

Die Böden des oberen Ouémé-Einzugsgebietes in Benin/Westafrika  
- Pedologie, Klassifizierung, Nutzung und Degradierung -

**Inaugural-Dissertation**

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften  
(Dr.agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
zu Bonn

vorgelegt am 02.06.2004

von Birte Junge

aus Linden/Holstein

Referent: Prof. Dr. A. Skowronek

1. Korreferent: Prof. Dr. M. Janssens

2. Korreferent: Prof. Dr. V. Geissen

Tag der mündlichen Prüfung: 23.07.2004

Gedruckt bei:

Die Böden des oberen Ouémé-Einzugsgebietes in Benin/Westafrika  
– Pedologie, Klassifizierung, Nutzung und Degradierung –

In dieser Arbeit werden die im oberen Ouémé-Einzugsgebiet Zentralbenins gelegenen Böden charakterisiert und die Degradierung in dem aktuellen low input-Landnutzungssystem untersucht. Darauf aufbauend werden Möglichkeiten einer nachhaltigen Bodennutzung erörtert, um zur langfristigen Sicherung der Ressource Boden beizutragen.

Die Böden der flachwelligen Pediplain Zentralbenins sind durch die Schichtung von feinkörnigen und skelettreichen Lockersedimenten über tonreichem Saprolit charakterisiert. Auf den Hängen dominieren *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* bzw. *Acrisols*, während in den Tälern, den Bas-Fonds, *Sols hydromorphes peu humifères* bzw. *Gleysols* entstanden sind. Die natürliche Fruchtbarkeit dieser Böden ist nach der Evaluierung nach LANDON (1984), dem *Fertility Capability Classification System* (FCC) von SANCHEZ et al. (1982) und der *Framework for Land Evaluation* (FAO 1976, 1981) allgemein als gering zu bewerten. Als Gründe für die nur mäßige Eignung der Böden für die Pflanzenproduktion sind die niedrige Wasserhaltekapazität, das geringe Bindungsvermögen für Nährstoffe als auch die begrenzte Durchwurzelbarkeit und die starke regenzeitliche Vernässung der Bas-Fonds zu nennen.

Auf diesen Böden werden traditionsgemäß vorwiegend Getreide wie Mais oder Sorghum und Yams für den Eigenbedarf ohne den Einsatz von Düngemitteln angebaut. Da die Nutzung des Bodens durch das starke Bevölkerungswachstum in den letzten Jahrzehnten intensiviert und die für die Regeneration des Bodens notwendige Brachezeit verkürzt wurde, wird der Boden auf verschiedene Weise degradiert. Zum einen hat der Bodenabtrag durch Oberflächenwasser zur Verringerung der Substratmächtigkeit auf den Ackerflächen geführt. Die Bodenbearbeitung hat ebenfalls die Verschlechterung der Struktur zur Folge, was neben der geringen Bodenbedeckung durch Nutzpflanzen die Erosion begünstigt. Der wiederholte Abtrag, Buschfeuer, das jährliche Ernten und die Verkürzung der Brachezeiten führen weiterhin zur Verarmung des Bodens an organischer Substanz und Nährelementen, d.h. zur chemischen Degradierung. Auch nimmt der Besatz des Bodens mit Lumbriciden und ihre Aktivität mit zunehmender Nutzungsintensität ab, so dass Ackerflächen ebenfalls einer biologischen Degradierung unterliegen. Um dieser Verschlechterung entgegenzuwirken und die Ressource für zukünftige Generationen zu sichern, ist eine Modifizierung des traditionellen Landnutzungssystems durch verschiedene kulturtechnische und pflanzenbauliche Maßnahmen sowie die Einführung von Düngemitteln erforderlich.

## The soils in the catchment of the Upper Ouémé in Benin/West Africa

– soil genesis, classification, land use and degradation –

In the work, the soils developed in the catchment of the Upper Ouémé are characterized and their degradation in the current low input land use system is pointed out. Furthermore, possibilities of a sustainable land use are discussed to achieve the conservation of the resource.

The soils developed in the undulating pediplain in the centre of Benin are characterized by the layering of fine grained and gravely substrates over saprolite. *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* or *Acrisols* dominate on the slopes, whereas *Sols hydromorphes peu humifères* or *Gleysols* are distributed in the valleys, the bas-fonds. The natural fertility of these soils is low according to LANDON (1984), the *Fertility Capability Classification System* (FCC) of SANCHEZ et al. (1982) and the *Framework for Land Evaluation* (FAO 1976, 1981). Some reasons for the low suitability of the soils for plant production are the low field capacity, the low exchange capacity for nutrients, the limited rooting space and the water logging of the bas-fonds during the rainy season.

Traditionally, cereals like maize or sorghum and yam are cultivated on the soils without any fertilizer for self-sufficiency. Because of intensified land use due to the increasing population and the shortening of the fallow period which is important for the rehabilitation of the soils, different kind of soil degradation take place. Soil erosion by run off has already led to the reduction of the top surface layer. Furthermore, land use has deteriorated the soil structure due to the low cover of the soil surface and the low density of the crops which favour soil erosion. Soil loss, bush fire, harvesting and the shortening of the fallow period lead to the decrease of organic matter and nutrients which means the chemical deterioration of the soils. The population density of earthworms and their activity are decreased on agricultural used fields which are also biologically deteriorated.

To counteract soil degradation and to preserve the resource for further generations, the modification of the traditional land use system by different measures of plant cultivation and the use of fertilizer are necessary.

## Vorwort



Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes Integratives Management Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika (IMPETUS). Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) (Förderkennzeichen 07GWK02), des Ministeriums für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSWF) (Förderkennzeichen 223-21200200) sowie der Universitäten Köln und Bonn gefördert. IMPETUS zählt zu den sog. GLOWA - Projekten (Global Change in the Hydrological Cycle), die sich mit der Auswirkung des globalen Klimawandels auf verschiedene Ökosysteme der Erde beschäftigen. Das Forschungsvorhaben befasst sich mit der natürlichen Verfügbarkeit von Süßwasser in zwei Regionen südlich und nördlich der Sahara, die von einer seit 30 Jahren betroffenen Trockenperiode betroffen sind. Hierbei handelt es sich um das Einzugsgebiet des Ouémé in den wechselfeuchten Randtropen Benins und des Wadi Drâa im subtropischen Marokko. Das Ziel des Projektes besteht in der Beschreibung, der Analyse und der Quantifizierung der wichtigsten Aspekte des hydrologischen Zyklus, der die Süßwasserverfügbarkeit kontrolliert. Durch die Beteiligung von Disziplinen aus den Bereichen Naturwissenschaft, Sozioökonomie und Medizin sollen derzeitige und zukünftige Probleme im Hinblick auf die Wasserversorgung erforscht und schließlich Lösungsansätze für Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung erarbeitet werden (IMPETUS 2000).

Die Bodenkunde ist an der Erfassung terrestrischer Parameter des hydrologischen Zyklus beteiligt. In der ersten Projektphase (Mai 2000 bis April 2003) bestand die Aufgabe in der Charakterisierung der Böden, um detaillierte Kenntnisse über den Aufbau, die Eigenschaften und die Verbreitung dieses Wasserspeichers zu erhalten. Ein weiteres Thema bildete die Erfassung der anthropogenen Bodendegradierung durch Wassererosion, woraus Rückschlüsse auf den jährlichen Verlust des für die Speicherung des Süßwassers notwendigen Körpers unter dem derzeitigen Landnutzungssystem gezogen werden können. Insgesamt dienen die bodenkundlichen Informationen als Basisdaten für die in der zweiten Projektphase (Mai 2003 - April 2006) durchzuführende Modellierung zukünftiger Entwicklung des hydrologischen Zyklus.

(Weitere Information zum Projekt IMPETUS unter [www.impetus.uni-koeln.de](http://www.impetus.uni-koeln.de))

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>UNTERSUCHUNGSRAUM</b>	<b>6</b>
2.1	Lage	6
2.2	Klima	7
2.3	Hydrologie	13
2.4	Vegetation	13
2.5	Staat und Bevölkerung	15
<b>3</b>	<b>METHODISCHES VORGEHEN</b>	<b>17</b>
3.1	Untersuchung der Böden	17
3.1.1	Beschreibung von Bodenprofilen	17
3.1.2	Bodenphysikalische und -chemische Laboranalysen	17
3.1.3	Erfassung der Bodenverbreitung	20
3.1.4	Datenerfassung in SOTER	21
3.1.5	Bodenbewertung	21
3.2	Untersuchung zur Bodennutzung	23
3.3	Untersuchungen zur Bodendegradierung	23
3.3.1	Aktueller Bodenabtrag	25
3.3.2	Potentieller Bodenabtrag	30
3.3.3	Aggregatstabilität	31
3.4	Untersuchungen zur Bodenbiologie	33
3.5	Statistische Auswertung	36
<b>4</b>	<b>PEDOLOGIE DER BODENDECKE</b>	<b>37</b>
4.1	Geologische Entwicklung und Petrographie des Untergrundes	37
4.2	Geomorphogenese	40
4.2.1	Rumpfflächenlandschaft und Pedisedimente	40
4.2.2	Bas-Fonds und Kolluvien	45
4.2.3	Inselberge und Inselberg-Pedimente	48
4.3	Pedogene Prozesse	50
4.3.1	Saprolitisierung	50
4.3.2	Humifizierung	51
4.3.3	Andere bodenbildende Prozesse	52
<b>5</b>	<b>KLASSIFIZIERUNG DER BÖDEN</b>	<b>56</b>
5.1	Aufbau und physikochemische Eigenschaften der Böden	56
5.1.1	Böden der Wasserscheiden	56
5.1.2	Böden der Ober- und Mittelhänge	58
5.1.3	Böden der Unterhänge	60
5.1.4	Böden im Randbereich und Zentrum von Bas-Fonds	62
5.1.5	Böden der fluvialen Tiefenlinien	66
5.1.6	Böden am Fuß und in der Umgebung von Inselbergen	66
5.1.7	Böden von Termitenbauten	69
5.1.8	Böden in Awanla und Serou	73
5.2	Klassifizierung der Böden in umfassenden Systemen	73
5.2.1	Übersicht über internationale Klassifikationssysteme	73
5.2.2	Benennung der Böden nach internationalen Klassifikationen	75
5.2.3	Bodenkorrelation in verschiedenen Klassifikationssystemen	78
5.2.4	Anmerkungen zu Klassifikationssystemen	82

5.2.5	Bodensystematik der Nagot	83
5.3	Bodenvariabilität	83
5.4	Bodenverbreitung	87
5.4.1	Übersicht über Bodenkarten der Untersuchungsstandorte	87
5.4.2	Verbreitung von Böden in der Vorstellung der Nagot	92
5.5	Natürliche Fruchtbarkeit und agrarisches Produktionspotential der Böden	92
5.5.1	Ökologische Bewertung des Bodens	93
5.5.2	Bodenbewertung nach Fertility Capability Classification System (FCC)	99
5.5.3	Bodenbewertung nach FAO-Framework for Land Evaluation	101
5.5.4	Bewertung der Bodenfruchtbarkeit nach Einschätzung ortsansässiger Bauern und einheimischer Bodenkundler	102
<b>6</b>	<b>NUTZUNG UND DEGRADIERUNG DER BÖDEN</b>	<b>103</b>
6.1	Bodennutzung	103
6.1.1	Bodenrecht	103
6.1.2	Agrarisches Bodennutzungssystem	104
6.1.3	Agro-pastorales Bodennutzungssystem	114
6.1.4	Intensität der Bodennutzung	115
6.2	Degradierung der Böden	117
6.2.1	Aktueller Bodenabtrag durch Wassererosion	117
6.2.2	Potentieller Bodenabtrag	132
6.2.3	Aggregatstabilität	145
6.2.4	Chemische Verschlechterung	152
6.3	Bodenbiologische Beobachtungen zur Degradierung	155
6.3.1	Abundanz, vertikale Verteilung und Biomasse	155
6.3.2	Biogene Strukturen	160
6.3.3	Ernährungsbiologische Untersuchungen	164
6.4	Folgen der Nutzung und On-site Schäden	171
<b>7</b>	<b>MÖGLICHKEITEN EINER NACHHALTIGEN BODENNUTZUNG</b>	<b>177</b>
7.1	Kulturtechnische Maßnahmen	178
7.2	Bodenbearbeitung	179
7.3	Pflanzenbauliche Empfehlungen	181
7.4	Düngung	186
7.5	Schulung der Bauern	187
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG, SUMMARY, RÉSUMÉ</b>	<b>190</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>197</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG</b>	<b>218</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Lage des Untersuchungsraumes in Westafrika bzw. Benin und Übersicht über das HVO und das Einzugsgebiet des Aguima	6
Abb. 2: 30jähriges Mittel von Temperatur, Niederschlag und potentieller Evapotranspiration an der Station Parakou (1961 - 1990)	8
Abb. 3: Mittlere Temperatur, Niederschlag und potentielle Evapotranspiration an der Station Doguè (2001, 2002)	11
Abb. 4: Lage der Profile und Bohrpunkte im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	17
Abb. 5: Lage der Profile und Bohrpunkte in Awanla und Serou	18
Abb. 6: Lage der Versuchsstandorte im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	24
Abb. 7: Lage der Versuchsstandorte in Awanla und Serou	25
Abb. 8: Vereinfachtes Schema einer Messparzelle	26
Abb. 9: Anordnung von Messnägeln für die Ermittlung des Mikroreliefs	28
Abb. 10: Versuchsaufbau für die Bestimmung der Fraßaktivität mittels Köderstreifen	35
Abb. 11: Schematischer geologischer Schnitt durch das Volta-Becken und die Dahomeyiden	37
Abb. 12: Geologische Übersichtskarte des HVO und angrenzender Gebiete	39
Abb. 13: Morphodynamische Aktivitätsphasen und Bildung der Hangsedimente	41
Abb. 14: Substrate und Bodenarten der Hangsedimente über Saprolit im Aguima-Einzugsgebiet	42
Abb. 15: Gerundetes Krustenfragment aus der Pedimentschutt-Schicht	43
Abb. 16: Schematischer Schnitt durch ein Bas-Fonds und angrenzende Pedimente im Aguima-Einzugsgebiet	47
Abb. 17: Augengneis des Inselbergs Mont Charles de Gaulle	48
Abb. 18: Schematischer Schnitt durch den Inselberg Mont Charles de Gaulle und angrenzende Pedimente	49
Abb. 19: Junges Kolluvium in der Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle	50

