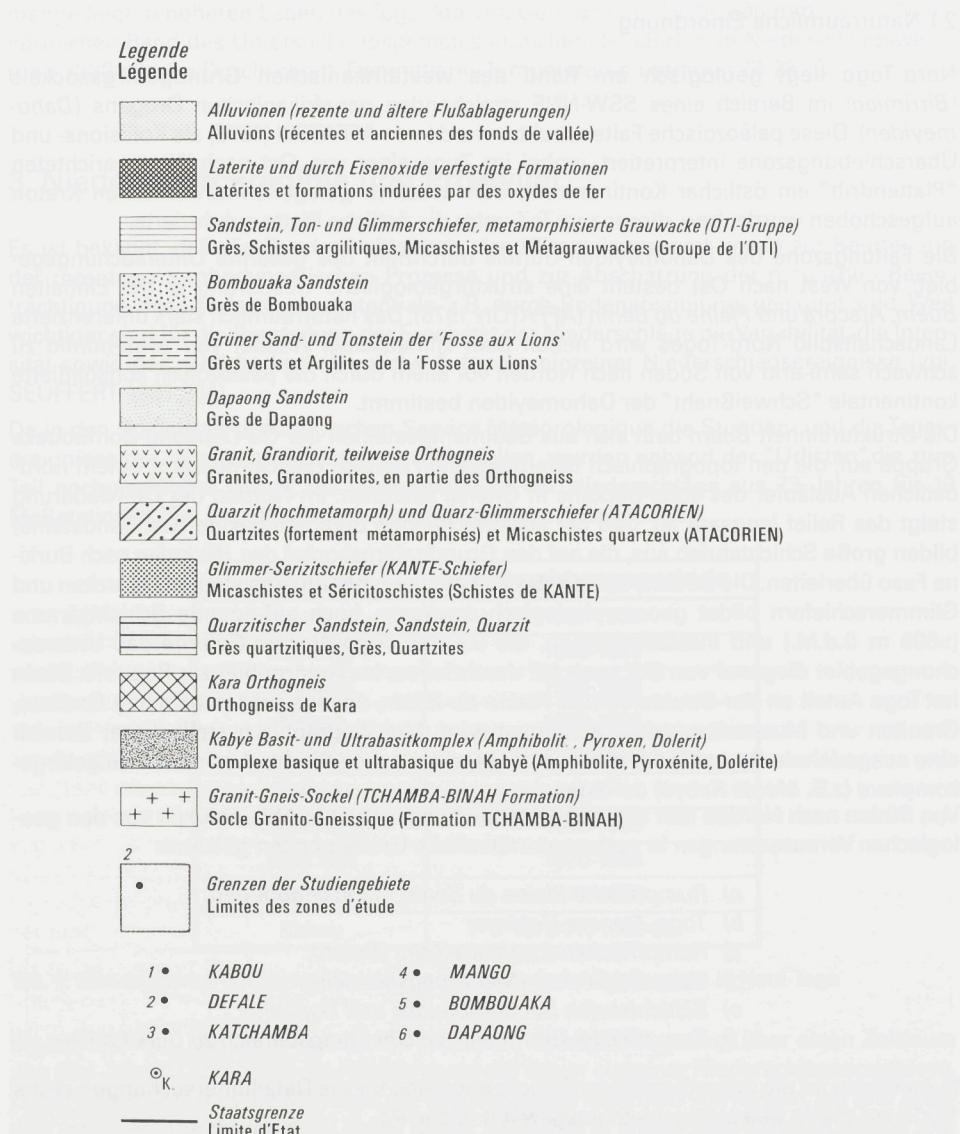


Abb. 1: Geologische Verhältnisse und Lage der Untersuchungsgebiete in Nord-Togo (nach République Togolaise, 1984, 1985a, verändert).

**Quellen:**

REPUBLIQUE TOGOLAISE (1984). Direction générale des Mines, de la Géologie et du Bureau National de Recherches Minières. Notice de la Carte Géologique à 1/200 000. Feuille Kara. Mem. No 1. Lomé

REPUBLIQUE TOGOLAISE (1985a). DGMG et BNRM. Notice de la Carte Géologique à 1/200 000. Feuille Dapaong. Mem. No 2. Lomé

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (1955). Cartes des l'Afrique de l'Ouest à 1/200 000. Paris

2.1 Naturräumliche Einordnung

Nord-Togo liegt geologisch am Rand des westafrikanischen Grundgebirgssockels (*Birimien*) im Bereich eines SSW-NNE streichenden panafrikanischen Orogens (*Dahomeyiden*). Diese paläozoische Faltenstruktur wurde von AFFATON (1975) als Kollisions- und Überschiebungszone interpretiert, wobei im Zuge einer von Ost nach West gerichteten "Plattendrift" ein östlicher Kontinentrand dem westlich gelegenen afrikanischen Kraton aufgeschoben wurde, bzw. dieser zum Teil unter die östliche Platte subduzierte.

Die Faltungszone des Dahomeyiden-Gürtels durchzieht das gesamte Untersuchungsgebiet; von West nach Ost besteht eine struktureogeologische Gliederung in die Einheiten *Buem*, *Atacora* und *Plaine du Bénin* (AFFATON 1975). Das naturräumlich stark differenzierte Landschaftsbild Nord-Togos wird neben dem klimatischen Wandel von semi-humid zu schwach semi-arid von Süden nach Norden vor allem durch die paläozoisch konsolidierte kontinentale "Schweißnaht" der Dahomeyiden bestimmt.

Die Struktureinheit *Buem* baut sich aus Sedimentgesteinen der Oti-Dapaong-Bombouaka Gruppe auf, die den topographisch tiefergelegenen Bereich des Oti-Beckens, einem nordöstlichen Ausläufer des Volta-Beckens in Ghana, ausfüllen. Im Norden der Oti-Niederung steigt das Relief langsam an, und die ausstreichenden Sedimentpakete (v.a. Sandsteine) bilden große Schichtstufen aus, die auf den Grundgebirgssockel des *Birimien* nach Burkina Faso überleiten. Die Struktureinheit *Atacora* mit verwitterungsresistenten Quarziten und Glimmerschiefern bildet geomorphologisch markante, hoch aufragende Schichtkämme (>600 m ü.d.M.) und Inselbergformen, die als das *Togo-Atacora-Gebirge* das Untersuchungsgebiet diagonal von SW nach NE durchziehen. Im Grenzgebiet zur Republik Bénin hat Togo Anteil an der Struktureinheit *Plaine du Bénin*, die aus präkambrischen Gneisen, Graniten und Muskovitquarziten aufgebaut wird. Morphographisch stellt dieser Bereich eine ausgedehnte Rumpffläche dar, aus der vereinzelt größere ultrabasische Inselgebirgskomplexe (z.B. *Monts Kabyé*) aufragen.

Von Süden nach Norden lässt sich das Untersuchungsgebiet in Abhängigkeit von den geologischen Voraussetzungen in sechs naturräumliche Großeinheiten gliedern:

- a) Rumpffläche *Plaine du Bénin* mit Inselgebirgen;
- b) *Togo-Atacora-Gebirge*;
- c) Rumpfflächen-Inselberg-Zone (*Buem*);
- d) Volta-Oti-Becken (Niederungsbereich);
- e) Schichtstufen bei Bombouaka und Dapong;
- f) Rumpffläche (*Birimien*) im Übergangsbereich zu Burkina Faso.

In Anlehung an die naturräumlichen Einheiten wurden für die Detailuntersuchungen sechs 15x15 km große Beispielegebiete ausgewählt (siehe 4.).

2.2 Klima

In Nord-Togo herrscht ein wechselfeuchtes, semi-humides Klima. Ab etwa 8°N, auf der Höhe von Sokodé, läuft das Witterungsgeschehen nach sudanesischem Muster mit einer Regenzeit von März/April bis Oktober ab. Die durchschnittliche jährliche Niederschlags-

menge liegt in höheren Lagen des Togo-Atacora Gebirges bei 1500-1600 mm. Bis 11°N am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes erreichen die jährlichen Niederschlagswerte rund 1000 mm im Durchschnitt. Die mittleren Temperaturen betragen 26-28 °C.

3. Niederschlagsregime und Erosivität

Es ist bekannt, daß die Durchschnittswerte des Klimas insgesamt wenig zur Beurteilung der rezenten morphodynamischen Prozesse und zur Abschätzung der möglichen Beeinträchtigung des Landnutzungspotentials, z.B. durch Bodenabspülung, geeignet sind. Weit wichtiger sind für die Beurteilung der Erosivität der Niederschläge die Variabilität, die Intensität sowie das zeitliche und räumliche Auftreten einzelner Niederschlagsereignisse (vgl. SEUFFERT 1981:234).

Da in den Statistiken des togischen Service Météorologique die Stunden- und die Tagesereignisse der Mittelwertbildung zum Opfer fallen, wurden anhand der "Urlisten," die zum Teil noch verfügbar waren, die Tagesereignisse der Niederschläge aus 73 Jahren für 10 Meßstationen aus dem Untersuchungsgebiet zusammengetragen.

Station	Beobachtungsperiode
Nanoumé	1987-1989
Dapaong	1980-1986
Barkoissi	1985-1986
Mango	1975-1986
Kanté	1977-1986
Défalé	1987
Niamtougou	1980-1986
Kara Ville	1970-1986
Kara Meteo	1977-1986
Kabou	1976-77, 1983-85

Tab. 1: Klimastationen mit Tagesaufzeichnungen der Niederschlagsmengen in Nord-Togo

Ein nördlich von Dapaong installierter Totalisator ermöglichte zudem über einen Zeitraum von drei Jahren (1987-1989) die Aufzeichnung der Dauer einzelner Niederschlagsereignisse. Dabei zeigte sich, daß die Mehrzahl der Niederschläge innerhalb von 45 Min. bis drei Stunden erfolgten. Durchschnittlich fielen dabei 1 mm NS in knapp acht Minuten. Somit entsprach jedes dritte Niederschlagsereignis der Intensität eines Starkregenereignisses im Sinne von WEISCHET (1979:200), die für die erosive Wirkung morphodynamischer Abspülprozesse eine bedeutende Rolle spielen.

Empirische Erkenntnisse über Starkregen und ihren Einfluß auf den Bodenabtrag, bzw. die Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Produktivität liegen aus zahlreichen Staaten Westafrikas vor. Die Forschungsinstitute ORSTOM und IRAT haben auf Versuchsparzellen Jahrzehntelang Feldversuche und Simulationen zur Bodenerosion unter verschiedenen

naturräumlichen Gegebenheiten und wechselnden Landnutzungssystemen durchgeführt. Die abgeleiteten Zusammenhänge von ROOSE (1977, 1981) zur *Klimatischen Aggressivität* der Niederschläge im wechselfeuchten Westafrika wurden an dem aus Nord-Togo stammenden Datenmaterial ausgewertet und überprüft.

ROOSE (1977) versuchte in Anlehnung an WISHMEIER & SMITH (1958) aus den empirisch gewonnenen Niederschlags- und Bodenabtragsdaten einen Index (R) der klimatischen Aggressivität in Westafrika zu berechnen. Ein solcher Index erlaubt die Regionalisierung und damit auch die Bewertung der potentiellen Erosivität in Abhängigkeit von der Art der Niederschlagsereignisse und der jeweiligen Naturraumausstattung.

Den Regressionsgleichungen von ROOSE (1977, 1982) liegen die auf den Boden auftreffenden Gesamtniederschläge (H) und das in 30 Min. gemessene Niederschlagsmaximum zugrunde. Die praktische Umsetzung und Übertragbarkeit einer solchen Gleichung scheitert weitgehend daran, daß es in Westafrika so gut wie keine Niederschlagsmeßstationen gibt, die 30minütige Niederschlagsspitzen messen können. Allerdings gelang es ROOSE (1977), seine Gleichungen so zu modifizieren, daß eine Berechnung des Erosivitätsindex (R) allein bei Kenntnis eines 24stündigen Niederschlagsereignisses möglich ist. Dabei ergibt der Quotient aus dem mittleren jährlichen Erosivitätsindex (R_{am}) und dem mittleren jährlichen Regenfall (H_{am}) bei einer Beobachtungsperiode von mindestens 5-10 Jahren einen annähernd konstanten Faktor von 0,5, der um $\pm 5\%$ schwankt.

Dies ermöglichte es ROOSE (1977), die klimatische Aggressivität in Westafrika in einer Karte darzustellen (Abb. 2). Deutlich ist zu erkennen, daß der Erosivitätsindex R_{am} eine breitenkreisparallele Abfolge und eine äquatorwärtige Intensitätszunahme zeigt. Gebirge wie die Togo-Atacora Kette und das Jos-Plateau in Nigeria treten als Zonen einer erhöhten klimatischen Aggressivität deutlich hervor. Nach dieser Karte liegt der Wert für R_{am} in Nord-Togo zwischen 500-700. Nach der Methode von ROOSE (1977) wurde für einige der togoischen Klimastationen mit längeren Datenreihen der Erosivitätsindex berechnet, um einen Anhaltspunkt über die Wirkung der im Untersuchungsgebiet wirksamen morphodynamischen Prozesse zu erhalten (Tab. 2).

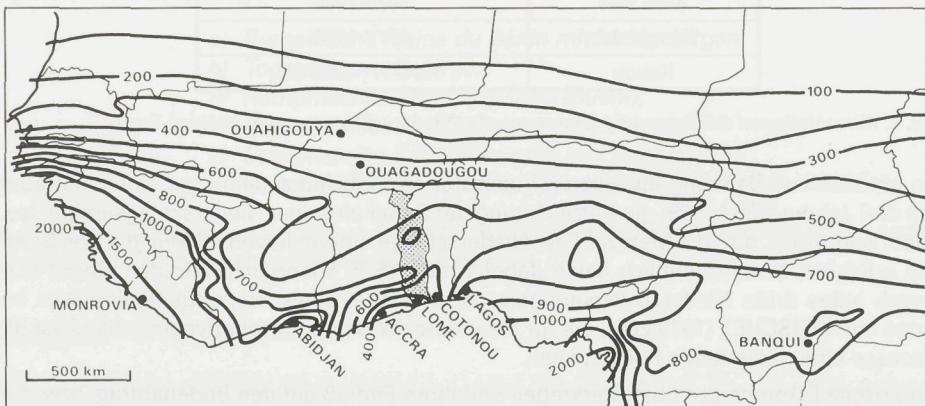


Abb. 2: Karte der klimatischen Aggressivität in Westafrika nach ROOSE's mittlerem jährlichen Erosivitätsindex R_{am} (aus AVENARD & MICHEL 1985:80, verändert).

Es ergibt sich, daß der mittlere Erosivitätsindex R_{am} für die togoischen Stationen durchweg geringer ausfällt, als es nach dem Modell von ROOSE (1977) vorhergesagt wird. Der jährliche Wert für R kann dabei stark schwanken; z.B. im Falle der Station Kara Meteo liegt der Wert für R zwischen 350 und 650; dies entspricht im ersten Fall der klimatischen Aggressivität eines Standortes im Sahel; der zweite, höhere Wert entspricht dagegen eher den Verhältnissen eines Standortes im oberguineischen Küstenraum. Es scheint, daß sich das Modell von ROOSE (1977) offensichtlich mehr zur kleinmaßstäbigen Beschreibung der klimatischen Verhältnisse in Westafrika eignet, als für die angestrebte großmaßstäbige Standortanalyse innerhalb Nord-Togos.

Station	Zeitraum	H am	R am	R am/ H am
Kara Meteo	1977-1986	1228 mm	502	0,41
Kara Ville	1970-1986	1243 mm	544	0,44
Mango	1975-1986	1068 mm	475	0,44
Dapaong	1980-1986	922 mm	421	0,46

Tab. 2: Erosivitäts-Index R_{am} von Klimastationen in Nord-Togo

Ergänzend muß darauf hingewiesen werden, daß mit Blick auf die morphodynamischen Prozesse die Karte von ROOSE (Abb. 2) suggerieren könnte, daß der erhöhten klimatischen Aggressivität in Äquatornähe zwangsläufig auch eine erhöhte Effektivität der morphodynamischen Prozesse entspräche. Vielmehr wird aber deutlich, wie groß die Bedeutung der Pflanzendecke für die Wirksamkeit morphodynamischer Formungsprozesse auf der Erdoberfläche sein kann. Ursprünglich bot das intakte Pflanzenkleid der oberguineischen Waldzone einen guten Schutz vor stark erosiven Regenfällen. Anders verhält es sich im Sudan und im Sahel, wo eine von Natur aus lichtere und saisonal reduzierte Savannenvegetation eine größere "Angriffsfläche" für Starkregen bietet. Die Tatsache, daß die Gesamtniederschläge in dieser Zone geringer ausfallen, ist für die im Moment des Starkregenereignisses wirksame Effektivität der morphodynamischen Prozesse aber ohne Bedeutung.

Die Intensität und Geschwindigkeit der rezenten Oberflächenformung nimmt also mit geringer werdender Anzahl der Regentage eher zu als ab. Bei beiden Meßstationen in Kara fielen durchschnittlich 1235 mm Niederschlag an 100 Tagen im Jahr; 250 km weiter nördlich, bei der Station Dapaong, waren es 922 mm Niederschlag in 75 Tagen. Rechnerisch fielen in Kara wie in Dapaong etwa 12-13 mm Niederschlag je Regentag. Allerdings muß betont werden, daß die saisonal-exzessiven, im sahelischen Gebiet vermehrt auch die episodisch-exzessiven Starkregenereignisse, mit einer deutlichen morphodynamischen Wirksamkeit zunehmen (Schichtfluten, Gully-Bildung). In Umkehrung zur klimatischen Aggressivität nach ROOSE (1977, 1982), die gegen die niederen Breiten hin zunimmt, bietet es sich daher an, sinngleich von einer in Richtung der Wendekreise anwachsenden *morphodynamischen Aggressivität* in Westafrika zu sprechen (vgl. RUNGE 1990).

Die Verdeutlichung der Niederschlagsverhältnisse im Untersuchungsgebiet (vgl. Tab. 1) erfolgte mit Hilfe abgewandelter Klimadiagramme, die besonders auf die Darstellung von saisonalen bis episodischen Niederschlagsereignissen abgestimmt sind (Abb. 3a,b).

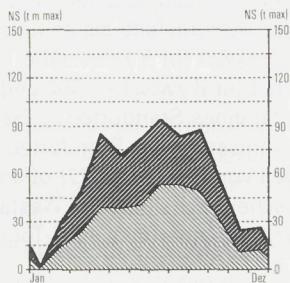
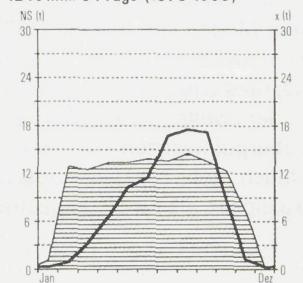
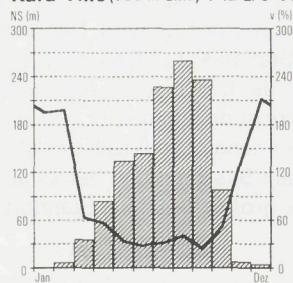
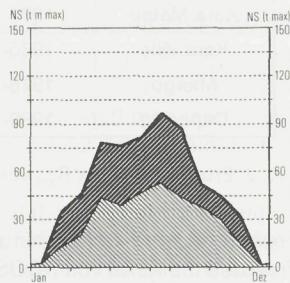
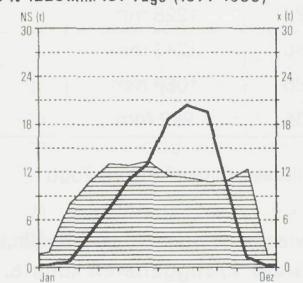
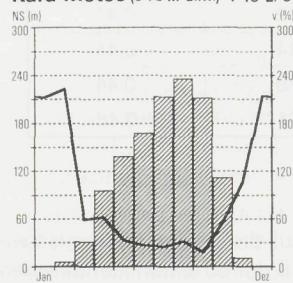
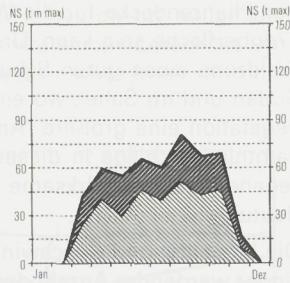
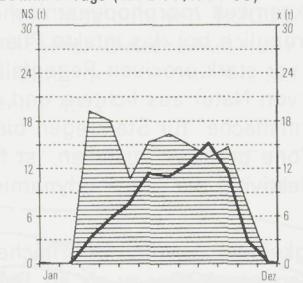
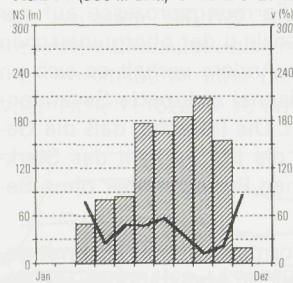
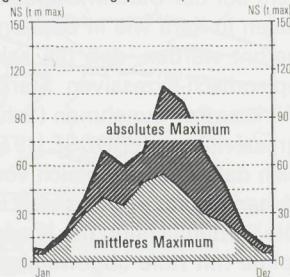
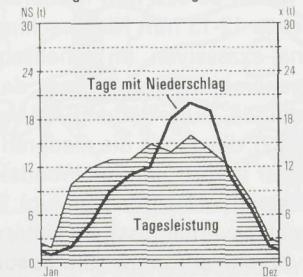
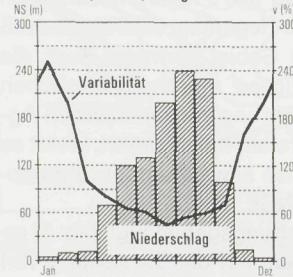
Kara Ville(300 m ü.M.)-1°12'E/9°33'N-1243 mm/94 Tage-(1970-1986)**Kara Meteo**(340 m ü.M.)-1°10'E/9°33'N-1228 mm/107 Tage-(1977-1986)**Kabou**(306 m ü.M.)-0°49'E/9°27'N-1129 mm/81 Tage-(1976-77;1984-86)**Legende****Station (m ü.M.)-Länge/Breite-Jahresniederschlag/Anzahl der Tage mit Niederschlag-(Beobachtungsperiode)**

Abb. 3a: Niederschlagsregime von Klimastationen in Nord-Togo.

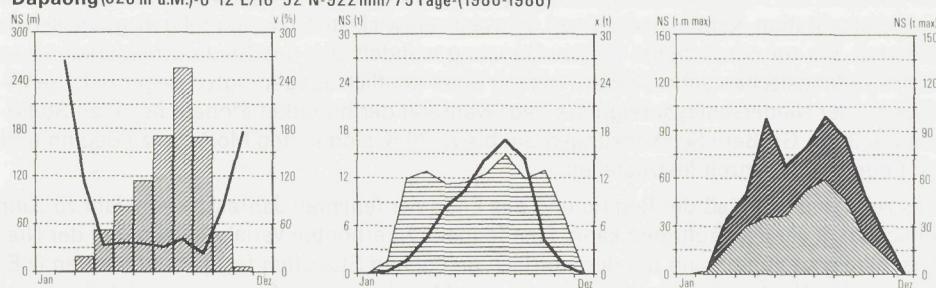
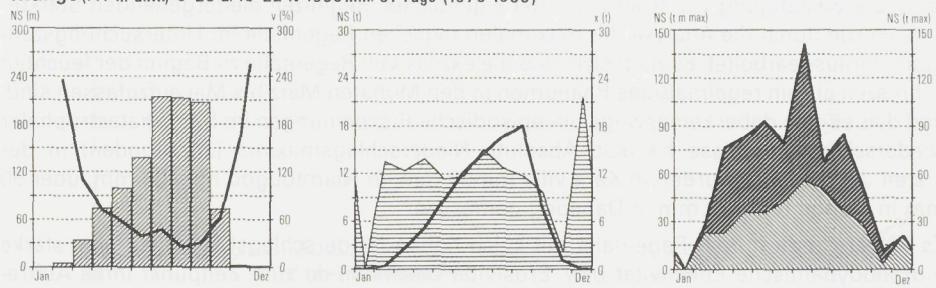
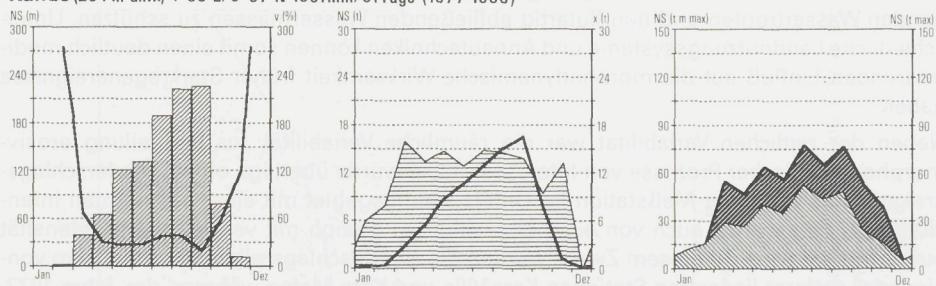
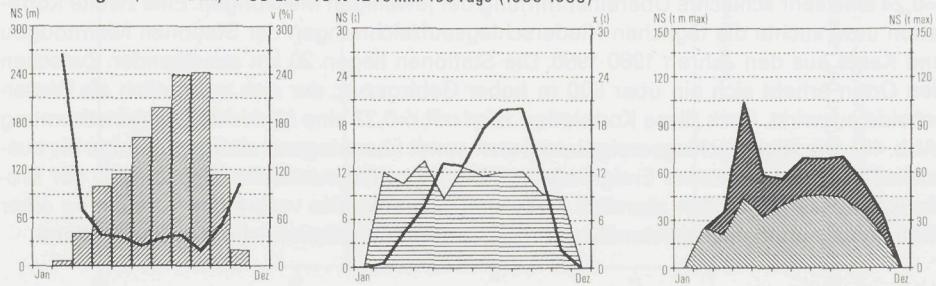
Dapaong (320 m ü.M.)-0°12'E/10°52'N-922 mm/75 Tage-(1980-1986)**Mango (147 m ü.M.)-0°28'E/10°22'N-1068 mm/87 Tage-(1975-1986)****Kandé (284 m ü.M.)-1°03'E/9°57'N-1091 mm/81 Tage-(1977-1986)****Niamtougou (461 m ü.M.)-1°06'E/9°45'N-1240 mm/109 Tage-(1980-1986)**

Abb. 3b: Niederschlagsregime von Klimastationen in Nord-Togo.

Die Analyse der regionalklimatischen Gegebenheiten aus den Tageswerten ergibt für die südlichste Station Kabou noch einen schwach entwickelten, zweigipfligen guineischen Klimatyp. Bis zur nördlichsten Station Dapaong wandelt sich das Niederschlagsregime zu einem sudanesischen Jahresverlauf mit nur einer deutlich ausgeprägten Regenzeit. Die Variabilität der Niederschlagsereignisse liegt während der humiden Monate bei allen Stationen um 30 %. Größere Schwankungen um bis zu 70 % sind in den Monaten zu Beginn und am Ende der Regenzeit festzustellen.

Dies zeigt deutlich, daß der Beginn und das Ende der feuchten Jahreszeit von Jahr zu Jahr zeitlich stark versetzt auftreten kann. Eine Tendenz zu erhöhten Variabilitätswerten der Niederschlagsverteilung kann bei den nördlich gelegenen Stationen festgestellt werden (z.B. Mango). Die Niederschlagsereignisse, die von März bis Juni auftreten, sind dabei sowohl für die Landwirtschaft als auch für die morphodynamischen Prozesse von großer Bedeutung. Die Bestätigung von frühen, vor der eigentlichen Regenzeit niedergehenden Starkregen, wurde durch die Analyse der maximalen täglichen Regenfälle im Untersuchungszeitraum herausgearbeitet. Es zeigt sich, daß die exzessiven Regenfälle zu Beginn der feuchten Jahreszeit als ein regelmäßiges Phänomen in den Monaten März bis Mai aufzufassen sind, und daß es sich dabei keineswegs um episodische Erscheinungen im Sinne katastrophaler Niederschlagsereignisse handelt. Absolute Niederschlagsmaxima (24 Stunden) in der ersten Jahreshälfte wurden in Kara Ville mit 90 mm, in Niamtougou mit 105 mm, über 90 mm in Mango und 100 mm in Dapaong gemessen.

Es ist verständlich, daß Regenfälle mit solch hohen Niederschlagsleistungen eine starke morphodynamische Effektivität bzw. Erosivität bewirken, da zum Zeitpunkt ihres Auftretens weder die natürliche Savannenvegetation (trockenkahl bzw. regengrün) noch die Kulturpflanzen auf den Feldern weit genug entwickelt sind, um den Boden vor den aufschlagenden Wassertropfen und den flutartig abfließenden Wassermassen zu schützen. Unterschiedliche Landnutzungssysteme und Anbautechniken können somit einen deutlich modifizierenden Einfluß auf die morphodynamische Wirksamkeit früher Starkregenereignisse haben.

Neben der zeitlichen Variabilität war die räumliche Variabilität zur Beurteilung erosiv-morphodynamischer Prozesse von Interesse. Dabei wurde überlegt, ob ein Niederschlagsereignis, das von einer Meßstation im Untersuchungsgebiet mit einer bestimmten Intensität registriert wurde, auch von einer benachbarten Station mit vergleichbarer Intensität aufgezeichnet wird. Zu diesem Zweck wurden die Niederschlagsreihen der rund 5 km voneinander entfernt liegenden Stationen Kara Ville und Kara Meteo während der Jahre 1977-1986 miteinander verglichen. Die Korrelation der Niederschlagsreihen (Abb. 4a) zeigt mit $r=0,24$ eine sehr schlechte Übereinstimmung der jeweiligen Messungen. Eine zweite Korrelation untersuchte die täglichen Niederschlagsaufzeichnungen der Stationen Niamtougou und Kanté aus den Jahren 1980-1986. Die Stationen liegen 20 km auseinander. Zwischen den Orten erhebt sich ein über 600 m hoher Gebirgszug, der sich vermutlich als Witterscheide auswirkt. Auch diese Korrelation zeigt mit $r=0,27$ eine schlechte Übereinstimmung (Abb. 4b). Die Niederschlagsereignisse treten somit überwiegend als kleinräumige bis ausschließlich lokal wirksame Ereignisse auf. Die morphodynamische Wirksamkeit der Erosionsprozesse ist folglich räumlich stark eingeschränkt. Die verbreitete Vorstellung einer flächendeckenden und gleichmäßig wirksamen Spülenduation ist daher unzutreffend.

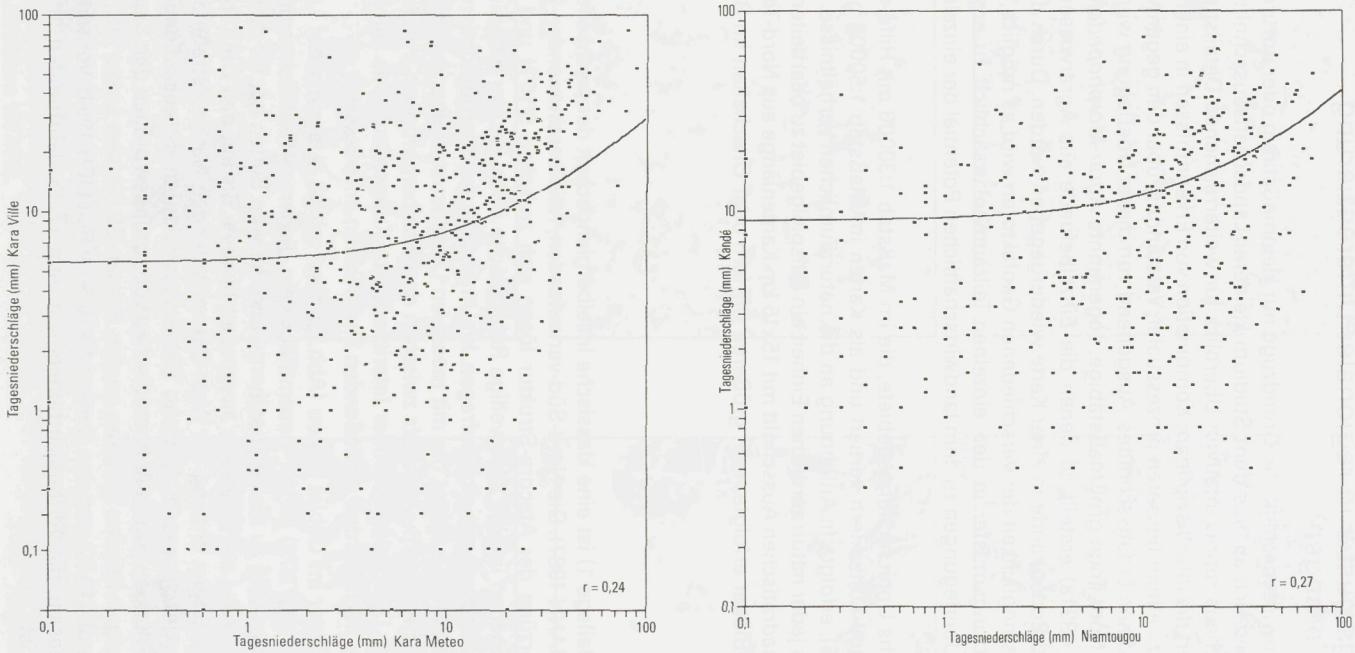


Abb. 4a/4b: Korrelation der Tagesniederschlagsreihen (logarithmische Darstellung) von Kara Ville/ Kara Meteo (Zeitraum 1977-1986) sowie von Niamtougou/Kanté (Zeitraum 1980-1986).

4. Landnutzungsmuster in regionaler Differenzierung (Beispielkartierungen)

Für Räume, deren geowissenschaftliche Grundzüge nur kleinmaßstäbig oder unzureichend bekannt sind, bietet es sich an, aus dem Studium kleinerer Landschaftsausschnitte einen ersten, oft auch durchaus repräsentativen Überblick für weiterreichende Detailstudien zu erarbeiten. Dabei führt die interdisziplinäre Kombination von Erkenntnissen in einer thematischen Karte häufig zu einem besseren prozessualen Verständnis über den gegenwärtigen Zustand des abgebildeten Erdausschnittes. Ausgehend von dieser Überlegung wurden für das Arbeitsgebiet in Nord-Togo großmaßstäbige, sogenannte *Agrar-Morphopedologische Karten* (vgl. RUNGE 1991a) erstellt, in denen die Einzelbefunde aus Agrarwissenschaft, Geomorphologie und Bodenkunde in einer Karte wiedergegeben werden. Durch die kombinierte Betrachtungsmöglichkeit der verschiedenen Geofaktoren wird es möglich, die differenzierten Landnutzungsmuster in den einzelnen Teilläufen ursächlich zu ergründen und weitergehende Überlegungen zu dem landwirtschaftlichen Potential der einzelnen Gebiete anzustellen.

Die Auswahl der sechs Untersuchungsgebiete, die im Maßstab 1:30000 mit Hilfe von Geländeerkundungen und Luftbildern kartiert und als Karten im Maßstab 1:50000 gedruckt wurden (Beilagen 1-6), erfolgte in Anlehnung an die naturräumlichen Verhältnisse. Hierbei war beabsichtigt, aus jeder naturräumlichen Einheit ein Beispielgebiet zu bearbeiten. Jedes Gebiet zeigt einen quadratischen Ausschnitt mit 15x15 km Kantenlänge aus Nord-Togo. Die Namensgebung der Blätter erfolgte nach größeren Dörfern oder Ortschaften im Blattausschnitt.

4.1 Kabou

Das Gebiet Kabou (Beilage 1) ist eine klassische Inselberglandschaft der wechselfeuchten Tropen (vgl. WIRTHMANN 1987). Die Nord-Süd-verlaufenden, reliefbestimmenden Quarzit- und Glimmerschieferzüge der Atacora-Struktur lösen sich zwischen 9°15'N und 9°35'N weitgehend auf und gehen in eine flachwellige Rumpffläche über, aus der ein- bis mehrgipflige, meist quarzitische Inselberge aufragen. Im Umfeld der Inselberge existieren zahlreiche flächig ausgebildete Gesimse, die mit massiven Lateritkrusten überzogen sind. Innerhalb des flachwülligen Interfluviesreliefs zwischen den Inselberggruppen treten vereinzelt ebenfalls kleinere Lateritplateaus oder lateritbedeckte Kuppen auf. Das Gebiet wird durch den meridional nach Norden abfließenden Fluß Niantin entwässert.

Das Landnutzungsmuster im Gebiet Kabou (Abb. 5) zeigt mit 18 % agrarischer Landnutzung (nach Luftbildern 1977/78) an der Gesamtfläche ein disperses Feldflächenmuster, in dem die für die Landnutzung zu steilen Inselberge und die vom Boden her für den Anbau weitgehend ungeeigneten Lateritplateaus ausgespart bleiben. Bis auf den Ort Kabou und einige größere Ansiedlungen entlang der West-Ost-verlaufenden Nationalstraße am oberen Blattrand fehlen geschlossene dörfliche Siedlungsstrukturen. Streusiedlungen und einige temporäre Siedlungen von semi-nomadischen Volksgruppen prägen den Siedlungscharakter. Die ansässigen Ethnien gehören zu den Bassar (30 %), den Losso (30 %), den Kabyé (25 %), den Peulh (10 %) und den Konkomba (5 %) (FROELICH 1954). Vorherrschend ist die Gruppe der Bassar, die vermutlich bereits seit dem 17.-18. Jahrhundert im Gebiet von Kabou ansässig ist.

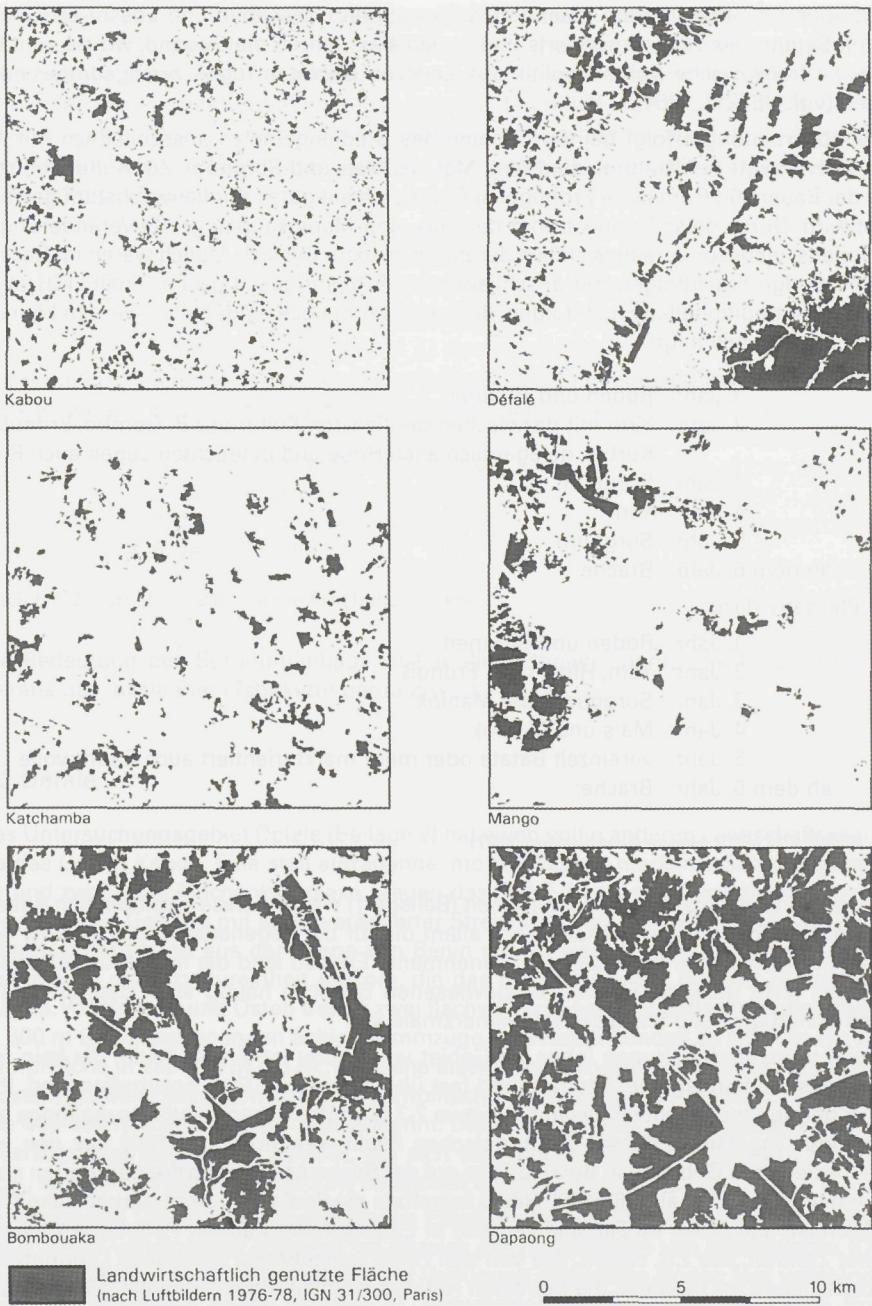


Abb. 5: Unterschiedliche Landnutzungsmuster der Untersuchungsgebiete in Nord-Togo (nach Luftbildern 1977/78).

Die übrigen im Gebiet Kabou lebenden Volksgruppen (v.a. Kabyè und Losso) erreichten erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts und in den 40er Jahren die Gegend, wo sie zum Teil durch die französische Kolonialpolitik aus anderen Gebieten Togos zwangsumgesiedelt wurden (vgl. HETZEL 1964).

Die Feldbearbeitung erfolgt bei den Ethnien des Studiengebietes ausschließlich mit der Hacke. Bevorzugte Feldkulturen sind Yam, Maniok, Mais und Sorghum. Zur Kultur von Yam häuft der Bauer 70-90 cm hohe Erdhügel auf, wodurch ein gutes Knollenwachstum gewährleistet wird. Durch diese Technik bringt der Yam- und Maniokanbau große Veränderungen des Bodens, insbesondere hinsichtlich der Bodenstruktur mit sich. Üblich waren im Bassarland 3-5jährige Fruchfolgen mit anschließenden 5-10jährigen Brachen (FROELICH et al. 1963:17). Die traditionellen Fruchfolgen, die heute kaum noch eingehalten werden können, gestalteten sich wie folgt:

1. Jahr: Roden und Brennen
2. Jahr: Yam mit dazwischen gepflanzten Kulturen, z.B. Gombo, Erdnuß, Kürbis, gelegentlich auch Hirse und in feuchten Lagen auch Reis,
3. Jahr: Sorghum
4. Jahr: Yam
5. Jahr: Sorghum

ab dem 6. Jahr: Brache;

oder alternativ dazu:

1. Jahr: Roden und Brennen
2. Jahr: Yam, Hirse oder Erdnuß
3. Jahr: Sorghum oder Maniok
4. Jahr: Mais und Maniok
5. Jahr: vereinzelt Batate oder mehr marktorientiert auch Baumwolle

ab dem 6. Jahr: Brache;

(nach FROELICH 1963, eigene Erhebungen 1987)

Aufgrund von zunehmender Landknappheit (Beilage 1) werden diese traditionellen Anbauzyklen meist nicht mehr eingehalten. Vor allem die für die Regeneration des Bodens notwendigen Brachezeiten verkürzen sich zunehmend. Ebenso sind die in der Kartenbeilage Kabou als nicht genutzte Flächen ausgewiesenen Bereiche häufig stark degradiert und weisen denudative und lineare Erosionsmerkmale auf.

Als semi-nomadische Gruppe leben im Gebiet von Kabou vereinzelt Peulh, die kein fest umrissenes Siedlungsgebiet besitzen und fast überall in Nord-Togo anzutreffen sind. Ihre Zahl ist gering und macht insgesamt nur etwa 2-3 % an der Gesamtbevölkerung Togos aus (République Togolaise 1986:44). Die togoischen Peulh wanderten um 1850 aus den von Mossi besiedelten Gebieten in Burkina Faso auf der Suche nach neuen Weidegründen nach Togo ein (FROELICH et al. 1963:186). Heute betreiben die Peulh eine semi-nomadische Wirtschaftsweise und leben im Familienverband in Einzelgehöften an der Peripherie kleinerer urbaner Zentren, wie z.B. Kabou. Die von den Peulh ausgehende agrarische Landnutzung fällt dabei kaum ins Gewicht. Sie betreiben Auftragsviehhaltung mit Rindern, Schafen und Ziegen für in den Orten lebende Angehörige der Volksgruppen Bassar, Moba, Haoussa und Kabyè (eigene Erhebungen 1987).

Eine weitere Ethnie im Gebiet von Kabou sind die Losso, die FROBENIUS (1913:363) als *Palmbauern* bezeichnet hat. Sie stammen vermutlich aus dem Gebiet des heutigen Burkina Faso, von wo aus sie im 17. Jahrhundert in das jetzige Togo einwanderten und sich teilweise mit den dort bereits seßhaften Kabyè vermischten (FROELICH et al. 1963:69). Die Losso leben in kleinen Dörfern oder in Einzelgehöften inmitten ihrer Felder (Foto 2, Anhang). Traditionell wurde ein dreijähriger Anbau mit einer gleichlangen Brache praktiziert. Bevorzugte Fruchtfolgen waren:

1. Jahr: Sorghum oder Hirse
2. Jahr: Erdnuß
3. Jahr: Mais
- 4.-6. Jahr: Brache

Auf ferrallitischen, teilweise stark verkrusteten Böden mit Pisolithauflagungen und Hillwash-Decken, wurde und wird z.T. dagegen eine modifizierte Fruchtfolge betrieben:

1. Jahr: Baumwolle oder Erdnuß
2. Jahr: Erdnuß oder Fonio
3. Jahr: Fonio oder Sorghum
- 4.-6. Jahr: Brache

(nach FROELICH et al. 1963, eigene Erhebungen 1987)

Die Bedeutung des Sorghumanbaus ist bei allen Ethnien überdurchschnittlich hoch, da hieraus das lokale Bier (Tchukutu) gebraut wird.

4.2 Défalé

Das Untersuchungsgebiet Défalé (Beilage 2) hat einen völlig anderen Landschaftscharakter als das Gebiet Kabou. Eine steil aufragende, morphologisch markante Schichtkammstruktur und zwei Rumpfflächenkomplexe prägen das Relief. Nordöstlich von Kabou taucht das Togo-Atacora-Gebirge mit leicht veränderter Streichrichtung (nun SSW/NNE) wieder landschaftsbeherrschend aus der Ebene von Bénin auf. Es sind vor allem Quarzite und Glimmerschiefer der Struktureinheit Atacora, die das morphologische Bild der Schichtkämme prägen. Von Westen und Osten treffen zwei flachwellige Ebenen auf die mehrgliedrigen, bis zu 600 m ü.d.M. aufragenden Schichtkammzüge. Im Westen handelt es sich um die Kanté-Rumpffläche in 250-300 m ü.d.M., die keine eisenverbackenen Oberflächenformen (Lateritkrusten) aufweist. Im Osten stößt die Rumpffläche von Niamtougou in einem Höhenniveau von 400-450 m ü.d.M. an den Schichtkamm. Diese Rumpffläche wird von markanten lateritverkrusteten Tafelbergen gekrönt, die sich über dem Orthogneis von Kara (2064 ± 90 M.A., République Togolaise 1984:24) entwickelt haben.

Im Gebiet von Défalé sind die siedelnden Ethnien aufgrund der topographischen Verhältnisse scharf voneinander getrennt. Im Bereich der Rumpffläche von Niamtougou (Orthogneis) siedeln die Losso, die den hier zur Verfügung stehenden Boden fast vollständig in Nutzung genommen haben (Beilage 2). Naturbelassene Savannen- oder auch Brachebereiche fehlen hier vollständig. Die steilen und kargen Höhen des Schichtkammes mit

nährstoffarmen und skelettreichen Quarzitböden werden von einer den Kabyé verwandten Bergbauerngruppe genutzt (Foto 1, Anhang). Kleinräumiger Terrassenanbau und ausgedehntere Feldflächen auf alten Kappungsniveaus kennzeichnen diesen Bereich.

Die Flächen nordöstlich der Schichtkämme, die zur Kanté-Rumpffläche gehören, werden von den Lamba, einer den Losso nahestehenden Ethnie, landwirtschaftlich genutzt. Die Lamba siedeln in größeren Gehöften und nutzen dauerhaft die Flächen, die nahe an ihren Häusern liegen. Die weiter entfernten Felder, deren Böden sich aus nährstoffarmen Glimmerschiefern mit einem hohen Anteil an Quarzsteinchen entwickelt haben, werden in einem dreijährigen Rhythmus bewirtschaftet, dem auch heute noch lange Brachen von bis zu zehn Jahren folgen (eigene Erhebungen 1987).

1. Jahr: Yam und Sorghum
2. Jahr: Hirse und Fonio
3. Jahr: in Niederungen (Bas-fonds) zum Teil etwas Reis
- ab 4. Jahr: meist Brache, die bis zu zehn Jahren dauern kann.

4.3 Katchamba

In der Nachbarschaft der großen Vorfluter Oti und Kara liegt auf einer monotonen, schwach nach NW geneigten Rumpffläche das Untersuchungsgebiet Katchamba (Beilage 3). Der flächenhafte Reliefcharakter prägt diese Landschaft. Die absoluten Höhen schwanken zwischen 200-120 m ü.d.M. Der geologische Untergrund tritt nur selten an die Oberfläche. Er wird von Gesteinen der Oti-Gruppe gebildet, die überwiegend aus Tonsteinen und feinkörnigen Sandsteinen mit teilweise schieferartigen Strukturen bestehen. Das Einfallen der im Gelände zugänglichen Schichten (meist in Fluß- und Bachbetten) variiert stark. Saiger und flachlagernde Schichten können kleinräumig nebeneinander aufgenommen werden. Ursache hierfür sind Mikrofaltungen (*Microplissements*) mit einhergehenden Frakturen und dem Zerreißen von Faltenstrukturen, die als Fernwirkung der pan-afrikanischen Orogenese verstanden werden (LE COCQ 1986). Der Metamorphisierungsgrad der Gesteine und damit auch die petrographische Härte liegt deutlich unter dem der weiter im Osten bearbeiteten Gebiete Kabou und Défalé. Allerdings konnte in hydrologisch begünstigten Geländeabschnitten (Niederungen) eine deutliche Saprolithisierungstendenz des Ausgangsgesteines festgestellt werden.

In Annäherung an die weitläufigen Niederungsbereiche treten verschieden alte Alluvionen der Flüsse auf, die randlich mit rezenten Kolluvien der Interfluves verzahnt und überlagert sind. Der Fluß Kara, der das Gebiet am nördlichsten Rand durchfließt, hat ein 100-200 m breites, kastenförmig eingetieftes Bett. Der Fluß verläuft auf dem Anstehenden, das stellenweise von Kiesbänken überdeckt wird.

Das oberste "Geländestockwerk" der reliefenergiearmen Fläche in etwa 220 m ü.d.M. bildet Lateritkrusten, die kleine konvexe Hügel überziehen. An der Peripherie derartiger Lateritkuppen ist das Gelände mit lateritischem Hangschutt überdeckt. Zwischen diesen erhöhten und "versiegelten" Reliefpositionen und den tieferliegenden Abflußbahnen treten sekundäre Lateritkrusten auf, die als das Ergebnis einer lateralen Eisenverlagerung von einem höheren zum niederen topographischen Niveau gedeutet werden können (vgl. FÖLSTER 1969, ROHDENBURG 1969, MICHEL 1973).

Die Landnutzungsmuster im Gebiet Katchamba zeigen punktuell zusammenhängende Feldflächen (insgesamt etwa 15 % der Fläche), die von der Volkgruppe der Konkomba bewirtschaftet werden. Die Konkomba wurden bereits sehr früh, im 12. bis 13. Jahrhundert, erwähnt (FROELICH 1954:31). Die Konkomba haben sich wenig mit anderen Ethnien vermischt und sind bis heute in dem verkehrsmäßig nur wenig erschlossenen Oti-Kara-Dreieck zu Hause. Sie siedeln in Einzelgehöften, zurückgezogen und auf den Familienclan beschränkt. Aufgrund strenger sozialer Rituale, wie z.B. Blutrache, bleibt auch die Vermischung der Konkomba untereinander bzw. die soziale Organisation in größeren Dörfern die Ausnahme. Die Bevölkerungsdichte in dem überwiegend von Konkombas besiedelten Untersuchungsgebiet betrug 1954 zwischen 10-20 Einw./km² (FROELICH 1954:25). Bis in die Gegenwart hat sich dieser Wert nur geringfügig erhöht; nach togoischen Statistiken von 1986 beträgt die Bevölkerungsdichte jetzt 27 Einw./km² (République Togolaise 1986b). Die Konkomba betreiben Viehwirtschaft mit Rindern, Schafen, Ziegen und Schweinen sowie Ackerbau. FROBENIUS (1913) bezeichnete ihre Wirtschaftsweise als "semi-nomadisch". Im Gegensatz zu den vereinzelten Peulh in Nord-Togo müssen die Konkomba heute als überwiegend sesshafte Bauern angesehen werden. Die Feldbearbeitung erfolgt wie bei den anderen Ethnien mit der Hacke, und es wurde in drei- bis fünfjährigen Fruchtfolgen mit anschließenden mehrjährigen Brachen angebaut:

Bapeong	1. Jahr: Roden, Brennen und Säubern des Feldes
leitet auf dem	2. Jahr: Yam und Zwischenfrüchte (z.B. Gombo, Bohnen)
stein, der das	3. Jahr: Sorghum und Zwischenfrüchte
zum Gras	4. Jahr: Sorghum
oder	5. Jahr: Fonio
oder	6.-8. Jahr: Brache

(nach FROELICH 1954:55).

Alternativ existiert gegenwärtig eine Fruchfolge, die im 1. Jahr mit Yam beginnt, im 2. Jahr Hirse, Baumwolle und Gombo bevorzugt; ab dem 3. Jahr wird Sorghum angebaut und im 4. Jahr folgen Erdnuß oder bereits eine Brache; ab dem 5. Jahr herrscht die Brache vor (eigene Erhebungen 1987).

4.4 Mango

Das Untersuchungsgebiet Mango (Beilage 4) wird landschaftlich durch zwei große Flussschleifen des Oti mit breiten Altarmen, Überflutungs- und Überschwemmungszonen, Uferseen und Uferwällen bestimmt. Mit nur 120-140 m ü.d.M. handelt es sich um den topographisch tiefstgelegenen Teil von Nord-Togo. Den geologischen Untergrund bilden paläozoische Sedimentgesteine der Oti-Gruppe; hier handelt es sich um kalkhaltige Tonschiefer und tonige Sandsteine, die mürbe und angewittert unter mehrschichtigen Alluvionen, Aue-sedimenten und tiefgründigeren, ferrallitischen Bodenbildungen anstehen (Beilage 4). Der Ort Mango in etwa 140 m ü.d.M. liegt auf einem tischebenen Lateritplateau. Zur Oti-Niederung hin ist das verkrustete Plateau stark zerlappt und aufgelöst. Mit einer deutlichen Stufe

und einem konkav-konvexen Hang mit grau-brauner Hillwashbedeckung erfolgt die Überleitung zum tieferliegenden Oti-Flußbett. Der untere Hangabschnitt wird von tiefen rezenten Erosionsrinnen durchschnitten und mittels kleiner Pedimentstufen zurückverlegt.

Das Landnutzungsmuster im Gebiet Mango konzentriert sich deutlich um den Ort Mango. Die Feldflächen erwecken weniger einen dispersen Eindruck, sondern bilden eine zusammenhängende Nutzungsfläche. 22 % des Landschaftsausschnittes sind agrarisch genutzt. Die Anordnung der Feldflächen um den Ort Mango herum erklärt sich durch die dort siedelnde Ethnie der Tchokossi, die ursprünglich aus der Elfenbeinküste stammen. Die Tchokossi besitzen als islamisches Volk eine höhere Organisationsstruktur, die u.a. dazu führt, daß sie sozial in Dörfern und Städten organisiert sind. Daneben betreiben zahlreiche Tchokossi Handel und Handwerk; die Landnutzung wird teilweise an andere Ethnien in Form der Auftragswirtschaft abgetreten. Durch die weiten Überflutungsebenen des Oti wird im Gebiet von Mango verstärkt Bewässerungslandwirtschaft betrieben. Mango ist die *Capitale du Riz* von Togo. Daneben werden kontinuierlich, ohne längere Brachezeiten einzulegen, Yam, Sorghum, Hirse, Erdnuß und Baumwolle angebaut.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche ist im Gebiet von Mango nicht beliebig in das Umland auszudehnen, obwohl auf dem kartierten Ausschnitt (Beilage 4) noch Freiflächen sichtbar sind. Im Osten und im Süden grenzt der Keran-Nationalpark an das Studiengebiet, wo Siedlungs- und Agrartätigkeit durch den togolesischen Staat strikt untersagt ist.

4.5 Bombouaka

Jenseits der Oti-Niederung in nordwestlicher Richtung nimmt nach etwa 30 km hinter dem Ort Mango die Reliefenergie merklich zu und man gelangt in die Schichtstufenlandschaft Nord-Togos. Im Gebiet von Bombouaka bilden flachlagende (4° - 6° nach SW), unterschiedlich harte Sandsteine der Dapaong-Bombouaka-Gruppe eine bis zu 200 m über das Vorland aufragende Schichtstufe.

Im Liegenden des Stufenbildners stehen ebenfalls Sandsteine mit einer Mächtigkeit von 50-70 m an. Sie sind dünnbankig und heterogen in ihrer Zusammensetzung. Die Basis und ein Teil des Vorlandes wird dagegen von Tonsteinen der *Fosse aux Lions* gebildet. Die geringe Wasserinfiltrationskapazität dieser tonigen Schichten führt im Vorfeld der Schichtstufe zur Bildung sumpfiger Niederungsbereiche, unter denen erneut Sandstein ansteht. Die meist nur ein bis zwei Meter mächtigen, stark sandigen Böden sind offensichtlich das kolluviale Produkt der erodierten Schichtstufenkomplexe und weniger das Ergebnis einer autochthonen Bodenbildung über den Tonsteinen.

Die Schichtstufe von Bombouaka wird im Untersuchungsgebiet von der Stufenstirn, aber auch rückwärtig, von der Stufenfläche her, aufgezehrt (Achterstufen) und in zeugenbergartige Plateaus zerschnitten, denen großblockige Felsburgen aufsitzen.

Der Anteil der genutzten Feldflächen am Untersuchungsgebiet ist im Falle von Bombouaka mit 43 % sehr hoch (Beilage 5). Die Landoberfläche wird von der Volksgruppe der Moba genutzt. Die Moba sind ein altnigritischer Bestandteil der Kulturlandschaft Nord-Togos (CORNEVIN 1959:82) und gelten als hervorragende Landwirte, die den zur Verfügung stehenden Boden intensiv in Nutzung nehmen. Mbas leben in Streusiedlungen und in Einzelgehöften (Foto 3, Anhang). Die Bevölkerungsdichte im Kanton Bombouaka betrug 1981 zwischen 150-200 Einw./km² (République Togolaise 1985b:49). Für ein ausschließlich agrarisch ge-

nutztes Gebiet ist dies ein enorm hoher Wert. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Bevölkerungsdichte zwischenzeitlich weiter zugenommen hat.

Die wichtigsten Kulturpflanzen der Moba sind Hirse und Sorghum. Es wird ein drei- bis fünfjähriger Anbauzyklus praktiziert, der wie folgt gegliedert ist:

1. Jahr: Erdnuß
2. Jahr: Hirse oder Sorghum
3. Jahr: Baumwolle und Sorghum
- 4.-5. Jahr: evtl. wieder Baumwolle
- ab 6. Jahr: Brache (relativ kurz, meist nur 2-3 Jahre mit abnehmender Tendenz)

(eigene Erhebungen 1987).

4.6 Dapaong

Das nördlichste Studiengebiet, Dapaong (Beilage 6), nahe der burkinischen Grenze, ist auch durch eine Schichtstufe geprägt. Bei Dapaong streicht die Sedimenttafel der Dapaong-Bombouaka-Gruppe in Form einer flachen, monolithischen Schichtstufe aus und leitet auf den Grundgebirgssockel des Birrimien über. Stufenbildner ist der Dapaong-Sandstein, der diskordant dem Grundgebirge aufliegt. Die Versatzhöhe von der Stufenfläche zum Grundgebirgssockel beträgt nur etwa 40 m. Dabei erfolgt der Übergang zum Vorland nicht abrupt mit einem Steilabfall, sondern er wird durch einen gestreckten, relativ flachen Hang eingeleitet, der unmittelbar unterhalb der Stufenstirn ansetzt.

Nördlich der Schichtstufe wird der Untergrund durch Granit und Granodiorit gebildet, der zu sandigen, einige Meter mächtigen, lockeren Böden vergrust. Vereinzelt sind Granitausbisse auf den Wasserscheiden festzustellen, wo sich kleine Blockinselberge gebildet haben. Dies sind die einzigen Erhebungen in dem sonst eintönigen Rumpfflächenrelief.

Wie im Studiengebiet Bombouaka wird die Landnutzung durch die Ethnie der Moba bestimmt. Das Landnutzungsmuster ist noch dichter und bedeckt bereits 65 % der Fläche des Untersuchungsgebietes (Beilage 6).

5. Bodenkundliche Befunde

5.1 Hillwash-Decksedimente und Stone-lines

Die meisten Bodenbildungen und Bodensedimente Nord-Togos sind mehrschichtig aufgebaut und zeigen Diskontinuitäten im Profil, „welche einen phasenhaften Wechsel zwischen geomorphologisch stabilen Bodenbildungsphasen und instabilen Phasen geomorphologischer Aktivität - also Abtragung und Sedimentation - erkennen lassen“ (FÖLSTER 1983:11). Derartige Unstetigkeiten im Bodenprofil werden im folgenden als Hillwash (bei Feinmaterial) sowie als Stone-lines (bei Grobmaterial) bezeichnet.

Die gängigsten Auffassungen zum Hillwash/Stone-line-Komplex (vgl. LEVEQUE 1969, RIQUIER 1969, SEGALEN 1969, THOMAS 1974, AHNERT 1983, BIBUS 1983, RUNGE 1997) betrachten wellig verlaufende Grobmaterialbänder mit auflagernder feinkörniger Hillwash-Bedeckung als die alte Oberfläche eines kleinräumig stärker akzentuierten Mikroreliefs, das vermutlich unter arideren Klimaverhältnissen zahlreiche episodisch wasserführende Rinnen in quarzschnittreichem Material ausgebildet hatte. Das Grobmaterial kann dabei auf verschiedene Art und Weise bereitgestellt worden sein. Einmal als autochthoner Residualschutt, der sich aus den vor Ort anstehenden und als Verwitterungsrest angereicherten, teilweise verschleppten Quarzgängen konstituiert; zum anderen kommt eine bioturbate Überdeckung eines oberflächlichen Steinpflasters in Frage, für die vor allem Termiten und Würmer verantwortlich gemacht werden (vgl. BREMER 1971). Eine weitere Erklärung betrachtet das Stone-line-Substrat als transportierten und nur gering sortierten Schutt im Vorfeld einer zurückweichenden Pedimentstufe. Die Überdeckung der Stone-line mit Hillwash ist einer nachfolgenden Phase bioturbater Materialauflagerung durch Termiten sowie einer denudativen Umlagerung und Verspülung von Feinmaterial zuzuschreiben, die zu einer Nivellierung der feingegliederten Hänge in glatte und weitgespannte Flächen führt (vgl. FÖLSTER 1969, ROHDENBURG 1969). Letztgenannter Vorgang scheint auch für zahlreiche Stone-line Phänomene in den Untersuchungsgebieten zuzutreffen.

In Nord-Togo wurden Stone-lines ausschließlich über Gesteinen mit Quarzgängen beobachtet, vor allem in den Studiengebieten Kabou und Défalé über Glimmerschiefer und Orthogneis, seltener über den Tonsteinen und Grauwacken von Katchamba, aber erneut im Bereich des Granodiorits nördlich von Dapaong. In den Bodenbildungen von Mango und Bomboouaka, also über Tonschiefern und Sandsteinen, wurden keine Grobmaterialbänder festgestellt. Entsprechend seiner Herkunft setzt sich das gefundene Stone-line-Material aus kantigem bis kantengerundetem Quarz unterschiedlicher Größe (1-5 cm) zusammen, der in einer grusig-sandigen Bodenmatrix völlig unsortiert meist direkt der Saprolithoberfläche aufliegt. An einem Straßenaufschluß zwischen Kara und Kabou konnte die Morphologie einer Stone-line über Orthogneis auf 60 m Länge verfolgt werden. Das im Mittel 30-40 cm mächtige Quarzband deutet eine schwach ondulierte, mit Quarzschnitt bedeckte fossile Oberfläche an. Die vertikale Lage des Stone-line schwankt um etwa einen Meter. Alle vier bis fünf Meter taucht das Quarzband muldenförmig ab und bildet eine kleine konkav eingesenkte Depression. Rechts und links dieser Einmuldung steigt das Quarzband wieder an und erreicht mit einer konvexen Aufwölbung stellenweise die rezente Oberfläche, wo die Stone-line durch selektive Feinmaterialausspülung zu einem bandförmigen Steinpflaster herausgearbeitet wird. Weitflächig wird die Stone-line von feinkörnigem Hillwash überdeckt, der bei dem geschilderten Beispiel zwischen 20-60 cm Mächtigkeit erreicht.

Ein allgemein zu beobachtendes Charakteristikum war, daß die Stone-line fast ausschließlich dem Ausgangsgestein oder dem Saprolith aufsitzt. Dies weist vermutlich auf ein Residualprodukt und eine weiträumig akkumulierte Schuttdecke hin, die während oder nach einer Phase starker Abtragung sedimentiert wurde. Semi-aride bis aride Klimaverhältnisse sind für die Bildung der Stone-lines in Togo anzunehmen. Die Gebiete Kabou und Défalé dürften sich zu jener Zeit als vegetationsarme, mit stark felsigen, teilweise blockig zerfallenen Inselbergen und Schichtkämmen, mit Schutt überdeckten Pedimentflächen bzw. weiten Abdachungen mit Steinpflastern präsentiert haben; ein Netzwerk kleiner Rinnen und Abflußbahnen durchzogen diese skelettreichen Abdachungen.

Bei den bodenkundlichen Geländestudien im Bereich der Kanté-Rumpffläche (Gebiet Dé-

falé) zeigte sich ein wachsender Skelettanteil der Böden in Form von Stone-lines mit größerer Annäherung an den Schichtkamm. Ferner sind zwischen den Schichtkamm-Graten, besonders westlich des Ortes Défalé (siehe Beilage 2) mehrere Meter mächtige Füllungen aus quarzitischem Bergsturz- und Hangschutt-Material zu erkennen, die rezent von rückwärts erodierenden, kasten- bis kerbförmig eingetieften Gerinnen wieder aufgeschlossen werden.

Beim Aufschluß Nr. 26 (s. Anhang) steht eine Stone-line an einem 10-12° geneigten Hang an. Die Physiognomie dieses ebenfalls aus Quarzen zusammengesetzten Bandes ist im Vergleich zu dem bei Kabou beschriebenen Beispiel kleinräumig stärker "reliefiert" und macht hinsichtlich des Verlaufs stellenweise den Eindruck einer "verwürgten" bis "gestauchten" Stone-line. Derartige Grobmaterialebänder erinnern an die von AHNERT (1983:76) an Inselberghängen im südlichen Hochland von Kenia beschriebenen Formen. Er interpretiert sie als das Resultat solifluidaler Massenbewegungen nach exzessiven Starkregenereignissen von über 100 mm Niederschlag. Es ist denkbar, daß sich in den togolesischen Studiengebieten episodisch ähnliche Prozesse zugetragen haben (vgl. 3. Niederschlagsregime und Erosivität).

Im Anschluß an die ausgedehnte Steinpflasterbildung erfolgte die Sedimentation eines feinkörnigen Decksediments, dem Hillwash, der maßgeblich noch die heutige Feingliederung der Interfluveflächen bestimmt. Die Hillwash-Bildung wird durch einen kombinierten Prozeß von Bioturbation und Denudation verursacht, der nach den Erkenntnissen aus Togo bis in die Gegenwart hinein aktiv ist. Grundvoraussetzung war nach der arideren Phase der Stone-line-Genese eine zunehmende Humidität des Klimas, die dazu führte, daß in großem Maße als zuvor feinkörniges Verwitterungsmaterial bereitgestellt wurde, das in Verbindung mit einem Jahreszeitenklima (Regen- und Trockenzeiten) und saisonal lichter Vegetationsbedeckung denudativ verspült werden konnte. Der zweite wichtige Faktor ist die zoogene Materialumlagerung durch Termiten, die eine texturelle Sortierung (d.h. Verarmung an Grobsand, Kies und Ton) im vertikalen Bodenaufbau verursacht. Nach Berechnungen von FÖLSTER (1983:20f.) können Hillwash-Mächtigkeiten von 30-80 cm innerhalb von 2000-4000 Jahren abgelagert werden. Gleichzeitig unterliegen die aufgebrachten Decksedimente einer kontinuierlich denudativen Verspülung innerhalb der Interfluvmorphologie.