Abb. 20: Oberboden in der Savanne des Aguima-Einzugsgebietes	52
Abb. 21: Toncutane im Kolluvium eines Bas-Fonds	53
Abb. 22: Zementierter Pedimentschutt	54
Abb. 23: Aufbau und Eigenschaften der Böden auf den Wasserscheiden	57
Abb. 24: Aufbau und Eigenschaften der Böden am Ober- und Mittelhang 59	
Abb. 25: Aufbau und Eigenschaften der Böden am Unterhang	61
Abb. 26: Aufbau und Eigenschaften der Böden im Randbereich von Bas-Fonds	63
Abb. 27: Aufbau und Eigenschaften des Bodens im Bas-Fonds-Zentrum	64
Abb. 28: Aufbau und Eigenschaften des Bodens in der fluvialen Tiefenlinie	65
Abb. 29: Aufbau und Eigenschaften des Bodens am Fuß des Inselbergs Mont Charles de Gaulle	67
Abb. 30: Aufbau und Eigenschaften des Bodens in der nahen Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle	68
Abb. 31: Aufbau und Eigenschaften des Bodens unter einem Termitenhügel	71
Abb. 32: Legende	72
Abb. 33: Bodenkundliche Übersichtskarte des HVO und angrenzender Gebiete (i.M. 1:900.000)	88
Abb. 34: Bodenkarte des Aguima-Einzugsgebietes (i.M. 1:35.000)	89
Abb. 35: Bodenkarten von Awanla (i.M. 1:8.000) und Serou (i.M. 1:11.000)	90
Abb. 36: Bodensequenz einer repräsentativen Catena im Aguima- Einzugsgebiet	91
Abb. 37: Bodensequenz einer vom Inselberg Mont Charles de Gaulle in die Umgebung verlaufenden Catena	91
Abb. 38: Verbreitung von Böden in der Umgebung von Doguè nach der Vorstellung der Nagot	92
Abb. 39: Anbaukalender der häufig im Aguima-Einzugsgebiet kultivierten Nutzpflanzen	108
Abb. 40: Anbau von Mischkulturen (Yams, Maniok und Reis) im Randbereich von Bas-Fonds, Awanla	109

Abb. 41: Hacken und Messer für die Bodenbearbeitung und Unkraut- bekämpfung	112
Abb. 42: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag von Flächen unterschiedlicher Nutzung im Jahre 2002	118
Abb. 43: Abfluss und Abtrag von unterschiedlich genutzten Ackerflächen in Abhängigkeit von der Bodenbedeckung im Jahre 2002	119
Abb. 44: Monatlicher Oberflächenabfluss und Bodenabtrag von Flächen unterschiedlicher Nutzung und Bedeckung im Jahre 2002	121
Abb. 45: Bodenabtrag von Flächen unterschiedlicher Nutzung und Bedeckung an den Standorten Doguè, Serou und Awanla in den Monaten August - Oktober 2002	124
Abb. 46: Mittlere Erhöhung der Bodenoberfläche zwischen Erddämmen bzw. -hügeln während der Regenzeit 2002	126
Abb. 47: Verlauf der vertikalen Veränderung der Bodenoberfläche zwischen Erdreihen bzw. -hügeln während der Regenzeit 2002	127
Abb. 48: Veränderung der Oberflächenrauigkeit gesamter Dämme, Hügel und des Savannenbodens im Verlauf der Regenzeit 2002	128
Abb. 49: Oberfläche eines Baumwollfeldes mit deutlichen Unterschieden hinsichtlich des Mikroreliefs von Dämmen und Damm-Zwischen- räumen	129
Abb. 50: Beispiel der Querschnittsentwicklung von Erosionsformen auf einem Trampelpfad und einer LKW-Piste während der Regenzeit 2002	131
Abb. 51: Mittlere Erosivität der Niederschläge im Aguima-Einzugsgebiet im Verlauf des Jahres (1997 - 2002)	135
Abb. 52: Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie bzw. der max. 30-Minuten-Intensität und der Niederschlagsmenge im Aguima- Einzugsgebiet	136
Abb. 53: Isoerodenkarte des HVO	137
Abb. 54: Perkolationsstabilität von Aggregaten verschiedener Herkunft in der Trocken- und Regenzeit 2002	146
Abb. 55: Stabilität von Aggregaten verschiedener Herkunft in der Trocken- und Regenzeit 2002 (Test nach LE BISSONNAIS 1996)	147
Abb. 56: Dünnschliffe von Aggregaten verschiedener Standorte bzw. Entstehungsart	150

Abb. 57: Nährstoffgehalt erodierter Substrate und des Ap-Horizontes des mit Yams bestellten Versuchsfeldes	153
Abb. 58: Verschiedene Stadien der Termitenhügel	160
Abb. 59: Regenwurmlosung auf der Oberfläche eines Ah-Horizontes unter Savannenvegetation	162
Abb. 60: Profilwand mit frisch von Termiten angelegten Gängen	164
Abb. 61: Fraßaktivität nach 14tägiger Exposition von Köderstreifen im Oberboden von Flächen unterschiedlicher Nutzung am Ende der Trocken- und Regenzeit 2001	165
Abb. 62: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität nach 14tägiger Exposition von Köderstreifen im Oberboden von Flächen unterschiedlicher Nutzung am Ende der Trocken- und Regenzeit 2001	167
Abb. 63: Streuwiederfund pro Maschenweite und Entnahmetermin auf unterschiedlich genutzten Flächen im Verlauf der Regenzeit 2001	170
Abb. 64: Korngrößenverteilung von erodierten Substraten und Ap- bzw. Ah-Horizonten der unterschiedlich genutzten Versuchsfelder (Doguè 2002)	173
Abb. 65: Réunion in Awanla mit einem Animateur des Projektes PGTRN/GTZ und den Dorfbewohnern zum Thema Aufteilung der im Dorf anfallenden Tätigkeiten (20.04.2003)	188

### **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Niederschlagsdaten der Station Doguè	9
Tab. 2: Jährliche Nährstoffdeposition in Nord-Benin	12
Tab. 3: Vegetationsformationen in Zentralbenin	14
Tab. 4: Versuchsstandorte mit Versuchsfeldern im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung und ihre Nutzung	24
Tab. 5: Versuchsstandorte in Awanla und Serou und ihre Nutzung	25
Tab. 6: Nährstoffgehalte der Böden auf den Wasserscheiden	57
Tab. 7: Nährstoffgehalte der Böden am Ober- und Mittelhang	59
Tab. 8: Nährstoffgehalte der Böden am Unterhang	61
Tab. 9: Nährstoffgehalte der Böden im Randbereich von Bas-Fonds	63

Tab. 10:	Nährstoffgehalte des Bodens im Bas-Fonds-Zentrum	64
Tab. 11:	Nährstoffgehalte des Bodens in der fluvialen Tiefenlinie	65
Tab. 12:	Nährstoffgehalte des Bodens am Fuß des Inselbergs Mont Charles de Gaulle	67
Tab. 13:	Nährstoffgehalte des Bodens in der nahen Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle	68
Tab. 14:	Nährstoffgehalte des Bodens unter einem Termitenhügel	71
Tab. 15:	Bezeichnung der häufig im Aguima-Einzugsgebiet vorkommenden Horizonte nach verschiedenen Nomenklaturen	78
Tab. 16:	Kategorien verschiedener Klassifikationssysteme	80
Tab. 17:	Variabilität der Substratmächtigkeiten in der extensiv genutzten Savanne des Aguima-Einzugsgebietes	84
Tab. 18:	Variabilität der Horizont-Mächtigkeiten von Böden in der extensiv genutzten Savanne des Aguima-Einzugsgebietes	85
Tab. 19:	BS und $KAK_{pot}$ von Bt-Horizonten lessivierter Böden	86
Tab. 20:	Bewertung der Böden einer Catena in der extensiv genutzten Savanne	94
Tab. 21:	Bewertung chemischer Parameter (pH (H <sub>2</sub> O), C <sub>org</sub> , N <sub>t</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) von Oberböden in der Savanne	96
Tab. 22:	Bewertung chemischer Parameter (austauschbare Kationen, $KAK_{pot}$ , BS) von Oberböden in der Savanne	98
Tab. 23:	Bewertung der Böden nach FCC (SANCHEZ et al. 1982)	100
Tab. 24:	Bewertung der Böden nach der <i>FAO-Framework for Land Evaluation</i> (FAO 1976, 1981)	101
Tab. 25:	Ausmaß der Erosion und Akkumulation ausgewählter Wegabschnitte im Jahre 2002	130
Tab. 26:	Veränderung von Erosionsstufen während der Regenzeit 2002	132
Tab. 27:	Erosivität der Niederschläge in Doguè von 1997 - 2002	134
Tab. 28:	Erodibilität der Böden im Aguima-Einzugsgebiet im Jahre 2002	139
Tab. 29:	Erodibilität von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002	140

Tab. 30:	LS-Faktoren von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002	140
Tab. 31:	R-Faktoranteil und Relativer Bodenabtrag für die Berechnung von C-Faktor-anteilen verschiedener Kulturen (2001, 2002)	142
Tab. 32:	P-Faktor von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002	143
Tab. 33:	Potentieller Bodenabtrag von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002	144
Tab. 34:	Korrelation zwischen der Perkulations- bzw. Aggregatstabilität und verschiedenen Bodenparametern	149
Tab. 35:	Vergleich bodenchemischer Parameter von Ah- bzw. Ap-Horizonten von Standorten unterschiedlicher Nutzungsdauer	154
Tab. 36:	Abundanz von Lumbriciden im Oberboden von Flächen unterschiedlicher Nutzung (September 2002)	157
Tab. 37:	Biomasse (von Lumbriciden verschiedener Bodentiefen in unterschiedlich genutzten Flächen (September 2002)	157
Tab. 38:	Termitenhügel im Aguima-Einzugsgebiet (2002)	159
Tab. 39:	Alter, Dichte und Zustand von Termitenhügeln verschiedener Kategorien auf den Pedimenten des Aguima-Einzugsgebietes (2002)	159
Tab. 40:	Anzahl der Lumbriciden-Losung auf der Oberfläche von Ah- und Ap-Horizonten von Flächen unterschiedlicher Nutzung (September 2002)	161
Tab. 41:	Anzahl der Bioporen auf der Oberfläche von Ah- und Ap-Horizonten von Flächen unterschiedlicher Nutzung (September 2002)	163
Tab. 42:	Korrelation zwischen Abundanz von Lumbriciden, Fraßaktivität und Streuabbaurate und verschiedenen Bodenparametern	169
Tab. 43:	Korngrößenverteilung im Ah-Horizont von Savannenböden und Ap-Horizont von Ackerflächen im Aguima-Einzugsgebiet	174
Tab. 44:	Mächtigkeit des Decksediments in der Savanne und auf Ackerflächen im Aguima-Einzugsgebiet	175

## 1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Der Boden ist Träger ökologischer, technisch-industrieeller, sozio-ökonomischer und kultureller Funktionen (BLUME 1992, FIEDLER 2001, SCHACHTSCHABEL et al. 1998). Indem er u.a. die Produktion land- und forstwirtschaftlicher Güter ermöglicht, die Reinhaltung des Grundwassers bewirkt und als Standort für Siedlungen dient, stellt der Boden eine wichtige Lebensgrundlage des Menschen dar, die seit Jahrtausenden genutzt wird und für heutige und künftige Generationen erhalten werden muss (FAO 1981).

Die vielseitige und über große Zeiträume währende Nutzung durch den Menschen bleibt nicht ohne Folgen für die Ressource. Nicht sachgemäßer Ackerbau, Überweidung von Grasland und Abholzung der Wälder führen ebenso zur Beeinträchtigung der Bodenfunktionen wie Überdüngung und der Eintrag von Schadstoffen (BEETS 1990, ROOSE 1996b, ESWARAN et al. 2001). Der Verlust bzw. die Reduzierung der Funktionen wird allgemein als Bodendegradierung bezeichnet (BLUM 1997), wobei OLDEMAN (1994a) je nach Art der Beeinträchtigung zwischen vier verschiedenen Formen unterscheidet. Der äolische bzw. durch Oberflächenwasser verursachte Abtrag von Bodenmaterial wird als Wind- bzw. Wassererosion bezeichnet, Humus- oder Nährstoffverlust, Versalzung, Versauerung und Kontamination des Bodens werden zur chemischen Degradierung zusammengefasst und Krustenbildung, Verdichtung und Vernässung als physikalische Verschlechterung des Bodens beschrieben.

Die Degradierung des Bodens stellt heute in vielen Ländern der Erde ein großes Problem dar (FAO 2000, ESWARAN et al. 2001). Nach OLDEMAN (1994b) waren im Jahre 1994 weltweit bereits 19,6 Mio km<sup>2</sup> der Landoberfläche degradiert, wobei der Bodenabtrag durch Wasser (10,9 Mio km<sup>2</sup>) gegenüber der Erosion durch Wind (5,5 Mio km<sup>2</sup>) sowie der chemischen (2,4 Mio km<sup>2</sup>) und der physikalischen Bodenverschlechterung (0,8 Mio km<sup>2</sup>) überwog. Im sub-saharischen Afrika ist die Nutzung der Böden neben dem Bodenverlust vor allem durch chemische Degradierung wie Versauerung, Aluminiumtoxizität und das geringe Nährstoffbindungsvermögen beeinträchtigt (FAO 2000).