Hillwash-Sedimente sind in den Studiengebieten Nord-Togos allgegenwärtig und besitzen Mächtigkeiten von 20-60 cm. In Niederungen und Bas-Fonds ist die Hillwash-Decke meist etwas tiefgründiger und stärker kolluvial akkumuliert. Die agrarische Landnutzung findet somit überwiegend in einem allochthonen, sekundär abgelagerten Sediment statt. Dabei ist das Hillwash-Material insgesamt wenig kohärent und läßt sich bereits bei geringen Hangneigungen von 1-2° mit schichtflutartigen Regenfällen gut verspülen.

14-C Datierungen an Holzkohleresten, die unter Hillwash-Sedimenten entnommen wurden, ergaben zum Teil rezente Alter, aber auch subrezente Alter von bis zu 5945 ± 100 y.B.P. (vgl. FAUST 1991). In Nigeria gelang FÖLSTER (1983:17) die zeitliche Einordnung von Hillwash-Lagen durch jungsteinzeitliche Artefakte, die ein Alter von etwa 2000 Jahren besaßen. Insgesamt scheint es, daß die Phase verstärkter Hillwash-Bildung eng mit der feuchteren neolithischen "Pluvialphase" zusammenhängt. Die jüngsten (rezenten) Holzkohledatierungen deuten aber auch an, daß das morphodynamische Prozeßgefüge während der vergangenen Jahrtausende mehr oder weniger kontinuierlich verlaufen sein muß. Für die landwirtschaftliche Nutzung dieser Böden bedeutet dies, daß sehr häufig ein erosionsanfälliges

und durch ständige Umlagerung auch bezüglich der Nährstoffe verarmtes Substrat vorliegt.

5.2 Bodenprofile

Sechs Kartenbeilagen im Anhang mit Profilbeschreibungen und bodenkundlichen Analysen von über 60 Aufschlüssen dokumentieren die geomorphologisch-bodenkundlichen Verhältnisse in den untersuchten Gebieten. Aus bodenkundlich-stratigraphischer Sicht lassen sich folgende Schlußfolgerungen über die Böden in Nord-Togo zusammenfassen:

Die Bodentypen variieren in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein, vom Saproolithisierungsgrad, von den hydrologischen Verhältnissen und den topographischen Gegebenheiten sehr stark. Gesteinsrohböden, Lithosole, Ranker, tropische Braunerden, ferruginisierte Böden und Relikte von Ferralliten sowie Kolluviole und zahlreiche hydromorphe Bodenbildungen liegen in den Arbeitsgebieten vor. Auffälligstes Merkmal ist dabei stets die offensichtliche Mehrschichtigkeit der Böden, die zu der Auffassung geführt hat, hier eher von Bodensedimenten als von Bodentypen zu sprechen.

Ferruginisierung und Hydromorphie sind die verbreitetsten und wichtigsten bodengenetischen Prozesse in Nord-Togo. Bei den krassen jahreszeitlichen Wechseln von Regen- und Trockenzeit, von Durchfeuchtung und Austrocknung, kommt es bei warmen Temperaturen zu einer hydrolytischen Zersetzung und Lösung des Ausgangsgesteins. Verbreitet ist das Anstehende durch ferrallitische Vor-Verwitterungsphasen stark saprolithisch überprägt. Potentiell im Ausgangsgestein verfügbare und für die Pflanzenernährung verwendbare Nährstoffe sind bereits mit den Sickerwasserströmen abgeführt worden. Die Intensität der Saproolithverwitterung scheint dabei in den südlichen Arbeitsgebieten (Kabou, Défalé, Katchamba) und über Metamorphiten insgesamt stärker ausgeprägt zu sein, als auf den weniger zersetzenen Sedimentgesteinen von Bombouaka und Dapaong. Für die Landnutzung, insbesondere für die Bodenfruchtbarkeit hat dies aber kaum Auswirkungen, da die überwiegend quarzhaltigen Gesteine bei Bombouaka und Dapaong ohnehin primär nicht sehr nährstoffreich sind.

In zahlreichen Böden führt Ferruginisierung zur Entbasung und späteren Kaolinitbildung sowie teilweise zur Desilifizierung und zur Anreicherung und Individualisierung der Sesquioxide im Boden. Bei den geochemisch analysierten togoischen Böden (z.B. Aufschluß Nr. 49, siehe Anhang) liegen die Kieselsäuregehalte zwischen 40-50 Gewichtsprozent; die Aluminium- und Eisengehalte schwanken zwischen 25 bzw. 11 Gewichtsprozent. Das $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis ist mit 2,0 bis 1,7 bodentaxonomisch im Übergangsbereich von *Sol Ferrugineux Tropicaux* und *Sol Ferrallitique* anzusiedeln (vgl. FÖLSTER 1971:15).

Neben dem dominant auftretenden austauscharmen Tonmineral Kaolinit, kommt Illit, Smectit und in geringer Menge auch Vermiculit vor. Im Studiengebiet Bombouaka übersteigt der Illit-Anteil den des Kaolinit. Daraus könnte sich in diesem einen Fall eine durch die Austauschkapazität der Tonminerale begründbare erhöhte "Bodenfruchtbarkeit" abzeichnen.

Die pH-Werte liegen in der Mehrzahl im mittel bis schwach sauren Bereich (5,0-6,5). Austauschkapazitäten, Nährstoffvorräte und Humusgehalte sind allgemein gering. Die Bodenfarben sind vielfältig; die "tropisch-roten" Böden sind dabei die Ausnahme. Braune, beige und grau-gelbe Farbtöne dominieren. Erst die Unterböden zeigen häufiger lebhafte und

kräftigere rote Farbtöne. Auch hier zeigt sich erneut die Zweiteilung der Böden in Hillwash-Decke und "vorverwitterten" Unterboden.

Bodengenetische Prozesse wie Lessivierung und Verbraunung spielen insgesamt gesehen eine untergeordnete Rolle, insbesondere bei den unterschiedlich mächtigen und weitverbreiteten schluffig-sandigen Hillwash-Decksedimenten. Als typische Profilabfolge kann eine pedogenetisch differenzierte Hillwash-Auflage (verbraunt und gering lessiviert) über einer älteren (vorzeitlichen), rostbraunen bis rotfarbenen ferrallitischen Bodenbildung unterschieden werden.

Über 50 % der untersuchten Böden sind tendenziell flachgründig bis gering mächtig (max. 1-1,5 m) und gehen entlang einer Basissteinlage oder völlig ohne scharfe Begrenzung in saprolithisch-toniges Ausgangsgestein über.

Das Bodengefüge in Oberflächennähe erweist sich aufgrund des geringen Tongehaltes, verursacht u.a. durch Abspülung und Auswaschung sowie durch Bioturbation, als wenig stabil gegenüber morphodynamischen Prozessen, vor allem gegenüber fluvial-denudativen Prozessen. Die Bodenoberfläche neigt zur Verschlammung und Versiegelung. Die Anreicherung von Bodenskelett (Quarz- und Pisolithpflaster) auf der Bodenoberfläche durch selektive denudative Prozesse (Ausspülung) ist ein verbreitetes Indiz hierfür.

Die Böden zwischen Kabou und Dapaong stellen mit wenigen Ausnahmen keine autochthonen ungestörten Profilentwicklungen dar. Durch ein jahreszeitlich wechselndes morphodynamisches Prozeßgefüge zeigt ein Großteil der Böden starke Diskontinuitäten im vertikalen Profilaufbau, was zweifelsfrei auf eine polyzyklische und mehrphasige Landschafts-Pedogenese infolge von Vegetations- und Klimaveränderungen in der Vergangenheit hindeutet. Gekappte, erodierte und kolluvial erhöhte Profile prägen in Abhängigkeit von der topographischen Position das Gesamtbild.

6. Landnutzung und Morphodynamik (Erosionsprozesse)

Den geschilderten Fruchtfolgen entsprechend werden in den Arbeitsgebieten überwiegend Sorghum, Hirse und Yam angebaut. Dies bestätigt die offizielle Agrarstatistik der Region des Savanes und der Region de la Kara (République Togolaise 1985b:79, 1986a:89) (Tab. 3). Die Getreidearten Sorghum und Hirse sind die vorherrschenden Kulturrarten des Nordens, repräsentiert durch die Studiengebiete Dapaong und Bombouaka. Im Süden (Studiengebiete Kabou und Katchamba) nehmen die Knollenfrüchte eine dominante Stellung ein.

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen (s. Beilagen 1-6) sind in Abhängigkeit von der jeweiligen Entwicklung der Kulturpflanzen mehr oder weniger stark erosionsgefährdet. Insbesondere die Entwicklung des Deckungsgrades (Abb. 6), die Bodenart und die ergriffenen Kulturmaßnahmen beeinflussen die Wirksamkeit der Bodenerosionsprozesse. Der gegenwärtig effektivste morphodynamische Prozeß ist unter dem Einfluß des wechselfeuchten Klimas mit saisonal aufgelichteter Vegetation die flächenhafte Abspülung. In allen Untersuchungsgebieten konnten die Prozesse der Spülendetonation während Starkregen beobachtet werden. Auch bei nur gering mächtigen Verwitterungsdecken und flachgründigen Hillwash-Decken bei schwach geneigten Hängen ($1-2^\circ$) laufen diese Verlagerungsprozesse intensiv ab.

Kulturpflanzen	Région de la Kara	Région des Savanes
Sorghum /Hirschen	37,3	70,3
Yam	21,5	2,3
Mais	7,5	2,8
Erdnuß	7	6
Fonio	6,5	0
Bohnen/Gemüse	5,7	11,9
Maniok	3,5	0,2
Reis	1,8	1,7
Sonstige	7,8	4,8

Tab. 3: Anteil wichtiger Kulturpflanzen in % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Nord-Togo
(Quelle: République Togolaise 1985, 1986).

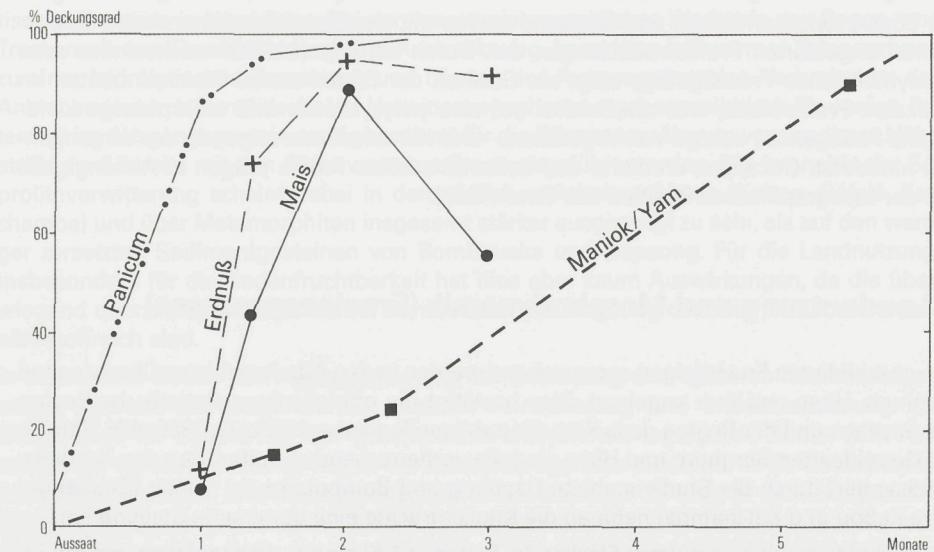


Abb. 6: Deckungsgrade von Kulturpflanzen zu verschiedenen Zeiten nach der Aussaat (nach ROOSE 1981:159, verändert).

Empirische Bodenabtragsmessungen von ROOSE (1981:159f.) und von LEWIS (1985:281) unter ebenfalls wechselfeuchten Klimabedingungen in der Elfenbeinküste ergaben gegenüber den "natürlichen" Voraussetzungen (d.h. Savannenvegetation) eine erhöhte Erosionsgefährdung für die Kulturarten Yam, Mais, Maniok, Erdnuß, Hirse und Bohnen. Nach der Aussaat bleibt der mit der Hacke bearbeitete und dadurch stark veränderte Boden noch

mehrere Wochen vegetationsfrei oder nur gering mit Pflanzen bedeckt. Die ersten Niederschläge der neuen Regenzeit treffen mit großer Energie auf eine nur wenig geschützte Bodenoberfläche. Die Entwicklung der Vegetationsbedeckung von verschiedenen Kulturpflanzen in der mit Togo naturräumlich vergleichbaren Elfenbeinküste (ROOSE 1981:159) zeigt deutliche Unterschiede zwischen den nach bestimmter Zeit erreichten Deckungsgraden für Maniok/Yam und für Mais/Erdnuß (Abb. 6). Um 90 % des Bodens zu bedecken und damit vor Erosion zu schützen, benötigt das Guinea-Gras (*Panicum maximum*) etwa einen Monat. Maniok erreicht nach der gleichen Zeit nur eine Bodenbedeckung von 10 % (ROOSE 1981). Die Analysen zum Niederschlagsregime und zur Erosivität der Regenfälle (vgl. Kap. 3) verdeutlichen, daß gerade in den Zeiträumen vor und nach der Feldbestellung (April-Juni) Starkregenereignisse auftreten, die, morphodynamisch betrachtet, eine erosive Abspülung der durch Kulturmaßnahmen stark veränderten Bodendecke auslösen. Buschfeuer auf Feldflächen und offene Savannenbrände tragen zusätzlich zu einer gravierenden Steigerung des spüldenudativen Bodenabtrags bei. Messungen an Versuchsparzellen in Burkina Faso (Gonse) und aus der Elfenbeinküste (Korhogo) dokumentieren einen sprunghaft ansteigenden Bodenverlust von 50 kg/ha auf 150-200 kg/ha und Jahr in Abhängigkeit von Buschfeuern (AVENARD & MICHEL 1985:82). Auf Satellitenaufnahmen aus der Trockenzeit läßt sich erkennen, daß ausgedehnte Bereiche der landwirtschaftlich genutzten und ebenso der nicht genutzten Flächen durch Buschfeuer geschädigt werden. Bläulich-violette bis schwarze, aschefarbene Remissionen in den Spektralkanälen (Landsat-MSS 4,5,7) lassen nach Kenntnis der terrestrischen Verhältnisse diesen Schluß zu.

Die vorherrschende Spüldenudation läuft auf den vom Menschen veränderten Oberflächen, den Feldflächen, in einer über das "natürliche Maß" hinausgehenden Art und Weise ab. Neben den dominanten spüldenudativen Prozessen existieren fluviale Abtragungsprozesse, die sich durch die Ausbildung von Rillen und Runsen, im exzessivsten Fall als Gully-Systeme, innerhalb der Interfluvmorphologie als landschaftsdegradierendes Element deutlich werden.

Abb. 7 zeigt den Versuch, die vorherrschenden rezenten morphodynamischen Prozeßbereiche in einem Beispielgebiet (Kabou) kartographisch wiederzugeben. Dabei wurden drei Prozeßklassen unterschieden: die Formung durch Hangrunsen, die allgemeine (natürliche) Spüldenudation und die verstärkte Spüldenudation. Die flachwelligen, nur schwach geneigten Rumpfplächenbereiche werden dabei einer natürlichen, allgemeinen Spüldenudation mittels Grauraster zugeordnet. Auf petrographisch härteren Gesteinen, wie den quarzitischen Inselbergen mit großen Hangneigungen, tritt die sonst im Gebiet dominante Spüldenudation aufgrund der höheren Abflußgeschwindigkeiten zu Gunsten einer an Runsen und Rinnen gebundenen linearen Hangformung zurück. Deshalb erscheinen in Abb. 7 die Inselberge und die Schichtrippenstrukturen in der Landschaft ohne einen Rasterton in weiß. Schließlich wurde das denudationsfördernde Gefügemuster der agrarischen Nutzflächen nach den geschilderten anthropogenen Modifikationen als Bereich einer über das natürliche Maß hinaus verstärkten Spüldenudation durch eine dunkle Rasterstufe ausgewiesen.

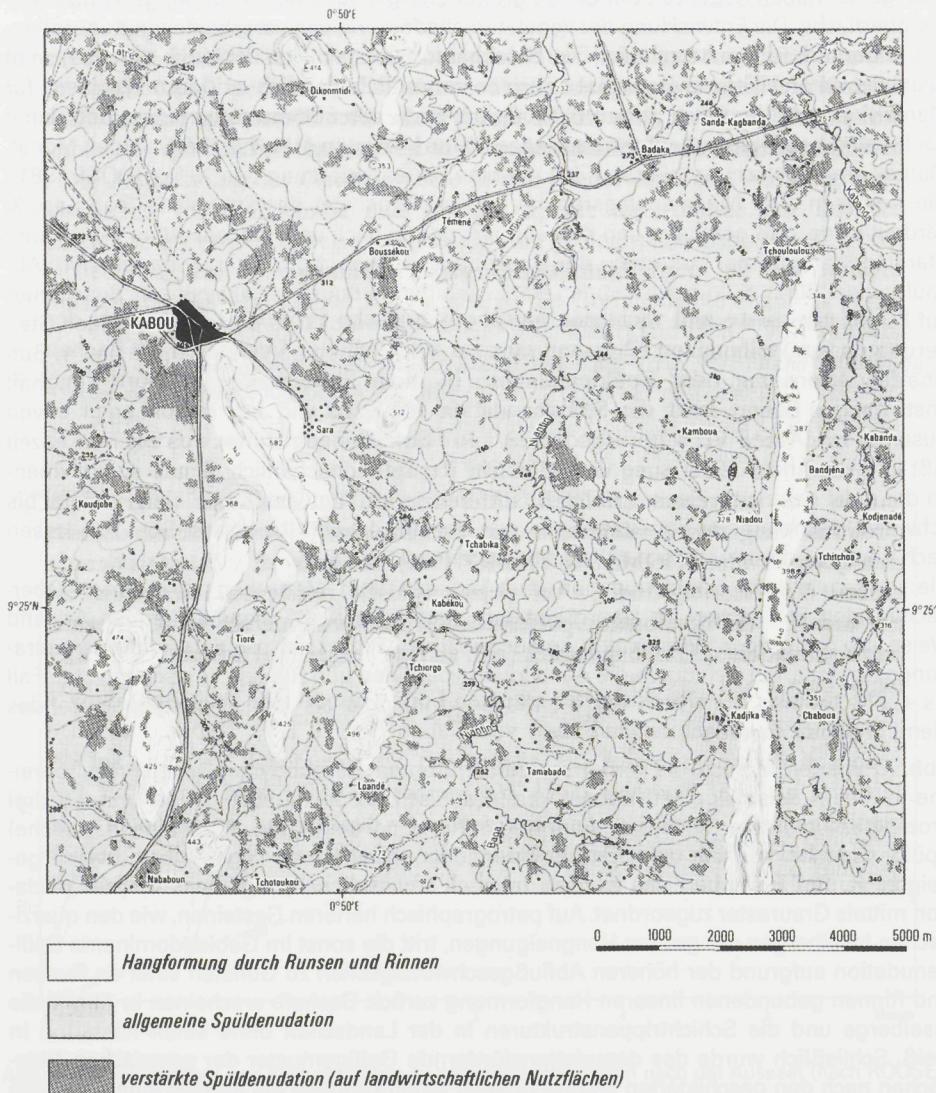


Abb. 7: Vorherrschende rezente Prozeßbereiche am Beispiel der Inselberglandschaft von Kabou (vgl. Beilage 1).

7. Zusammenfassung und Ausblick

Im klimatischen Übergangsbereich der Guinea-Sudan Zone in Westafrika (wechselfeuchtes Klima mit 1400-1000 mm Jahresniederschlag) wurden zwischen 1987-1989 in Nord-Togo (9°-11°N) großmaßstäbige geo- und agrarwissenschaftliche Untersuchungen und Kartierungen von sechs 15x15 km großen Studiengebieten durchgeführt. Neben der geologischen und geomorphologischen Analyse und Charakterisierung der differenzierten Landschaften Nord-Togos stand die Beobachtung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Geofaktoren und ihren Auswirkungen auf die Landnutzung und das Geopotential an den jeweiligen Standorten im Vordergrund. Mit Hilfe neuer thematischer Karten (*Agrarmorphopedologische Karten*, RUNGE 1991a) erfolgte eine synoptische Darstellung der Einzelbefunde, die es ermöglichte, prozessuale Zusammenhänge im geoökologischen Gefüge zu erfassen und zu bewerten.

Unter dem heutigen wechselfeuchten Klima mit saisonal aufgelichteter Vegetation ist flächenhafte Spülenuadation im Interfluverelief der effektivste morphodynamische Prozeß. Im Gegensatz zu klassischen geomorphologischen Konzepten, die eine der Flächererosion vorausgehende, tiefgründige Latosolverwitterung annehmen, zeigte sich in allen Studiengebieten, daß Spülenuadation ohne vorherige Tiefenverwitterung auch bei gering mächtigen, saprolithisch überprägten Boden-/Sedimentbildungen, und bei den verbreiteten Hillwash-Decken intensiv und nachhaltig abläuft. Die kleinbäuerliche landwirtschaftliche Nutzung unter Einsatz der Hacke (Aufhäufen von Erdhügeln für Yam- und Maniok-Kulturen) verringert die wenig ausgeprägte Gefügestabilität der Hillwash-Sedimente; zu Beginn der Regenzeit zwischen März und Mai sind die vom Menschen überprägten Decksedimente besonders durch spülenuadativen Abtrag gefährdet (morphodynamische Aggressivität, RUNGE 1990).

Auf petrographisch harten Gesteinen, wie Quarziten an Inselbergen und Schichtkämmen, tritt die allgemeine Spülenuadation zu Gunsten einer an Runsen und Rinnen gebundenen Formung zurück. Die topographisch exponierte Lage solcher Standorte (> 15° Neigung) und der Mangel an Feinboden schließt eine landwirtschaftliche Nutzung durch die meisten Ethnien aus (Ausnahme: Kabyè, Steinbauern, FROEBENIUS 1913).

Der Grund für eine verstärkte Disposition der Böden und Sedimente gegenüber fluvialer Erosion ist neben dem allgemeinen wechselfeuchten Klimaregime in Westafrika der uneinheitliche, von Diskontinuitäten unterbrochene Profilaufbau (Stone-lines, Krusten, Decksedimente) der Böden, der seine Ursache in der quartären Klimageschichte hat (Wechsel von geomorphologisch stabilen Bodenbildungsphasen und instabilen Abtragungs- und Erosionsphasen, vgl. FÖLSTER 1983, RUNGE 1990). Detaillierte Kenntnisse über das jüngere erdgeschichtliche Klima und die daran gebundenen morphodynamischen Prozeßkombinationen sind zur Erfassung und Bewertung des Geopotentials einer Landschaft somit ebenso wichtig, wie die Durchführung bodenkundlicher Analysen und die Berücksichtigung aktueller Agrarstatistiken. Erst die Integration und Bewertung sämtlicher Erkenntnisse erlaubt Konzeptionen für eine sinnvolle und zukunftsweisende Regionalplanung im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit in Afrika.

Literaturverzeichnis

- AHNERT, F. (1983): Einige Beobachtungen über Steinlagen (Stone-lines) im südlichen Hochland von Kenia. in: Z.Geomorph.N.F. Suppl.-Bd. 48, S. 65-77.
- AFFATON, P. (1975): Etude géologique et structurale du Nord-Ouest Dahomey, du Nord-Togo et du Sud-Est de la Haute-Volta. in: Travaux des Lab. Sci. de la Terre, St. Jérôme, 10, S. 1-201.
- Atlas Du Togo (1981): Togo. in: Les éditions jeune afrique, Paris, S. 1-64.
- AUBRÉVILLE, A. (1949): Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale. in: Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, S. 1-351.
- AVENARD, J.-M. & MICHEL, P. (1985): Aspects of present-day processes in the seasonally wet tropics of West-Africa. in: Douglas, I. & Spencer, T.: Environmental Change and Tropical Geomorphology, London, S. 75-92.
- BIBUS, E. (1983): Die klimamorphologische Bedeutung von Stone-Lines und Decksedimenten in mehrgliedrigen Bodenprofilen Brasiliens. in: Z.Geomorph.N.F., Suppl.-Bd. 48, S. 79-98.
- BREMER, H. (1971): Flüsse, Flächen- und Stufenbildung in den feuchten Tropen. in: Würzburger Geographische Arbeiten, 35, S. 1-194.
- CORNEVIN, R. (1959): Histoire du Togo. Paris, S. 1-427.
- FAURE, P. (1985): Les sols de la Kara, Nord-Est Togo. Relations avec l'environnement. - Carte Pédologique à 1:50000. in: Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M. 183: 1-281.
- FAUST, D. (1991): Die Böden der Monts Kabyè (N-Togo). Eigenschaften, Genese und Aspekte ihrer agrarischen Nutzung. in: Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D, Physische Geographie, 13, S. 1-174.
- FÖLSTER, H. (1969): Slope development in SW-Nigeria during late Pleistocene and Holocene. in: Gießener Geographische Schriften, 20, S. 3-56.
- FÖLSTER, H. (1971): Ferrallitische Böden aus sauren metamorphen Gesteinen in den Feuchten Tropen Afrikas. in: Göttinger Bodenkundliche Berichte, 20, S. 1-231.
- FÖLSTER, H. (1983): Bodenkunde Westafrika-Afrika Kartenwerk. in: Afrika Kartenwerk Beif. W 4, S. 1-101.
- FROBENIUS, L. (1913): Und Afrika sprach. Volkstümliche Ausgabe: Unter den unsträßlichen Aethiopien. Berlin, S. 348-414.
- FROELICH, J.-C. (1954): Les Konkomba du Nord-Togo. in: Bull.IFAN, Juillet-Octobre, Dakar, S. 409-457.
- FROELICH, J.-C., P. ALEXANDRE, R. CORNEVIN (1963): Les populations du Nord-Togo. in: Monographies ethnologiques africaines, Paris, S. 1-200.
- HETZEL, W. (1964): Est-Mono: Die Kabyè und ihr neues Siedlungsgebiet in Mitteltogo. in: Würzburger Geographische Arbeiten, 12, S. 45-80.
- LE COQ, A. (1986): Les sols et leurs capacités agronomiques, Région de Bassar, Centre Ouest-Togo. Cartes 1:100 000. in: O.R.S.T.O.M.- Notice explicative, 102. S. 1-103.

- LÉVEQUE, A. (1969): Le problème des sols à nappes de gravats - Socle granito-gneissique au Togo. in: Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., VII, 1. S. 44-69.
- LEWIS, L.A. (1985): Assessing soil loss in Kiambu and Muranga districts, Kenya. in: Geografiska Annaler, 3-4, S. 273-284.
- MICHEL, P. (1973): Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie: Etude Géomorphologique. in: Mém. O.R.S.T.O.M. 63., S. 1-752.
- République Togolaise (1984): Note explicative de la carte géologique à 1/200000, Feuille Kara, 1ere édition. in: Mémoire de la D.G.M.G et du B.N.R.M., 1, S. 1-36.
- République Togolaise (1985a): Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000, Feuille Dapaong. in: Mémoire de la D.G.M.G. et du B.N.R.M., 2, S. 1-42.
- République Togolaise (1985b): Analyses Régionales - Région des Savanes. in: Ministere du Plan et de l'Industrie: Direction Régional du Plan et du Développement, Lomé-Dapaong. S. 1-213.
- République Togolaise (1986a): Schema Directeur - Région de la Kara. in: Ministere du Plan et de l'Industrie: Direction Régionale du Plan et du Développement, Lomé-Kara. S. 1-161.
- République Togolaise (1986b): Analyse Régionale - Région de la Kara. in: Ministere du Plan et de l'Industrie: Direction Régionale du Plan et du Développement, Lomé-Kara. S. 1-189.
- République Togolaise (1986c): Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000, Feuille Sokodé. in: Mémoire de la D.G.M.G. et du B.N.R.M., 3, S. 1-42.
- République Togolaise (1986d): Notice explicative de la carte géologique à 1/200000, Feuille Atakpamé. in: Mémoire de la D.G.M.G. et du B.N.R.M., 4, S. 1-57.
- République Togolaise (1986e): Notice explicative de la carte géologique à 1/200000, Feuille Lomé. in: Mémoire de la D.G.M.G. et du B.N.R.M., 5, S. 1-64.
- RIQUIER, J. (1969): Contribution à l'étude des "stone-lines" en régions tropicales et équatoriales. in: Cah. O.R.S.T.O.M., sér.Pédol., VII, 1, S. 72-110.
- ROHDENBURG, H. (1969): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika. in: Gießener Geogr. Schriften, 20, S. 57-152.
- ROOSE, E. (1977): Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest - Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. in: Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M., 78, S. 1-108.
- ROOSE, E. (1981): Dynamique actuelle des sols ferrallitiques en Afrique de l'ouest. in: Trav. et Doc. de l'O.R.S.T.O.M., 130, S. 159f.
- RUNGE, J. (1990): Morphogenese und Morphodynamik in Nord-Togo unter dem Einfluß spätquartären Klimawandels. in: Göttinger Geographische Abhandlungen 90, S. 1-115.
- RUNGE, J. (1991a): Agrar-Morphopedologische Karten - Hilfsmittel bei der Arealanalyse in den wechselfeuchten Tropen Westafrikas: Beispiele aus Togo. in: Z. Geomorph., N.F., Suppl.-Bd. 89, S. 97-110.

- RUNGE, J. (1991b): Geomorphological depressions (Bas-fonds) and present-day erosion processes on the planation surface of central Togo, Westafrica. in: Erdkunde 45, S. 52-65.
- RUNGE, J. (i.V. 1997): Altersstellung und paläoklimatische Interpretation von Decksedimenten, Steinlagen (stone-lines) und Verwitterungsbildungen in Ostzaire (Zentralafrika). in: Geoökodynamik, Darmstadt.
- SEGALEN, P. (1969): Le remaniement des sols et la mise en place de la stone-line en Afrique. in: Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., VII, 1, S. 113-127.
- SEUFFERT, O. (1981): Geomorphodynamik und Niederschlagsstruktur. in: Würzburger Geographische Arbeiten, 53, S. 217-243.
- THOMAS, M.F. (1974): Tropical Geomorphology - a study of weathering and landform development in warm climates. New York, Toronto, S. 1-332.
- VIELLEFON, P.; COFFI, O. & R. SANTANNA (1965): Etudes pédo-hydrologiques au Togo, Vol. II: Les sols de la Région Maritime et de la Région des Savanes. - PNUD-FAO-ORSTOM 2, Paris, Rome, S. 1-248.
- WEISCHET, W. (1979): Einführung in die Allgemeine Klimatologie. in: Teubner-Studienbücher, 2. Auflage, Stuttgart, S. 1-256.
- WIRTHMANN, A. (1987): Geomorphologie der Tropen. in: Erträge der Forschung, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt, 248, S. 1-222.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1958): Evaluation of factors in the soil-loss equation. in: Agricultural Engineering, 39, S. 458-462.

Danksagung

Die Untersuchungen in Nord-Togo und in Westafrika wurden im Rahmen von zwei Auslandsstipendien des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD), Bonn, 1987 (8 Monate) und 1988/89 (3 Monate) und durch ein Promotionsstipendium nach dem Graduiertenförderungsgesetz des Landes Niedersachsen von 1987-1989 gefördert. Der Druck der Kartenbeilagen erfolgte freundlicherweise durch R. Stolper, Geographisches Institut, Universität Gießen.

ANHANG

	Seite
a) Fotos	120
b) Profilbeschreibungen und Analysen	122
c) 6 Kartenbeilagen in Tasche	



Foto 1: Einzelnes Kabyè-Gehöft in der Nähe des Dorfes Défalé inmitten des Atacora-Schichtkammes (Januar 1987).



Foto 2: Losso-Gehöft mit typischen Tontöpfen auf den Strohdächern und Vorratsspeicher im dichten besiedelten (> 100 Einw./km 2) Rumpfflächengebiet von Niamtougou (März 1987).

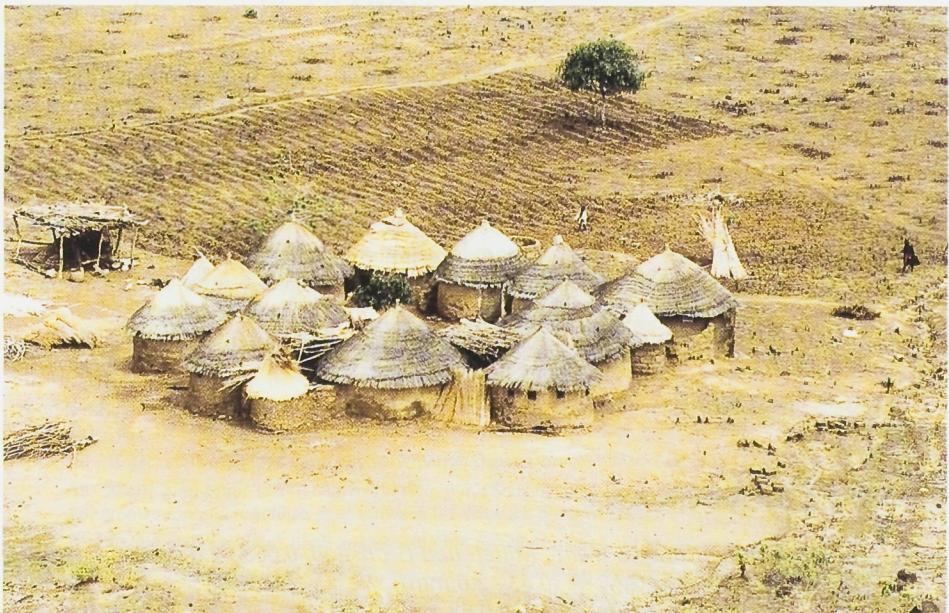


Foto 3: Großes Moba-Gehöft im dichtbesiedelten (> 150 Einw./km 2) Schichtstufenland von Bombouaka; vgl. auch Foto auf Umschlagseite (Juni 1987).