Auch in Zukunft ist in vielen Ländern mit einer Zunahme der Bodendegradierung zu rechnen, da infolge des weltweiten Bevölkerungswachstums und der zunehmenden Besiedlungsdichte die Ausdehnung der Nutzflächen und die Intensivierung der Landwirtschaft zur weiteren Beeinträchtigung des Bodens führen werden (FAO 2003).

Um langfristig den Boden und seine funktionale Vielfalt zu erhalten und damit die Existenzgrundlage der Lebewesen zu sichern, muss der weltweit fortschreitenden Bodendegradierung Einhalt geboten werden. Bodenschutz ist somit von großer Bedeutung und seit Beginn der 80er Jahre zunehmend Gegenstand umweltpolitischer Diskussionen. Auch die Verabschiedung von Schutzkonzepten auf nationaler und internationaler Ebene wie die Welt-Boden-Charta der FAO (1981), in denen der Boden zu einem der kostbarsten Güter der Menschheit erklärt und auf dessen begrenzte Verfügbarkeit und Schutzbedürftigkeit hingewiesen wird, zeigen, dass die Notwendigkeit des Bodenschutzes erkannt wurde und in verstärktem Maß betrieben wird.

Der schonende Umgang mit der Ressource Boden setzt jedoch voraus, dass umfangreiche Kenntnisse über die Böden in Form von Informationen über Aufbau, Fruchtbarkeit, Nutzung, mögliche Gefährdungen und das Ausmaß bestehender Schäden vorliegen. Bodendaten bilden somit die Grundlage für weitere Auswertungen u.a. hinsichtlich der Nutzungseignung und Schutzbedürftigkeit und ermöglichen die Aufstellung gezielter Bodenschutzmaßnahmen (OELKERS 1993). Um eine weltweite Inventarisierung der Ressource Boden voranzutreiben, wurde von der Food and Agriculture Organisation (FAO) und der United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) im Jahre 1974 die *Legend der Soil Map of the World* (SMW) (Maßstab 1:5 Mio) entwickelt. Auch die im Jahre 1986 vom International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) in enger Zusammenarbeit mit der FAO und dem International Union of Soil Science (IUSS) erstellte *Global and National Soils and Terrain Digital Databases* (SOTER) (ISRIC-UNEP-FAO-IUSS 1995) und die *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) (FAO-ISRIC-IUSS 1998) dienen der globalen Erfassung und international einheitlichen Benennung der Böden. Letzteres ist vor allem für die Korrelation bestehender nationaler Bodenklassifikationssysteme und als Verständigungsmittel zwischen Wissenschaftlern verschiedener Länder und Disziplinen wichtig.

Des Weiteren wurden Verfahren wie das *Soil Fertility and Capability* (FCC) von SANCHEZ et al. (1982) für die Auswertung von Bodendaten entwickelt, um das Potential der Böden (*capability*) bzw. deren Eignung für den Anbau bestimmter Kulturen (*suitability*) zu ermitteln. So können limitierende Faktoren für den Pflanzenbau frühzeitig erkannt und Maßnahmen zur Förderung der Produktion sowie zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit aufgestellt werden. Sie stellen somit ein wichtiges Instrument für die weltweite Sicherung der Nahrungsmittelproduktion und Schutz der Ressource Boden dar (FAO 1977).

In der westafrikanischen Republik Benin ist die Funktion des Bodens als Produktionsstandort von Nahrungsmitteln und pflanzlichen Rohstoffen von insgesamt großer Bedeutung für das Land und die Existenz der Einwohner. So wird das Einkommen des Staates vorrangig durch den Export landwirtschaftlicher Produkte wie Baumwolle (ca. 56 %) und Palmöl (ca. 4 %) bestritten, und ca. die Hälfte der arbeitenden Bevölkerung ist im Agrarsektor beschäftigt, der mit ca. 38 % einen großen Anteil am Bruttoinlandsprodukt bildet (REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD 2000). Das heute in vielen Teilen Benins verbreitete Landnutzungssystem, das *upland cereal-based system*, ist auf den Anbau von Getreide wie Mais, Sorghum und Hirse ausgerichtet. In kleinbäuerlichen Betrieben werden die Kulturen vorrangig für die Eigenversorgung angebaut und die Feldarbeit von Hand verrichtet (BEETS 1990, FRANKE 1995, DE HAAN 1997). Aufgrund des geringen Anbaus von cash crops ist das finanzielle Einkommen der Bauern gering, so dass nur begrenzt Mittel für die Finanzierung von Dünger und Saatgut vorliegen. Die Beanspruchung des Bodens und seiner natürlichen Fruchtbarkeit ist daher als hoch zu bewerten, so dass der Boden insgesamt eine wichtige Grundlage für das Land und seine Einwohner darstellt.

Diese Nutzungsintensität wird im Hinblick auf das natürliche Bevölkerungswachstum (2,9 % in Benin 2003) und die zunehmende Besiedlungsdichte des Landes künftig noch weiter steigen. Auch die Zuwanderung aus benachbarten Regionen wie dem Nordwesten Benins und aus angrenzenden Ländern wie Togo und Nigeria, die durch Bodendegradierung, Landknappheit oder politische Unruhen gezeichnet sind, verstärken diese Entwicklung (DOEVENSPECK 2004). So sind sowohl die Kultivierung bisher nicht genutzter Standorte als auch die Intensivierung des Ackerbaus durch Ausdehnung der Anbauzeiten und Verkürzung der Brachezeiten bereits heute in weiten Teilen Benins zu beobachten (IMPETUS 2003). Die häufig zu intensive Nutzung des Bodens bei begrenztem Einsatz externer Inputs wie Mineraldünger und die Abholzung der Wälder führen langfristig zur Degradierung des Bodens und letztendlich zum Verlust landwirtschaftlicher Nutzflächen (BEETS 1990, ROOSE 1996b, KAYOMBO & MREMA 1998, ESWARAN et al. 2001). Neben den natürlichen Ertragseinbußen infolge sinkender Niederschläge (IMPETUS 2002) werden schließlich Engpässe bei der Eigenversorgung der Bevölkerung sowie geringere Einnahmen des Staates infolge sinkender Exporterlöse resultieren, was zu weiteren Konflikten im außeragrarischem Sektor führen wird. Somit hat die Sicherung der Ressource Boden für die Existenz der Bewohner sowie für die künftige Entwicklung des Landes Benins eine zentrale Bedeutung.

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Beschreibung und Benennung der im Einzugsgebiet des oberen Ouémé entstandenen Böden und in der Erfassung bestehender Degradierungserscheinungen unter dem aktuellen low input-Landnutzungssystem. Die Kenntnisse über die Eigenschaften und die Nutzung der in der Feuchtsavanne verbreiteten Böden sowie deren Veränderung bzw. Schädigung unter dem Einfluss des Menschen bilden die Voraussetzung für die Ableitung geeigneter Maßnahmen für eine nachhaltige Nutzung des Bodens und den langfristigen Schutz der Ressource.

Die Charakterisierung der in der Rumpfflächenlandschaft Benins gebildeten Böden setzt zunächst die Untersuchung der geomorphologischen Prozesse sowie die Erforschung der Ausgangssubstrate und der darin ablaufenden bodenbildenden Vorgänge voraus (ROHDENBURG 1969). Des Weiteren ist die Anwendung verschiedener internationaler Klassifikations- bzw. Ordnungssysteme wie der *Classification des Sols* (CPCS 1967), *Soil Taxonomy* (USDA 1960) oder *World Reference Base* (FAO-ISRIC-ISSS 1998) für die Identifizierung und Benennung der untersuchten Böden wichtig. Es stellt ein notwendiges Hilfsmittel für den Vergleich mit Böden benachbarter Länder dar, die aufgrund der gemeinsamen geologischen Entwicklung ähnlich aufgebaut sind, infolge der Übernahme der Bodenklassifikationssysteme von den jeweiligen Kolonialmächten jedoch unterschiedlich bezeichnet werden (FAO 2002).

In dieser Arbeit wird außerdem eine Bewertung der Böden nach LANDON (1984), dem *Fertility Capability Classification System* (FCC) von SANCHEZ et al. (1982) und der *Framework for Land Evaluation* der FAO (1976, 1981) vorgenommen, um Aussagen über die natürliche Bodenfruchtbarkeit und die den Pflanzenbau begrenzenden Faktoren zu bestimmen. Es werden Ergebnisse von Erosionsmessungen, die mittels einfacher, an die Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes angepasster Methoden durchgeführt wurden, diskutiert und mit dem nach der USLE (WISCHMEIER & SMITH 1978) bestimmten potentiellen Bodenabtrag verglichen. Des Weiteren werden die Resultate von Aggregatstabilitätstests und bodenbiologischen Untersuchungen dargestellt, um den Einfluss des Ackerbaus auf den Abtrag, die Bodenstruktur und die Verbreitung sowie die Aktivität von Bodenorganismen zu ermitteln.

Während der Feldaufenthalte wurde eng mit den Angehörigen der in den Ortschaften Doguè, Serou und Awanla ansässigen Volksstämme zusammengearbeitet. Somit sind in dieser Arbeit Aussagen von Bauern über die Benennung, Verbreitung und Fruchtbarkeit der Böden sowie über die Nutzung und Bearbeitung der Ressource

enthalten, die einen Einblick in die Sicht- und Arbeitsweise der Ethnien gewähren. Durch das Wohnen in den Lehmhüttendörfern wurden ebenfalls viele Eindrücke über die Traditionen und Lebensweise der Volksstämme gesammelt, was zum Verständnis verschiedener Handlungsweisen beigetragen hat. Diese Informationen wurden bei der Erörterung der am Schluss der Arbeit vorgestellten Möglichkeiten für eine nachhaltige Bodennutzung berücksichtigt, die dadurch speziell an die Gegebenheiten vor Ort angepasst und als einfache praxisbezogene Handlungsempfehlungen zu sehen sind. Insgesamt leistet diese Arbeit einen Beitrag für die langfristige Sicherung der Ressource Boden und für die Existenz der Bewohner Zentralbenins.

## 2 UNTERSUCHUNGSRAUM

### 2.1 Lage

Das Land Benin liegt am Golf von Guinea in Westafrika und erstreckt sich von  $6^{\circ}30'$  -  $12^{\circ}30'$  N und von  $1^{\circ}$  -  $3^{\circ}40'$  E Greenwich (Gr.) (Abb. 1). Angrenzende Staaten sind Togo im Westen, Burkina Faso und Niger im Norden sowie Nigeria im Osten. Mit einer Gesamtfläche von  $112.622 \text{ km}^2$  gehört Benin zu den kleineren Ländern des Kontinents (ADAM & BOKO 1983, REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD 2000).

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Zentralbenin und reicht von  $9^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  N und  $1,5^{\circ}$  -  $3^{\circ}$  E Gr. Es umfasst das obere Einzugsgebiet des Flusses Ouémé, la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO). Der Ouémé ist der größte Fluss des Landes und entwässert in den Golf von Guinea. Das HVO umfasst eine Fläche von ca.  $10.000 \text{ km}^2$ . Es wird im Nordwesten vom Atakora-Gebirge und im Osten durch einen Höhenzug, auf dem die Straße von Cotonou über Parakou nach Niger führt, vom Einzugsgebiet des Flusses Okpara begrenzt. Im Norden bilden flache Bergrücken die Wasserscheide zum Einzugsgebiet des Niger.

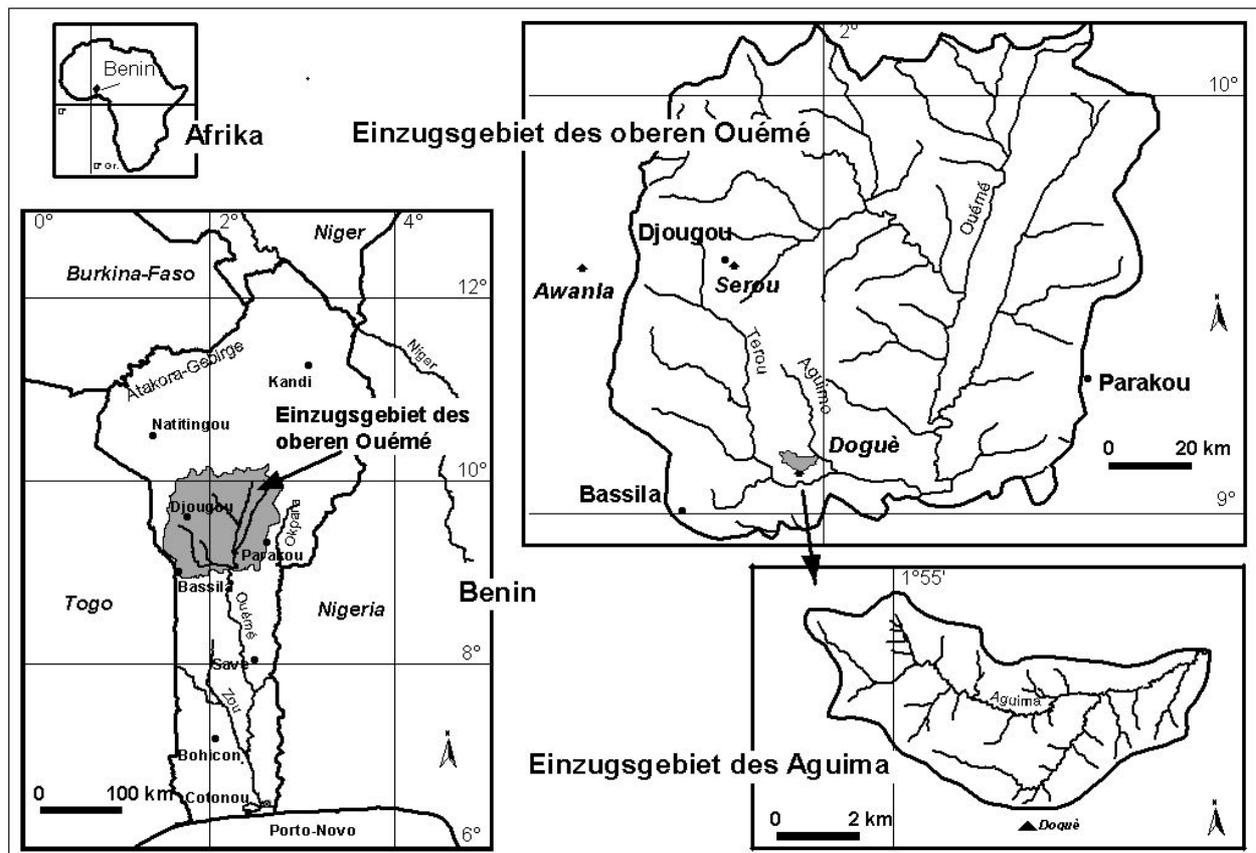


Abb. 1: Lage des Untersuchungsraumes in Westafrika bzw. Benin und Übersicht über das HVO und das Einzugsgebiet des Agouma (IGN 1955, 1978, verändert).

Die Untersuchungen wurden vorrangig im Einzugsgebiet des Flusses Aguima durchgeführt (9°6'N, 1°56'E), das im südlichen Bereich des HVO liegt. Das Areal umfasst eine Größe von ca. 30 km<sup>2</sup> und liegt 250 - 330 m ü. N.N. Die westliche Grenze wird vom Inselberg Mont Charles de Gaulle gebildet (330 m ü. N.N.). An der Südgrenze des Gebietes befindet sich die Ortschaft Doguè. Weitere Untersuchungen erfolgten in den Dörfern Awanla (9°41'N, 1°24'E) und Serou (9°41'N, 1°41'E), die ca. 35 km westlich bzw. 5 km östlich der Stadt Djougou auf einer Höhe von 400 bis 450 m ü. N.N. liegen.

## 2.2 Klima

Benin gehört klimatisch zur Subzone der wechselfeuchten bzw. äußeren Tropen (MÜLLER-HOHENSTEIN 1981). TROLL & PAFFEN (1964) ordnen es der Tropenzone mit Feuchtsavannen-Klima (V2) und mit wechselfeuchtem Trockensavannen-Klima (V3) zu, die durch eine 2,5 - 5 bzw. 5 - 7,5 Monate dauernde Trockenzeit gekennzeichnet sind. Nach KÖPPEN (1931) handelt es sich um ein Aw-Klima (Savannenklima). Die bioklimatische Klassifikation von AUBRÉVILLE (1949) sieht die Zuordnung Benins zu den Klimaten der Guinea-Zone (*guinéen forestier*) mit äquatorialem feuchttropischen Klima (bis 8°N), Sudan-Guinea-Zone (*soudano-guinéen*) mit semi-humidem tropischen Klima (8 - 11°N) und Sahel-Sudan-Zone (*sahélo-guinéen*) mit trockenem tropischem Klima (nördlich 11°N) vor. Aufgrund des Fehlens großer Gebirgszüge, welche die Zirkulation wetterbestimmender Luftmassen behindern könnten, weist Westafrika eine nahezu ungestörte Breitengradabhängige bioklimatische Zonierung auf (LAWSON 1986).

Für eine genauere Charakterisierung der klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsraum wurde Daten des französischen Projektes Couplage de l' Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique (CATCH), des beninischen Wetterdienstes Direction Météorologique National du Bénin (DMN), der World Meteorological Organization (WMO) und von IMPETUS verwendet.

### Niederschlag

Der Niederschlag in der Guinea-Bucht Westafrikas wird durch Konvektion bedingt, während die Variabilität durch Schwankungen der Oberflächentemperaturen der Weltozeane verursacht wird. Das langjährige Mittel der Jahresniederschläge beträgt im Nordwesten des HVO ca. 1350 mm, im Südosten dagegen ca. 1150 mm (IMPETUS 1999). Der Vergleich der Summen von Jahresniederschlägen der Klimanormalperioden 1931 - 60 und 1961 - 90 belegt eine abnehmende Tendenz der klimatischen Feuchte im HVO seit Beginn der Messungen. So war die Niederschlagsmenge in Mittelbenin in der

zweiten Periode um 5 -10 % geringer als in den vorangegangenen Periode. Auch im Zeitraum 1990 - 2001 setzte sich die Tendenz verringerter Jahresniederschläge fort (IMPETUS 2002). Die im HVO fallenden Niederschläge können ebenfalls nach ihrer Herkunft sowie der Menge und Intensität unterschieden werden. So stammen die um Mitternacht fallenden und von starken Winden begleiteten intensiven *classical squall systems* (MCS) aus der Jos-Plateau-Region, Nigeria, während die gegen Abend auftretenden, ebenfalls intensiven *young classical squall systems* (yMCS) östlich von Ilorin, Nigeria entstehen. Die am Nachmittag vorkommenden Regenfälle, die *small multicell afternoon convection* (SMAC) werden ca. 300 km SE des HVO gebildet und sind wie die *MCS/SL systems*, die am frühen Morgen oder nachmittags fallen, weniger intensiv (VOLLMERT et al. 2004).

Der Jahresgang der Niederschläge im oberen Einzugsgebiet des Ouémé wird beispielhaft für die Klimanormalperiode 1961 - 1990 an der Station Parakou erläutert (WMO 1996) (Abb. 2). Die Niederschlagsverteilung ist durch eine ausgeprägte Saisonalität gekennzeichnet, d.h. durch alternierende Regen- und Trockenzeit. Die regenreiche Periode, in der durchschnittlich 1150 mm Niederschlag fielen, dauerte von April bis Oktober. Das Maximum der Niederschläge wurde in den Monaten August und September erreicht. Die anschließende Trockenzeit erstreckte sich über den Zeitraum November bis März. Nach der Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF 1975) unterliegt der Boden einem *ustic soil moisture regime*.

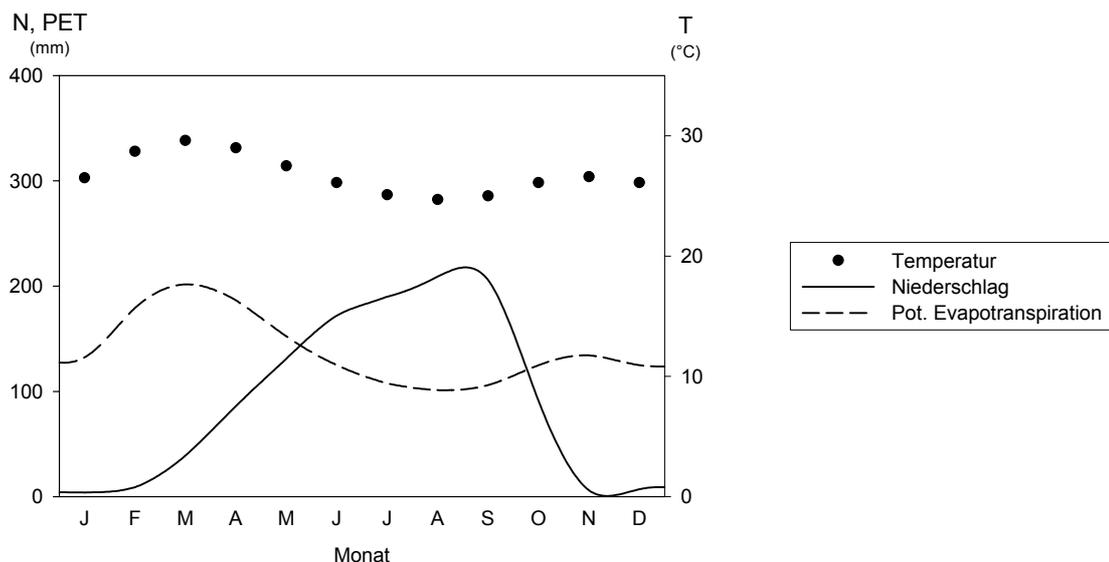


Abb. 2: 30jähriges Mittel von Temperatur, Niederschlag und potentieller Evapotranspiration an der Station Parakou (1961 - 1990).

Von Doguè (9°10'N, 1°94'E) liegen derzeit nur Niederschlagsdaten aus den Jahren 1997 - 2002 vor (Tab. 1). Der Beginn der Regenzeit lag häufig in den Monaten März oder April, vereinzelt jedoch bereits im Januar (1998), Februar (1999) oder erst im Juni (2000). In den Monaten Oktober bzw. November endet die humide Periode. Während der Regenzeiten der Jahre 1997 bis 2002 fielen in Doguè durchschnittlich 1029,5 mm Niederschlag. Im Jahre 1998 wurde mit 1330,5 mm überdurchschnittlich viel Regen gemessen, während die Jahre 1997, 1999 und 2000 durch mehr Trockenheit ( $< 1000 \text{ mm a}^{-1}$ ) gekennzeichnet waren.

Tab. 1: Niederschlagsdaten (mm) der Station Doguè (313 m ü. NN.; 1997 - 2002)

Monat	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Mittel
Januar	0,0	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8
Februar	0,0	10,0	32,5	0,0	0,0	0,0	7,1
März	0,0	0,0	36,5	0,0	0,0	88,5	20,8
April	33,5	71,0	75,0	0,0	97,0	161,0	72,9
Mai	137,0	90,5	51,5	0,0	121,5	64,0	77,4
Juni	100,5	247,5	123,0	112,0	190,0	74,5	141,3
Juli	122,0	184,5	184,5	277,5	100,0	96,0	160,8
August	150,5	254,5	251,0	112,5	280,5	202,0	208,5
September	224,5	285,5	76,0	227,5	289,0	113,5	202,7
Oktober	127,0	143,0	136,5	51,5	21,0	116,0	99,2
November	10,5	3,0	0,0	0,5	1,5	0,5	2,7
Dezember	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Jahressumme	906,0	1330,0	966,5	781,5	1100,5	916,0	1029,5

Messungen aus dem Jahre 2002 mittels vier in der Umgebung von Doguè installierter Klimastationen ermöglichen erste Aussagen über die kleinräumige Variabilität der Niederschläge. Die Stationen lagen 5,5 km NW (1°90'E 9°13'N), 5 km NW (1°91'E 9°13'N), 1,5 km SW (1°92'E 9°08'N) bzw. 0,5 km E (1°95'E 9°11'N) von der Ortschaft entfernt. Die Jahressummen der Niederschläge wichen z.T. stark voneinander ab. So fiel östlich von Doguè mit 916,8 mm und nordwestlich mit 987,7 bzw. 950,1 mm generell weniger Regen als südwestlich der Ortschaft (1019,1 mm).

Der Fournier-Index beschreibt den potentiellen Einfluss des Klimas auf den Bodenerosionsprozess und wird aus der Niederschlagsmenge des regenreichsten Monats und der durchschnittlichen Jahressumme des Niederschlags errechnet (FOURNIER 1960). Für das Einzugsgebiet des Aguima beträgt der Index 50,3 (1997 - 2002) und liegt somit zwischen den für das weiter südlich gelegene Bouaké, Côte

d'Ivoire (38) und dem weiter nördlich liegenden Gaoua, Burkina Faso (63) ermittelten Indices (ROOSE 1977c).

### Temperatur

Die Jahresdurchschnittstemperatur an der Station Parakou betrug während der Klimanormalperiode 1961 bis 1990 26,8°C (WMO 1996) (Abb. 2). Somit liegt im Boden nach der Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF 1999) ein *isohyperthermic temperature regime* vor. Der Jahresgang der Temperaturen schwankte generell nur wenig (ca. 4,6°C 1961 -1990). So lag das absolute Maximum der monatlichen Durchschnittstemperatur mit 29,6°C im März, d.h. am Ende der Trockenzeit, das Minimum von 25,0°C wurde im August erreicht. Genaue Temperaturmessungen aus dem Aguima-Einzugsgebiet aus dem Jahr 2002 zeigen weiterhin hohe Temperaturschwankungen im Tagesverlauf. So wurde das Minimum von durchschnittlich 20,1°C morgens um 7 Uhr erreicht, während gegen 16 Uhr die maximale Tagestemperatur von durchschnittlich 32,2 °C gemessen wurde.

### Luftfeuchte, Evapotranspiration

Die maximale relative Luftfeuchte in Parakou betrug in den Jahren 1990 - 1997 durchschnittlich 81 % im Jahr und war durch geringe jährliche Schwankungen ( $\pm 5$  %) gekennzeichnet. In den Monaten Juli bis Oktober erreichte die relative Luftfeuchte um 95 %, wobei das absolute Maximum von 96 % im August, einem der niederschlagsreichen Monate, lag. Während der Trockenzeit sank die maximale Luftfeuchte auf Werte unter 60 % ab und erreichte im Januar ein Minimum von durchschnittlich 51%. Die hoch aufgelösten Klimadaten vom Aguima-Einzugsgebiet aus dem Jahre 2002 zeigen weiterhin, dass die höchste Luftfeuchte (85 %) täglich morgens gegen 8 Uhr und die niedrigste (46 %) gegen 16 Uhr erreicht wurde. Die Tagesschwankungen der Luftfeuchte waren im Monat März am stärksten ausgeprägt (54 %), im August am geringsten (24 %).