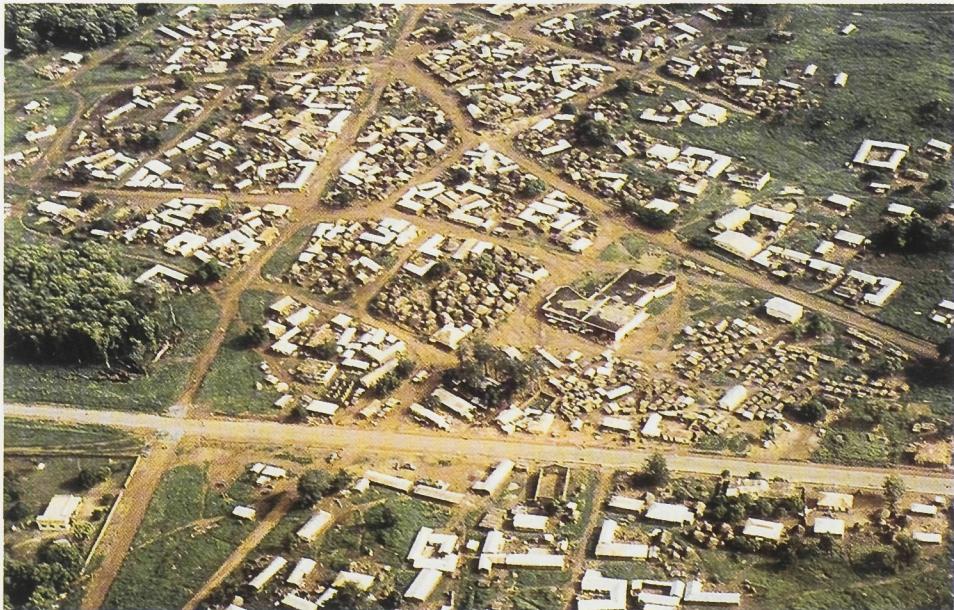


Foto 4: Luftaufnahme von Kabou. Deutlich ist die Konzentration von traditionellen, z.T. mit modernen Wellblechhäusern ergänzten Rundlingen verschiedener Ethnien um das Zentrum (Markt, Taxistation) zu erkennen (Mai 1987).

b) Profilbeschreibungen und Analysen

Bodenprofile und Analysen aus den Studiengebieten in Nord-Togo (Beilagen 1-6). Die Nummern der Aufschlüsse/Bohrungen beziehen sich auf die Aufschlußsignaturen in den Kartenbeilagen.

Muster

Tiefe cm	Textur					SK %	OS %	pH
	50							
10	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Sk OS pH

Erläuterung der Abkürzungen:

S = Sand in Gew.-% (Fein-, Mittel- und Grobsand, 0,063 - 2,0 mm)

gS = Grobsand in Gew.-% (0,63 - 2,0 mm)

mS = Mittelsand in Gew.-% (0,2 - 0,63 mm)

fS = Feinsand in Gew.-% (0,063 - 0,2 mm)

U = Schluff in Gew.-% (Fein-, Mittel- und Grobschluff, 0,002 - 0,063 mm)

gU = Grobschluff in Gew.-% (0,02 - 0,063 mm)

mU = Mittelschluff in Gew.-% (0,0063 - 0,02 mm)

fU = Feinschluff in Gew.-% (0,002 - 0,0063 mm)

T = Ton in Gew.-% (< 0,002 mm)

Sk = Bodenskelett in Gew.-% (> 2,0 mm)

OS = organische Substanz in Gew.-% (Glühverlust)

pH = Bodenreaktion, gemessen mit Glaselektrode in H_2O

AK = Kationenaustauschkapazität (mval/100 g)

Ir = Infiltrationsrate (Wassersäule über Feinboden in cm/Stunde)

(Anmerkung: in den zitierten franz. Arbeiten wird die Sandfraktion für 0,05-2,0 mm Äquivalentdurchmesser angegeben!)

Untersuchungsgebiet KABOU

(vgl. Kapitel 4.1, Beilage 1)

Aufschluß / Bohrung Nr. 1

Standort: Profilwand in dem 3-4 m kastenförmig eingeschnittenen Flußbett des Niantin bei Kabou (wichtigste Vorflut). Mit 237 m ü.d.M. liegt hier der tiefste Punkt innerhalb des flachwelligen Interfluverleifs zwischen den Quarztrippen im Osten und den Inselbergketten bei Kabou im Westen. Schwarz verwitterte Glimmerschiefer der Kanté-Serie beißen stellenweise im Flußbett aus. Vegetation ist eine dichte Baum- bis Buschsavanne.

Aufschlußbeschreibung:

0-10 cm: beige, grau-braun (7,5 YR 6/8 - 5/8), stark steinig, Quarz und mürbe Schieferbruchstücke (<1-2 cm), lehmiger Sand, locker gelagert, Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt.

10 - 15 cm: stark steiniges Band aus verwitterten Schieferbruchstücken (< 2 cm).

15 - 25 cm: grau-braun (7,5YR 6/8), mittel steinig mit Schieferbruchstücken, lehmiger Sand, schwach kohärentes Einzelkorngefüge, sehr schwach bis schwach durchwurzelt.

25 - 40 cm: stark steiniges Band aus verwitterten Schieferbruchstücken.

40 - 80 cm: grau-braun, weiß (5YR 7/6), stellenweise rostfarben marmoriert, mittel bis schwach steinig (Quarze < 2 cm); schluffig-toniger Sand, locker gelagert ohne deutliche Gefügeausbildung, nicht durchwurzelt.

80 - 140 cm: gleichmäßig rostbraun, braun-rot ohne Flecken (5YR 5/8), gering bis schwach steinig; schluffiger bis toniger Lehm, etwas kohärent, dichter gelagert, keine deutliche Struktur herausgebildet.

140 - 210 cm: feucht, braun (7,5YR 4/4), mittel- bis grobsandig mit eingeschlossenen Holz- und Wurzelresten, Einzelkorngefüge mit dichter Lagerung.

210 - 350 cm: trocken, beige-braun (5YR 4/6), schluffig-toniger Lehm, an der Aufschlußwand stark verschlämmt und verhärtet, kohärent, (Wasserstauer).

350 - 370 cm: Quarzschorterlage (Basis-Stone-Line) über dem unverwitterten Ausgangsgestein (Quarze < 5 cm, kantengerundet, matt).

Bewertung: Das Profil zeigt mehrere Diskontinuitäten in Form von Grobmateriallagen im Oberboden sowie Textursprünge von sandig zu lehmig und umgekehrt. Dieser Aufbau und vereinzelte organische Funde (Wurzeln, Holz) deuten auf einen kleinräumigen, aueartigen Akkumulationsbereich hin, der rezent durch das kastenförmige Bett des Niantin (Vorflut) bis auf das Anstehende aufgeschlossen ist.

Aufschluß / Bohrung Nr. 2

Standort: Profil am oberen Abschnitt eines langgestreckten, leicht konkav geformten Interfluvehanges mit 2°-3° Neigung über stark verwitterten, quarzführenden Serizitschiefern der Kanté-Serie.

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: grau-beige (10YR 5/2), schwach steinig, schwach toniger Sand, humos, feines Polyedergefüge bis Einzelkorngefüge.

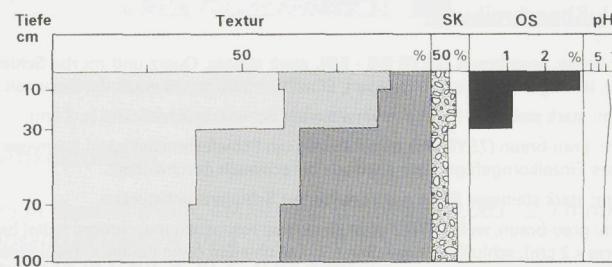
10 - 30 cm: hell-beige bis hell-braungelblich (10 YR 5/3 - 5/4; 10 YR 6/6), stark steinig, zahlreiche Quarze, vereinzelt Fe/Mn-Konkretionen (schwarz), toniger Sand, stellenweise als bröckeliges, instabiles Polyedergefuge abgesondert.

30 - 70 cm: hell-beige bis braun-gelb (10YR 7/3 - 8/4; 10YR 6/5), teilweise auch braun-rot bis rötlich-braun gefleckt; stark steinig, Quarze und Gesteinstrümmer (>5 cm); toniger Lehm, festes polyederisches Gefüge, gering porös.

70 - 100 cm: deutlich heller als der darüberliegende Horizont, weiß bis braun-gelblich (10 YR 7-8/3; 10 YR 6/5); mittel bis stark steinig, Quarze und Gesteinsdetritus, toniger Lehm, feines Polyedergefüge.

> 100 cm: lebhaft bunt gefleckt, braun-rot, rot-violett, braun-gelb, weiß und grau; diffuser, undeutlicher Übergang in saprolithischen Quarz-Serizitschiefer, tonig mit hydromorphen Merkmalen.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. LE COQ 1986:43-44)

Bewertung: Der hohe oberflächennahe Skelettanteil schränkt die günstigen bodenmechanischen Eigenschaften der obersten Bodenhorizonte, bei einem mittleren Humusgehalt und schwach saurem pH-Wert ein. Mit dem zu größerer Tiefe sprunghaft anwachsenden Tongehalt reduziert sich deutlich die Infiltrationskapazität, was nach Wassersättigung zu exzessivem lateralen und oberflächigen Abfluß führt. Die AK liegt im Bereich des Oberbodens bei 3-6 mval/100 g und steigt in Abhängigkeit vom Tongehalt zwischen 70-100 cm auf 13 mval/100 g Feinboden an.

Aufschluß / Bohrung Nr. 3

Standort: Flachgründiger Rohboden auf Lateritkruste (Tafelberg) über Serizit-Glimmerschiefern der Kanté-Serie. Die Oberfläche des Tafelbergs dacht nach Osten zum Niantin leicht ab (<1°). Dichte, buschartige Feuchtsavanne, oft mit markanten vegetationsfreien Arealen im Zentrum der Tafelbergoberfläche.

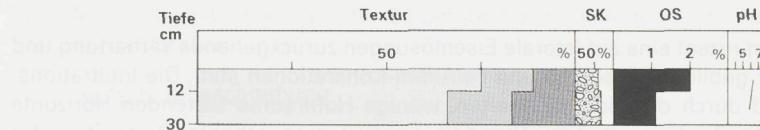
Aufschlußbeschreibung

0 - 12 cm: feucht, dunkel grau-beige (10YR 3/2), stark steinig, zahlreiche Fe-Konkretionen und Quarze, sandig, Einzelkorngefuge bis feines Polyedergefuge, sehr porös und durchlässig; stark durchwurzelt (Wurzelfilz einer dichten Grasdecke).

12 - 30 cm: feucht, beige (10 YR 6/3), stark steinig, Pisolithe, Konkretionen und Quarze, Gesteinstrümmer und Bruchstücke der unterlagernden Kruste; sandig bis lehmig-sandig, Einzelkorngefuge, mittel durchwurzelt.

> 30 cm: Lateritkruste, braun-rot bis violett, hell-braun, gelblich braun mit schwarzen Flecken, fein verteilte Sandsteinrelikte sind innerhalb der Krustenmatrix zu erkennen, insgesamt wenige Hohlräume.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. LE COCQ 1986:32)

Aufschluß / Bohrung Nr.4

Standort: Latosolprofil (ca. 5 m mächtig) mit oberflächlich anstehender Lateritkruste an einem Straßenanschnitt in ca. 312 m ü.M., 1,5 km östlich des Ortes Kabou. Die 1-2 m mächtige, zellige Eisenkruste wird von einer rötlich weißen Fleckenzone unterlagert, die im Liegenden in saprolithischen Grauwackenzersatz übergeht.

Analyse-Ergebnisse

(Geochemischer Gesamtaufschluß in Gew.-%)

Gestein	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Glühv	Summe
Lateritkruste	47,16	0,62	10,62	30,84	0,54	0,16	0,06	0,00	0,59	0,13	8,66	99,40
Grauwacke	79,39	0,50	8,63	3,60	0,10	0,77	0,70	2,02	1,80	0,10	2,10	99,71

Bewertung: Die durch die Lateritkruste panzerartig versiegelte Oberfläche ohne Feinboden lässt außer extensiver Beweidung durch Rinder und Ziegen der Peulh keine landwirtschaftliche Nutzung zu. Die geringe Infiltration dieser Oberflächen führt zu starkem denudativen Oberflächenabfluß. Eine Lateritstufe mit einem sich anschließenden Hangpediment (3-4°) bildet nach Westen den Übergang zur Vorflut.

Aufschluß / Bohrung Nr. 5

Standort: Bodenprofil an gestreckt-konkaven, nach Osten geneigtem (1°-2°) Hang zwischen dem großen Inselberg bei Kabou, kurz vor einer ausgedehnten Niederung, die heute einen kleinen Stausee zur Wasserversorgung für den Ort Kabou bildet.

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: grau-braun, schwach steinig, kleine Quarze und Fe-Konkretionen (< 1 cm); schluffiger sandiger, lockerer Oberboden, schwach humos, mittel durchwurzelt, Grasbewuchs.

10 - 30 cm: beige, rot-braun, sehr stark steinig, miteinander verbackene, konzentrische bis ovale, eisenhaltige Konkretionen (1-2 cm), außen gelblich, innen rostfarben bis schwarz, wenig Feinboden, schluffiger Lehm, geringe Porosität, nicht durchwurzelt.

30 - 50 cm: gelb-rot gefleckt bis marmoriert, stark steinig, kleinerer kantiger Quarz- und Quarzitdetritus, rostig angewittert; wenig, meist lehmiger Feinboden, dicht gelagert, keine entwickelte Gefügestruktur, nicht durchwurzelt.

50 - 100 cm: beige-braun, stellenweise weißlich-gelb, sehr geringer Skelettanteil gegenüber den darüber liegenden Horizonten; stark toniger, verhärteter Feinboden, häufig fleckig weiß gefärbt (Kaolinit), geringe Wasserdurchlässigkeit, keine Wurzeln.

>150 cm: Übergang ins Anstehende, dünn gebankte bis geschieferete, stark saprolithische Glimmerschiefer und grauwackenartige Gesteine.

Offensichtlich findet rezent eine auf laterale Eisenlösungen zurückgehende Verhärtung und Verkrustung früher gebildeter Pisolithen und Fe/Al/Mn-Konkretionen statt. Die Infiltrationsmöglichkeiten sind durch die dicht gelagerten, wenige Hohlräume bietenden Horizonte stark eingeschränkt. Auch an diesem Standort existiert eine erhöhte Disposition für denudativ-erosive Prozesse.

Aufschluß / Bohrung Nr. 6

Standort: Aufschluß am Südrand des Ortes Sara, unterhalb des Inselberges von Kabou in Hillwash-Decke (> 1m), der durch eine Hangrunse freigelegt wurde.

Aufschlußbeschreibung

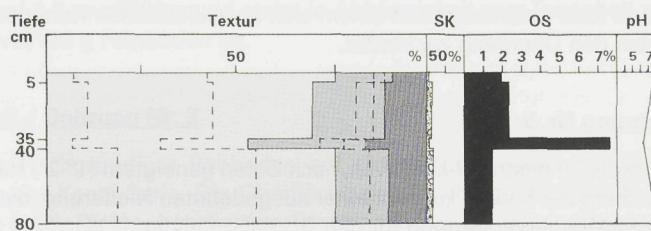
0 - 5 cm: trocken, grau-braun (5 YR 3/4), Fein- bis Mittelsand, Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt, zeitweise als Feldfläche genutzt, heute brachliegend.

5 - 35 cm: feucht, dunkel-braun (5YR 3/2), mittel steinig, Quarz (< 1 cm), sandiger Lehm bis lehmiger Sand, Einzelkorngefüge, locker gelagert, porös, nicht durchwurzelt.

35 - 40 cm: feucht, dunkel-braun (5YR 3/2), durchgehendes Holzkohleband in sandiger, lockerer Bodenmatrix, nicht durchwurzelt.

40 - 80 cm: feucht, dunkel-braun bis schwach rötlich (2,5YR 3/4), mittel steinig, Quarze und grusige Quarzit/Mixtit-Bruchstücke, sandiges Einzelkorngefüge, locker und nicht kohärent, keine Wurzeln.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Das in 40 cm Tiefe gefundene Holzkohleband wurde auf ein 14 C-Alter von nach 1945 datiert (Hv 15444, Prof. Geyh, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover). Die hohe Effektivität der Denudation und der Verlagerung von grob- bis feinsandigen und grobschluffigen Hillwash-Decken im Zuge einzelner exzessiver Niederschlagsereignisse mit Flächenspülvorgängen wird augenfällig. Die Ablagerung von Deckensedimenten ist am Fuße eines sich über 200 m erhebenden Inselberges besonders begünstigt.

Aufschluß / Bohrung Nr. 7

Standort: Aufschluß auf einer schwach nach Süden geneigten (ca. 3°), fußflächenartigen Abdachung eines Inselberges aus Quarzit und Mixtit. Landwirtschaftlich wird der Boden nicht genutzt. Die vorhandene Vegetation besteht aus lichten Büschen und einigen bis zu drei Meter hohen Bäumen; auf der Bodenoberfläche befinden sich in der Mehrzahl abgebrannte Horstgräser.

Aufschlußbeschreibung

0 - 5 cm: braun-beige, sehr stark steinig an der Oberfläche (Quarzplaster und Quarzbrocken < 5 cm); wenig Feinboden, überwiegend sandig, Einzelkorngefüge; zwischen den Grashorsten und den Skelettbestandteilen sehr dünne, schwach humushaltige Schicht, gering durchwurzelt.

5 - 30 cm: grau-beige bis hellbraun, stark steinig, wie im Hangenden; sandiges Einzelkorngefüge, dicht gelagert, fest, nicht durchwurzelt.

30 - 50 cm: grau-braun bis leicht rötlich-braun, steinig, Quarze und Quarzite; stark gestiegener Tongehalt, verfestigtes, in trockenem Zustand hartes, lehmiges Subpolyedergefüge innerhalb der steinigen Bodenmatrix, sehr geringe Porosität, nicht durchwurzelt.

Bewertung: Der exponierte Standort im Einzugsbereich des Inselberges und die geringe Vegetationsbedeckung führen zu einer verstärkten selektiven Erosion von Feinmaterial und damit zur Anreicherung von Quarzen und Grobmaterien an der Oberfläche. Die hohe Packungsdichte des Bodens erschwert die Wasserinfiltration, besonders zu Beginn der neuen Regenzeit, und führt in Folge zu starkem Oberflächenabfluß.

Aufschluß / Bohrung Nr. 8

Standort: Zwischen 40-100 cm mächtiger, lessivierter und ferruginisierter Boden im Bereich von quarzitischen Inselbergmassiven im Übergangsgebiet zu stark zerschnittenen und aufgelösten Interfluves. Hier über quarzitischen Sandsteinen und feingeschieferter, tonreichen Sandsteinen entwickelt.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: dunkel-beige (10YR 4/3 - 5/3), mittel bis schwach steinig, kiesige und grusige Pisolithe, Fe-Konkretionen und Gesteinstrümmer; stark sandig, verfestigt, polyedrische Struktur, sehr porös und gut wasserdurchlässig.

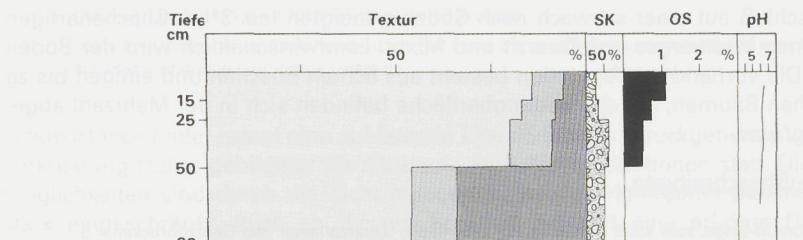
15 - 25 cm: hell-beige bis braun-beige (10YR 6/4 - 7,5YR 5-6/3-4), mittel steinig, Gesteinsrelikte (v.a. Quarze), deutlich weniger Pisolite und Konkretionen als im Oberboden; sandig-massive Struktur.

25 - 50 cm: hellbraun bis schwach rötlich (5YR 4/6 - 7,5YR 6/5), vereinzelt gelb-beige gefleckt, stark steinig, Gesteinsfragmente und Quarze (< 5 cm), schwach lehmiger Sand, dicht gelagert, schwach kohärent, in einzelne wenig stabile, kleine Polyeder zerfallend, porös.

50 - 90 cm: ähnlich wie im Horizont darüber; in Abhängigkeit von Gesteinsfragmenten unregelmäßige gelb-braune Fleckung, mittel steinig, toniger werdend, allerdings kein gut entwickeltes Gefüge nachweisbar, porös.

> 90 cm: kontinuierlicher, unscharfer Übergang ins Ausgangsgestein, mehr oder weniger stark verwittert; häufig mit resistenter Quarzbändern.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. LE COCQ 1986:35-36)

Bewertung: Trümmer des Ausgangsgesteins sind besonders unter der stark sandigen Deckschicht angereichert. Die Bodenoberfläche ist reich an Feinmaterial (gS) und zeigt bei schwachem Besatz mit Wurzeln gute Gefügeeigenschaften und hohe Wasserfiltrationsraten, was dem Boden Stabilität gegenüber Abspülprozessen verleiht. Die Kationenaustauschkapazität ist aufgrund des sauren Ausgangsgesteins und der ebenfalls schwach sauren bis sauren Bodenreaktion gering (vgl. LE COCQ 1986:35-36).

Standort:

Aufschluß / Bohrung Nr. 9

Standort: Bodenprofil südöstlich des Ortes Sara. Fußflächenartiges Gebiet um die Inselberge bei Kabou, in die muldenförmige Abflußbahnen eingesenkt sind. Die Hangneigungen betragen zwischen 1°-3° über stark heterogen zusammengesetzten Ausgangsgesteinen (Grauwacken, Glimmerschiefer, tonig-sandige Serizitschiefer der Kanté-Serie); Vegetation ist eine dichte Feuchtsavanne.

Aufschlußbeschreibung

0 - 8 cm: frisch, braun (7,5YR 4/2 - 4/4), sehr schwach steinig; sandiger Lehm, humos, lockeres Subpolyedergefüge, stark durchwurzelt, intensive Bioturbation besonders durch Ameisen.

8 - 31 cm: frisch, beige-braun (7,5YR 5/6), sehr schwach steinig; schluffig-sandig, schwach sandiger Lehm, wenig kohärent, Subpolyeder- bis Polyedergefüge, stark bis mittel durchwurzelt, intensive Bioturbation.

31 - 50 cm: frisch, hell gelb-braun (7,5 YR 5/6), sehr schwach steinig; lehmiger Sand, gering kohärent, Einzelkorngefüge, mittel bis schwach durchwurzelt, einzelne Krotowinen.

50 - 62 cm: frisch, braun (7,5 YR 4/4), schwach steinig; grobsandig bis sandig, Einzelkorngefüge, nicht kohärent, schwach durchwurzelt, intensive Bioturbation.

62 - 75 cm: frisch, rot-braun (2,5YR 4/6 - 4/8), mittel steinig, v.a. Pisolithen und Quarzkörner (< 1 cm), Grobsand, Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt, abnehmende Bioturbation.

75 - 120 cm: feucht, hell beige bis grau-braun, marmoriert (5YR 6/3 bis 5YR 5/3 - 5/4), sehr schwach steinig; sandiger Lehm, dicht gelagert, schwach kohärente Subpolyederstruktur.

120 - 140 cm: frisch bis trocken, braun-grau bis hell grau, weißlich gefleckt, marmoriert, (5YR 6/3 bis 7,5YR 6/2), tonig-sandiger Lehm (Kaolinit), fest und kohärent, nicht durchwurzelt, geringe Porosität.

Bewertung: Zweiphasiges Bodenprofil, bei dem eine verbraunte und lessivierte Hillwash-Decke einer älteren ferrallitischen, autochthonen Bodenbildung aufsitzt. Dieser Boden hat günstige Struktureigenschaften (leicht zu bearbeiten) und besitzt bei sandig-lehmigen Korngrößen noch am Ende der Trockenzeit oberflächennah pflanzenverfügbares Wasser. Ein begrenzender Faktor für die Landwirtschaft ist die geringe Austauschkapazität.

Aufschluß / Bohrung Nr. 10

Standort: Aufschlußwand an einem nach Westen orientierten Prallhang des Flusses Niantin, der etwa vier bis fünf Meter kastenförmig in wenig verfestigtes Lockermaterial (randliche Uferpartien rutschen durch Unterspülung ab) eingetieft ist. Tonig-sandiger Aueboden mit deutlich humushaltigem Oberboden.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: braun-grau (10 YR 5/2 - 5/3), schluffiger Sand, locker gelagert, Einzelkorngefüge und einzelne Polyederstrukturen, zur Aufschlußwand hin feine Schrumpfrisse nahe der Oberfläche; schwach bis mittel humos, viele Krotowinen und stark durchwurzelt (Gräser, Büsche und dicke Baumwurzeln); Holzkohlenreste, rezent.

15 - 25 cm: dunkel-braun bis gelb-beige (10 YR 6/4), sandiger Lehm, Einzelkorngefüge, einzelne Schrumpfrisse reichen durch diesen Horizont weiter in den Unterboden hinein; Lessivierung, ab 30 cm Tiefe stark tonig-schluffig, mittel bis stark durchwurzelt, abnehmende biologische Tätigkeit.

25 - 120 cm: frisch, gelb, beige-braun (7,5 YR 6/6), im oberen Abschnitt homogen tonig-schluffig (Toneinschwemmung); subpolyedrisches Gefüge mit vielen Feinporen, schwach kohärent, geringer Skeletanteil (< 10 %), Quarze, Fe/Al-Konkretionen (0,5 cm); ab 100 cm verstärkt Rostflecken, zunehmend sandig, Grobsandlagen von 5 cm Mächtigkeit, größere Baumwurzeln.

120 - 250 cm: frisch bis feucht, gelb, rötlich-braun (7,5 YR 6/6 - 5/6), schluffig-toniger Sand, dicht gelagertes Einzelkorngefüge, nicht durchwurzelt.

250 - 300 cm: frisch, braun, rötlich-braun (5 YR 5/4 - 5/6), Mittel- bis Feinsand in lockerer Packungsdichte, nicht durchwurzelt.

> 300 cm: feucht, grau bis rot-braun, braun-grau (5 YR 5/2 - 5/3), schluffig-sandiger Lehm mit hydro-morphen Merkmalen im Grundwasserbereich (rot bis grau-grüne Fleckung, oxidierendes bis reduzierendes Milieu).

Bewertung: Dieser Aueboden ist aus sandigen bis tonig-schluffigen Wechsellagen aufgebaut, die mit spätpleistozänen bis holozänen Klimavariationen (differenzierte Morphodynamik) und damit verbundenen Vegetationsauflichtungen zusammenhängen. Landnahme und Rodungsphasen haben ebenfalls zu einem anthropogenen initiierten und verstärkten Bodenabtrag mit Auelehm Bildung und Feinsedimentakkumulation geführt.

Aufschluß / Bohrung Nr. 11

Standort: Aufschluß in einem verzweigten Gully-System auf flachem, kaum geneigten (< 1°) Interfluveplateau östlich des Niamtins über geschiefertem Tonstein bis quarzreichen Tonschiefern. Mächtige Quarzschattpakete kennzeichnen den Unterboden.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: beige-graue Hillwash-Decke; sehr schwach steinig, einzelne Quarze (< 1 cm), feinsandig bis grobschluffig; an der Oberfläche etwas verschlämmt und verdichtet, Einzelkorngefüge bis gering ausgebildetes Polyeder/Subpolyeder-Gefüge; im Einzugsbereich des Gullys ist die Deckenschicht weitflächig erodiert; schwach durchwurzelt (größere Baum- und Graswurzeln).

20 - 40 cm: gradliniger und abrupter Übergang zu fester, stark steiniger Quarz-Kruste, schotterartiger Habitus der Quarze (< 10 cm), mattfarben in grusiger, grau-schwarz angewitterter Bodenmatrix; verdichtet, gering porös, ohne Wurzeln.

40 - 100 cm: verfestigter Quarzschnitt in beige-brauner, sandiger Matrix; Grobbestandteile kleiner als im Hangenden (< 5 cm), teilweise scheinen die Quarze undeutliche, schrägverlaufende Bänder zu bilden, nicht durchwurzelt.

> 100 cm: direkter Übergang auf gelb-braunen, mehlig verwitternden metamorphisierten Tonstein (saiger stehend) mit verwitterungsresistenten Quarzbändern; sonst ist das Gestein saprolithisch mürb.

Bewertung: Die obere Quarzkruste besteht zu rund 80 % aus SiO_2 ; als Bindemittel wirken Fe_2O_3 und Al_2O_3 , die mit 10 Gew.% bzw. 4 Gew.% in der Kruste festgestellt wurden. Die offensichtlich phasenweise Quarzakkumulation lässt auf episodische und exzessive Niederschlagsereignisse mit grobem, quarzitischen Verwitterungsmaterial unter semi-ariden bis ariden Bedingungen schließen. Die geringe Infiltrationsfähigkeit der Krusten verstärkt den Wasserabfluss innerhalb der flachgründigen Hillwash-Decke und fördert die denudative Oberflächenabspülung mit örtlicher Gully-Bildung. Die wasserstauenden Eigenschaften des Bodens erlauben den Landwirten auch in Top-Positionen der flachen Interfluves mit Erfolg Reis zu kultivieren.

Aufschluß / Bohrung Nr. 12

Standort: Aufschluß entlang eines seitlichen Zuflusses des Niantin, wo der Interfluve durch das Gerinne und seitliche Erosion bis auf das Anstehende abgetragen wurde. Flächig treten fast saiger stehende, schwarze und beige, unterschiedlich harte Schiefer an die Oberfläche. Das Anstehende wird von 1-2 m mächtigen, verbackenen Quarzlagen bedeckt (konglomeratischer Habitus, vorzeitliche Alluvionen, Basisterrasse).

Aufschlußbeschreibung:

0 - 10 cm: schwarze, feinzellige, verkrustete Oberfläche, mit 1-2 cm großem Quarzkies in eisenhaltiger Feinbodenmatrix; Kruste nicht sehr resistent, zerbröckelt bei Hammeraufschlag.

10 - 40 cm: rot-braun bis braun-beige; festere Quarzkruste, etwa > 50 % der Quarze sind kantengerundet (3-4 cm); die Mehrzahl der Grobbestandteile sind zu ihrer Längsachse eingeregelt und bilden dünne bänderartige Strukturen; Zwischenräume sind ungleichmäßig mit Fe/Al-Konkretionen (Mn) und braun-rotem, sandig-schluffigem Lehm verfüllt.

40 - 50 cm: einzelne, deutliche Quarzlage (kantig bis kantengerundet, < 2 cm); matt, weiß-gelblich.

50 - 180 cm: vergleichbarer Aufbau wie im Hangenden zwischen 10-40 cm; die Quarzschorter nehmen mit wachsender Profiltiefe an Größe zu, sie werden etwas kantiger und die oben beobachtete Einregelung zur Längsachse nimmt ab; es entsteht der Eindruck einer Quarzsättigung bei kurzem Transportweg.

> 180 cm: ausbeißende Kanté-Schiefer und tonige Sandsteine (quarzführend); unterschiedlich stark saprolithisiert (Fallen/Streichen = 60°/93°).

Aufschluß / Bohrung Nr. 13

Standort: Schwarz-violett angewitterter, resistenter Eisenpanzer, als krönende, fast ebene Lateritkruste auf einem nord-süd erstreckten Tafelberg in östlicher Nachbarschaft des Flusses Niantin. Im peripheren Krustenbereich bedecken abgebrochene, etwa 0,5 x 1,0 m große Lateritblöcke die relativ steilen (6°-8°), leicht konkav vorspringenden Hänge. Auffallend ist der dichte Baumbewuchs auf und im Hangbereich des Tafelberges. Die Lateritkruste ist großflächig mit Flechten überzogen; die Bäume inmitten der Lateritblöcke lassen keine Stammdeformationen oder Rindenverletzungen erkennen; ein Beleg für rezente morphodynamische Formungsruhe an den Kanten und Hängen der lateritischen Tafelberge. Die Kruste ist etwa ein Meter mächtig, sie wirkt massig bis bankig, wobei die oberen 10 cm aus dichtgelagerten, kugeligen Pisolithen bestehen; im Liegenden hat die Kruste mehr Hohlräume und zeigt einen zelligen bis schlackigen Habitus.

Aufschluß / Bohrung Nr. 14

Standort: Sandig-toniger Auen- und Niederungsboden des kastenförmig eingeschnittenen Niantin-Flußbettes. Das Ausgangsgestein wird vom Fluß freigelegt (toniger, saprolithisierter Glimmerschiefer).

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: frisch, grau-braun (7,5 YR 6/4), sehr schwach steinig, sandig, lockeres Einzelkorngefüge (Auflagehorizont, wahrscheinlich jüngste Hochflutablagerungen des Niantin); mittel durchwurzelt (Wurzelfilz von Gräsern).

10 - 30 cm: frisch, dunkel-braun (7,5 YR 3/2), humos, schluffig-sandiger Lehm, bröckeliges, unter Druck schnell zerfallendes Polyedergefüge, mittel bis stark durchwurzelt.

30 - 40 cm: trocken, gelb-braun bis hell-beige (7,5 YR 6/6), sandiger Schluff; Polyedergefüge und wenig entwickeltes Prismengefüge, teilweise mit Tonbelägen (Lessivierung), schwach durchwurzelt, zahlreiche Wurmgänge.

40 - 100 cm: trocken, beige-braun (7,5 YR 6/4), schluffiger Sand, Polyedergefüge, schwach kohärent, zum Liegenden hin toniger werdend; nicht durchwurzelt.

100 - 220 cm: mehrfache Wiederholung der Texturabfolge von sandig-schluffig zu tonig-lehmig wie zwischen 40-100 cm; phasenartige Auebodensedimentation (klimatisch und anthropogen gesteuert).

220 - 300 cm: trocken, fleckig-grau bis hell-braun, marmoriert (5 YR 7/2), tonig-sandiger Lehm, festes Polyedergefüge, nicht durchwurzelt.

> 300 cm: feucht, grau bis rot-braun (5 YR 5/6), stellenweise grau marmoriert, sandiger Schluff bis lehmiger Sand; stark verdichtet und verfestigt, Subpolyedergefüge.

Untersuchungsgebiet DÉFALÉ

(vgl. Kapitel 4.2, Beilage 2)

Aufschluß / Bohrung Nr. 15

Standort: Ferrallitischer, erodierter roter Boden mit Grobmaterial an der Oberfläche, über kristallinem, sauren Massengestein. Auf akzentuierten Hängen, die zwischen Flächenresten des Haut-Glacis und den eingeschnittenen rezenten Abflußbahnen vermitteln, tritt der lebhaft rot-farbene Boden vermehrt auf.