Die potentielle Evapotranspiration (PET) wurde aufgrund der Verfügbarkeit der Eingangsdaten für die Station Parakou nach der Thornthwaite-Methode (THORNTHWAITE 1948) (Abb. 2) und für die Station Doguè nach der FAO Penman-Monteith-Methode (FAO 2003) (Abb. 3) (IMPETUS 2003) berechnet. Wie die Temperaturen und Niederschläge, so schwankt auch die PET im Jahresverlauf. Maximale Verdunstungsraten wurden am Ende der Trockenzeit gemessen, während die PET im August, d.h. in einem Monat mit sehr hoher Niederschlagsrate, und im Dezember zur Zeit des Harmattans erreicht wurden.

Das Bodenfeuchteregime im Aguima-Einzugsgebiet ist ebenfalls durch große Schwankungen im Jahresverlauf gekennzeichnet. Mit Beginn der Regenzeit Anfang April ist die Niederschlagsmenge größer als die Evapotranspiration, so dass die Wasservorräte des Bodens aufgefüllt werden (*recharge*). Die nutzbare Feldkapazität des Bodens ist Mitte Juli erreicht, so dass weitere Niederschläge zum Wasserüberschuss im Boden führen (*surplus*). Der Verbrauch des Bodenwassers (*utilization*) beginnt mit Ende der Regenzeit im Oktober/November, wenn die Evapotranspiration größer als die Niederschlagsmenge ist. Ab Ende November ist der Bodenwasserhaushalt defizitär (*deficit*) und weiteres Wachstum nicht verholzter Pflanzen aufgrund Erreichen des permanenten Welkepunktes nicht mehr möglich (SOIL SURVEY STAFF 1975, IGUÉ & YOUSOUF 1995).

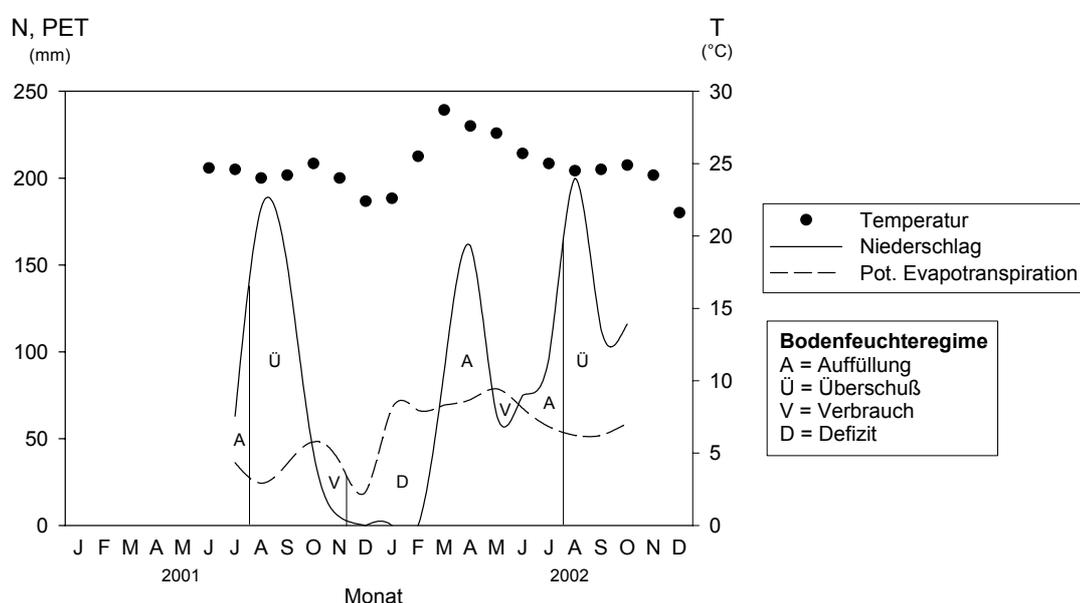


Abb. 3: Mittlere Temperatur, Niederschlag und potentielle Evapotranspiration an der Station Dugué (2001, 2002) (IMPETUS 2003).

#### Windverteilung, atmosphärische Deposition

In der Trockenzeit wird Benin vom lokalen Nordost-Passat, dem Harmattan erreicht. Dieser trockene Wind entsteht in der Sahara und transportiert Stäube aus dem Tschad-Becken, den Ausläufern des Air und dem Vallée de Tarka über weite Strecken in den subsaharischen Raum (MC TAINSH & WALKER 1982, MØBERG et al. 1991, HERRMANN 1996). In Nord-Benin werden im Durchschnitt  $6 \text{ g m}^{-2}$  Staub auf der Bodenoberfläche während der trockenen Monate abgelagert (Messperiode 1992 - 1994, HERRMANN 1996). Das schluffreiche Material besteht aus Quarz, Kaolinit, Feldspat, Glimmer sowie Carbonat und enthält Beimengungen wie Eisenoxide, Schwerminerale und Asche. Der pH-Wert liegt im neutralen bis leicht basischen Bereich, und sowohl die die Katio-

naustauschkapazität ( $299 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Boden) als auch die Basensättigung (100 %) sind sehr hoch. Die Konzentrationen der austauschbaren Kationen nehmen nach HERRMANN (1996) in der Reihenfolge  $\text{Ca} > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg}$  und nach MØBERG et al. (1991) in der Reihenfolge  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$  ab.

Während der Regenperiode wird die Küste Westafrikas vom SW-Monsun erreicht (LAUER 1999). Zusätzlich treten zwischen  $10$  bis  $15^\circ$  N vermehrt konvektive Böen- bzw. Gewitterlinien, sog. Squall Lines, auf, die Benin in westlicher Richtung überqueren. Viele Squall Lines entstehen über dem nigerianischen Jos-Plateau und führen im HVO zu starken Niederschlägen um Mitternacht (IMPETUS 2002). Diese Winde sind durch starke Turbulenzen gekennzeichnet und von unterschiedlicher Breite ( $10$  bis mehrere  $100 \text{ km}$ ) und Lauflänge ( $300$  bis  $500 \text{ km}$ ). Da sie vorrangig schluffreiches Material lokaler Böden mit sich führen, sind die regenzeitlichen Stäube mäßig sauer (pH-Wert  $5,3$ ) und die Basensättigung ( $44 \%$ ) sowie die Kationenaustauschkapazität ( $70 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Boden) vergleichsweise gering. Die Reihenfolge der sinkenden Konzentrationen austauschbarer Kationen in den Stäuben der Regenzeit ist  $\text{Ca} \gg \text{K} \geq \text{Na} = \text{Mg}$  (HERRMANN 1996).

Die im Wind mitgeführten Stäube gelangen mit Regentropfen oder durch die Schwerkraft, d.h. durch feuchte oder trockene Deposition, auf den Boden, der auf diese Weise mit Nährstoffen versorgt wird (HERRMANN 1996, JAHN et al. 1996) (Tab. 2). Nach HERRMANN (1996) kann die atmosphärische Deposition die Ca- und Mg-Verluste, die im Boden infolge Auswaschung, Erosion und Aufnahme durch die Pflanzen entstehen, nahezu ausgleichen. Eine ausreichende Versorgung mit N und P ist jedoch nicht gegeben.

Tab. 2: Jährliche Nährstoffdeposition ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) in Nord-Benin (Station Ina, Messperiode 1992 - 1994) (nach HERRMANN 1996, Tab. 6.6, verändert)

trockene Deposition	Jahr	C	N	P	Na	K	Ca
		$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$					
	1992	21,3	2,0	0,3	0,7	4,9	4,6
	1993	23,1	2,8	0,4	0,8	4,5	4,2
1994	18,5	1,7	0,3	1,5	4,3	3,9	
feuchte Deposition	Jahr	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	Na	K	Ca
		$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$					
	1992	4,4	2,3	4,5	4,6	2,1	8,3
	1993	5,9	1,3	0,0	5,1	1,3	9,9
1994	4,4	1,6	0,3	7,8	4,0	26,2	

### 2.3 Hydrologie

Der Ouémé ist mit einer Länge von ca. 510 km der größte Fluss Benins. Zusammen mit den Nebenflüssen Okpara (ca. 200 km) und Zou (ca. 150 km) entwässert er nach Süden und mündet bei Porto Novo in den Golf von Guinea (ADAM & BOKO 1983, LE BARBÉ et al. 1993). Der Fluss ist durch ganzjährige Wasserführung gekennzeichnet, die aufgrund des Wechsels von Trocken- und Regenzeiten im Jahresverlauf stark schwankt. Die größeren Nebenflüsse des Ouémé wie der Terou und der Aguimo entwässern entsprechend der Neigung des Geländes nach Osten. Sie sind in der Regenzeit je nach Höhe der Niederschläge durch unterschiedliche Wasserstände charakterisiert und fallen während der regenarmen Monate trocken (IMPETUS 2001). Die kleinen Nebenflüsse des dendritischen Flusssystemes sind dagegen NNW-SSO gerichtet, was dem Kluftsystem des Festgesteins im HVO entspricht.

Das Grundwasser wird im Einzugsgebiet des Aguima im Festgesteinsaquifer gespeichert, einem Kluftgrundwasserleiter von durchschnittlich 40 m Mächtigkeit (IMPETUS 2001). Das Niveau des Grundwasserspiegels in Doguè (Dorfbrunnen) blieb im Verlauf des Jahres 2002 relativ konstant (ca. 12 - 13 m unter GOK). Die Neubildung des Grundwassers wird auf 231 - 288 mm a<sup>-1</sup> geschätzt und findet vorrangig über Niederschläge statt, die als perkolierendes Sickerwasser oder über preferentielle Fließwege in den Festgesteinsaquifer gelangen. In der Regenzeit kommt es ebenfalls zur Ausbildung eines schwebenden Grundwasserspiegels infolge der Stauung von Sickerwasser über undurchlässigem Plinthit oder tonreichem Gesteinszersatz (FASS 2004).

### 2.4 Vegetation

Die Savannen Westafrikas werden nach der traditionellen Aufteilung von CHEVALIER (1990) in drei von Süden nach Norden aufeinanderfolgende Zonen unterteilt, und zwar in die Guinea-, Sudan-, und Sahelzone. KNAPP (1973) weist den Süden Benins der Guinea-Kongo-Florenregion zu, deren Klimaxvegetation der Regenwald darstellt. Der Norden gehört zur Sudano-Sambesischen-Florenregion, in dem Trockenwälder und offene Grasfluren vorkommen. Zwischen diesen Regionen liegt die Guinea-Sudano-Über-gangszone bzw. Guinea-Zone mit dem HVO. Nach WHITE (1983) gehören Zentral- und Nordbenin zum „Sudanian regional centre of endemism“, in dem ca. 2750 Arten mit rund ein Drittel edemischer Arten vorkommen.

Heutzutage ist die ursprüngliche Vegetation weitgehend verschwunden. Das Landschaftsbild wird von Ackerflächen sowie von feuerbeeinflussten und stark

anthropogen überprägten Gehölz-Gras-Gesellschaften geprägt, die als Ersatzgesellschaften bzw. Stadien sekundärer Sukzessionsreihen anzusehen sind (REIFF 1998). Im HVO entstand durch die ackerbauliche Nutzung, die jährlichen Buschbrände und die zunehmende Beweidung ein Mosaik aus dichten und lichten Trockenwäldern sowie verschiedene Savannen- und Bracheformen (Tab. 3). Die dichten Trockenwälder (Forêt dense sèche) kommen nur kleinräumig vor. Sie werden aus religiösen Gründen nicht in Nutzung genommen und als heilige Wälder, sog. „Forêts sacrées“, erhalten (ORTHMANN 2004). Inselberge stellen aufgrund spezieller edaphischer und mikroklimatischer Bedingungen Sonderstandorte dar, auf denen Vegetation nur vereinzelt in mit Humus gefüllten Spalten und Senken gedeiht (BARTHLOTT & POREMBSKI 1998).

Tab. 3: Vegetationsformationen in Zentralbenin (REIFF 1998, IMPETUS 2001)

Formations- klassen	Definition der Vegetationsformation	Deckungsgrad der Gehölzschichten	Dominierende Arten
Galeriewald <i>Forêt galerie</i>	geschlossene Waldformation entlang von Wasserläufen	Baumschicht > 75 %	<i>Cola laurifolia</i> <i>Anogeiss leiocarpus</i>
dichter Trockenwald <i>Forêt dense sèche</i>	Groteil der Bäume in der oberen Baumschicht laubabwerfend; Unterwuchs aus immer- und regengrünen Arten; weniger Gräser in Krautschicht	Baumschicht > 75 %	<i>Anogeiss leiocarpus</i> <i>Terminalia macroptera</i>
lichter Trockenwald <i>Forêt claire</i>	lichte Bestände aus Bäumen niedriger bis mittlerer Höhe mit mehr oder weniger geschlossenem, lichtdurchlässigen Kronendach; Unterwuchs aus Gräsern, Kräutern, Halbsträuchern	Baumschicht 75 - < 50 %	<i>Isoberlinia doka</i> <i>Isoberlinia tomentosa</i> <i>Uapaca togoensis</i> <i>Anogeiss leiocarpus</i>
Waldsavanne <i>Savane boisée</i>	Bäume und Sträucher bilden lockeren Bestand mit sehr lichtdurchlässigem Kronendach	Baumschicht 25 - 50 %	<i>Isoberlinia doka</i> <i>Isoberlinia tomentosa</i> <i>Burkea africana</i>
Baumsavanne <i>Savane arborée</i>	Grassavanne mit mehr oder weniger locker verteilten Bäumen und Sträuchern	Baumschicht 2 - < 25 %	<i>Isoberlinia doka</i> <i>Crossopterix febrifuga</i> <i>Terminalia macroptera</i>
Strauchsavanne <i>Savane arbustive</i>	Grassavanne mit mehr oder weniger auf der Fläche locker verteilten Sträuchern	Baumschicht < 2 % Strauchschicht > 5 %	<i>Cochlospermum planchoni</i> <i>Anthropogon fastigiatus</i>
Grassavanne <i>Savane herbeuse</i>	Bäume, Sträucher fehlen; Krautschicht von Gräsern dominiert	Bäume, Sträucher < 2 %	<i>Loudetiopsisid kerstingus</i> <i>Anthropogon pseudapricus</i>

Der Begriff „Savanne“ stammt vom westindischen Wort „zabana“ für Waldlichtung (TISCHLER 1990). Nach WALTER & BRECKLE (1991) ist er ein Sammelbegriff für physiognomisch ähnliche, jedoch unterschiedlich entstandene Vegetationstypen. Das gemeinsame Merkmal ist das Vorherrschen von Gräsern, während der Anteil der Holzgewächse relativ gering ist. Bei edaphisch bedingten Savannentypen ist das Wachstum der Holzgewächse durch langanhaltende Staunässe während der Regenzeit und durch Nährstoffarmut der Böden begrenzt. Auch die Umwandlung von Wäldern durch Eingriffe wie Rodung oder Feuer kann zur Ausbildung von Grasfluren führen.

## **2.5 Staat und Bevölkerung**

Benin ist u.a. aus den Königreichen Dahomey und Nikki hervorgegangen, die zu Beginn des 17. Jahrhunderts gegründet und 1904 Teile des französischen Kolonialgebietes Französisch Westafrika wurden. Ihre politische Unabhängigkeit erhielt die Kolonie Dahomey im Jahre 1960, und 1974 wurde das Land zur République du Bénin umbenannt. Seit 1991 ist Benin eine parlamentarische Präsidialdemokratie. Der Staat ist heute in 12 Verwaltungseinheiten (départements) gegliedert. Das HVO liegt in den Departements Atakora und Borgou, die von den Städten Natitingou bzw. Parakou aus verwaltet werden (WUNDERLICH & ADEYE 1995, REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD 2000). Derzeit leben 7,01 Mio Einwohner in Benin (Juli 2003), von denen 99 % Afrikaner verschiedener ethnischer Gruppen sind. Unter den 42 Ethnien dominieren die Fon (40 %), gefolgt von den Yuroba (12 %), Adja (11 %), Bariba (9 %), Houeda (9 %) und den Peulh (6 %). Die Besiedlungsdichte betrug im Jahr 1998 landesweit 54,2 Einwohner pro km<sup>2</sup>, wobei der Großteil der Bevölkerung im Süden des Landes lebt. Im Durchschnitt nimmt die Bevölkerung jährlich um 2,9 % zu (2003) (DE HAAN 1997, REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD 2000, CIA 2003). In den Departements Atakora und Borgou leben vorrangig Angehörige der Stämme Bariba, Dendi und Peulh. Im Einzugsgebiet des Aguima ist der Nagot-Stamm sesshaft, während in der Savanne die Peulh halbnomadisch oder in sesshafter Form leben. Das Dorf Doguè wurde vor ca. 100 bis 150 Jahren während der letzten großen Kriege als Zuflucht und Versteck der Einwohner vor Sklavenhändlern gegründet. Heute lebend dort 965 Einwohner in 99 Haushalten (WOTTO 2003). Seit dem Bau der Piste Oubérou - Bassila im südlichen Teil des HVO hat sich die Bevölkerungszahl nach 1997 durch Zuwanderung, Siedlungsneugründungen mehr als verdoppelt (DOEVENSPECK 2004). Die Wirtschaft Benins wird vorrangig von der Landwirtschaft geprägt. Mehr als zwei Drittel der Bevölkerung bzw. 56 % der Erwerbstätigen sind im Agrarsektor beschäftigt,

der ca. 38 % zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) beiträgt. Im Dienstleistungssektor werden ca. 47 % des BIP erwirtschaftet, in der Industrie nur ca. 15 % (2002). Der Export wird vorrangig von landwirtschaftlichen Produkten wie Baumwolle (58 % des Gesamtexports 1998) und Palmöl (6,3 %) bestimmt (207 Mio \$ 2002). Importiert werden Industriegüter (45 % des Gesamtimports 1998), Nahrungsmittel (25 %), Maschinen und Transportausrüstungen (21 %) sowie Brennstoffe (7 %) (479 Mio \$ 2002). Etwa 37 % der Bevölkerung leben unter der Armutsgrenze (2002), und das Pro-Kopf-Einkommen ist mit ca. 456 \$ pro Jahr gering. Insgesamt gehört Benin zu den ärmsten Ländern der Welt. Nach dem United Nations Development Programme (UNDP), in dem die menschliche Entwicklung bewertet wurde, nimmt das Land Position 158 von insgesamt 173 erfassten Staaten ein (2002) (FAO 1994, REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD 2000, CIA 2003).

### 3 METHODISCHES VORGEHEN

#### 3.1 Untersuchung der Böden

##### 3.1.1 Beschreibung von Bodenprofilen

Die bodenkundlichen Untersuchungen wurden im Aguima-Einzugsgebiet und seiner näheren Umgebung (Abb. 4, Tab. A1) sowie bei den Ortschaften Awanla und Serou durchgeführt (Abb. 5, Tab. A2). Für die ausführliche Charakterisierung der Leitböden wurden Profilgruben von max. 2 m Tiefe an Standorten angelegt, die sich hinsichtlich der Geländeposition, der Vegetation und der Nutzung voneinander unterschieden. Die Beschreibung der Leitprofile erfolgte nach den Richtlinien der *Guidelines for Soil Description* der FAO (1990).

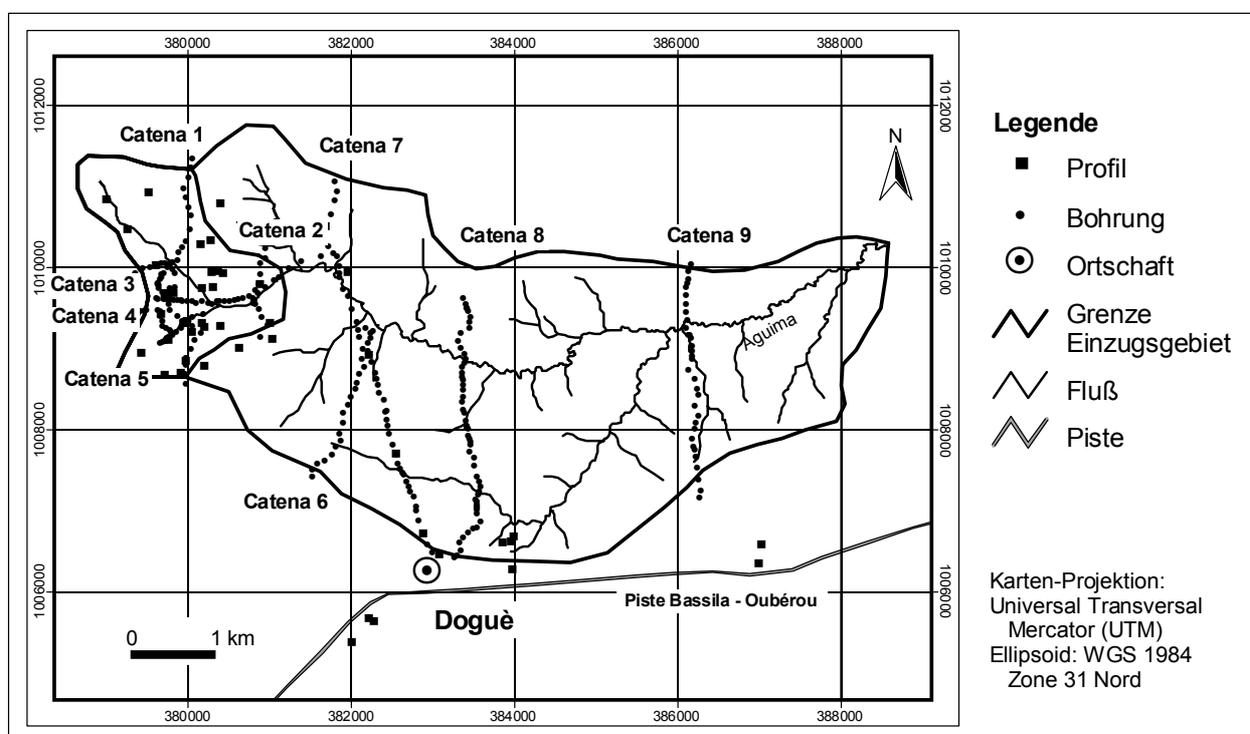


Abb. 4: Lage der Profile und Bohrpunkte im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung (Maßstab 1:50.000).

##### 3.1.2 Bodenphysikalische und -chemische Laboranalysen

Für die Laboranalysen wurden Mischproben aus den einzelnen Horizonten entnommen, luftgetrocknet und mit einem 2 mm Sieb in Grob- und Feinboden getrennt. Die Analysen erfolgten nach den *Procedures for Soil Analysis* (VAN REEUWIJK 1995), was Voraussetzung für die Klassifikation der Böden nach der *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) (FAO-ISRIC-ISSS 1998) ist.

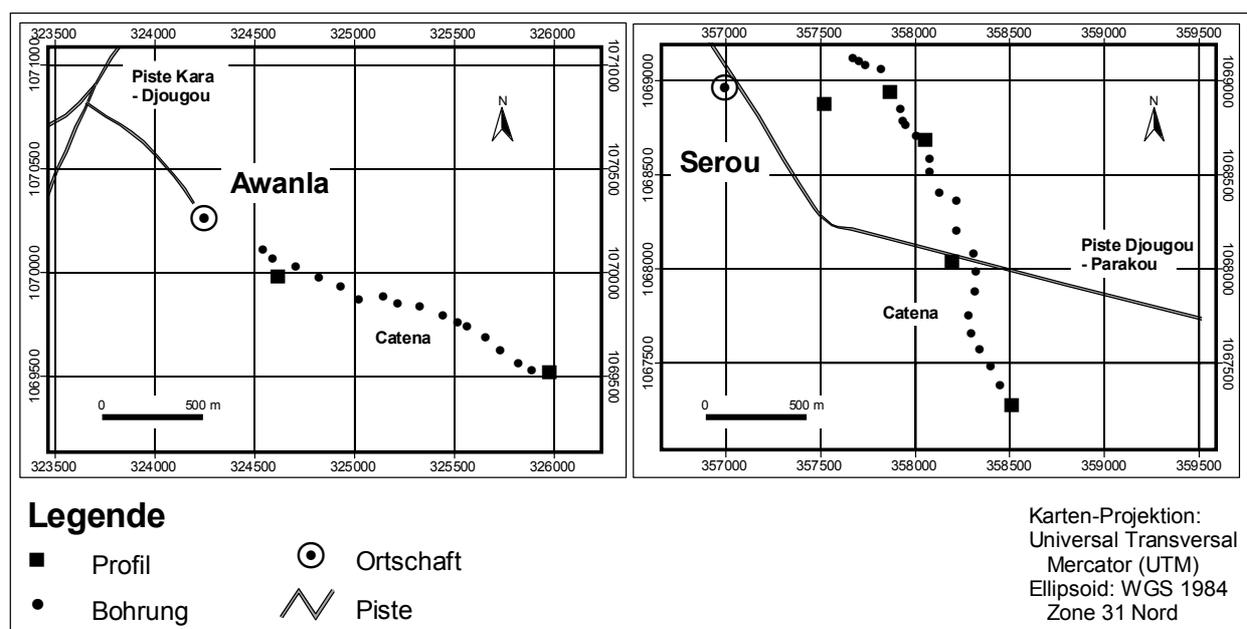


Abb. 5: Lage der Profile und Bohrpunkte in Awanla und Serou (Maßstab 1:10.000).

**Bodenart:** Nach der Zerstörung der organischen Substanz durch  $\text{H}_2\text{O}_2$  und der Dispergierung der Partikel mittels  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  wurde der Anteil der Grob-, Mittel- und Feinsandfraktion in 20 g Boden durch Nasssiebung und der Mittel-, Feinschluff- und Tonfraktion durch Pipettanalyse (KÖHN-Pipette) bestimmt. Der Grobschluffanteil wurde anschließend rechnerisch ermittelt. Parallel wurde der Anteil an wasserdispergierbarem Ton durch Wiederholung des Versuchsdurchgang ohne Zusatz von  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  bestimmt.

**Carbonatgehalt ( $\text{CaCO}_3$ ):** Da beim Vortest mit  $\text{HCl}$  (10 %) kein Carbonat in den Bodenproben nachgewiesen werden konnte, wurde keine weitere  $\text{CaCO}_3$ -Bestimmung durchgeführt.

**pH-Wert:** Der pH-Wert wurde potentiometrisch in einer Lösung aus 10 g Boden und 25 ml  $\text{H}_2\text{O}$  gemessen.

**Organische Substanz ( $\text{C}_{\text{org}}$ ), Stickstoff ( $\text{N}_t$ ):** Die Ermittlung des gesamten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts in 20 mg Boden wurde durch Elementaranalyse mit Hilfe eines C/N-Analyzers durchgeführt.

**Austauschbares Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Natrium (Na):** Für den Hintausch wurden 5 g Boden mit 1 M  $\text{NH}_4\text{-OAc}$  bei pH 7 perkoliert (Ammonium-Acetat-Methode). Anschließend wurden die Ca- und Mg-Konzentrationen im Perkolat mittels

Atomabsorptionsspektrometer (AAS) und die K- und Na-Konzentrationen mittels Flammenemissionsspektrometers (FES) gemessen.

Austauschbares Aluminium (Al): Die Al-Konzentration wurde in einem Perkolat, das aus 10 g Boden und 1 M KCl hergestellt wurde (KCl-Methode), mittels induktiv gekoppeltem Plasma aus Argon (ICP) bestimmt. Die Protonenkonzentration wurde ebenfalls im KCl-Perkolat gemessen, jedoch konnten keine Protonen nachgewiesen werden.