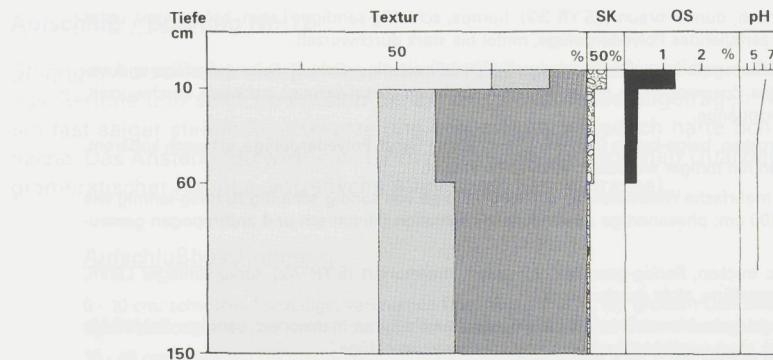
Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: braun bis braun-rot (7,5 YR bis 5 YR 5/4), stark steinig, vielgestaltige ferruginisierte Konkretionen und Pisolithe, rot-violett, rund (0,5-1 cm) und uneinheitlich gefleckt; Fragmente einer Ei-senkruste (< 5 cm) sowie unterschiedlich zahlreiche, stumpfe Quarzbrocken; sandig bis grobsandig, mäßig entwickeltes, feines Polyeder- bis Einzelkorngefüge, gute Porosität, mittel durchwurzelt.

10 - 60 cm: lebhaft rot (2,5 YR 4/6 - 4/8), mittel steinig; überwiegend im Hangenden des Horizontes kantige, matte Quarzbrocken (< 5 cm), rot-violett bis ocker-gelb gefleckte, stark aufgelöste Gesteinsfragmente; kaum Konkretionen; tonig-sandig bis tonig, gering entwickelte Subpolyederstruktur, bröckelig, mittel bis gute Porosität; einige Krotowinen, schwach durchwurzelt.

60 - 150 cm: rot bis hell-rot (2,5 YR 5/6 - 5/8), zum Liegenden hin zunehmend weiß-gelblich und violett gefärbt, Reste von gefleckten und mäßig aufgelösten Gesteinen; Quarzadern mehr oder weniger zahlreich; tonig-schluffig-sandig, mäßig bis gering entwickeltes Subpolyedergefüge, bröckelig.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Die Konzentration von Grobbestandteilen im humushaltigen Oberboden schränkt die landwirtschaftliche Nutzbarkeit ein. Der darunter anstehende kräftig rote Horizont weist dagegen günstige Gefüge- und Wasserverhältnisse auf. Der niedrige pH-Wert und die begrenzte Austauschkapazität (5-8 mval/100g) limitieren die Bodenfruchtbarkeit. Die exponierte topographische Lage und der hohe Tongehalt des Bodens nahe der Oberfläche führt bei Starkregen zu verstärkter erosiver Abspülung. Häufig sind die Profile gekappt: der rote, verschlämmte Bodenhorizont bildet dann eine vegetationslose, betonartige Oberfläche (vgl. FAURE 1985:222-223).

Aufschluß / Bohrung Nr. 16

Standort: Stark ausgelaugter, steiniger Ranker auf rezent erodierten Interfluves und auf den Hängen entlang größerer Vorfluter; meist von stark saurem Basement unterlagert. Ausbisse von Gesteinsflächen auf der flachwellige Niamtougou-Rumpffläche sind häufig. Charakteristisch ist die schwache Färbung und der hohe Anteil von Grobmateriel in allen Horizonten. Der Vegetationsbestand ist karg, Gras- und Krautbewuchs herrschen vor, gut entwickelte Bäume sind selten.

Aufschlußbeschreibung

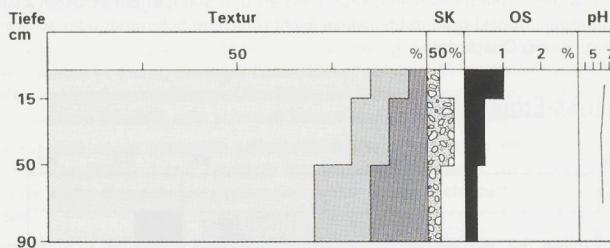
0 - 15 cm: grau-beige (10 YR 6/2), viele Quarze (< 5 cm) und gering verwitterte Gesteinsfragmente in sandig bis grusiger Matrix; gering entwickeltes Gefüge, hohe Porosität, schwach durchwurzelt.

15 - 50 cm: hell beige (10 YR 7/4 - 6/4), sehr hoher Skelettanteil aus Quarzen und Gesteinsbruchstücken (kleiner als 10 cm im Durchmesser), sandig, instabile Gefügestruktur, mehrere horizontale, lehmige Bereiche; schwach durchwurzelt.

50 - 90 cm: farblich heterogen, Mischung von rundlichen und teilweise dünngebankten, mehr oder weniger umgelagerten, gering verwitterten Gesteinsbruchstücken; außerdem beige-orange (10YR 6/6 - 7/6) umhülltes Material sowie vereinzelt marmorierte rote Bereiche; schwach sandig-tonig, undeutliche etwas kohärente Struktur, mittlere Porosität, sehr schwach durchwurzelt.

> 90/100 cm: heller Fels mit grobem Korn, wenig verwittert und geringe Rostfärbung, massiv mit kugeligen Abschalungen und flachlagernd dünn gebankt; zahlreiche Pegmatit-, Quarz- und Feldspatadern.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der Gehalt an Feinboden neben der Sandfraktion ist gering. Die Verwitterung und die Freisetzung von Nährstoffen aus den Feldspäten ist wenig vorangeschritten; der Gehalt an Primärmineralen ist entsprechend hoch. Die bodenchemischen Eigenschaften sind ungünstig (niedrige Austauschkapazität von 5-7 mval/100g und Mangel an Nährstoffen und Sorptionskomplexen wie Tonmineralen und Humusstoffen). Die Infiltrations-eigenschaften sind günstig ($I_r = 10 \text{ cm/h}$ im Oberboden), allerdings fehlt es an ausreichenden Speichermöglichkeiten (geringe Feldkapazität) (FAURE 1985:73).

Basierend auf dem Boden besteht aus einem relativ rohhaligen (ca. 30 - 40 %) Deckensediment

Aufschluß / Bohrung Nr. 17

Standort: Ferruginisierter, ausgelaugter tropischer Boden mittlerer Mächtigkeit; stark erodiert mit Konkretionen und mit akkumulierten Gesteinstrümmern an der Oberfläche. Dieser Bodentyp begrenzt die Atacora Gebirgskette auf hochgelegenen Interfluves mit kurzen,

konvexen und steilen Hängen. Die Erosion ist rezent stark ausgeprägt und verursacht eine kontinuierliche Kappung und Verjüngung des Profils. Grobmaterial wird in den oberen Horizonten relativ angereichert; die anstehenden Glimmerschiefer sind gering in die Tiefe verwittert. Der Boden wird mäßig durch Lossos genutzt und trägt von Natur aus eine niedrige, dichte Baumsavanne (vgl. FAURE 1985: 202-203).

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: grau-beige bis grau-braun (10YR 6/2 - 5/2), stark steinig, kantengerundeter Quarz (< 5cm), blättrig verwitterte Gesteinsreste, stark ferruginisiert, ocker bis schwarzfarben, kleiner als 5 cm, wenige violettfarbene, zugerundete Pisolithen (0,5 cm); sandig bis feinsandig, kaum entwickeltes Gefüge, Subpolyeder, gering kohärent, gute Porosität, Krotowinen, mittel durchwurzelt.

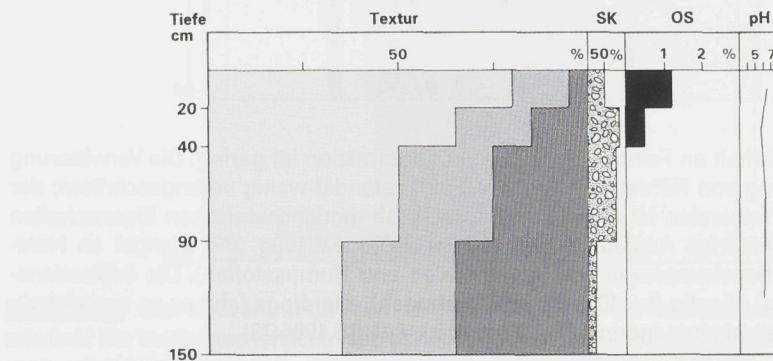
20 - 40 cm: brau-beige (10YR 5/4 - 6/4), stark steinig, größerer Skelettanteil, vereinzelt Fragmente einer Lateritkruste (< 5 cm); sandig bis sandig-tonig, feinsandig, mäßig entwickelte, etwas polyedrische Gefügestruktur, umschlossen von grobem Bodenskelett; gute Porosität, einige Krotowinen, mittel durchwurzelt.

40 - 90 cm: gefleckt, dunkel-braun (10YR 5/3) und einzelne braun-orange bis matt-rote Bereiche (1-3 cm), stark steinig mit großen Quarzkomponenten von bis zu 10 cm sowie von Gesteinsrelikten von unter 5 cm Größe, stark ferruginisiert, Konkretionen, Pisolithen und kleine Krustenfragmente; sandig-tonig bis tonig-sandig, gering entwickeltes feines Subpolyedergefüge, mäßig kohärent, umschlossen von Grobkomponenten, gering porös, einzelne Hohlräume, mittel bis schwach durchwurzelt.

90 - 150 cm: grau-braunes (10YR 5/1 - 5/2), mäßig geflecktes Material, einzelne braun-orange und matt-rote Zonen (1-3 cm), zahllose ferruginisierte Gesteinstrümmer bis 10 cm, mehr oder weniger gleichförmig ausgerichtet oder zu kleinen Haufen angesammelt; vereinzelte kantige Quarze, tonig-schluffig-sandig, kohärente feste Struktur, geringe Porosität.

150 - 200 cm: verwitterte Glimmerschiefer, saprolithisiert und stabil in der Struktur, plattig metamorph, Mikrofaltungen; dunkel-grau mit teilweise leicht rötlichem Schimmer oder schwarz gefärbt (Ferruginisierung), wenig Quarzadern.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. FAURE 1985:202-203)

Bewertung: Die Tongehalte sind in den oberflächennahen Horizonten gering; zum Ausgangsgestein hin steigen sie sprunghaft an. Ebenso verhält sich die Austauschkapazität, die in Abhängigkeit von der Textur mit wachsender Tiefe zunimmt. Die Infiltrations- und Per-

meabilitätsverhältnisse werden in den liegenden Horizontschichten ungünstiger und führen bei Wassersättigung zu verstärktem lateralem und damit erosiven Oberflächenabfluß, v.a. auf Hängen mit > 4° Neigung.

Aufschluß / Bohrung Nr. 18

Standort: Lithosol (Rohboden) auf Lateritkruste (Tafelberg) über dem Orthogneis-Sockel von Niamtougou in 400-440 m ü.d.M.. Ein gering mächtiger oberster Horizont (< 10 cm), der überwiegend aus Bruchstücken der anstehenden Lateritkruste sowie aus Quarzsteinchen besteht, bildet die karge Wurzelzone für einige verstreut wachsende Horstgräser. In den von Lossos besiedelten Gebieten wird vereinzelt auch in flachgründigen Rohböden angebaut. Der geringe Nährstoffgehalt, der Mangel an Feinboden und organischer Substanz sowie die erschwerete Wurzelentwicklung und Wasserinfilt ration in der dicht gepackten, versiegelten Kruste lassen nur geringe Ernterträge zu (vgl. FAURE 1985:65).

Aufschluß / Bohrung Nr. 19

Standort: Flachgründiges Profil auf nach Westen geneigtem (1°-2°) Hang unterhalb von zwei zeugenbergartigen, lateritverkrusteten Kuppen im östlichen Vorfeld des Défélé-Schichtkamms, etwa 1 km NW vom Ort Baga. Ausgangsgestein ist der stark glimmerhaltige, präkambrische Orthogneis der Niamtougou Rumpffläche.

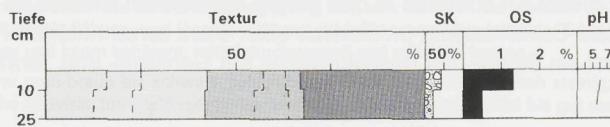
Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: braun-rötlich bis grau-rot (10 R 5/6), mittel steinig, grusartiger Quarzsand, rot angewittert, rot-violette Pisolithe (< 1 cm); sandiger Lehm, locker gelagert, in trockenem Zustand kaum kohärent, Einzelkorngefüge; verschlämmt Oberfläche mit lichtem Vegetationsbestand (verstreute Grasbüschel und kleinere Büsche), sehr schwach humos und mittel durchwurzelt.

10 - 25 cm: rot-grau, etwas ockergelb gefleckt (10 R 5/8), schwach bis mittel steinig, einige Quarze (bis 1 cm) und Pisolithe (< 1 cm); lehmiger Ton; verfestigt, schwer zu durchdringen, schwach entwickelte undeutliche Subpolyeder, ansonsten unter Druck leicht zerfallend, schwach bis nicht durchwurzelt.

25 ->30 cm: rot-grau gefleckt, mittel bis schwach steinig, lehmig fest, mit vielen Glimmern; kontinuierlicher Übergang in saprolithische Gesteinsstruktur des Orthogneis; nicht durchwurzelt.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der Boden besteht aus einem relativ tonhaltigen (ca. 30 % T) Decksediment über saprolitischem Orthogneis, in dem sich Ferrallitisierungstendenzen abzeichnen. Detritus der altquartären Krusten und laterale Fe-Lösungen werden der flachgründigen Hillwash Decke zugeführt. Die kompakte Lagerung des Feinbodens und die Verhärtung bei Austrocknung, in Verbindung mit lichtem Vegetationsbesatz, machen den Standort anfällig für denudativen Abtrag.

Aufschluß / Bohrung Nr. 20

Standort: Profil an Tafelberg mit Lateritbedeckung (Haut-Glaciis) bei Baga über Orthogneis-Sockel. Jenseits der Lateritplateaus nach Westen setzt ein akzentuierteres Interfluverelief mit kurzen und steilen Hängen (5° - 7°) ein, das parallel zum Défalé-Schichtkamm nach Südwesten entwässert.

Aufschlußbeschreibung

0 - 60 cm: rot-braun bis gelb-rot gefleckt (2,5 YR 5/8 - 4/8), massive zellige Eisenkruste ohne viele Hohlräume; Kruste zerspringt und zerbröselt bei Hammeraufschlag, Quarze (bis 5 cm) mit rötlich matter Farbe stecken in der Krustenmatrix; die Krustenoberfläche wirkt narbig, etwa 50 % werden von Flechten bedeckt (Formungsruhe an den Kanten); Feinboden in den zellulären Hohlräumen v.a. rotbrauner, sandiger bis lehmiger Ton; fehlen von Durchwurzelung.

60 - 250 cm: bis etwa 120 cm ähnliche Physiognomie wie im Hangenden, Farbe (2,5 YR 5/6 - 5/8); die Festigkeit und Härte der Kruste nimmt ab, zahlreiche Konkretionen (Fe/Mn) und Pisolithe, die in gelblich-rotem, lehmigen Ton eingeschlossen sind; ab 200 cm zunehmender Feinbodenanteil; lehmiger Ton, feines Muster an fleckigen und marmorierten rot-gelben Farben (2-3 cm im Durchmesser), (2,5 YR 4/8), keine deutliche Aggregatstruktur, leicht plattige Gefügeabsonderungen.

250 - 500 cm: heterogen gefärbt, marmoriert, hell-gelb, weiß, gelblich-rötlich bis blaß rosa (5YR 7/8 - 6/8, 2,5 YR 5/8); kaum Bodenskelett, keine Quarze und keine Konkretionen vorhanden; dicht gelagerte, feste, stark tonige Bodenmatrix; kohärent; Fleckenzone.

ab 500 - 550 cm: unscharfer Übergang in den anstehenden Orthogneis, stark saprolithisch angewittert, flachlagernd; gebänderte Farbmuster (beige-braun, gelblich, braun-rot, grau-grün, weiß), dazwischen festere und resistente Quarzadern, erst geschlossen, dann in kantige bis schwach kantengerundete Quarzbrocken (< 5 cm) übergehend.

Bewertung: Typisches ferrallitisches Bodenprofil mit tiefgründiger Verwitterung und der Abfolge von Lateritkruste, Flecken- und Bleichzone mit kontinuierlichem Übergang in den Gesteinszersatz und das Ausgangsgestein.

Aufschluß / Bohrung Nr. 21

Standort: Mäßig erodierter steiniger Ranker über Orthogneis mit hohem Glimmeranteil in akzentuiertem Interfluverelief bei relativ steilen, langgestreckten Hängen ($4-6^{\circ}$). Gesteinsausbisse treten in den Tiefenlinien auf. Die Bodenoberfläche bedeckt ein Quarz- und Pisolithplaster. Ranker dieser Art kommen in den gering besiedelten Arealen im östlichen Anschluß an den Défalé Schichtkamm, im Bereich einer stark zerschnittenen Fußfläche vor. Die Vegetation bildet ein Baum- und Buschbewuchs mit *Gardenia*- und *Terminalia*-Arten.

Aufschlußbeschreibung:

0 - 10 cm: grau-braun (10 YR 5/1 - 5/2) mit zahlreichen detritusartigen Bestandteilen (bis 5 cm) aus Quarzen und Glimmerschiefern; feinsandig bis schwach grusig, gut entwickeltes polyedrisches Gefüge, porös, stark durchwurzelt.

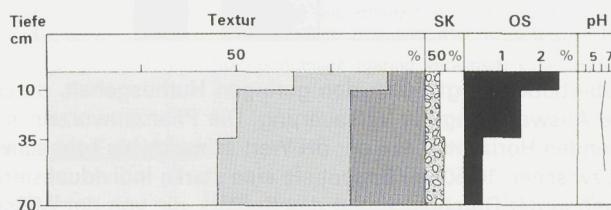
10 - 35 cm: beige-braun (10 YR 5/4 - 6/4) mit Gesteinsbruchstücken durchsetzt; sandig-tonig bis feinsandig, wenig ausgebildetes Subpolyedergefüge, Köharentgefüge, mittlere Porosität; schwach bis mittel durchwurzelt.

35 - 70 cm: heterogen zusammengesetzt; Wechsel von Lagen mit Glimmerschiefern und braun-gelbem (2,5Y 5/3), schluffig-sandig-tonigem Material; feste kohärente Gefügestruktur, mittel bis geringe Porosität, sehr schwach durchwurzelt.

> 70/80 cm: geschieferetes und saprolithisiertes Ausgangsgestein, lokal mit rötlicher Eisenverwitterung; durchzogen von Quarz- sowie mit einzelnen Pegmatit-Gängen.

(vgl. FAURE 1985:70)

Analyse-Ergebnisse:



Bewertung: Neben dem hohen Skelettanteil dominieren Feinsand und Schluff. Die zunehmende Verdichtung mit größerer Tiefe führt zu einem Rückgang der Permeabilität. Der oberflächliche Abfluß und die damit zusammenhängende Anfälligkeit für lineare und denudative Erosionsprozesse ist besonders hoch. Limitierende Faktoren für die Landnutzung bestehen hinsichtlich des Bodenchemismus. Trotz des recht hohen pH-Wertes und dem nahe anstehenden Ausgangssubstrat sind Austauschkapazität und Basensättigung gering (vgl. FAURE 1985:70-71).

Aufschluß / Bohrung Nr. 22

Standort: Bodenprofil in Verlängerung des schwach geneigten "Tal"-Hanges zwischen den steil aufragenden Schichtkamm-Graten bei Défalié. Es schließt sich eine muldige Niederrung an, in die der Vorfluter kastenförmig, etwa 1-1,5 m ins Lockermaterial eingeschnitten ist. Das kleine Flußbett wird von Ölpalmen und Mangobäumen nachgezeichnet.

Aufschlußbeschreibung

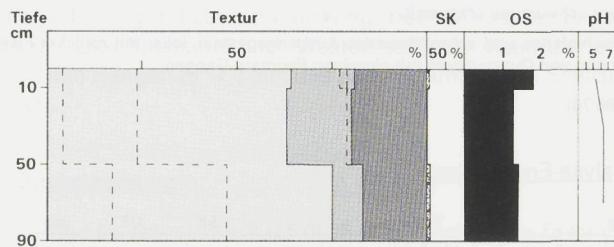
0 - 10 cm: grau-braun bis blaß braun-grau (7,5YR 6/3), sehr schwach bis schwach steinig; hohe biologische Aktivität (Wurm- und Insektenröhren); schluffig-toniger bis lehmiger Sand, Einzelkorngefüge, locker und kaum kohärent, mittel durchwurzelt und schwach humos.

10 - 50 cm: grau-braun bis schwach rötlich braun (5 YR 5/8), sehr schwach steinig; abnehmende biologische Aktivität; toniger Sand, kompakteres Einzelkorngefüge, mittel bis gut durchwurzelt.

50 - 90 cm: grau-braun bis rötlich braun (5 YR 5/8), mittel steinig, einzelne bänderartige Steinakkumulationen, überwiegend aus Quarzit (3-5 cm) und aus matten, kantengerundeten Quarzen; schluffig-toniger Sand, gut durchwurzelt, Einzelkorngefüge.

90 - 120 cm: Skelettboden; grau-braun, aus Quarzen und Quarziten zusammengesetzt; sandig-grusige, gefügelose Struktur, zahlreiche Primärminerale, insbesondere Glimmeranhäufungen.

> 120 cm: Übergang in Saprolith, mürbe Felsrispen des Atacorien beißen am Boden des Vorfluters aus; feucht, eine hydromorphe Bleichung des Anstehenden ist festzustellen.

Analyse-Ergebnisse

Bewertung: Der Oberboden neigt durch den geringen Humusgehalt, durch Auslaugung und oberflächliche Auswaschung zur Versauerung. Die Pflanzenwurzeln entwickeln sich besser in den liegenden Horizonten, wo der pH-Wert schwach bis sehr schwach sauer ist. Gleichzeitig findet zwischen 10-50 cm Bodentiefe eine starke Individualisierung von Eisen statt. Schwankungen in der Durchfeuchtung des Bodens, die von der Wasserführung des kleinen Gerinnes und hangabwärtiger, lateraler Fließbewegungen herrühren, sind hierfür verantwortlich. Krustenartige Verfestigungen und Verbackungen durch Eisenoxide konnten allerdings nicht beobachtet werden.

Aufschluß / Bohrung Nr. 23

Standort: Sehr flachgründiger, steiniger Boden auf ostexponiertem, etwa 5° geneigtem Hang, an der ersten schwach aufragenden Quarzitrippe beim Ort Défalé, 200 m westlich der *Route Nationale 1*; lichter Ölpalmenbestand auf brachliegendem Feld.

Autoren

Gesteine

neben

-

Stärke

dick

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: grau-braun (10YR 6/3), sehr stark steinig (Skelettanteil > 80 %), plattig an der Oberfläche eingeregelt, meist flache und längliche Quarzitrümmer, resistent und wenig verwittert; schwach lehmiger Sand bis Grus, Einzelkorngefüge in grober, wenig Wurzelraum bietender Bodenmatrix; geringer Vegetationsbestand, pH zw. 5-6.

> 10 cm: dicht gepackter, platter Atacorien-Gesteinsschutt (Quarze 10-20 cm groß); zum Oberhang in reinen Gesteinsboden ohne Feinbestandteile übergehend.

Bewertung: Der Boden ist als Ranker-Lithosol mit Übergang zum erodierten bzw. kaum entwickelten Rohboden (Syrosem) anzusprechen. Feinmaterial kann unter den derzeitigen morphodynamischen und vegetationskundlichen Verhältnissen nicht akkumuliert werden. Die Auswaschung des Feinbodens geht, sofern dieser in Spuren noch vorhanden ist, kontinuierlich weiter. Die Böden der Niederungen profitieren als sandige Kolluviole von dieser Entwicklung.

Aufschluß / Bohrung Nr. 24

Standort: Boden am Ortsanfang von Défalé (aus Richtung Niamtougou kommend) in 380 m ü.d.M. auf westexponiertem, 3°-4° geneigtem Hang, der von der Schichtkamm-Steilstufe zum Vorfluter überleitet. Brachliegende Feldfläche, vormals mit Hirse und Sorghum bebaut.

Aufschlußbeschreibung

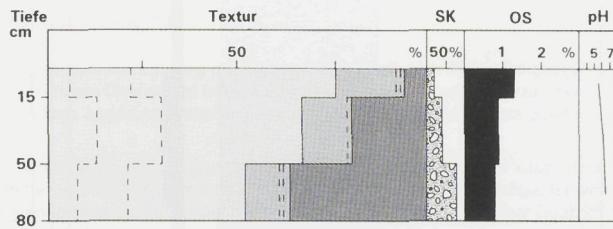
0 - 15 cm: grau-braun (5YR 7/2), schwach steinig, mit feinkiesigen, schwarz- bis rostfarbenen Eisen- und Mangankonkretionen; schwach humos; lehmiger bis schluffiger Sand, Einzelkorngefüge bis schwach verbackenes Subpolyedergefüge, wenig durchwurzelt.

15 - 50 cm: braun-grau bis schwach rötlich-braun (5YR 5/6 - 5/8), mittel steinig, Quarz und Quarzit (< 2 cm); toniger Sand, Einzelkorngefüge, teilweise mit schwach kohärenten, kleinen (1 cm) und undeutlichen Subpolyederstrukturen, die unter Druck leicht zerbröseln; schwache marmorierte Rostfärbung, nicht durchwurzelt.

50 - 80 cm: feucht, grau- bis fleckig rostfarben, marmoriert (10YR 6/2); sehr stark steinig, Quarz- und Quarzitbrocken (< 5 cm), kantig bis kantengerundet; toniger Lehm bis sandiger Ton, kompakt und etwas verdichtet, kohärent, sonst keine ausgebildete Gefügestruktur, wurzelfrei.

> 80 cm: Übergang von dichter Quarzitschuttlage (gering verwittert) in anstehende Atacora-Quarzite.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der hohe Feinsand- und Grobschluffgehalt in den ersten 15 cm lässt auf ein aufgelagertes Hangsediment (Hillwash) über einem steinigeren Lithosol, der als Feinboden einen Großteil eingeschwemmten Tons aufweist, schließen. Ungünstig für die Landnutzung wirkt sich das mittel-saure Milieu im Oberboden und die damit verbundene Sorptionschwäche aus.

Aufschluß / Bohrung Nr. 25

Standort: Bodenprofil am Fuß des steil ansteigenden, westlichen Quarzit-Schichtkammes bei Défalé, an den sich ein ostexponierter, etwa 2° geneigter Hang im Bereich von Quellaustritten anschließt. Der auch während der Trockenzeit feuchte Standort wird von den Lambas und den Kabyès zum Gemüse-, Reis- und Hirseanbau genutzt.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: feucht, grau bis leicht rötlich gefleckt (5YR 7/2), sehr schwach steinig, ausschließlich mittel- bis feinsandig, Einzelkorngefüge, porös; mittel bis stark von Grasnarbe durchwurzelt, Wurzelfilz.

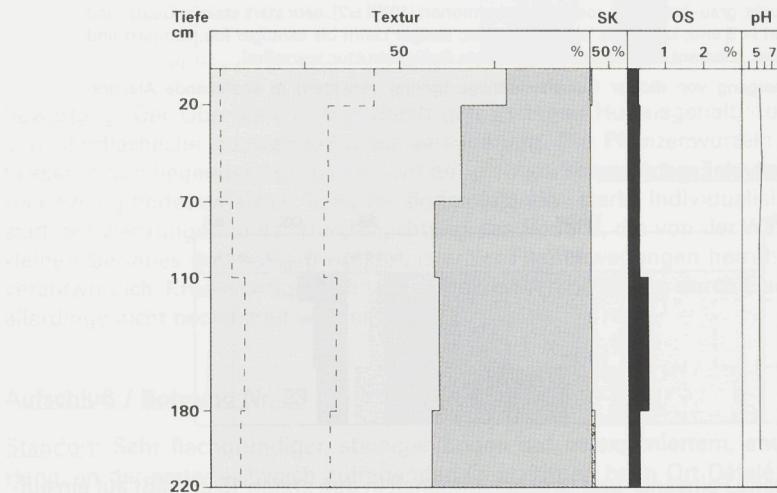
20 - 70 cm: feucht, grau bis rot-braun (7,5YR 5/8), sehr schwach steinig, quasi fast ohne Bodenskelett; Dominanz der Fein- bis Mittelsandfraktion, zunehmend schluffiger (gU); Einzelkorngefüge, stellenweise rostig marmoriert, mittel bis schwach durchwurzelt.

70 - 110 cm: feucht, gelb-grau bis grau-grünlich (Reduktionsmerkmale) (10YR 5/6) und rot gefleckt (deutlicher als im Hangenden); skelettlos, Textur lehmiger, sandig-grobschluffig, schwach kohärent; Einzelkorngefüge, nicht durchwurzelt.

110 - 180 cm: feucht, grau-grün mit einzelnen unscharfen, marmorierten Rostflecken (2,5Y 5/4); skeletlos, sandig-schluffiger Lehm, schwach kohärent, feine Glimmerplättchen sind zahlreich in der Bodenmatrix verteilt.

180 - 220 cm: naß, gelb-grau bis grau-grün (2,5 Y 4/2), reduzierendes Milieu durch Grund- und Hangzugwasser; schwach steinig, mittel- bis grobgrusiger Quarzit, selten Quarz, zahlreiche Glimmerplättchen, sandiger Schluff; minimaler Tongehalt.

Analyse-Ergebnisse



Aufschluß / Bohrung Nr. 26

Standort: Bodenprofil am Ortsausgang von Défalé (Richtung Kanté), am Fuße eines 10°-12° geneigten, nordost-exponierten Hanges mit lichter Buschvegetation, einzelnen Ölpalmen und Mangobäumen sowie brachliegenden Mais-/Hirsefeldern über Atacora-Quarziten und Glimmerschiefern.

Aufschlußbeschreibung

0 - 60 cm: rot, rot-braun, mit einzelnen schwarzen Flecken, sonst homogen in der Farbe; sehr schwach steinig, einzelne Quarze (< 1 cm), keine Fe-Konkretionen vorhanden; tonig-lehmige Textur, dicht gelagert, an der Oberfläche verschlämmt; einzelne, nicht tiefreichende Schrumpfrisse; kein ausgeprägtes Gefüge, in feuchtem Zustand schwach kohärent, mittel durchwurzelt (Grasbüschel).

60 - 100 cm: Übergang in "Stone-Line" sehr stark steinig, kantige bis kantengerundete Quarze (3-5 cm), etwas rot-braun angewittert; die Steinlage ändert innerhalb des Aufschlusses ihr Niveau und zeigt einen welligen, etwa bis 30-40 cm von der Horizontalen abweichenden Verlauf; es wird eine quer zum rezenten Hangverlauf nach NNE abdachende "Stone-Line" Richtung deutlich; nicht durchwurzelt.

100 - >200 cm: abrupter Übergang in stark saprolithischen quarzitischen Glimmerschiefer, der an seiner Oberfläche mit einem dünnen, schwarzfarbenen Verwitterungsschicht überzogen ist.

Bewertung: Der wellige Verlauf der Stone-Line im Bodenprofil lässt auf eine stärker reliefierte, vorzeitliche Hangoberfläche mit kleinen Runsen und talwärts verlaufenden Rinnen schließen. Ein feinkörnigeres Decksediment hat die im Quarzschnitt angelegten Rinnen verfüllt und die Oberfläche nivelliert.

Aufschluß / Bohrung Nr. 27

Standort: Stark steiniger, mehrphasiger Kolluvisol in den flachwelligen Depressionszonen in 380-400 m ü.d.M. zwischen steilen Quaritzügen des Défalé-Schichtkamms. Offensichtlich sind die NNE-SSW verlaufenden "Talungen" vorzeitig mit Quarzschnitt verfüllt worden. Das kleinräumig stark wellige, mit steilkonvexen Interfluves durchsetzte Gelände ist durch ein rezent tief einschneidendes Gerinnenetz aufgeschlossen. Die Abflußbahnen entwässern nach Westen zur Kanté-Rumpffläche.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: grau-braun, stark steinig mit hohem Quarzanteil; oberflächig freigespültes Gesteinspflaster, kantengerundete Quarze und eckig-kantiger, gering verwitterter Quarzschnitt (< 5 cm); sandig bis grusig, lockere Lagerung ohne ausgeprägte Gefügestrukturen, gute Porosität, mittel durchwurzt.

15 - 50 cm: braun (5 YR 4/4) bis grau-braun, stark steinig, überwiegend kaum verwitterte, kantige Quarzittrümmer (< 5 cm) des Atacorien; schwach lehmige bis grobsandige, teilweise grusige Bodenmatrix, gering entwickelte Subpolyederstrukturen innerhalb zahlreicher Quarzitfragmente; gute Porosität, schwach durchwurzt.

50 - 100 cm: gelb-braun (5 YR 5/5) bis ockerfarben, mittel steinig, deutlich geringerer Skelettanteil als im Hangenden, detritusartiger Quarz- und Quarzitgrus (ca. 2-3 cm) in lehmig-sandiger Matrix, feines Subpolyedergefüge.

100 - >200 cm: braun, stellenweise stark rot bis schwarz angewitterter, zuckerartig mürber Quarz-detritus; sehr hoher Skelettanteil, kantige Quarzite (bis 15 cm) schichtweise und plattig eingeregelt (Verhältnis Länge zu Breite der Gesteinstrümmer etwa 5:1, horizontal abgelagert); geringer Feinbodenanteil, v.a. Sandfraktion.

Bewertung: Diese schuttreichen, nährstoffarmen Kolluvisols eignen sich wenig für eine landwirtschaftliche Nutzung. Die natürliche Vegetation besteht aus einem unterschiedlich dichten, meist kleinvwüchsigen Baum- und Buschbestand. Vereinzelt überlagert das Steinpflaster ein grau-braunes, biogen und denudativ akkumuliertes Decksediment, in dem Mais und Hirse kultiviert werden. Aufgegebene vorzeitliche Feldterrassen in Steillagen sind in dem Schichtkammrelief weitverbreitet. Holzeinschlag ist gegenwärtig die vorherrschende Nutzungsform.