Potentielle Kationenaustauschkapazität ( $KAK_{pot}$ ): Im Anschluss an die Extraktion der basischen Kationen wurde ein Rücktausch mit Ethanol (80 %) durchgeführt und die  $NH_4$ -Konzentration im Extrakt spektralphotometrisch gemessen. Die  $KAK_{pot}$  ist neben der Basensättigung (BS) ein wichtiges Kriterium für die Klassifikation der soil units nach der WRB. Da bei dieser Klassifizierung die auf den Tongehalt des Bodens bezogene Austauschkapazität verwendet wird, war eine Umrechnung der gemessenen  $KAK_{pot}$  notwendig (1).

$$KAK_{pot} \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Ton)} = \frac{KAK_{pot} \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Boden)}}{\text{Ton (\%)}} \times 100. \quad (1)$$

Da Humus neben Tonmineralen ebenfalls Austauscherplätze für Kationen zur Verfügung stellt, wurde der Anteil der organischen Substanz an der gemessenen Austauschkapazität eliminiert (2, 3, 4) (SOMBROEK 1966).

$$KAK_{pot \text{ Boden (Tonanteil)}} = KAK_{pot \text{ Boden}} - KAK_{pot \text{ Boden (Humusanteil)}} \quad (2)$$

$$KAK_{pot \text{ Boden (Humusanteil)}} = 3,5 \times C_{org} (\%) \quad (3)$$

$$KAK_{pot \text{ Ton (korr.)}} \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Ton)} = \frac{KAK_{pot \text{ Boden (Tonanteil)}}}{\text{Ton (\%)}} \times 100 \quad (4)$$

Für die Berechnung des Humusanteils an der  $KAK_{pot}$  wurde nach KLAMT & SOMBROEK (1988) der Faktor 3,5 verwendet (3), da derzeit von einer Austauschkapazität von durchschnittlich 350  $cmol_c$  pro kg  $C_{org}$  bzw. 3,5  $cmol_c$  pro 1 %  $C_{org}$  ausgegangen wird.

Effektive Kationenaustauschkapazität ( $KAK_{eff}$ ): Die  $KAK_{eff}$  wurde durch Summierung der austauschbaren Kationen und der Gesamtazidität (KCl-Methode) berechnet (5).

$$KAK_{eff} \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Boden)} = \sum Ca + Mg + K + Na + H + Al \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Boden)} \quad (5)$$

Basensättigung (BS): Die Basensättigung ist der prozentuale Anteil der Summe austauschbarer basischer Kationen an der  $KAK_{pot}$  (6).

$$BS (\%) = \frac{\sum Ca + Mg + K + Na \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Boden)}}{KAK_{pot} \text{ (cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Boden)}} \times 100 \quad (6)$$

Verfügbares Phosphat ( $P_2O_5$ ): Nach der Methode von BRAY & KURTZ (1945) wurde ein Extrakt aus 2 g Boden, 0,03 M  $NH_4F$  und 0,025 M HCl hergestellt, mit  $NH_4$ -Molybdat angefärbt und der P-Gehalt spektralphotometrisch bestimmt. Durch Multiplikation des gemessenen P-Wertes mit dem Faktor 2,29 wurde der  $P_2O_5$ -Gehalt ermittelt.

Verfügbares Kalium ( $K_2O$ ): Der K-Gehalt wurde spektrometrisch in einem Extrakt aus 5 g Boden, 0,05 M Ca-Lactat und 0,05 M Ca-Acetat bestimmt (Calcium-Lactat-Methode) (SCHLICHTING et al. 1995). Die Berechnung des  $K_2O$ -Gehalts erfolgte durch Multiplikation der Messwerte mit dem Faktor 1,66.

Schlecht kristalline pedogene Oxide ( $Fe_O$ ): Für die Ermittlung des  $Fe_O$ -Gehalts wurde nach THAMM (1932, mod. n. SCHWERTMANN 1964) ein Extrakt aus 1 g Boden und  $NH_4$ -Oxalat (pH 3,25) hergestellt und der Gehalt an schlecht kristallinen pedogenen Oxiden mittels ICP gemessen.

Gesamte pedogene Oxide ( $Fe_D$ ): Die Dithionit-Citrat-Bicarbonat-Methode von MEHRA & JACKSON (1960) wurde zur Ermittlung der  $Fe_D$ -Konzentration durchgeführt, nach der ein Extrakt aus 5 g Boden, 0,27 M Na-Citrat und 0,11 M Na-Bicarbonat hergestellt und mittels ICP analysiert wurde.

Tonminerale: Die Analyse des Tonmineralbestandes erfolgte durch Röntgendiffraktometrie ( $Cu \text{ } k_{\alpha}$ -Strahlung) von Texturpräparaten, die aus mit Wasser bzw. Glycerin vermengten und luftgetrockneten Ton ausgewählter Proben hergestellt wurden.

Dünnschliffe: Bei der Herstellung werden die Bodenaggregate ausgewählter Standorte nach der Methode von BECKMANN (1997) in Harz getränkt, in dünne Scheiben zerlegt und anschließend auf eine Dicke von 30  $\mu m$  geschliffen. Die Auswertung erfolgte mittels Polarisationsmikroskopie mit bzw. ohne gekreuzte Polarisatoren (BULLOCK et al. 1985).

### 3.1.3 Erfassung der Bodenverbreitung

Für die Ermittlung der Ausdehnung verschiedener Bodeneinheiten und die Erstellung von Bodenkarten mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) ArcView wurde zunächst eine Konzeptbodenkarte angefertigt, die alle verfügbaren bodenrelevanten Informationen über die Topographie, Böden, Geologie und Vegetation des Untersuchungsraumes enthielt. Zur Überprüfung dieser Karte wurden bis 2 m tief reichende Bohrungen mit dem Pürckhauerbohrer am Ende der Regenzeit der Jahre 2001 und 2002 durchgeführt (Abb. 4, 5, Tab. A3, A4). Weiterhin wurden Satellitenbilder, Landsat-ETM der Jahre 2000 und 2001 (IMPETUS 2001, 2002) und die daraus abgeleitete Landnutzungsklassifikation (IMPETUS 2002) zur Auffindung von Bodeneinheitengrenzen hinzugezogen, da sie aktuelle Informationen über die Vegetation und Nutzung des Gebietes lieferten.

### 3.1.4 Datenerfassung in SOTER

Die Informationen über Gelände, Böden, Landnutzung, Vegetation und Klima des Untersuchungsraumes wurden nach den *Procedures manual* in einem standardisierten Format der *Global and National Soils and Terrain Digital Databases* (SOTER) (ISRIC-UNEP-FAO-IUSS 1995) erfasst. Ursprünglich ist diese Datenbank für Informationen von Teilen eines Staatsgebietes bzw. eines Kontinentes, d.h. für Gebiete kleinerer Maßstäbe konzipiert. Da der von IMPETUS in der ersten Projektphase untersuchte Raum (30 km<sup>2</sup>) jedoch vergleichsweise klein ist, wurden die in dieser Arbeit erhobenen Daten zur Ergänzung der bestehenden Informationen erfasst. Außerdem wurden die Profilbeschreibungen in einer Datenbank zusammengestellt, in der alle Datenfelder der *Guidlines for Soil Despribtion* (FAO 1990) enthalten sind (CD im Anhang).

### 3.1.5 Bodenbewertung

*Land evaluation* wird nach der FAO (1976, 1981) als “*the process of assessment of land performance when used for specific purposes*” definiert, wobei unter *land* die aus Klima, Relief, Boden, Hydrologie und Vegetation bestehende Umwelt verstanden wird. Die Beschreibung der Umwelt ist durch messbare bzw. abschätzbare *land characteristics* wie Neigung, Bodenart oder Biomasse möglich, die insgesamt die Ausstattung der Umwelt und somit ihre Qualität (*land quality*) hinsichtlich ihrer Eignung für eine bestimmte Nutzung ergeben. In dieser Arbeit wird ausschließlich eine Evaluierung des Bodens hinsichtlich seiner Produktivität vorgenommen, indem ausgewählte Bodenparameter bewertet, klassifiziert und interpretiert werden. Weiterhin können

Aussagen über das Potential des Bodens (*capability*) bzw. dessen Eignung für den Anbau bestimmter Kulturen (*suitability*) und mögliche Grenzen für den Pflanzenbau getroffen werden.

### **Bewertung bodenphysikalischer Parameter**

Für die Evaluierung des Bodens als Pflanzenstandort wurden die Parameter physiologische Gründigkeit, Durchwurzelbarkeit und Luftkapazität (LK) nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG-BODEN 1994) rechnerisch ermittelt. Die Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität der Böden erfolgte durch Ableitung aus pF-Kurven von GIERTZ (2004), die entsprechende Untersuchungen im Aguima-Einzugsgebiet durchgeführt hat. Die Feldkapazität (FK) ist nach der AG-BODEN (1994) der Wassergehalt bei pF 1,8 (-7 kPa), während sie in tropischen Böden nach GAISER et al. (2000) dem Wassergehalt bei pF 2,5 (-33 kPa) entspricht. Der permanente Welkepunkt (PWP) wird dagegen weltweit als der Wassergehalt des Bodens bei pF 4,2 (-1500 kPa) angesehen. In dieser Arbeit wird die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) für die Bereiche pF 1,8 - 4,2 sowie pF 2,5 - 4,2 berechnet (Liste zur Bewertung Tab. A12).

### **Bewertung bodenchemischer Parameter**

Um den Nährstoffhaushalt des für den Ackerbau vorrangig wichtigen Bodenbereiches zu beurteilen, wurden die bodenchemischen Eigenschaften Bodenreaktion, Gehalt an  $C_{org}$ ,  $N_t$  und verfügbarem  $P_2O_5$ , Konzentration basischer Kationen,  $KAK_{pot}$  und BS des durchschnittlich 20 cm mächtigen Oberbodens nach dem *Handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics* von LANDON (1984) bewertet (Liste zur Bewertung Tab. A12).

Eine Evaluierung der Böden erfolgt ebenfalls nach dem *Fertility Capability Classification System* (FCC) von SANCHEZ et al. (1982). Dabei wurden ausgewählte chemische und physikalische Bodeneigenschaften bewertet, um limitierende Faktoren für den Pflanzenbau aus den Kategorien Bodenart, Wasser- und Temperaturhaushalt, Mineralogie, Bodenreaktion und Konzentration basischer Kationen zu identifizieren. Das Ergebnis stellt die sog. FCC-unit dar, eine Abfolge aus Groß- und Kleinbuchstaben, welche die Textur des Ober- und Unterbodens (type und substrata type) und verschiedene Bodenparameter (modifier) symbolisieren. Diese unit wird zur Darstellung der Bodenfruchtbarkeit in Karten verwendet und dient der Ableitung von Empfehlung für den Pflanzenbau. (Liste mit Erläuterung der FCC-unit Tab. A13).

Mit Hilfe der *Framework for Land Evaluation* der FAO (1976, 1981) kann ebenfalls die Eignung des Bodens für die Produktion von Nahrungsmitteln und pflanzlichen Rohstoffen ermittelt werden. Je nach Beschaffenheit und Ausstattung wird der Boden den Eignungskategorien *order*, *class*, *subclass* und *unit* zugeordnet. Die dabei ermittelte Symbolfolge wird u.a. als Einheit in Nutzungseignungskarten verwendet, die eine Grundlage bei der Landnutzungsplanung bilden (FAO 1976) (Liste mit Erläuterung der Kategorien Tab. A14).

### **3.2 Untersuchung zur Bodennutzung**

Um detaillierte Informationen über die Bodennutzung im HVO zu erhalten, wurden Befragungen von Bauern durchgeführt. Diese erfolgten in Form von Gesprächen, denen ein Fragebogen zu den Themen Betriebs-, Haushaltsgröße, Arbeitsverteilung, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Bodeneigenschaften, Bodenerosion, Tierhaltung, Vermarktung zugrunde gelegt wurde. Zusätzlich wurden umfangreiche Feldbegehungen mit den Bauern unternommen, um weitere Informationen zu den o.g. Themen vor Ort zu erhalten. Für die Gespräche wurden insgesamt 12 Bauern aus den drei verschiedenen Clans Doguès sowie Personen aus Serou und Awanla ausgewählt, deren Familien seit langer Zeit in den Ortschaften ansässig sind und auf deren Felder bodenkundliche Untersuchungen durchgeführt wurden (Fragenkatalog Tab. A15).

### **3.3 Untersuchungen zur Bodendegradierung**

#### **Versuchsstandorte**

Im Aguima-Einzugsgebiet und der Umgebung wurden Versuchsstandorte mit verschiedenen Versuchsfeldern für die Untersuchungen zur Erosion und Bodenbiologie angelegt, die sich hinsichtlich der Kulturen und Anbaumethoden unterschieden (Abb. 6, Tab. 4). (Zur genauen Lage der Versuche Abb. A1 - A5 und Tab. A5 - A8, A10).

In Awanla und Serou wurden im Jahre 2002 ebenfalls ausgewählte Erosionsmessungen und bodenbiologische Versuche durchgeführt (Abb. 7, Tab. 5). (Zur genauen Lage der Versuche Abb. A6, A7 und Tab. A9, A11).