Aufschluß / Bohrung Nr. 28

Standort: Ferruginisierter, lessivierter Boden am westlichen Fuße der Schutthalde des Défalé-Schichtkamms, im Übergangsbereich zur Kanté-Rumpffläche. Gullyartiger Anriß am Oberende von zwei schwach eingetieften Gerinnebahnen in 2-3° geneigtem Interfluverrelief über Glimmerschiefern der Kanté-Serie. Vegetationsarme, überwiegend von Büschen und lichten Grashorsten bestandene, stark verschlämmte Bodenoberfläche.

Aufschlußbeschreibung

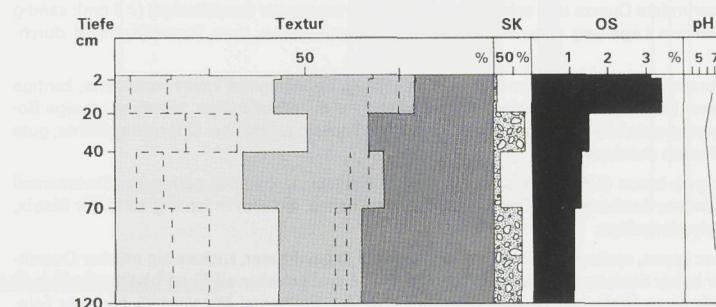
0 - 2 cm: dunkel-grau bis grau-schwarz, mittel humos, schwach steinig, kleine Quarzkörner (< 1 cm); tonig-feinsandig bis tonig-grobschluffig, stark verschlämmt, versiegelte, strukturlose Oberfläche; schwach bis sehr schwach durchwurzelt.

2 - 20 cm: grau-braun, mit marmorierten Rostflecken (< 2 cm), schwach steinig, v.a. schwach kantengerundete, matte Quarze (< 2 cm); lehmig, tonig-grobschluffig; feine, teilweise verfüllte, vertikal verlaufende Hohlräume (Schrumpfrisse); wenig entwickeltes Prismengefüge, bröckelige, in sich ko-härente Polyederstrukturen, mäßig porös, sehr schwach durchwurzelt.

20 - 40 cm: grau-braun bis beige-braun, sehr stark steinig ("Stone-Line"), teilweise verbackene quarzhaltige Kruste (Quarze < 5 cm), Feinbodenmatrix sandiger Ton bis Lehm; Subpolyederstrukturen umgeben von dichtgelagertem Bodenskelett, wenig porös, keine Wurzeln.

40 - 70 cm: beige-braun bis grau-beige, schwach bis mittelsteinig, Quarze (< 5 cm); sandig-tonig, Subpolyedergefüge, dicht gelagert und wenig porös, Tonverlagerung.

70 - 120 cm: grau-beige bis grau, stark steinig, Quarze (< 10 cm) und mürbe Glimmerschieferfragmente, starker primärer Glimmergehalt; tonhaltige Feinbodenmatrix, feinsandiger Ton, wenig durchlässige Lagerung; kontinuierlicher Übergang ins Anstehende.

Analyse-Ergebnisse

Bewertung: Der hohe Feinsand- und Grobschluffanteil im Oberboden führt trotz stabilisierender Tone (ca. 20 %) zu einer starken Verschlämung und Versiegelung des Bodens. Die Stone-line in 20-40 cm Bodentiefe wirkt als Sperrschiicht; die Infiltration des Niederschlagswassers wird dadurch erschwert. Die exponierte Lage im Einzugsbereich reliefenergie-reicher Schichtkammhänge verstärkt die Bodenerosionsgefährdung. Der Profilaufbau ist der eines mehrfach abgelagerten und wiederholt erodierten Sedimentpaketes, und weniger das Ergebnis einer ungestörten, langandauernden autochthonen Bodenbildung.

Aufschluß / Bohrung Nr. 29

Standort: Boden auf der flachwelligen (2°-4°), von Glimmerschiefern unterlagerten Kanté-Rumpffläche, westlich des Défalé-Schichtkamms. Kurze, flache Interfluves, mit Lamba-Gehöften auf den obersten Reliefpositionen sind charakteristisch. Die Niederungen sind mulden- bis kerbförmig in die Rumpffläche eingesenkt. Vorherrschend sind flachgründige, steinige und nährstoffarme Böden.

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: grau-braun, mittel steinig, mit kleinen kantengerundeten, matten Quarzkörnern (0,5 cm) an der Oberfläche und in der Bodenmatrix; schluffig-tonig-sandig bis sandiger Lehm, kein ausgebildetes Gefüge; die Oberfläche ist mit Resten gebrannter Grasbüschel bedeckt, mittel bis stark durchwurzelt.

10 - 30 cm: beige-braun, mittel steinig mit Tendenz zu stark steinig im unteren Horizontabschnitt; Bodenskelett überwiegend aus Quarz und einzelnen konkretionsartigen Bildungen (selten); sandiger Lehm bis schluffig-sandiger Ton, schwach entwickeltes Polyeder- bis Subpolyedergefüge, cohärent, mäßig stabil, schwach durchwurzelt.

> 30 cm: beige-braun, zunehmend grau-braun, blasse, gebleichte Farbtöne dominieren, stark steinig, hoher Anteil an Quarzen (< 5 cm) und saprolithisch mürben, glimmerreichen Fragmenten des Ausgangsgesteins.

Bewertung: Der Boden ist stark erodiert und besteht aus einem flachgründigen, denudativ wie biogen verfrachteten Decksediment, das eine schwache pedogenetische Differenzierung zeigt. Der hohe Gehalt an primären Glimmern signalisiert eine mögliche Nährstoffreserve; die wenig vorangeschrittene Verwitterung und damit der Mangel an austauschkräftigen Sorptionskomplexen limitiert die Bodenfruchtbarkeit. Brachen von bis zu zehn Jahren sind üblich auf solchen Standorten.

Aufschluß / Bohrung Nr. 30

Standort: Feinkörniger Kollovisol in muldenartiger, ebener (< 1°) Bas-fond Lage. Eingebettet in das flachwellige Interfluve-Relief der Kanté-Rumpffläche über hochmetamorphen, präkambrischen Glimmerschiefern.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: grau-braun, sehr schwach steinig; tonig-schluffiger Sand, vereinzelte tonige Lagen mit blättrigen Absonderungen und Schrumpfrissen; Wurmlosgeschiebe, etwas verschlämmt, sonst aber sehr homogen in der Gefügestruktur, gering porös, schwach durchwurzelt von einigen Grasbüscheln; gebrannt.

20 - 40 cm: beige-braun, schwach steinig mit konzentrierter, rötlich angewitterter Quarzlage in lehmig sandiger Matrix; Einzelkorngefüge, schwach cohärent und lokale Absonderung von Subpolyederstrukturen; sehr schwach durchwurzelt.

40 - 80 cm: dunkelbraun (feucht), schwach steinig, einzelne kiesige Quarzbrocken; unscharfe, schwache Rostfleckung, wenige dunkel-violett farbene konkretionäre Bildungen (< 1 cm); tonig-sandig bis lehmig-tonig, feste cohärente Struktur, Polyedergefüge, wenig porös, sehr schwach durchwurzelt bis wurzellos.

80 - 140 cm: dunkel-grau-braun, mittel bis stark steinig, größere Quarzbrocken (< 5 cm), mit wachsender Tiefe zunehmend; feucht bis naß, lehmig-sandig, blau-grau, grünlich rote Marmorierung (Vergleyungssymptome); Gesteinsfragmente, stark zersetzte Kanté-Glimmerschiefer, kontinuierlicher Übergang in den Saprolith.

Bewertung: Der Bas-fond-Boden ist ein biogen überprägter Kollovisol. Das denudativ von den Oberhängen der Interfluvies erodierte Feinmaterial besitzt eine Mächtigkeit von ein bis zwei Metern. Die hygrischen Bedingungen (feucht, stark wechselnde Grundwasserstände) führen zu pedogenetischen Differenzierungen (Vergleyung) in einem reduzierenden und oxidierenden Milieu. Von der Wasserverfügbarkeit sind diese Standorte begünstigt. Allerdings scheuen die Bauern die feuchten Bas-fonds-Böden aufgrund der großen Variabilität der Wasserführung und des damit verbundenen wirtschaftlichen Risikos.

Aufschluß / Bohrung Nr. 31

Standort: Erodierter, flachgründiger Ranker-Syrosem über Blöcken aus resistenten quarzitischen Sandsteinen der Atacora- und der Buem-Formation, besonders auf Inselbergen und kleinen Bergrücken.

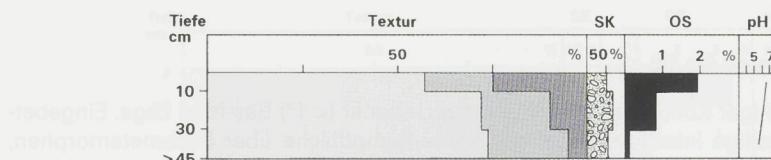
Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: dunkel grau-braun (10 YR 3/2), stark steinig, aus kantigen und kantengerundeten, verschiedenen großen Quarziten und quarzitischen Sandsteinen heterogen zusammengesetzt, teilweise rostrot angewittert; wenig Feinboden, feinsandig-lehmig, ohne entwickeltes Gefüge; schwach durchwurzelt.

10 - 30 cm: grau-beige bis hell grau-braun (10 YR 6/2 - 5/2), sehr stark steinig, Bodenmatrix aus heterogen zusammengefügten, unterschiedlich großen, chaotischen Blöcken (> 50 cm); wenig lehmiger Feinboden, Wurzeln größerer Bäume umschließen einzelne, größere Blöcke.

30 - >45 cm: Wechsellagen aus Quarzsitzschutt, insgesamt gering verwittert, lokal von roter bis schwarzer, dünner (1-2 mm) Zersatzzone umgeben.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. VIELLEFON et al. 1965:219)

Aufschluß / Bohrung Nr. 32

Standort: Schwach ferrallitischer Boden auf Glimmerschiefern der Kanté-Serie und auf alluvialen bis kolluvialen Ablagerungen innerhalb der Kanté-Rumpffläche. Auffallend ist eine basale Steinlage, die dicht geschlossen dem Anstehenden aufsitzt. Der Boden scheint rezent unter einer ständig zunehmenden Individualisierung der Eisenoxide dem Zustand eines ferrallitisierten Bodens zuzustreben. Seine morphologisch häufigste Verbreitung hat der Boden auf 4°-6° geneigten, fußflächenartigen Abdachungen.

Aufschlußbeschreibung

0 - 5 cm: feucht, braun-grau (10 YR 4/2), schwach steinig, Quarze (< 2 cm); lehmig-sandig bis sandiger Lehm, bröckelige Struktur, Subpolyedergefüge, mäßig bindig, porös, mittel bis schwach durchwurzelt, gute biologische Aktivität (Würmer und Ameisen).

5 - 60 cm: feucht, braun (5 YR 5/8), stellenweise rot-gefleckt (2,5 YR 4/8); sehr schwach steinig, einzelne matte, kantengerundete Quarze, sandig-tonige Textur, Subpolyeder bis Polyedergefüge, bröckelig, kohärent, schwach durchwurzelt, gute biologische Aktivität (Insektenröhren).

60 - 130 cm: ocker bis rötlich farbener, steiniger Horizont, dicht gepackte Quarzlage (Stone-Line oder subrezente Alluvionen bzw. Kolluvionen?), zementiert in sandig-toniger Matrix ohne klare Gefügeabsonderungen; unterschiedlich stark verwitterte Glimmerschiefer innerhalb der Quarz-Ton-Lage, keine Wurzeln und keine biogene Aktivität.

130 - 200 cm: feucht, ocker (7,5YR 7/8), verwitterte, saprolithisierte Schieferlagen mit resistenteren Quarzlagern, kompakt, kaum durchlässig.

(vgl. VIELLEFON et al. 1965:139)

Bewertung: Der Boden ist während der Regenzeit schnell wassergesättigt; die zum Liegenden hin abnehmende Permeabilität begünstigt oberflächlichen und lateralen Abfluß. In der trockenen Jahreszeit verhärtet und verkrustet dagegen der Boden und bietet den initialen Starkregen der neuen Regenzeit Angriffsfläche für denudativ wirksame Erosionsprozesse.

Aufschluß / Bohrung Nr. 33

Standort: Ferruginisierter, lessivierter Boden ohne Konkretionen östlich des Défalé-Schichtkamms und südlich des Ortes Kanté über Glimmerschiefer mit Quarzadern. Charakteristisch ist der hohe Skelettanteil in den oberen Bodenhorizonten, der mit Annäherung an den Atacora-Gebirgszug immer dominanter wird. Die kolluviale Herkunft des Bodenskeletts ist offensichtlich.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: grau-braun (7,5YR 5/2), mittel steinig, mit Quarzen durchsetzt (< 2 cm); sandig-kiesige bis grusige Textur, Einzelkorngefüge mit örtlicher Tendenz zur Polyederbildung, bröckelig, mäßig entwickelt, porös und durchlässig, mittel bis schwach durchwurzelt.

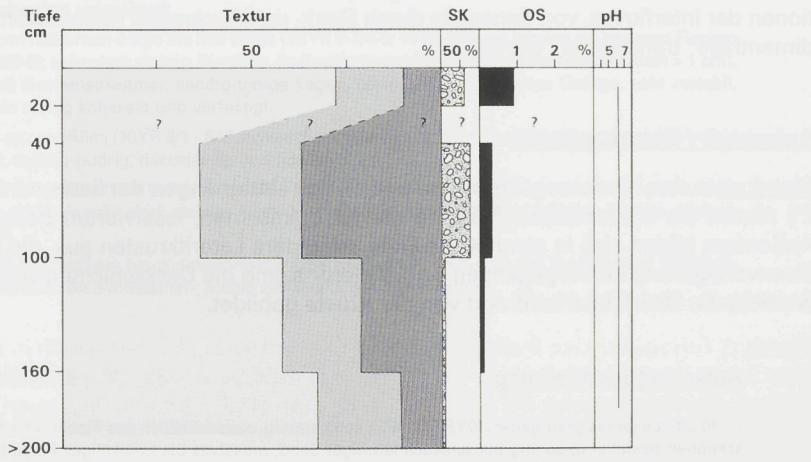
20 - 40 cm: feucht, dunkel-braun (7,5YR 4/4), stark steinig, quarzreich; Einzelkorngefüge, leicht verfestigt, schwach durchwurzelt.

40 - 100 cm: feucht, dunkel-braun (7,5YR 4/4), stark steinig, quarzreich, toniger Sand bis sandiger Ton in steiniger Matrix, weitgehend gefügelos, mäßig porös, sehr schwach bis nicht durchwurzelt.

100 - 160 cm: beige-gelb (10YR 6/8), schwach steinig, Quarze und Relikte des Ausgangsgesteins, lehmige, blättrige Struktur von saprolithisierten Schiefern herrührend, mäßig porös.

100 - >200 cm: Ausgangsgestein, wenig verwitterte Glimmerschiefer mit Quarzadern; lehmig-sandig zerfallend im Übergangsbereich zum Hangenden.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. VIELLEFON et al. 1965:136, 219)

Untersuchungsgebiet KATCHAMBA (vgl. Kapitel 4.3, Beilage 3)

Aufschluß / Bohrung Nr. 34

Standort: Ferruginisierter, hydromorpher Boden in Bas-fond-Lage zwischen zwei weit gespannten flachen Wasserscheiden (1° - 2°). Innerhalb der Niederung ist kein Gerinne eingeschnitten. Das Niederschlagswasser fließt flächig über das Einzugsgebiet der muldenartigen Hohlform ab. Die Vegetation ist stark aufgelichtet und wird aus häufig abgebrannten Grasbüscheln gebildet.

Aufschlußbeschreibung

0 - 8 cm: hell-grau, sehr schwach steinig, einzelne Fe-Konkretionen (<1cm); sandiger Ton bis toniger Sand; an der Bodenoberfläche kleinräumig stark wechselnde Texturverhältnisse; lokal verschlämmt und verdichtet, Einzelkorngefuge, etwas kohärent, schwach durchwurzelt.

8 - 30 cm: grau-beige, rostfleckig; mittel steinig, v.a. konkretionsartige Formen (außen gelb, innen schwarzer Kern, mürbe, wenig fest); lehmig schluffiger Sand; Polyedergefuge, zerbröselt unter Druckeinwirkung.

30 - 50 cm: grau rötlich-braun, sehr schwach steinig; deutlich geschichtete, horizontale Wechselaugen von tonig-sandigem Material; Begrenzung meist unscharf; Mächtigkeit dieser Ablagerungen etwa 0,5-1,0 cm jeweils; plattige Struktur, nicht sehr fest, wurzelfrei.

50 - 80 cm: rötlich-gelb bis gelb-braun, mittel steinig; Anhäufung von Fe-Konkretionen über angewittert mürbem, grauwackenartigem Sandstein (lässt sich mit den Fingern zerbröseln; beige-grünlich gefärbt, uneinheitlich).

Bewertung: In dem Niederungsprofil zeigt sich, daß vorzeitig wie rezent klimatisch gesteuerte Materialeinschwemmungen erfolgen. Die tonigen Ablagerungen stammen von Restwasserseen, die sich in den gefällsarmen Bas-fonds, oftmals bis über das Ende der Regenzeit hinaus, bei schlechter Dränung erhalten. Es ist ein schwach ferruginisierter, kolluvial überprägter Boden mit periodisch hydromorph beeinflußtem Milieu. Eisenhaltige Konkretionen stammen neben den vor Ort gebildeten Formen von den verkrusteten Top-Positionen der Interfluvies, von denen sie durch Stark- und Ruckregen hangabwärts in die "Sedimentfalle" transportiert werden.

Aufschluß / Bohrung Nr. 35

Standort: In den Niederungsbereichen und an den Unterhängen der flachen Interfluvies (1° - 2°) nimmt die hydromorphe Prägung der ferruginisierten, lessivierten Böden weiter zu. Außerdem bilden sich in etwa 50 cm Tiefe sekundäre Lateritkrusten aus, die aus lateraler Eisenverlagerung hervorgegangen sind. Vielerorts sind die Deckschichten völlig abgespült worden; die Oberfläche wird dort von der Kruste gebildet.

Aufschlußbeschreibung

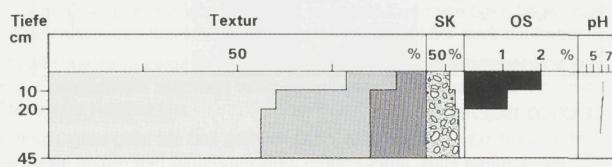
0 - 10 cm: beige bis grau-beige (10YR 5/3 - 4/3), stark steinig, ausschließlich aus Pisolithen und Konkretionen bestehend; sandig bis schwach lehmiger Sand, massives bis bröckeliges Polyedergefüge, instabil, stark porös.

10 - 20 cm: braun-gelb bis hell beige (10YR 5/4 - 5/6) hell braun; sehr stark steinig, zahlreiche Pisolithen und Konkretionen (innen schwarz gefärbt); massive dichte Struktur, instabil bei Druckeinwirkung, sehr porös.

20 - 45 cm: hell braun (7,5YR 5/4 - 6/6), sehr stark steinig, Skelettboden; Pisolithen und Konkretionen in lehmiger sandiger Bodenmatrix.

> 45 cm: verfestigte, zellige Kruste, braun-rot, braun, dunkel rot-braun bis hell rot-braun, fleckiger dunkler Farbcharakter; Zwischenräume der Kruste mit Feinsand ausgefüllt.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. LE COCQ 1986:83)

Aufschluß / Bohrung Nr. 36

Standort: Ferruginisierter, lessivierter Boden mit Konkretionen im gestreckten Mittelhangbereich der flach geneigten (1°-2°) Interfluves bei Katchamba über Tonsteinen und quarzführenden, feinkörnigen Sandsteinen der Oti-Serie.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: beige bis dunkel beige (10YR 4-5/3-4); mittel steinig, Pisolithen und Fe-Konkretionen (< 1 cm), sandig bis lehmiger Sand, leicht verschlämmt, schwach entwickeltes Gefüge, porös.

15 - 35 cm: hell braun-beige (7,5 YR 5-6/5-6); stark steinig, Pisolithen, Konkretionen und Gesteinsrelikte; lehmiger Sand, sehr porös, verklebte, verbackene Struktur ("bimssteinartig"), sehr instabil, zerbröselt sofort unter Druck.

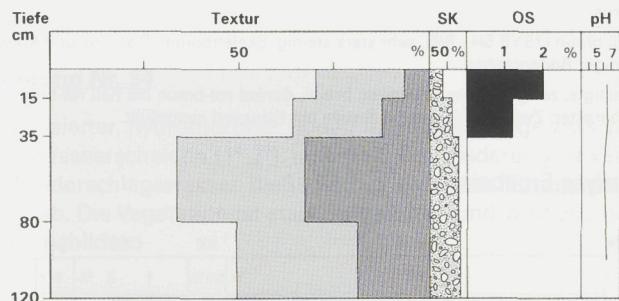
35 - 80 cm: hell braun-beige bis hell beige (7,5YR 6-7/4-5; 10YR 6/4) mit lokalen rot-braunen Flecken (5YR 4-5/6-8); sehr stark steinig, Pisolithen, Fe-Konkretionen (unterschiedliche Größen, auch > 1 cm), vereinzelt Gesteinstrümmer, sandig-tonige Lagen, ohne gut ausgebildetes Gefüge, sehr instabil, allgemein wenig cohärent und verfestigt.

80 - 100 cm: weißlich (10YR 8/1 - 8/2), schwach rosé-farben; sehr stark steinig, massiv und kompakt gelagert, mehlig-pudrig, durchlässig und porös.

100 - 140 cm: weißlich bis hell grau-gelblich (2,5Y 7/3), kontrastreiche, braune bis braun-gelbe, helle Flecken; stark bis sehr stark steinig, massive verfestigte Struktur, kein deutliches Gefüge, geringe Porosität.

140 - 160 cm: welliger bis zungenförmiger Übergang ins Anstehende aus Tonstein und feinkörnigen, geschiefernden Sandsteinen; plattig zerfallend, gering verwittert.

Analyse-Ergebnisse



(vgl. LE COCQ 1986:79)

Aufschluß / Bohrung Nr. 37

Standort: Profil in Bas-fond Lage mit etwa 60 cm eingetieftem, trockenen, mäandrierendem Bachbett über flachlagernden Tonsteinen der Oti-Serie. Die Vegetation besteht aus verstreuten Bäumen und einer stark feuergeschädigten Grasnarbe.

Aufschlußbeschreibung

0 - 40 cm: grau-braun (10 YR 7/4), sehr schwach steinig; schluffig-toniger Sand, intensiv von Würmern durchmischt; Oberfläche mit Wurmlosungsgefüge bedeckt, sonst Einzelkorngefüge und Subpolyederstrukturen; stark durchwurzelt.

40 - 80 cm: grau-braun (10 YR 7/3), stellenweise rostig marmoriert; sehr schwach steinig, Pisolithen und Fe-Konkretionen; sandiger Schluff bis schluffiger Sand, dichtes Einzelkorngefüge; biogene Aktivität nimmt ab; schwach durchwurzelt.

80 - >100 cm: schwer mit dem Bohrer zu durchdringende Pisolithlage (Grundwasserlaterit?); sehr stark steinig, v.a. Pisolithen (< 1 cm), violette, braun-rote Farbe; verbackene Konkretionen in grusig-sandiger, feinmaterialarmer Bodenmatrix.

Bewertung: Das gering eingetiefte Gerinne im Bas-fond deutet auf einen konzentrierten, linearen Wasserabfluß hin. Der Wasserstauer ist ein in situ gebildeter Grundwasserlaterit, der von hangabwärts verspülten Konkretionen höherer und älterer Lateritniveaus genährt und in seiner Entstehung begünstigt wurde. Aus landwirtschaftlicher Sicht sind diese Standorte aufgrund der hohen Variabilität in der Wasserführung und der betriebswirtschaftlichen Risiken meist ungeeignet für einen ertragreichen und kontinuierlichen Anbau.

Aufschluß / Bohrung Nr. 38

Standort: Ferruginisierter, lessivierter Boden mit hydromorphen Kennzeichen an der Basis; über Tonstein und feinkörnigem Sandstein. Der Aufschluß liegt am etwas konkav eingesenkten Oberhangbereich der sehr flach geneigten (1° - 2°), breiten und kaum von Abflußbahnen zerteilten Interfluvius im Untersuchungsgebiet.

Aufschlußbeschreibung

(nach Regen am Vortag)

0 - 13 cm: frisch bis feucht, dunkel grau-beige (10YR 3/2), stark steinig, Pisolithe und ferruginisierte Konkretionen, Gesteinsfragmente; einzelne sandige Lagen; instabiles und gering entwickeltes Polyyedergefüge.

13 - 37 cm: frisch, dunkel beige bis beige (10YR 3/4; 10YR 5/4), mit hohem Skelettanteil; sandig-to-nige Wechsellagen.

37 - 50 cm: feucht, hell-beige (10YR 6/3), hell braun-gelb gefleckt, marmoriert (10YR 6/6); sehr stark steinig, Gesteinsreste, braun-rötliche bis schwarze Pisolithe; tonig-sandige Zwischenlagen; im Liegenden dünne kiesige Bänder.

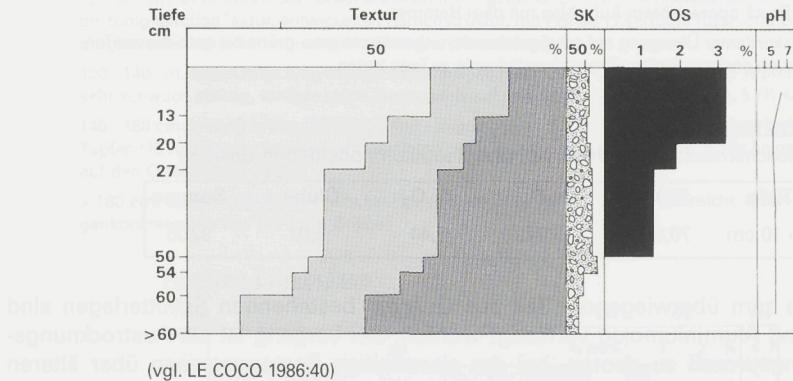
50 - 54 cm: kleine Quellaustritte, Wasser sickert zwischen tonig-sandigen Lagen hervor, sehr stark steinig mit dünnen kiesigen Bändern; Durchwurzelung mittel bis stark bei hoher Porosität.

54 - 60 cm: feucht, hell grau-beige (2,5Y 7/3), hellbraune, kleine und marmorierte Zonen (7,5YR 6/6); mittel steinig, Gesteinsreste zwischen tonig-schluffigen Lagen eingebettet, mürbes und poröses Gefüge, fester als im Hangenden.

60 - 65 cm: frisch, grau-grün bis hell gelblich (2,5Y 6/2), hellbraun bis braun-rote Flecken, die an verwitternde Gesteinstrümmer gebunden sind; mittel steinig, stark tonige Lagen, dicht und gering porös.

> 65 cm: wenig verwitterter Tonstein, in Plättchen zerfallend; an der Oberfläche hell grau-grün; frischer Bruch: gelblich braun bis gelb-grün.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Das Bodenprofil zeigt mehrere genetische Phasen. Die geringe Wasserdurchlässigkeit der Tonsteine verursacht periodisch hydromorphe Verhältnisse. Die Tonanreicherung in ca. 60 cm Tiefe ist nicht das Ergebnis von Lessivierung, sondern ein in situ stattfindender, v.a. mechanischer Verwitterungsprozeß, der zur Zerkleinerung und Auflösung größerer Bestandteile des Ausgangsgesteins führt. Innerhalb der Tonfraktion herrscht Illit vor (vgl. LE COCQ 1986:41).

Aufschluß / Bohrung Nr. 39

Standort: 100-200 m breites, kastenförmig in Auensedimente eingeschnittenes Flußbett des Kara bei Tounabopi über angewitterten, flachlagernden (10° Fallen) Tonsteinen der Oti-

Serie. Zwei bis vier Meter aufgeschlossenes, deutlich mehrschichtiges Auensediment. Dunkelgrau bis braun-grau, im oberen Profilbereich tonig-lehmige bis schluffig-sandige Textur. Ab 50 cm Bodentiefe gelb-beige, stark sandig mit einzelnen tonigen Zwischenlagen (sich mehrfach wiederholend, vgl. auch Aufschluß/ Bohrung Nr. 14).

Aufschluß / Bohrung Nr. 40

Standort: Aufschluß im breiten, kastenförmig eingeschnittenen Flußbett des Kara bei Tou nabopi über flachlagernden Tonsteinen und rezenten Schottern und Kiesen. Ein bis zwei Meter über dem aktuellen Talboden erhebt sich eine kleine "tafelbergähnliche" Vollform mit einer krönenden quarzreichen Kruste, die ein vorzeitliches Flußbett niveau nachzeichnet.

Aufschlußbeschreibung ("Quarzkruste")

0 - 10 cm: schwarz-braun bis schwarz angewitterte, nicht glatte Oberfläche, die aus kleinen, kiesigen Konkretionen und größeren kantengerundeten, matten Quarzen (0,5 - 2,0 cm) besteht in verfestigter grobsandiger Matrix; unter kräftigem Druck bzw. leichtem Hammerschlag zerfällt die nur locker verbackene "Kruste" schnell.

10 - 30 cm: braun-grau, dunkel bis rotbraun verwittert, sehr stark steinig, kantengerundete Quarze (2-5 cm) sowie vereinzelt Quarze und grauwackenartige Sandsteine (Flußschotter); Bodenskelett von sandiger bis grusiger Kittsubstanz umschlossen und verfestigt; Krustenaggregate zerfallen unter festem Druck oder leichtem Aufschlag mit dem Hammer.

> 30 cm: diskordanter Übergang auf schrägstehende, angewitterte grau-grüne bis gelb-braune Ton-schiefer, die an anderer Stelle offen und weiträumig zu Tage treten.

Analyse-Ergebnisse

(Geochemischer Aufschluß von drei Hauptkomponenten in Gew.-%)

Tiefe	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Glühv.	Summe
0 - 10 cm	70,66	15,94	5,44	5,01	97,05

Bewertung: Die zum überwiegenden Teil aus Quarzen bestehenden Schotterlagen sind durch Eisen- und Aluminiumoxid verfestigt worden. Der Vorgang ist als Austrocknungs- und Aridisierungsprozeß zu deuten, bei der eisenhaltige Restwasserseen über älteren Flußschottern und Kiesen eingedampft wurden und dadurch die Boden- und Gesteinsmatrix verfestigten. Der Niveaunterschied zwischen fossiler Schotterkruste und heutigem Flußbett entspricht einem jüngsten Eintiefungsbetrag von ein bis zwei Metern des Kara.

Untersuchungsgebiet MANGO

(vgl. Kapitel 4.4, Beilage 4)

Aufschluß / Bohrung Nr. 41

Standort: Ton- und Sandsteinen der Oti-Gruppe lagern vorzeitig ferrallitisierte Alluvionen auf, über denen rezent ein ferruginisierter, lessivierter Boden entwickelt ist. Das Relief der alten Terrassensysteme mit den sie überziehenden Deckschichten und Böden östlich des großen Oti-Mäanders bei Mango ist fast eben ($< 0,5^\circ$). Vegetation ist eine lichte Baumsavanne mit stark entwickelter Krautschicht. Es herrscht intensive Termitenturbation an der Oberfläche vor.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: dunkel braun (10 YR 3/4), sehr schwach steinig, einige Quarze; feinsandig, kohärent, krümeliges bis bröckeliges Subpolyedergefüge, durchlässig und porös, stark durchwurzelt.

20 - 45 cm: braun (10 YR 4/4), sehr schwach steinig, einzelne Eisenkonkretionen; lehmiger Feinsand, bröckeliges Subpolyedergefüge, stabil, durchlässig.

45 - 60 cm: lebhaft braun (7,5 YR 5/6) mit fein verteilten, ockerfarbenen Flecken (7,5 YR 6/8); sehr schwach steinig; feinsandiges, schwach kohärentes Polyedergefüge, mäßig durchlässig und porös.

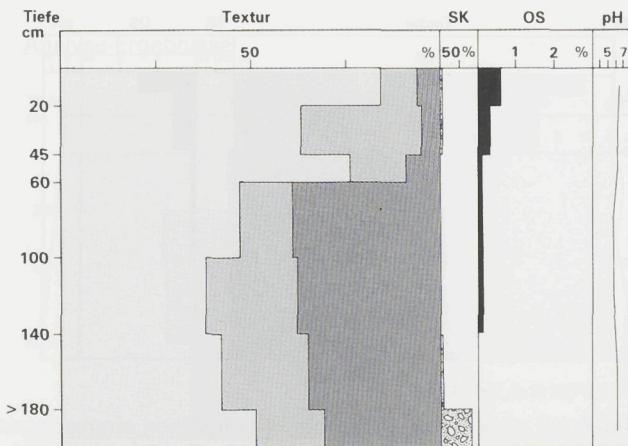
60 - 100 cm: braun (5 YR 5/8), ocker bis rosafarben gefleckt (5 YR 6/8), sehr schwach steinig, lehmiger bis tonig-sandige Textur, entwickelte Prismenstruktur, mit Feinsand verfüllte Risse und Spalten; Aggregate schwach plastisch; abnehmende Durchwurzelung.

100 - 140 cm: braun (5 YR 5/8), wenige ockerfarbene Flecken (7,5 YR 6/8), feine rote Tupfen (10 R 4/8), sehr schwach steinig, toniger Lehm, Tontapeten auf den Aggregatflächen (braun, 5 YR 4/6).

140 - 180 cm: lebhaft braun (7,5 YR 5/6) mit einigen beigen Flecken (10 YR 7/4) und zahlreichen roten Tupfen (10 R 4/8); sehr schwach steinig; lehmiger Ton, zerfällt in große Polyeder, die keine Tonbeläge auf den Oberflächen tragen.

> 180 cm: buntfleckig (Farben wie im Horizont darüber), stark steinig, zahlreiche Eisen- und Magnetonkonkretionen von 0,5-2 cm Größe.

Analyse-Ergebnisse



(VIELLEFON et al 1965:165, 230)

Bewertung: Anreicherung von Feinsand durch vertikale Tonverarmung (Lessivierung) und relative biogene Tonverlagerung durch Termiten sind typisch für das beschriebene Profil. Infiltrations- und Gefügeeigenschaften sind günstig. An der Basis zu den ferrallitisierten Alluvionen tritt vereinzelt eine schwache hydromorphe Überprägung auf. Dominante Tonminerale sind Kaolinit und Illit, wobei letzterer häufiger vorkommt (vgl. VIELLEFON et al. 1965:167)

Aufschluß / Bohrung Nr. 42

Standort: Boden aus sandig-schluffigen bis tonig-lehmigen, allgemein feinkörnigen Alluvionen des Oti und seiner Zuflüsse. Lokalisiert sind solche Standorte in ebenen Überschwemmungsbereichen, wo wassergefüllte Depressionen (Mare, Bas-fonds) die Trockenzeit überdauern können. Feuchtigkeitsliebende Gras- und Krautarten dominieren; landwirtschaftliche Nutzung fehlt weitgehend.

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: hell-grau (10 YR 6/1), einzelne längliche, beige-gelbe Tupfen (10 YR 5/8), lehmig, toniger Schluff, feines gut entwickeltes Krümelgefüge; in feuchtem Zustand stark kohärent; stark durchwurzelt.

10 - 40 cm: hell-grau (10 YR 7/1) mit wenigen beige-gelben Flecken (10 YR 7/8), lehmig, tonig; bröckelige Subpolyederstruktur mit Tendenz zur Prismenbildung; mittel durchwurzelt.

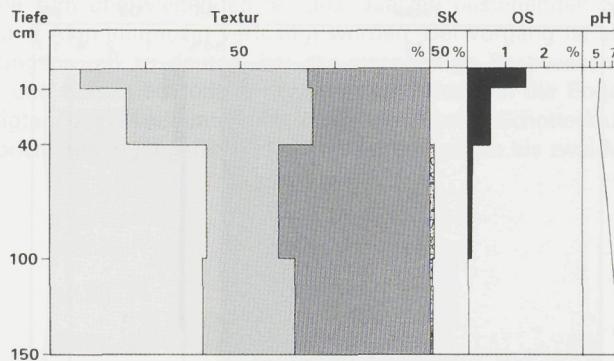
40 - 100 cm: grau-beige (10 YR 6/2) mit zahlreichen beige-gelben Flecken (10 YR 7/8); schwach steinig, bei 100 cm ein dünnes Band von Fe-Konkretionen; lehmig.

100 - 125 cm: grau-beige (10 YR 6/2), ockerfarbene Flecken (2,5 YR 5/8); einige Quarze und ferruginisierte Kiese; lehmig-tonig, gering entwickeltes Polyedergefüge.

125 - 150 cm: hell-grau bis braun (2,5 YR 5/2) mit kleinen beige-gelben Flecken (10 YR 7/8) und feinen, wenig zahlreichen schwarzen Flecken; mittel steinig, kleine Fe-Konkretionen (< 1cm); lehmiger Ton, in Polyeder abgesondert.

> 150 cm: verwitterter grau-grüner Schiefer, der offensichtlich in keinem genetischen Zusammenhang mit der darüber liegenden Bodenbildung steht.

Analyse-Ergebnisse



(VIELLEFON et al. 1965:178,234)

Bewertung: Durchgehend stark tonige Horizonte mit einzelnen eingeschwemmten Sand- und Pisolithlagen. Bei hohen Austauschkapazitäten charakterisieren die häufig feuchten,

aufgrund der guten bis mäßigen Infiltrationseigenschaften nur wenig hydromorphen Böden der Niederungen.

Aufschluß / Bohrung Nr. 43

Standort: Hydromorpher Boden über stark verwitterten Tonschiefern und feinsandigen alluvialen Ablagerungen. Der Aufschluß liegt im Zentrum eines fast kreisförmig, die minimal geneigte Alluvialebene umschließenden Oti-Mäanders südlich von Mango. In der Peripherie zum rezenten Oti-Flußbett begrenzen sandige Uferwälle das Überschwemmungsgebiet. Das Mikrorelief wird durch 10-20 cm hohe, kleinkuppige Wurmlosungshügel geprägt. Krautige Vegetation und Gräser herrschen vor. Besonders auf den erhobenen Wurmlosungsformen ist der Pflanzenwuchs dichter als zwischen den kuppigen Kleinformen.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: grau-beige (10YR 6/2) mit wenigen feinen beige-gelben Flecken (10YR 7/8); steinfrei; feinsandig, krümeliges bis bröckeliges, mäßig entwickeltes Gefüge; mittel permeabel, stark durchwurzelt.

15 - 30 cm: hell beige (10YR 8/3) mit vereinzelten beige-gelben Tupfen (10YR 7/8); steinfrei; feinsandig, Polyederstrukturen, mäßig fest und permeabel, stark durchwurzelt.

30 - 35 cm: gleichförmige Lage aus Fe- und Mn-Konkretionen (<1cm) mit einigen matten Quarzen in toniger Bodenmatrix.

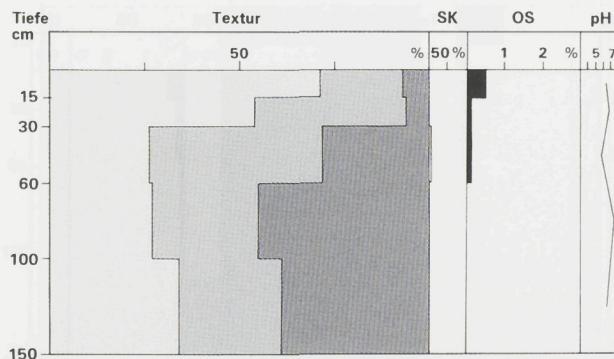
35 - 50 cm: braun, braun-gelb bis buntfleckig (10YR 5/4 - 5/8); schwach steinig, lehmig, toniger Sand; feine Polyederstrukturen mit von oben sandig verfüllten Spalten; mittel bis schwach durchwurzelt.

50 - 75 cm: grau bis hell grau-braun (10YR 5/1 - 5/2) mit zahlreichen braunen Flecken (10YR 5/4) und kleinen, begrenzten roten Tupfen (10R); sehr schwach steinig, v.a. Konkretionen (Fe, Mn) uneinheitlicher Größe; lehmig-toniger Sand.

75 - 150 cm: hell grau-beige (2,5Y 6/2), wenige schwarze und braun-gelbe Flecken (10YR 5/8); lehmiger Ton, massive feste Struktur mit abnehmender Zahl vertikaler Spalten.

> 150 cm: ähnlich wie im Hangenden; hier mit zahlreichen Kalk-Konkretionen innerhalb stark verwitterter, tonhaltiger Schiefer.

Analyse-Ergebnisse



(VIELLEFON et al. 1965:183, 236)

Bewertung: Der aus Fe-Konkretionen bestehende Horizont in 30-35 cm Tiefe, der nach VIELLEFON's (1965) Beschreibung keine Ortsteinbildung ist, deutet eine fluviatile oder kolluviale Ablagerung von zuvor erodiertem älteren Krustenmaterial an, das in der Umgebung von Mango verbreitet ist. Die für Agrarzwecke günstigen Bodeneigenschaften treten in den tieferen Bodenhorizonten auf und bleiben so weitgehend ungenutzt. Die Tonfraktion wird von Montmorillonit mit etwas Illit gebildet (vgl. VIELLEFON et al. 1965:184).

Aufschluß / Bohrung Nr. 44

Standort: Bodenprofil über vorzeitlichen, sandig- bis sandig-tonigen Alluvionen mit Lateritkruste in ca. 1 m Tiefe. Oberflächlich sind kolluviale Deckschichten abgelagert. Flach geneigte ($< 1^\circ$), eingerumpfte Hänge leiten zum rezenten Oti-Flußbett über. Die natürliche Vegetation bildet eine lichte Baumsavanne, die weitgehend durch Feldflächen ersetzt ist.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: hell grau (10YR 6/2), steinfrei; feinsandig, Einzelkorngefüge bis bröckelige schwach verhärtete Subpolyederstruktur, durchlässig und porös, mittel durchwurzelt.

15 - 45 cm: beige (10YR 6/4), sandig, Subpolyeder- bis Polyedergefüge, mittel bis schwach durchwurzelt.

45 - 70 cm: beige (10 YR 7/4) im Liegenden einige gelb-beige Tupfen (10 YR 6/8), lehmiger Sand, Polyedergefüge.

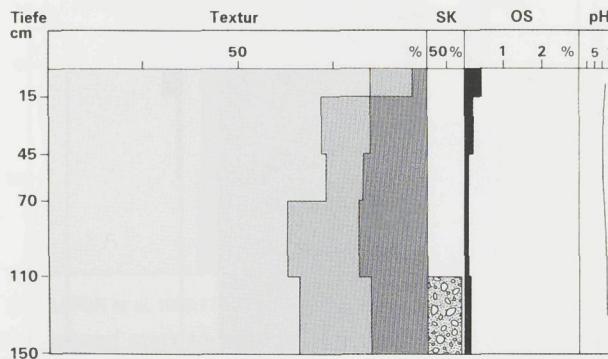
70 - 110 cm: hell beige (10YR 8/4) mit zahlreichen braunen und ockerfarbenen Flecken (5YR 5/8 und 2,5YR 4/8); lehmig-toniger Sand, feines, gering entwickeltes Polyedergefüge, fest und kohärent.

110 - 150 cm: stark steinig, schlackige, massive Lateritkruste; die obersten 10 cm sind nur gering verfestigte Konkretionen; die Kruste lagert einer quarzhaltigen Grenzschicht über dem liegenden Horizont auf.

150 - 165 cm: hell grau (5Y 6/1) mit zahlreichen braunen bis ockerfarbenen Flecken (5YR 5/8 und 2,5YR 4/8); lehmig, schwach sandig, feines und gering entwickeltes Polyedergefüge; einzelne mit ockerfarbigen Ton verfüllte Spalten.

> 165 cm: hell grau-oliv (5Y 6/3); in stark toniger Matrix stecken vereinzelt Kalkkonkretionen; lokal sind scharf begrenzte schwarze Flecken zu erkennen; in 350 cm werden Schotter und Kiese erreicht.

Analyse-Ergebnisse



(VIELLEFON et al. 1965:168, 231)

Bewertung: Der hohe Gehalt an Sand und die Ausformung von Polyedern begünstigt im oberen Abschnitt des Profils die Wasserinfiltration. Die Lateritkruste in etwa 1 m Tiefe hemmt die weitere Versickerung des Niederschlagswassers und initiiert laterale und basale Ton- und Nährstoffverarmung und im fortgeschrittenen Stadium oberflächlichen denudativen und teilweise auch linear-erosiven Feinbodenabtrag. Die Tone im Boden sind Illit und Kaolinit (vgl. VIELLEFON et al. 1965:169).

Aufschluß / Bohrung Nr. 45

Standort: Bodenprofil im Bereich der rezenten, sandigen Uferwälle und Alluvialterrassen im Hochflutbett des Oti. Das Kleinrelief ist eben und flach mit Ausnahme von feuchten Senken mit Restwasserseen. Gräser und sehr wenige Bäumen kennzeichnen die Vegetation.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: braun-gelb (10 YR 6/2), gelb-rot gefleckt (5 YR 7/8), steinfrei; schluffig-feinsandig, polyedrische Struktur, gut porös mit hoher Infiltrationsrate, intensive Bioturbationserscheinungen, sehr stark durchwurzelt (Grasnarbe, Wurzelfilz).

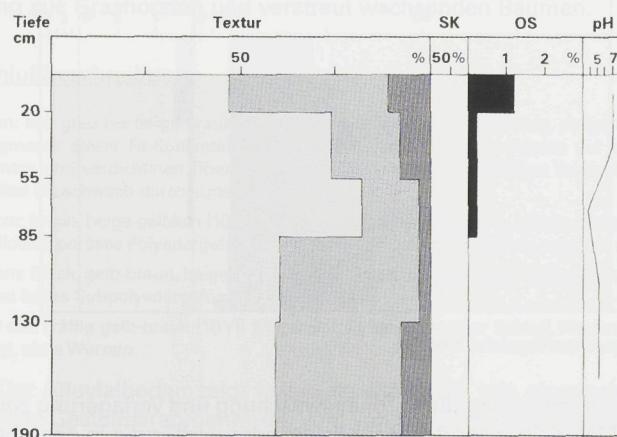
20 - 55 cm: gelb-orange mit braun-gelben Flecken (10 YR 7/4 bis 10 YR 6/8), teilweise lebhaft gelb-braun bis braun (10 YR 4/6); wenige runde Fe/Mn-Konkretionen (innen schwarz); sandig bis sandig-schluffige Textur, Polyedergefüge mit guter Infiltration, kompakter und verfestigter Horizont; hohe biologische Aktivität, stark durchwurzelt.

55 - 85 cm: lebhaft braun-gelb (10 YR 6/6 - 5/6) mit gelb-orangen Flecken (10 YR 7/8); sandig mit vielen Glimmerplättchen, polyedrisches Gefüge mit guter Porosität, hohe biologische Aktivität, stark durchwurzelt.

85 - 130 cm: frisch, gelb-orange, beige-braun gefleckt (10 YR 7/4 - 10 YR 4/6), plattige Glimmer, feinsandig, große bis mittelgroße Polyeder, in kleinere Subpolyeder zerfallend, porös mit schneller Wasserinfiltration, mittel durchwurzelt.

130 - 190 cm: frisch, matt gelb-orange (10 YR 6/3) mit bräunlichen Flecken (10 YR 4/6), Glimmerplättchen in schluffig-sandiger Bodenmatrix; Polyedergefüge bis Subpolyeder, schnelle Wasserinfiltration; schwach durchwurzelt, keine biologische Aktivität zu registrieren.

Analyse-Ergebnisse



(République Togolaise 1980:25)

Bewertung: Der schluffig-sandige Alluvialboden erhält durch die Oti-Hochwässer Sedimentauflagen, die nach den jeweiligen Ablagerungsverhältnissen mehr sandig, schluffig oder tonig sein können. Sofern der Boden nicht oberflächlich verschlämmt, ist er relativ unangreifbar für Denudationsprozesse. Termitenbioturbation spielt auf diesem Standort sekundär eine Rolle, v.a. bei der relativen Anreicherung von Ton im Unterboden bzw. Feinsand auf der Oberfläche.

Aufschluß / Bohrung Nr. 46

Standort: Aufschluß über alten Oti-Alluvionen auf flach geneigtem (< 1°), gestreckten Hang zwischen dem lateritverkrusteten Plateau in 120 m ü.d.M. und dem Oti-Flußbett.

Aufschlußbeschreibung

0 - 25 cm: frisch, braun-gelb (10YR 5/4), steinfrei, sandig bis sandig-schluffig, etwas krümelig, sonst Einzelkorngefüge (Wurmlosung an der Oberfläche), gute biologische Aktivität, stark durchwurzelt, hohe und schnelle Wasserinfiltration.

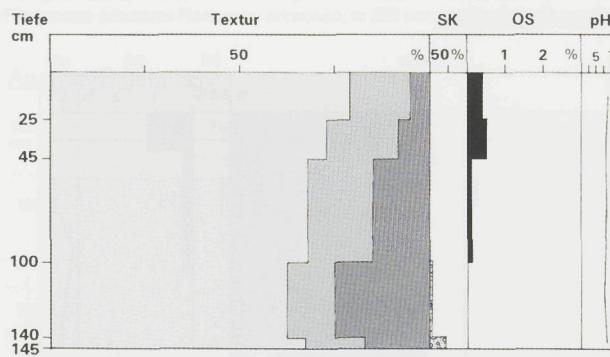
25 - 45 cm: frisch, gelb-braun (10YR 6/6), sandig-schluffig, polyedrische bis subpolyedrische Struktur, mürbe und stark porös, hohe Wasserinfiltration, mittel bis schwache Durchwurzelung, abnehmende biologische Aktivität (Würmer, Termiten).

45 - 100 cm: wie im Hangenden; weiter zurückgehende biologische Aktivität.

100 - 140 cm: gelblich (7,5YR 7/8) mit rötlichen Flecken (2,5YR 4/8), deutlich toniger, lehmiger Sand; sehr schwach steinig mit kleinen Quarzen (< 1 cm) und Fragmenten einer Lateritkruste; bröckeliges Subpolyeder bis Polyedergefüge, mäßig permeabel, nicht durchwurzelt, sehr schwache biologische Aktivität.

140 - 145 cm: gelblich (10YR 7/6) mit beigen und roten Flecken (10YR 7/8 - 2,5YR 5/8); mittel steinig, zahlreiche eisenhaltige Konkretionen mit braun-rötlichen Bruchstellen; schluffig-sandige, grob polyedrische Struktur, fest, mäßig permeabel, nicht durchwurzelt und kaum Tätigkeit von Termiten zu beobachten.

Analyse-Ergebnisse



(République Togolaise 1980:54)

Bewertung: Texturdifferenzierung durch Tonauswaschung und Verlagerung sowie durch selektiven biogenen Materialtransport, der zur Feinsandanreicherung in den oberen Horizonten führt.

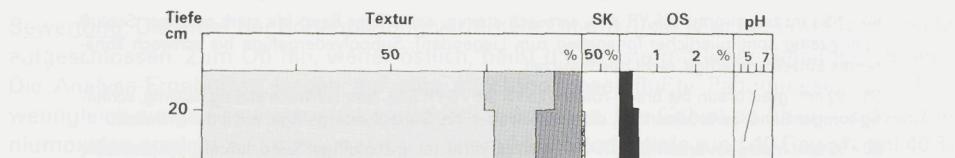
Aufschluß / Bohrung Nr. 47

Standort: Boden außerhalb der Oti-Überschwemmungsebene mit sandigen Ablagerungen über Lateritkruste auf Tonschiefer. Ebene Plateaulage, Mikrorelief ebenfalls flach. Das Pflanzenkleid bildet eine Baumsavanne mit lückenhafter, wenig dichter Kraut- und Gras- schicht.

Aufschlußbeschreibung

- 0 - 20 cm: blaß braun (10 YR 7/4), sehr schwach steinig; sandig-schluffige Textur, krümeliges bis bröckeliges Gefüge, teilweise Einzelkörner, stark permeabel und durchlässig; hohe biologische Aktivität, Insekten- und Wurmgänge.
- 20 - 50 cm: sehr blaß braun (10 YR 7/3) mit gelbbrauen Flecken (10 YR 6/8), schwach steinig, Fe-Konkretionen und ferruginisierte Kiese; grobsandiges bis schwach schluffiges Subpolyedergefüge, leicht verhärtet, abnehmende Porosität und Durchlässigkeit, starke biologische Aktivität.
- > 50 cm: feste, rötlich-braune, fleckige Lateritkruste.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der Boden ist ein sandiger Tonstein mit einer Lateritkruste. Die Anwendung von Dünger ist möglich, da die Kieselsäure-Konzentration gering ist. Vermundung: (République Togolaise 1980:43)

Aufschluß / Bohrung Nr. 48

Standort: Bodenprofil auf rezenten Alluvialterrassen über Tonschiefer östlich von Mango, kurz hinter der Mündung des Koumandouti in den Oti. Die Oberfläche ist eben und teilweise etwas gegenläufig vom Vorfluter weggeneigt (Uferwälle und Uferseen). Sehr karge Bodenbedeckung aus Grashorsten und verstreuht wachsenden Bäumen.

Aufschlußbeschreibung

- 0 - 15 cm: hell grau bis beige-braun (10 YR 6/3 - 6/4), sehr schwach steinig, einige Sand- und Tonsteinfragmente sowie Fe-Konkretionen (< 0,5 cm) liegen locker verstreut auf der örtlich verschlämmten und verdichteten Oberfläche; sandiger Schluff bis schluffiger Sand, Subpolyedergefüge, mittel bis schwach durchwurzelt.
- 15 - 50 cm: braun, beige-gelblich (10 YR 7/3 - 6/4), sehr schwach steinig, sandig toniger Schluff, stärker verdichtet, poröses Polyedergefüge, zerbröckelt unter leichtem Druck; schwach durchwurzelt.
- 50 - 80 cm: frisch, gelb-braun, beige (10 YR 7/3 - 6/4), gelb bis rotbraun marmoriert; toniger Schluff, stabileres festes Subpolyedergefüge, keine Wurzeln.
- 80 - 120 cm: kräftig gelb-braun (10 YR 5/6), steinfrei; sandig-toniger Schluff, Wechsellagen, starker verfestigt, ohne Wurzeln.

Bewertung: Der Alluvialboden zeigt kolluviale Merkmale wie eingeschwemmte Pisolithe und fein verteilte Gesteinsfragmente, die vom verkrusteten Lateritplateau und den oberflächennahen Gesteinsausbissen bei Mango stammen. Im Bereich ganzjährig großer Boden-

feuchtigkeit und Bodennässe konnte in dem gebleichten Profil keine starke Bioturbation durch Würmer oder Termiten beobachtet werden.

Aufschluß / Bohrung Nr. 49

Standort: Bodenprofil auf dem plateauartigen Interfluve (0°) zwischen dem Flußbett des Oti und des Koumandouti; über Lateritkruste auf Tonstein entwickelt. Vegetation ist eine buschige Savanne mit geringer Bodenbedeckung.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: grau-braun (10YR 4/3 - 4/4), schwach bis mittel steinig, kleine Quarze und Fe-Konkretionen (< 1 cm), schluffiger Sand, Einzelkorngefüge, schwach kohärent, porös und permeabel, schwach durchwurzelt.

20 - 40 cm: grau-braun (10YR 4/4), mittel steinig, Quarze und Fe-Konkretionen; schwach schluffiger Sand, Einzelkorn bis Subpolyedergefüge, nur schwach kohärent, sehr gering durchwurzelt.

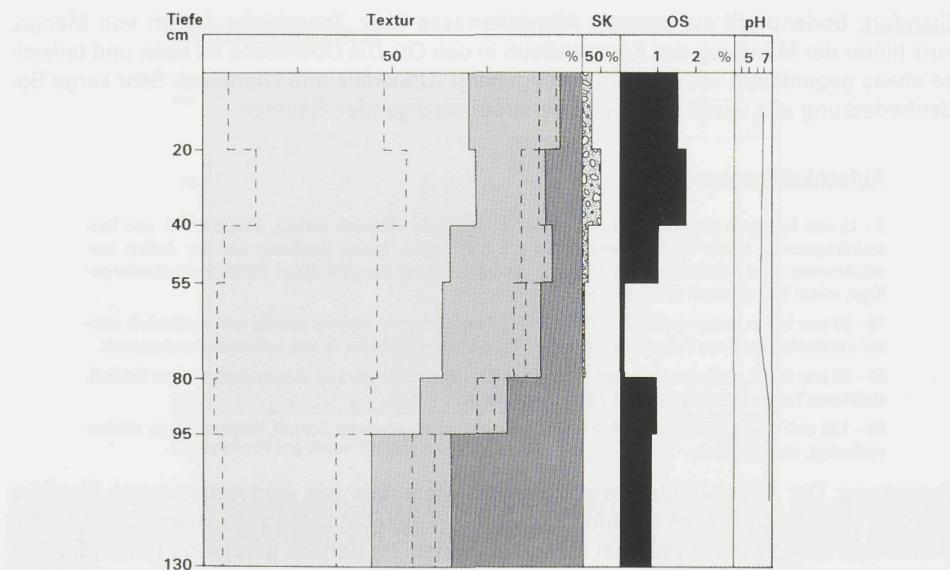
40 - 55 cm: braun-grau (7,5 YR 4/4), schwach steinig; schluffiger Sand bis stark sandiger Schluff (gleichzeitig kontinuierlicher Tonaanstieg zum Liegenden); Subpolyedergefüge bis schwach kohärentes Einzelkorngefüge, nicht durchwurzelt.

55 - 80 cm: grau-braun bis braun-rötlich (7,5 YR 5/6 - 5 YR 5/6), sehr schwach steinig; lehmig, schluffig-toniger Sand; zerbröckelndes, dichtes Polyeder- bis Subpolyedergefüge, nicht durchwurzelt.

80 - 95 cm: frisch, rot-braun (2,5 YR 4/4 - 4/6), steinfrei, tonig-schluffiger Sand, lehmig, zähplastisch, stabile Polyeder mit abnehmender Porosität und Permeabilität, nicht durchwurzelt.

95 - 130 cm: frisch, rot-grau bis rot-braun (2,5 YR 3/6 - 4/6), steinfrei; sandig-schluffiger Ton, zähplastisch verfestigt und verdichtet, Polyedergefüge, nicht durchwurzelt.

Analyse-Ergebnisse



Geochemischer Gesamtaufschluß

Tiefe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Summe
20 - 40 cm	44,5	2,1	22,7	11,2	0,6	0,6	0,5	1,0	0,4	84
55 - 80 cm	48,0	2,6	24,7	9,6	0,5	0,5	0,1	1,0	0,2	87
95 - 130 cm	44,3	2,0	29,5	9,1	0,1	0,4	0,1	0,8	0,2	87

Schwermineralspektrum

Tiefe	Zir.	Tur.	Rut.	Stau.	Dist.	Epid.	Hornb.
0 - 20 cm	84,0	6,6	6,0	0,5	2,0	1,0	0,5
95 - 130 cm	80,0	6,5	6,5	5,0	2,0		

(Zir= Zirkon, Tur= Turmalin, Rut= Rutil, Stau= Staurolith, Dist= Disthen, Epid= Epidot, Hornb= Hornblende)

Bewertung: Die unter der Bodenbildung vermutete Lateritkruste wird bei Profil Nr. 49 nicht aufgeschlossen. Zum Oti hin, weiter östlich, heißt die Kruste mit einer Geländestufe aus. Die Analyse-Ergebnisse lassen auf eine allochthon beeinflußte Pedogenese schließen, wenngleich einige Resultate widersprüchlich erscheinen. Der Gehalt an Eisen- und Aluminiumoxiden erreicht zusammengefaßt in einem Meter Bodentiefe rund 40 Gew.-% bei 40 % Kieselsäure (SiO₂). Gleichzeitig ist die Bodenreaktion schwach alkalisch bis neutral, was die Vermutung auf kalkhaltige Konkretionen oder andere Basenquellen in der Bodenmatrix lenkt. Bei Profil Nr. 49 wird diese These bei einem Gehalt von 0,1 % MgO und 0,1 % CaO im betreffenden Horizont nicht bestätigt. Die kalkigen Bestandteile des Oti-Tonsteins im Liegenden wurden durch Ferrallitisierung und Eisenkrustenbildung fast vollständig verwittert und gelöst. Das neutrale bis alkalische Milieu ist demnach nur durch seitlich eingeschwemmte Kalkkonkretionen oder durch eine hohe Pufferleistung des Bodens durch 36 % Ton zu erklären. Tonminerale sind zu 78 % der austauschschwache Kaolinit, und zu 22 % das Dreischichttonmineral Illit. Der Schwermineralgehalt des Profils ist gering (0,06-0,15 Gew.-%) und insgesamt homogen. Es besteht eine klare Dominanz der stabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil.

Aufschlußbeschreibung
(nach Regenfall am Vormittag)

0 - 10 cm frisch, grün-braun (M2V1 M2), schwach steinig, v.a. Plagioklas und Fe-Konkretionen als feste Einschlüsse an der Oberfläche. Flüssigkeitsgefüge bis wenig ausgebildetes Subgraudengefüge, schwach bis sehr schlechtartig.

10 - 20 cm weicher, hell grau bis beige-grau (M2V1 M2), losegeränd, leicht gelagert ohne ausgeprägte Schichtung, kein Wasserdruck.

Beschreibung: Wie bei Aufschluß Nr. 47 wird die Mineralaffinität durch überflächliche Verwitterung und nachfolgende Erosion abgebaut und beginnen bei gleichzeitiger Kalium- und Magnesiumaffinität wieder zu reagieren in Form eineskaliferiger Absonderungen.

Aufschluß / Bohrung Nr. 50

Standort: Profil an rückschreitend erodierender Runse, die vom Oti aus in einen gestreckt-konkaven Hang (1° - 2°) mit rezenter sandig-kolluvialer bis alluvialer Deckschicht greift (Zurückverlegung kleiner Pedimentstufen). Wenig bedeckter Boden mit zunehmender Häufung von Bäumen nahe am Oti-Flußbett.

Aufschlußbeschreibung

0 - 5/10 cm: hell beige-braun (10 YR 6/4), sehr schwach steinig, verschlämmte Oberfläche; schluffiger Sand, lockeres Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt.

5/10 - 55 cm: gelb-braun, beige marmoriert (10 YR 6/1 - 6/2), toniger Sand bis toniger Schluff, Prismen- und Polyedergefüge, gering entwickelt, teilweise mit von oben verfüllten, vertikalen sandigen Spalten, nicht durchwurzelt.

55 - 80 cm: grau, gelb bis beige-braun, braun-rotfleckig (10 YR 5/3 - 5/4); schluffiger Ton, Prismen gehen in verhärtete, kantige Polyeder über (zerkleinerte Aggregate im trockenen Zustand lößartig), nicht durchwurzelt.

> 80 cm: wie im Hangenden, allerdings mit zunehmender hydromorpher Prägung (buntfleckig, grau-beige-rostrot marmoriert).



Untersuchungsgebiet BOMBOUAKA

(vgl. Kapitel 4.5, Beilage 5)

Aufschluß / Bohrung Nr. 51

Standort: Bohrung im Vorfeld der Schichtstufenstufe bei Nasieté im Übergangsbereich von Sand- zu Tonsteinen der Fosse aux Lions. Schichten sehr flach nach NNW geneigt ($< 1^\circ$) mit schütterer Bodenbedeckung; vereinzelt Savannenbäume.

Aufschlußbeschreibung

(nach Regen am Vormittag, vor ca. 6 Stunden)

0 - 25 cm: frisch, hell grau bis beige-braun (10YR 6/4), schwach steinig, mit Fe-Konkretionen auf der Oberfläche, sandiger Schluff, Einzelkorngefüge bis Wurmlosgeschiebe (bis 15 cm hohe "buttes"); verschlämmte Oberfläche, örtlich erschwerete Wasserinfilt ration; schwach durchwurzelt.

25 - 60 cm: trocken, grau-beige bis gelblich (10 YR 7/4 - 7/6), locker gelagerter, sandig-toniger Schluff, ohne deutlich ausgebildete Aggregatstruktur; staubig-mehliger Texturcharakter, nicht durchwurzelt.

> 60 cm: trocken, grau-beige (10YR 7/5); sandiger Schluff, schluffiger Sand; Einzelkorngefüge, locker gelagert; in feuchtem Zustand kohärent und lehmig, nicht durchwurzelt.

Bewertung: Der große Feinsand und Schluffgehalt der teils autochthonen Böden über Tonstein sowie der allochthonen Böden aus abgesandetem und kolluvial verspültem Schichtstufenmaterial verursacht eine erhöhte Verschläm mungsgefahr und begünstigt oberflächlichen Abfluß. Nach einem heftigen Niederschlagsereignis zeigte sich, daß lediglich eine Durchfeuchtung der oberen 25 cm des Bodens erfolgte. Der Unterboden bleibt völlig trocken und steht als Infiltrationsraum offensichtlich nicht zur Verfügung.

Aufschluß / Bohrung Nr. 52

Standort: Bodenprofil in der Niederungsebene des Mog-Bong über wasserundurchlässigen Tonsteinen im Vorfeld der Sandsteinschichtstufe. Der Mog-Bong ist kastenförmig mit mäandrierendem Lauf in die Depression eingetieft. Eine Konzentration des Baum- und Buschbewuchses ist in Annäherung an das Gerinnebett festzustellen.

Aufschlußbeschreibung

(nach Regenfall am Vormittag)

0 - 15 cm: frisch, grau-braun (10YR 5/3), schwach steinig, v.a. Pisolithen und Fe-Konkretionen als lich tes Steinpflaster an der Oberfläche; Einzelkorngefüge bis wenig entwickeltes Subpolyedergeschiebe, schwach bis nicht durchwurzelt.

15 - 40 cm: trocken, hell grau bis beige-grau (10YR 6/4), lehmiger Sand, locker gelagert ohne ausgeprägte Gefügestruktur, nicht durchwurzelt.

Bewertung: Wie bei Aufschluß Nr. 51 wird die Wasserinfilt ration durch oberflächliche Verschläm mung und Gefügeinstabilitäten extrem reduziert und begünstigt bei gleichzeitig lichtem Vegetationsbestand die Effektivität der Bodenerosion in Form denudativer Abspülung.

Aufschluß / Bohrung Nr. 53

Standort: Nördlich des 300 m ü.d.M. Sandsteinstufenneaus, auf dem der Ort Bombouaka liegt, öffnet sich zwischen den oberen Sandsteinstockwerken eine dreiecksförmige, buchtartige Ebene in 260 m ü.d.M., die von Tonsteinen der Fosse aux Lions unterlagert wird. In der agrarisch stark genutzten Ebene treten kleine periodische Seen und Tümpel sowie Gully-Anrisse auf. Der Aufschluß liegt, der *Route Nationale 1* folgend, etwa 500 m nördlich von Bombouaka und 100 m östlich der Straße.

Aufschlußbeschreibung

0 - 6 cm: frisch, hell bis beige-braun (7,5YR 4/6), schwach humos, steinfrei; schluffiger Sand mit Verschlämmlungsneigung, ohne deutliche Aggregatausbildung; geringe Wasserinfiltration, mittel durchwurzelt, feiner Wurzelfilz einer lichten Grasdecke.

6 - 20 cm: frisch, hell grau-braun, heller und humusärmer als darüber (10YR 5/4), vertikal rostfarben marmoriert, in Richtung der Bodenwasserbewegung: schwach bis mittel steinig, konkretionsartige Grobkomponenten (1-2 cm), rund, außen gelb, innen schwarz, stark mürbe angewittert, Sandsteinfragmente; schluffig-toniger Sand bis sandig-toniger Schluff, gering entwickelte Gefügestrukturen, subpolyederartig, schwach durchwurzelt.

20 - 40 cm: trocken, grau-beige (10YR 7/4 - 6/4), vereinzelt rostfarben marmoriert, mittel bis stark steinig, im oberen Bereich des Horizonts Ablagerung von plattig-kantigen bis gut gerundeten, teilweise stark angewitterten, mürben Sandsteinfragmenten, eingebettet in schluffig-sandige, dichte, wenig wasserdurchlässige, aggregatlose Bodenmatrix; nicht durchwurzelt.

40 - 80 cm: trocken, hell grau-braun (10YR 7/2), rostfleckig; mittel bis schwach steinig, Sandsteinfragmente, grusig verwittert; tonig-sandiger Schluff, stark verdichtet, fest, gering porös, schlechte Infiltrationseigenschaften; nicht durchwurzelt.

> 80 cm: stark tonig, fest und verdichtet, kaum wasserdurchlässig (Stauhorizont über im Liegenden anstehenden Tonsteinen der Fosse aux Lions).

Bewertung: Der Aufschluß, der als kolluvialer, schwach hydromorpher, ferruginisierter tropischer Bodentyp anzusprechen ist, zeigt eine genetische Mehrphasigkeit durch aufsedimentiertes Erosions- und Verwitterungsmaterial der umliegenden Schichtstufen sowie eine autochthon initiierte, pelosolartige Stauhorizontbildung über dem tonigen Anstehenden. Biogen bedingte Texturschichtungen konnten nicht beobachtet werden. Bestimmende morphodynamische Prozesse sind kontinuierliche, klimagesteuerte Materialakkumulation von den Schichtstufen und Erosion (flächen- und linienhaft) in der Ebene verursacht durch die geringe Wasserinfiltration der liegenden Schichten.

Aufschluß / Bohrung Nr. 54

Standort: Aufschluß in der schwach nach Norden abdachenden (< 1°) "Tonebene" der Fosse aux Lions bei Bombouaka, östlich eines kastenförmig ins Lockermaterial eingetiefen Gerinnes, das die Ebene zur Mog-Bong Vorflut hin entwässert. Intensive landwirtschaftliche Bodennutzung durch Hirseanbau der Mbas.

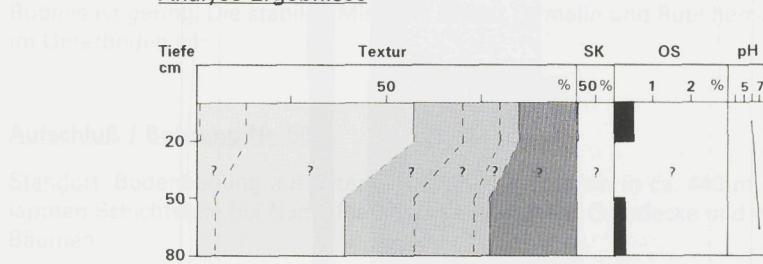
Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: trocken, grau-braun (10YR 5/4), sehr schwach steinig; toniger bis schluffiger Sand, Oberfläche verschlämmt und verdichtet, schlechte Infiltrationseigenschaften, gering entwickeltes Subpolyedergefüge, schwach durchwurzelt; örtlich völlig vegetationsfreie und verkrustete Oberflächen.

20 - 50 cm: frisch, braun bis dunkelbraun (10 YR 4/3), tonig-sandiger Schluff, verdichtet und verfestigt, ohne Aggregatausbildung; nicht durchwurzelt.

50 - 80 cm: trocken, hell gelb-braun bis gelb-braun (10 YR 6/4 - 5/4), schwach steinig, angewitterte Sandsteinbröckchen (1 cm); tonig-schluffiger Sand, locker gelagert, mehlige Konsistenz, Einzelkorngefüge (in feuchtem Zustand kohärent), nicht durchwurzelt.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der Boden ist durch Verdichtung und oberflächliche Verschlämmlung stark erosionsgefährdet. Die schwankende Bodenfeuchte verursacht das geringe Eindringen der Niederschläge und gleichzeitig ein gering entwickeltes Speichervermögen bei überwiegend sandiger Textur. Die im Oberboden enthaltenen Sandsteinfragmente belegen die kolluviale Herkunft des Decksediments von den Schichtstufenhängen. Als Tonminerale treten Kaolinit und Illit auf. Kaolinit dominiert im Oberboden; unterhalb von 50 cm Tiefe nimmt der Illit-Anteil zu (> 50%). Außerdem geringe Vermiculit Gehalte von < 5%.

Aufschluß / Bohrung Nr. 55

Standort: Aufschluß südwestlich von Bogou in der Niederungsebene des kastenförmig eingetieften und nach Süden entwässernden Flusses Inik auf ebenem Interfluve (0°) (Tonsteine der Fosse aux Lions). Intensiv genutzte Agrarlandschaft (Hirseanbau) der Mbas. Die natürliche Savannenvegetation ist vollständig durch Nutzpflanzen ersetzt worden.

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: frisch, dunkel gelb-braun (10 YR 4/4), humushaltig, steinfrei, schluffiger Sand; lockeres Krümelgefüge mit Wurzelfilz einer Grasdecke.

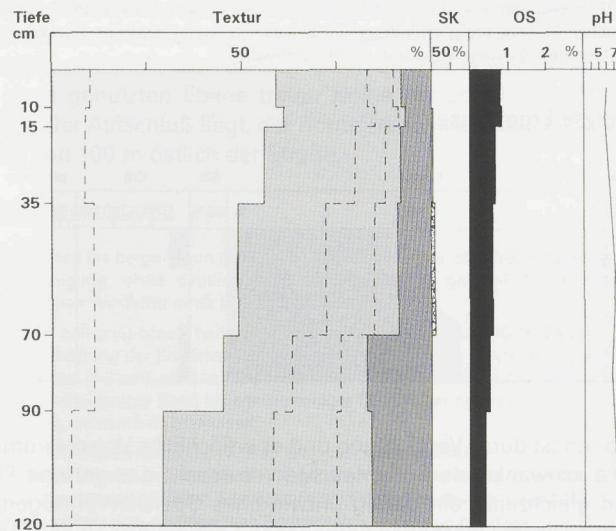
10 - 15 cm: frisch, gelb-braun (10 YR 5/4), humushaltig, schluffig-toniger Sand, grobes Krümel- bis Subpolyedergefüge, porös, mittel durchwurzelt.

15 - 35 cm: frisch, hell gelb-braun (10 YR 6/4), abnehmender Humusgehalt; schluffig toniger Sand, Einzelkorngefüge mit einigen verbackenen Subpolyederaggregaten, schwach durchwurzelt.

35 - 70 cm: frisch, matt gelblich-braun (10 YR 7/4), schwach steinig, mit grusig verwitterten Sandsteinfragmenten; tonig-schluffiger Sand, mehliges Einzelkorngefüge, porös und gering kohärent, nicht durchwurzelt.

70 - 90 cm: frisch, grau bis gelblich-braun (10 YR 6/4), steinfrei, tonhaltiger.

90 - 120 cm: feucht (Grundwasser); beige-braun (10 YR 7/6) mit hydromorpher, grauer Marmorierung und lokalen rostigen Flecken (2,5 YR 6/4 - 10 YR 5/4); schwach bis mittel steinig, Sandsteinfragmente; tonig-schluffiger Sand; Subpolyedergefüge, wurzelfrei.

Analyse-ErgebnisseGeochemischer Gesamtaufschluß

Tiefe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Summe
0 - 10 cm	41,3	1,0	23,0	11,1	0,3	1,2	0,4	2,6	0,2	81,2
10 - 15 cm	41,9	1,1	23,4	11,2	0,3	1,3	0,4	2,7	0,2	82,5
35 - 70 cm	44,6	1,5	25,2	11,5	0,1	1,3	0,1	3,0	-	87,4
90 - 120 cm	42,8	1,1	25,8	11,8	0,2	1,4	0,2	2,7	-	86,1

Schwermineralspektrum

Tiefe	Zir.	Tur.	Rut.	Epid.
0 - 10 cm	81,5	11,0	7,0	0,5
90 - 120 cm	81,5	11,0	7,0	0,5

(Zir= Zirkon, Tur= Turmalin, Rut= Rutil, Epid= Epidot)

Bewertung: Der Boden ist das Resultat kolluvial verlagerter, teils ferrallitisch vorverwitterter Abtragungsprodukte der Bombouaka Sandsteine, die auf den undurchlässigen Tonschiefern der Ebene mehrere Meter mächtig abgelagert wurden. Die Zusammensetzung der Bodenart ist hinsichtlich Sand und Schluff über das gesamte Profil gleichmäßig; nur die Tonfraktion nimmt kontinuierlich mit der Tiefe zu (Lessivierung und Übergang in das pelosolar-

tig verwitterte Anstehende). Neutral bis basisch ist die Bodenreaktion ab 70 cm Tiefe, die mit dem hochanstehenden Grundwasserspiegel, der schlechten Dränung, und den daraus verursachten hohen Gehalten an Illiten und Smectiten (Anreicherung von alkalischen Si- und Mg-Lösungen in schlecht dränierten Niederungen, aus denen Smectite auskristallisieren können). Gleichzeitig wirkt im periodisch hydromorphen Bereich des Bodens eine aktive Eisen- und Aluminiumdynamik (siehe Fe/Al-Analysen). Der Schwermineralgehalt des Bodens ist gering. Die stabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil herrschen im Ober- wie im Unterboden vor.

Aufschluß / Bohrung Nr. 56

Standort: Bodenbildung auf Lateritkruste über Sandstein in ca. 440 m ü.d.M. auf der zerlappten Schichtstufe bei Nano. Plateaulage mit dünner Grasdecke und vereinzelt kleineren Bäumen.

Aufschlußbeschreibung

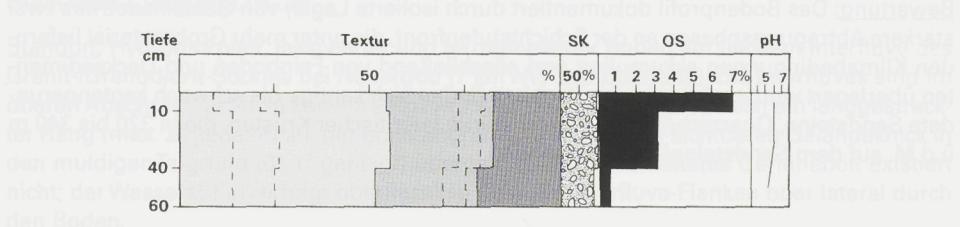
0 - 10 cm: sehr dunkel grau-braun (10YR 3/2), humos, sehr stark steinig, kiesige und schwach kantengerundete Fe-Konkretionen; Pisolithe und ferruginisierte Sandsteinbrocken (< 5 cm); tonig-sandige Textur, Einzelkorngefüge in Skelettbodenmatrix; mittel durchwurzelt (feiner Wurzelfilz einer lichten Grasdecke).

10 - 40 cm: dunkel-braun bis braun (10YR 4/3), humos, sehr stark steinig; etwas lehmigere Textur als im Hangenden, nicht durchwurzelt.

40 - 60 cm: dunkel-braun (10YR 4/2 - 4/3), sehr stark steinig; ohne entwickelte Aggregate, Einzelkorngefüge; wurzelfrei.

> 60 cm: konglomeratische Lateritkruste aus Fe-Konkretionen, Pisolithen und ferrallitisierten Sandsteinfragmenten zusammengesetzt; massig und dicht, wahrscheinlich den Abfluß hemmend.

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der skelettartige Charakter des aus Fe-Konkretionen und Sandsteindetritus zusammengesetzten Lithosols zeigt in allen Horizonten einen hohen Tongehalt von rund 20 % und einen überdurchschnittlichen Humusgehalt von 3-7 %. Landwirtschaftliche Nutzung auf derartigen Standorten konnte wegen der mangelhaften Gefüge- und Wasserverhältnisse nicht beobachtet werden.

Untersuchungsgebiet DAPAONG

(vgl. Kapitel 4.6, Beilage 6)

Aufschluß / Bohrung Nr. 57

Standort: Bodenprofil am Fuße der monolithischen Sandsteinschichtstufe bei Dapaong in schwach eingetieftem (< 1m) Schotter- und Sandsteindetritus führenden Bach über Hangschutt auf präkambrischem Basement (Übergangsbereich). Intensive Landnutzung (Hirse- und Maisanbau) durch Moba-Bauern auf den umliegenden Flächen.

Aufschlußbeschreibung

(nach Regen am Vortag)

0 - 10 cm: frisch, dunkelbraun (10 YR 4/3 - 3/3), humos, schwach bis mittel steinig, einzelne rostfarbene bis schwarze Sandsteinverwitterungsreste (0,5-2 cm), lassen sich mit den Fingern zerdrücken; schwach schluffiger Sand; oberflächennahes Krümelgefüge, feiner und dichter Wurzelfilz (Gras).

10 - 25 cm: frisch, braun, hell beige-braun (7,5 YR 5/6 - 4/6), stark steinig, konzentrierte, wellige Schuttlage aus runden, schwarzen Sandsteinkügelchen (konkretionsartig aber wenig fest), die über mehrere Meter entlang der Aufschlußwand zu verfolgen ist; lehmig-sandige Textur, wenig Feinboden; gering durchwurzelt.

25 - 30 cm: frisch, gelb-braun bis braun; schwach steinig, homogene Verteilung der Skelettbestandteile; lehmiger Sand, schwach kohärent, Einzelkorngefüge, wenig durchwurzelt.

30 - 35 cm: erneute Steinlage aus Sandsteindetritus (größer als im Hangenden, ca. 3-7 cm, teils kantiger Schutt, gering verwittert, sehr fest).

35 - 60 cm: frisch, gelb-braun bis beige (7,5 YR 5/6), mittel steinig, v.a. Sandsteinfragmente (< 2 cm); sandiger Boden, etwas schichtig und lamellenartig gelagert mit dazwischenliegenden Skelettbestandteilen; Einzelkorngefüge, von einigen größeren Baumwurzeln durchzogen.

60 - 120 cm: frisch bis feucht, beige-braun (7,5 YR 4/6), im Liegenden grau-braun (5 YR 4/6), an der Basis grau bis rostfarben marmoriert, schwach hydromorphe Prägung; lehmiger Sand, grobsandig; grusig zersetzte Sandsteinbrocken (10-20 cm); nicht durchwurzelt.

Bewertung: Das Bodenprofil dokumentiert durch isolierte Lagen von Gesteinsdetritus zwei stärkere Abtragungsphasen an der Schichtstufenfront, die unter mehr Grobmaterial liefernden Klimabedingungen akkumuliert und anschließend von Feinboden und Decksedimenten überlagert wurden. Im rezenten Bachbett finden sich kantige bis schwach kantengerundete Sandsteine, Quarzschorter und Bruchstücke lateritischer Krusten, die in 320 bis 340 m ü.d.M. auf dem Sandsteinplateau anstehen.

Aufschluß / Bohrung Nr. 58

Standort: Ferruginisierter, konkretionsreicher Boden auf dem Sandsteinplateau bei Dapaong nahe der Stufenstirn in unmittelbarer Nachbarschaft ausbeißender Lateritkrusten. Die aktuelle Landnutzung ist Hirseanbau.

Aufschlußbeschreibung

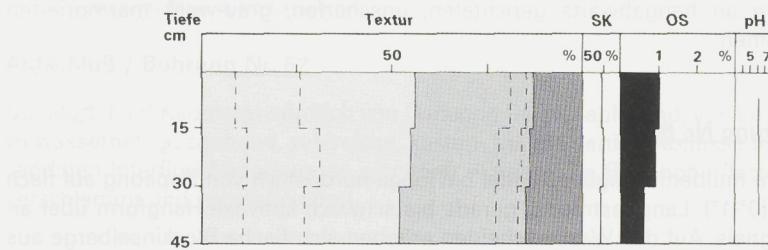
0 - 15 cm: grau-braun bis dunkel-braun (7,5 YR 4/4); mittel bis stark steinig, überwiegend Pisolithe und Krustenbruchstücke; schluffiger Sand, locker gelagert, Einzelkorngefüge, schwach durchwurzelt.

15 - 30 cm: dunkel-braun (7,5YR 4/2 - 4/4), stark steinig, Pisolithe; schluffig-grusiger Sand, grobsandig, mit merklichem Tongehalt (ca. 10 %, Kaolinit); locker gelagert, wenig fest, Einzelkorngefüge bis instabiles Subpolyedergefüge; nicht durchwurzelt.

30 - 45 cm: braun bis rötlich braun (5YR 4/4 - 4/6); mittel steinig, schluffig grusiger Sand mit weiter ansteigendem Tongehalt; Subpolyedergefüge, nicht durchwurzelt.

> 45 cm: zellige, feste Lateritkruste mit eingeschwemmtem Feinmaterial in den Hohlräumen (bunt, braun-rot bis gelb-braun).

Analyse-Ergebnisse



Bewertung: Der gering entwickelte Ranker-Lithosol ist zum Teil aus der Verwitterung des anstehenden Eisenpanzers hervorgegangen. Außerdem kann biogene Materialauflagerung durch Termiten und andere grabende Bodentiere angenommen werden, die die Bodenmächtigkeit erklären. Die Krustenoberfläche ist der Wasserinfilt ration wenig förderlich, so daß nach Durchfeuchtung des Oberbodens schnell lateraler und oberflächlicher Abfluß einsetzt. Der Boden ist leicht mit der Hacke zu bearbeiten. Limitierend für die Nutzung und den Ertrag sind die Gefügeeigenschaften und der geringe Nährstoffgehalt.

Aufschluß / Bohrung Nr. 59

Standort: Hydromorpher, lessivierter und ferruginisierter Boden auf flachem Interfluve des Granit-/Granodiorit-Sockels bei Nanergou (7 km NW von Dapaong). Die Interfluvies sind im oberen Abschnitt nur leicht konvex aufgewölbt (0°-2°); daran schließt sich ein langgestreckter Hang (max. 2° geneigt) an, der ohne Begrenzung oder einen sichtbaren Geländeknick in den muldigen Talgrund (0°-1° geneigt) übergeht. Ein ausgearbeitetes Gerinnebett existiert nicht; der Wasserabfluß erfolgt oberflächlich über die Interfluve-Flanken oder lateral durch den Boden.

Aufschlußbeschreibung

0 - 10 cm: frisch, grau-braun, gelblich marmoriert (10YR 5/2 - 4/2), schwach humos, steinfrei; schluffiger Sand, Hillwash Auflage; Einzelkorngefüge, gering durchwurzelt; stellenweise völlig vegetationsfreie Bodenoberfläche.

10 - 50 cm: frisch, grau-gelb bis gelblich beige mit scharf begrenzten und teilweise marmorierten Farbflächen (10YR 6/6 - 10YR 6/1 - 5/1); schluffig toniger Sand; Einzelkorn- und Subpolyedergefüge; leichte Reduktionsmerkmale, wahrscheinlich durch saisonal starke Durchfeuchtung und hochanstehende Grundwässer; gelbe Tontapeten in größeren Poren der Aggregate (Lessivierung), nicht durchwurzelt.

50 - 70 cm: frisch, rot-braun bis beige-braun, teilweise rötlich-braun marmoriert, einzelne, scharf umgrenzte Rostflecken (7,5 YR 6/6 - 2,5 YR 5/6); toniger Lehm; kohärentes Subpolyedergefüge mit grusig verwitterten Bestandteilen des Ausgangsgesteins (Granodiorit).

> 70 cm: frisch, grusig bis grobsandig verwitterter Granodiorit (beige-braun-grau mit rötlicher Marmorierung).

Bewertung: Der Boden liegt im Einzugsbereich eines ausgedehnten Bas-fonds, der mehrmals im Jahr stark durchfeuchtet und gelegentlich mit Niederschlags- und Grundwasser überstaut wird. Starkregen verspülen oberflächiges Locker- und Feinmaterial in das Zentrum der Niederung. Hieraus resultieren allochthone Materialschichtungen, die von einer rezent stattfindenden Tonverlagerung überprägt werden. Der laterale Feinbodentransport ist auf Luftbildern an hangabwärts gerichteten, unscharfen, grau-weiß marmorierten Schlieren zu erkennen.

Aufschluß / Bohrung Nr. 60

Standort: Boden in muldenförmigem Spülthalbhang bei Toaga nordöstlich von Dapaong auf flach geneigtem Hang (0° - 1°). Langgestreckte, gerade bis schwach konvexe Hangform über archaischem Orthogneis. Auf den Wasserscheiden erheben sich flache Blockinselberge aus wollsackähnlichen Gesteinsformen mit dünnen, einigen Millimetern mächtigen Verwitterungsschwarten. Landwirtschaftliche Nutzung durch Erdnuß-, Hirse- und Baumwollanbau.

Aufschlußbeschreibung

0 - 15 cm: frisch, dunkel-braun, humos, schwach steinig, mit grusigen Gneisfragmenten; sandig bis schwach lehmig, Einzelkorngefüge, leicht kohärent, locker gelagert, porös, gering durchwurzelt.

15 - 30 cm: frisch, beige-braun (10 YR 4/4), schwach humos, mittelsteinig, matte, runde Quarze (< 2 cm); lehmig-toniger Sand, kohärent, klebt und klumpt, Subpolyedergefüge bis Bröckelgefüge; gering durchwurzelt.

30 - 40 cm: feucht, grau-braun, beige (2,5 Y 6/4 - 5/4), mittelsteinig, v.a. grusiger Zersatz des Anstehenden; toniger Lehm, klebrig, stark kohärent, dicht gelagert; Bröckel- und Subpolyedergefüge; nicht durchwurzelt.

40 - 70 cm: feucht, grau-braun bis grau-grün, im Hangenden olivgrün (5 Y 4/3); stark steinig, Gesteinszersetzung von Orthogneisen, Graniten und Amphiboliten in lehmig-sandiger Textur, lokal stark tonig; Übergang in saprolithisch bunt verwittertes Gestein; keine Durchwurzelung.

Aufschluß / Bohrung Nr. 61

Standort: Aufschluß in flachem Interfluverrelief (0° - 1°) bei Dapaong, das im Gegensatz zu anderen Niederungen und Bas-fonds des Gebietes eine aufgeschüttete, zentrale Sohle besitzt, die sich vom gestreckten Interfluve-Hang mit einem deutlichen Knick absetzt. Diese Sohle wird von einer dichten Grasnarbe bedeckt und seitlich von Baumwuchs begrenzt.

Aufschlußbeschreibung

0 - 20 cm: frisch, dunkel-braun (10YR 5/2), schwach humos, steinfrei, geringer Grusgehalt; lehmiger Sand, porös, Krümelgefüge bis Einzelkorngefüge, dichter Wurzelfilz.

20 - 40 cm: frisch, gelblich-braun, deutlich heller und weniger humos (10YR 5/6), schwach steinig, kleine Quarze (< 1-2 cm); lehmig-toniger Sand, etwas stärker verdichtet, Subpolyedergefüge, mittel bis schwach durchwurzelt.

40 - 60 cm: frisch, braun-grau bis schwach gelblich-grau, braun-beige (10YR 5/2 bis 2,5Y 5/3), stark steinig, zum Liegenden zunehmend Quarze und Granitbruchstücke (> 2 cm); lehmig-grusige Textur, weitgehend gefügelos, hoher Skelettanteil, nicht durchwurzelt.

> 60 cm: Horizont aus gerundeten und mattfarbenen Quarzen und Zersatz (Schotterlage, die evtl. von Feinmaterial überdeckt wurde).

Aufschluß / Bohrung Nr. 62

Standort: Fünf Kilometer nördlich von Dapaong bei Nasablé sind, von einem dendritischen Gewässernetz ausgehend, zahlreiche, kasten- bis gullyartige Abflüsse in die mehrheitlich sandigen Interfluvebedeckungen eingetieft worden. Die Bodenoberfläche ist großräumig verschlämmt und vegetationsfrei.

Aufschlußbeschreibung

0 - 7 cm: trocken, grau-braun (10YR 5/3), schwach steinig, kleine, weiße Kalkkonkretionen (< 1 cm) vereinzelt in schluffig-sandiger Bodenmatrix; die Oberfläche ist verschlämmt und versiegelt; teilweise feine Schrumpfrisse in Verbindung mit kleinen, nicht gut ausgebildeten Prismenstrukturen, geminderte Wasserfiltration, nicht durchwurzelt.

7 - 15 cm: trocken, braun-grau, rostig marmoriert (7,5YR 4/6 - 10YR 5/6), schwach steinig, grobsandige bis schwach lehmig-sandige Textur; dicht gepacktes Einzelkorngefüge, nicht kohärent, nicht durchwurzelt.

15 - 60 cm: frisch, grau-braun, gebändert bis fleckig (10YR 4/4), steinfrei, etwas grusig, schwach lehmiger Sand, Einzelkorngefüge in dichter Lagerung, nicht durchwurzelt.

60 - 100 cm: frisch, grau-braun (10YR 4/4), grusig verwittert mit deutlich erkennbaren Gesteinsstrukturen des körnigen Granodiorits; dazu unverwitterte, "schwimmende" Blöcke in sandiger Bodenmatrix; Einzelkorngefüge; *in situ* saprolithisierte saurer Granit oder Granodiorit.

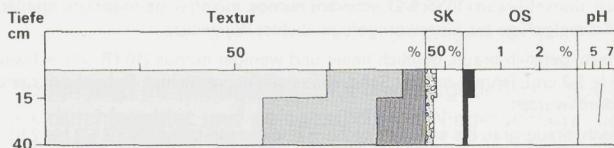
> 100 cm: anstehender, in Wollsäcke verwitternder Granodiorit.

Bewertung: Der Aufschluß zeigt im Gegensatz zu anderen untersuchten Profilen deutlich eine autochthone Verwitterung, die erst nahe der Oberfläche durch spülendenuative und bioturbate Prozesse modifiziert wird.

Aufschluß / Bohrung Nr. 63

Standort: Bodenbildung auf konvex geformter, krönender Lateritkruste auf einem Interfluve in ca. 280 m ü.d.M. über präkambrischem Orthogneis. Eine Aufschlußbeschreibung lag nicht vor; Analysen nach LAMOUROUX (1958).

Analyse-Ergebnisse

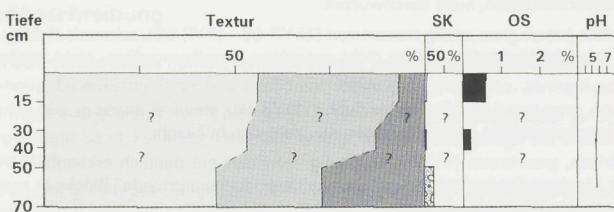


(LAMOURoux 1958:76)

Aufschluß / Bohrung Nr. 64

Standort: Beigefarbener, sandig-schluffiger Boden auf Interfluve-Plateau am nordöstlichen Rand des Studiengebietes Dapaong. Der Oberboden zwischen 0-12 cm ist stark sandig und hell beige-farben. Darunter nimmt der Gehalt an Grobbestandteilen und an Ton sprunghaft zu (sandig-grusig); die Bodenmatrix ist grau-beige gefärbt mit rosé-farbenen Flecken. Pegmatitstücke sind in der als Einzelkorngefüge angeordneten Bodenstruktur zu erkennen (LAMOURoux 1958:19).

Analyse-Ergebnisse



(LAMOURoux 1958:74)



PADERBORNER GEOGRAPHISCHE STUDIEN



Herausgegeben von
H.K. Barth, D. Düsterloh, G. Fuchs, M. Hofmann, G. Müller, G. Römhild, W. Schlegel
Schriftleitung: J. Runge

- 1) Band 1: RÖGNER, K.J. (1989): Geomorphologische Untersuchungen in Negev und Sinai. 258 Seiten, mit 6 Karten, 29 Abb., 42 Tab., 39 Fotos, Summary. DM 68,-
- 2) Band 2: BARTH, H.K., B. DACHNER, U. REINEKE, K.H. SCHÄFER, R. STRAUB (1990): Geographie der Bewässerungslandwirtschaft der Erde in 6 Teilbänden.
Teil I: Ökologie. 418 Seiten, Teil II: Ökonomie. 515 Seiten, Teil III: Bewässerungstechnik. 786 Seiten, Teil IV: Agrarwissenschaft. 343 Seiten, Teil V: Sozialwissenschaft. 166 Seiten, Teil VI: Entwicklungspolitik. 176 Seiten DM 350,-
- 3) Band 2: Ergänzungsband: BARTH, H.K. et al. (1992): Geographie der Bewässerung: Mittelmeerraum. Annotierte Bibliographie zur Bewässerungslandwirtschaft. 300 Seiten. DM 38,-
- 4) Band 3: DÜSTERLOH, D. (Hrsg.) (1992): Paderborn - vom Werden und Wachsen unserer Stadt. Materialien, Unterrichtsentwürfe, Arbeitsmittel. 2. Auflage 1992, 161 Seiten, zahlr. Abb. u. Tab., 6 Fotos und 3 Anlagen in Tasche. DM 32,-
- 5) Band 4: RUNGE, F. & J. SPÖNEMANN (Hrsg.) (1992): Landnutzung und Landschaftsdegradation im Tiefland von Kitui und in den Taita Hills (Kenia). Mit Beiträgen von F. Runge, S. Rehling, C. Etzler und F. Torkler. 120 Seiten, zahlr. Fotos, Abb. und Tabellen und 8 Kartenbeilagen in Tasche. DM 29,-
- 6) Band 5: SCHLEGEL, W. (Hrsg.) (1993): Le Mans und Paderborn. Zwanzig Jahre Partnerschaft zwischen der Université du Maine und der Universität Paderborn. DM 20,-
- 7) Band 6: SPÄTH, H.J.: (Hrsg.) (1997): Landnutzung und Desertifikation in Nord- und Westafrika. Fallstudien aus Marokko, Niger und Togo. Beiträge von H.-J. Späth und J. Runge. 175 Seiten mit 72 Abb., 29 Tab., 16 farbigen Abb. und Fotos und sechs mehrfarbigen Kartenbeilagen in Tasche. DM 58,-
- 8) Band 7: DÜSTERLOH, D. (Hrsg.) (1994): Bad Lippspringe Heilbad und heilklimatischer Kurort. Mit Beiträgen von M. Hofmann und E. Noyan. 108 Seiten, mit zahlr. Abb., Tabellen und drei mehrfarbigen Kartenbeilagen. DM 33,-
- 9) Band 8: RUNGE, J. (Hrsg.) (1995): Waldschäden und Bodenerosion. - Untersuchungen zu Folgen witterungsklimatischer Extremereignisse. Mit Beiträgen von H.-J. Barth, M. Keil und T. Jülich. 119 Seiten mit 51 Abb., 9 Tab. und 21 farbigen Abb. und Fotos DM 24,-
- 10) Band 9: SCHÄFER, K.-H. (1995): Reisen um zu lernen. - Zur Funktion von Studienreisen in der Erwachsenenbildung. 150 Seiten, mit zahlreichen Tabellen DM 18,-

MATERIALIEN UND MANUSKRIPTE

- | | | |
|-----|---|----------|
| 1) | USA-Bewässerungslandwirtschaft und ihre Grundlagen. Hrsg. von H.K. Barth, 221 S., Paderborn 1990 | DM 23,- |
| 2) | Paderborn und sein Umland. (großformatige Panoramakarte, Poster) von A. Königs, Paderborn 1992. | DM 5,50 |
| 3) | Einführung in die Anthropogeographie. Vorlesungsskriptum, Literatur, Materialienanhang. PS 2, WS 1992/93, von W. Schlegel, 64 S., Paderborn 1993. | DM 5,- |
| 4) | Humanökologie - Lokale, regionale und globale Probleme, Seminararbeiten. WS 1993/94, Hrsg. von W. Schlegel, 117 S., Paderborn 1995. | DM 15,- |
| 5) | Satellitenbildauswertung von LANDSAT-MSS Szenen aus dem Südlichen Afrika. 185 S., zahlr. Abb. u. S/W-Bildtafeln. Hrsg. von J. Runge, Paderborn 1993 | DM 22,- |
| 6) | Mensch und Umwelt - Entwurf einer geographischen Humanökologie. Vorlesungsskriptum, SS 1993, 87 S., von W. Schlegel, Paderborn 1993. | DM 12,- |
| 7) | Bevölkerungsentwicklung und Nahrungsmittelspielraum auf der Erde. Hausarbeiten und Protokolle zur Seminarveranstaltung, WS 1992/93, ca. 138 S. Hrsg. von H.K. Barth, Paderborn 1993 | DM 15,- |
| 8) | Schwarzafrika in der Presse. Eine Auswahl von Zeitungsberichten aus über drei Jahrzehnten afrikanischer Unabhängigkeit, von J. Runge, 219 S., Paderborn 1993 | DM 18,- |
| 9) | Thüringen - Materialien und Berichte einer Exkursion im Juli 1992, 160 S. Hrsg. von G. Römhild, Paderborn 1993 | DM 15,- |
| 10) | Die Wüsten der Erde - Lebensräume der Zukunft, Protokolle zur Seminarveranstaltung SS 1993, 48 S., Hrsg. von H.K. Barth, Paderborn 1993 | DM 7,- |
| 11) | Katalonien und Kastilien - Berichte einer geographischen Exkursion 1993, 105 S. Hrsg. von H.K. Barth, Paderborn 1994 | DM 15,- |
| 12) | Bibliographie der Phytolithkunde - Literatursammlung zum Thema "Verkieselungen in Pflanzen" und der Anwendung fossiler Opal Phytolithen für botanische, paläo(ethno)-botanische, geomorphologische und archäologische Fragestellungen, von Freya Runge, unter Mitarbeit von I. Niggemann, 35 S., Paderborn 1994 | DM 5,- |
| 13) | Erdgeschichte - Teilskriptum zur Vorlesung von J. Runge, zusammengestellt von F. Runge, 23 S., Paderborn 1994 | DM 2,50 |
| 14) | Leaf Phytoliths and Silica Skeletons from East African Plants, 100 light microscope photos on CD-ROM, zusammengestellt von Freya Runge, Paderborn 1995. | DM 49,50 |

- 15) Tunesien - Geographische Grundlagen. 87 S., Hrsg. von H.K. Barth,
Paderborn 1996 DM 8,-
- 16) Einführung in die Physische Geographie. Texte- und Materialiensammlung aus
den Einführungs-Vorlesungen des Akademischen Jahres 1995/96 von H.K. Barth,
131 S, Paderborn 1996 DM 12,-
- 17) Ruanda - Burundi. Chronik der Krise 1993-1996. Eine Auswahl von Presseberichten
über die politisch-wirtschaftlichen und ethnischen Konflikte im Gebiet der Großen
Seen, Zentralafrika, zusammengestellt von J. Runge, 141 S., Paderborn 1996 DM 10,-
- 18) Bericht des DFG-Projektes „Paläoklima Afrika“ über zwei Geländekampagnen in
der Zentralafrikanischen Republik 1995-1996, von J. Runge unter Mitarbeit von
R. Hagemeier, K. Lammers und U. Roßner, 63 S., 18 teilw. mehrfarbige Abb.,
8 Tabellen und 4 Farbfotos, Paderborn 1996 DM 14,-
- 19) Der nordamerikanische Westen. Materialien und Referate zu physisch-geogra-
phischen Grundlagen, hrsg. von H.-K. Barth, 134 S., Paderborn 1996 DM 8,-
- 20) Der nordamerikanische Westen II. Berichte der USA-Exkursion im Sept. 1996,
hrsg. von Barth, Runge & Blank, ca. 100 S., Paderborn 1997 DM 20,-

Bestellungen an: Paderborner Geographische Studien (PGS)
Selbstverlag des Faches Geographie
Universität Paderborn, FB 1
z.Hd. Frau Wienhusen, N 4.308,
D-33095 Paderborn,
Fax: 05251-602365 / email: arung1@hrz.nw.uni-paderborn.de