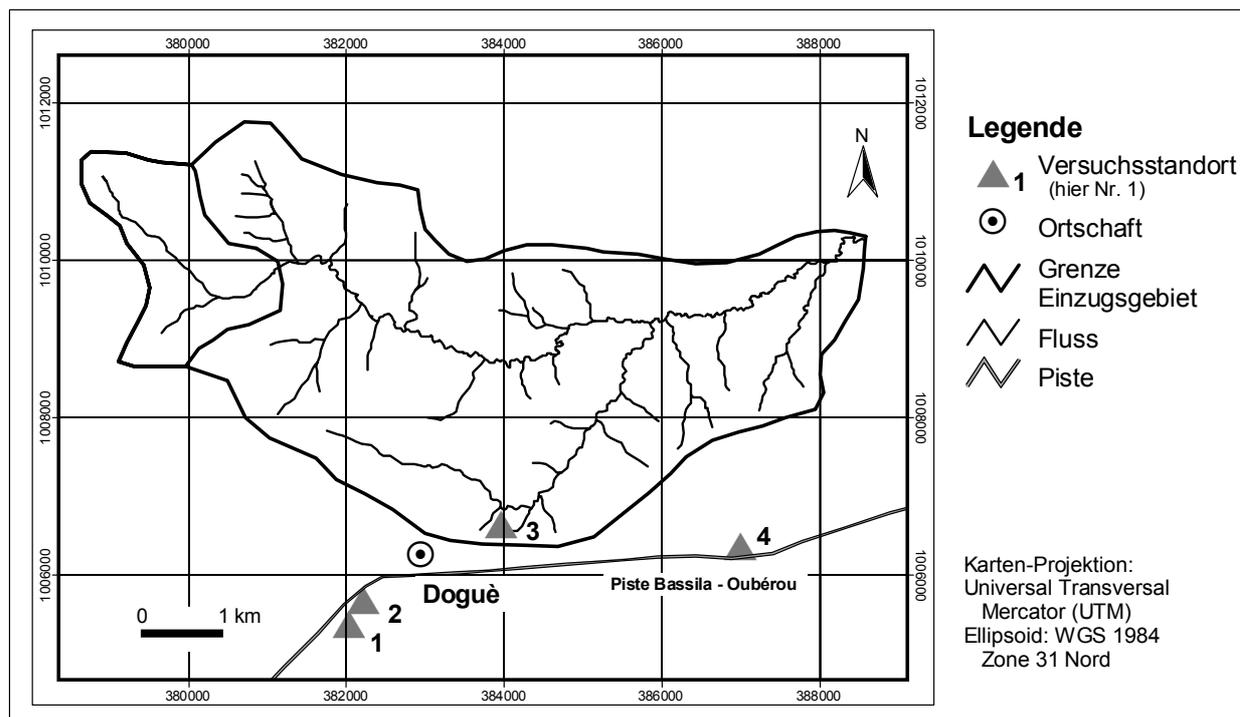


Abb. 6: Lage der Versuchsstandorte im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung (Maßstab 1:50.000).

Tab. 4: Versuchsstandorte mit Versuchsfeldern im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung und ihre Nutzung (2001, 2002)

Versuchsstandort	Versuchsfeld	Neigung (%)	Exposition	Nutzung 2001		Nutzung 2002	
				Kultur, Vegetation	Anbausystem	Kultur, Vegetation	Anbausystem
1	A	3,8	NO	Brache	fehlend	Yams	Erdhügel gefällep.
2	A	3,5	SO	Erdnuss	Dämme gefällep.	Baumwolle	Dämme gefällep.
	B	3,6	SO	Mais	Dämme gefällep.	Baumwolle	Dämme höhenlinienp.
3	A	4,2	N	Baumwolle	Dämme gefällep.	Mais	Dämme gefällep..
	B	4,0	N	Mais	Dämme höhenlinienp.	Mais	Dämme höhenlinienp.
	C	6,0	N	Yams	Erdhügel gefällep.	Brache	fehlend
4	A	4,3	NO	Savanne	fehlend	Savanne	fehlend
	B	4,1	NO	Savanne	fehlend	Savanne	fehlend

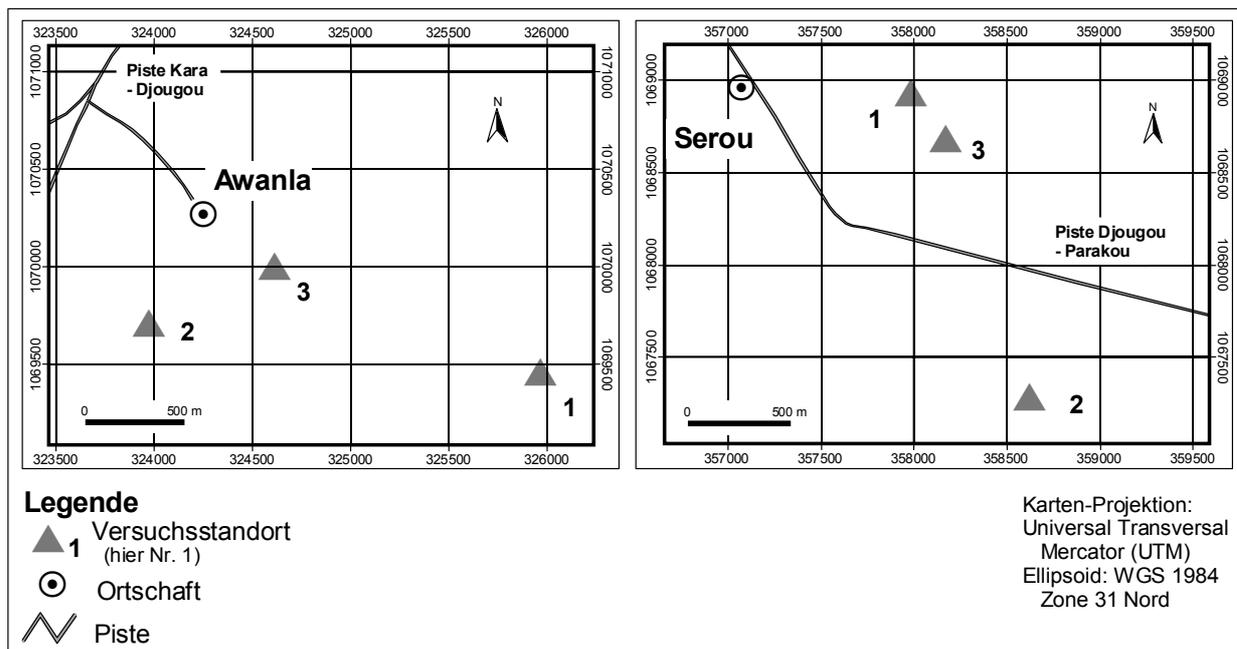


Abb. 7: Lage der Versuchsstandorte in Awanla und Serou (Maßstab 1:10.000).

Tab. 5: Versuchsstandorte in Awanla und Serou und ihre Nutzung (2002)

Ort	Versuchsstandort	Neigung (%)	Exposition	Nutzung	Anbausystem
Awanla	1	3,0	N	Baumwolle	Dämme gefällep.
	2	1,0	N	Mais	Dämme gefällep.
	3	6,2	SW	Yams	Erdhügel gefällep.
Serou	1	5,9	SW	Baumwolle	Dämme gefällep.
	2	2,1	SW	Mais	Dämme gefällep.
	3	3,6	N	Yams	Erdhügel gefällep.

### 3.3.1 Aktueller Bodenabtrag

Für die Messung des aktuellen Bodenabtrags durch Wasser unter natürlichen Witterungsbedingungen wurden unterschiedliche Methoden auf verschiedenen Maßstabsebenen im Gelände angewandt.

Messparzellen: Die quantitative Messung des Oberflächenabflusses und Bodenabtrags wurde mit Hilfe von Freilandparzellen an den Versuchsstandorten 1 - 4 bei Doguè in den Jahren 2001 und 2002 durchgeführt (Abb. 6). Pro Nutzung wurden jeweils zwei

Wiederholungen angelegt, was nach der HUDSON (1993) für den Vergleich verschiedener Anbausysteme oder Kulturen ausreicht. Die Länge der Parzellen betrug 10 m, die Breite wurde aufgrund des Durchmessers der Erdämme und Damm-Zwischenräume auf 1,6 m festgelegt. Nur in den Yamsfeldern waren die Parzellen infolge der Einfassungen vollständiger Yamshügel kürzer (5 m) und breiter (3,2 m). Circa 10 cm tief im Boden versenkte Wände aus undurchlässiger Plastikfolie bzw. Metallblech (2 m Länge, 30 cm Höhe) bildeten die Begrenzung der Parzellen. Von diesen gelangte das Oberflächenwasser mit dem erodierten Substrat über trichterförmig geformte und auf gleicher Höhe mit der Bodenoberfläche installierte Überläufe in Auffangbehälter. Bei letzteren handelte es sich um Polyethylentonnen, die ein Volumen von 150 bzw. 300 l umfassten und am unteren Parzellenende in den Boden eingelassen waren. Um das Eindringen von Tieren und den direkte Eintrag von Niederschlagswasser in die Behälter zu verhindern, wurden sie mit feinem Maschendraht und Dächern abgedeckt (Abb. 8). Die Messungen erfolgten nach jedem Niederschlagsereignis. Dabei wurde die Menge des Oberflächenwassers in den Behältern mit Hilfe einer Messlatte bestimmt, deren Zentimeterangaben jeweils bestimmten Volumina entsprachen. Nach kräftigem Umrühren des Behälterinhalts wurden anschließend Mischproben (2 x 1 Liter) für die Sedimentbestimmung entnommen, getrocknet und gewogen. (Kennzeichnung der Parzellenstandorte im Text: P (Parzelle) + Versuchsstandort + -feld, Tab. 4, Tab. A5).

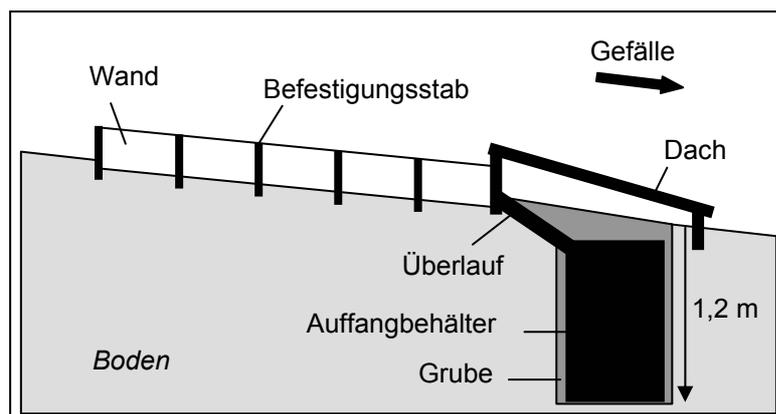


Abb. 8: Vereinfachtes Schema einer Messparzelle.

An dieser Stelle sei bemerkt, dass aufgrund des Messbeginns mit dem Einsetzen der Regenzeit z.T. auch die Abflüsse und Abträge der anfangs noch mit Resten der abgeernteten Vorfrucht bedeckten Parzellen ermittelt wurden, da die Aussaat der folgenden Kultur erst zu einem späteren Termin vorgenommen wurde. Anzumerken sei auch, dass die Größe der Messparzellen nicht den Ausmaßen der Standardparzellen

von WISCHMEIER & SMITH (1978) entsprachen. Da das Ausheben tiefer Gruben ohne technische Gerätschaften z.T. unmöglich war, mussten Auffangbehälter mit kleinerem Volumen und dementsprechend kleinere Parzellengrößen gewählt werden. Des Weiteren wurde auf eine einfache Bauweise der Anlagen mit geringer Störanfälligkeit und einfacher Bedienungsweise Wert gelegt, da eine evtl. Beschaffung von Ersatzmaterial aufgrund der Lage der Versuchsstandorte stark erschwert war und die arbeitsintensiven Messungen größtenteils von einheimischen Technikern durchgeführt wurden.

Sediment-Fangkästen: Die quantitative Erfassung des Bodenabtrags erfolgte ebenfalls mittels Sediment-Fangkästen an den Versuchsstandorten 2, 3 in Doguè (2001) und 1 - 3 in Doguè, Awanla und Serou (2002) (Abb. 6, 7). Für die Messungen wurden jeweils zwei bzw. drei Fangkästen am Unterhang der unterschiedlich genutzten Ackerflächen installiert. Diese aus Metallblech hergestellten und mit Fangarmen (2 m Länge, 20 cm Breite) ausgestatteten Kästen (0,5 m Breite, 0,5 m Tiefe und 0,2 m Höhe) wurden so im Feld eingebaut, dass ein reibungsloser Übergang des sedimentführenden Oberflächenabflusses in die Kästen möglich war. Da die Rückwände der Fangkästen perforiert und mit dichtem Polyestergewebe bespannt waren, konnte das Wasser wieder abfließen und das erodierte Substrat gesammelt, getrocknet und gewogen werden. Die Größe des Einzugsgebietes eines Fangkastens ergab sich aus der Hanglänge und der durch die Fangarme begrenzten Breite. In der Savanne wurden keine Fangkästen aufgestellt, da die Einzugsgebiete der Kästen nicht eindeutig abgrenzbar war. (Kennzeichnung der Fangkastenstandorte im Text: F (Fangkasten) + Versuchsstandort + -feld, Tab. 4, 5, Tab. A6, bzw. F + Versuchsstandort + Anfangsbuchstaben des Ortes, Tab. A9).

Erosionsmessnägel: Die Veränderung der Höhe der Bodenoberfläche infolge Erosion bzw. Akkumulation von Bodenmaterial wurde mittels Messnägeln auf den Versuchsstandorten 2 - 4 (2001) und 1 - 4 (2002) in Doguè vorgenommen, was nach NILL (1996) eine einfache Methode der Erfassung von punktuellen Substratumlagerungen darstellt. Dazu wurden Metallstäbe (30 cm Länge, 0,5 cm Durchmesser) im Abstand von 5, 20 bzw. 30 m hintereinander in Richtung des Hanggefälles in den Boden gesteckt, wobei eine Hälfte des Stabes im Boden verankert war und die andere über die Oberfläche herausragte. Pro Versuchsstandort wurden 2 bzw. 3 Reihen mit jeweils 5 bzw. 6 Messnägeln angelegt und die Länge des

oberirdischen Nagelabschnitts in Abständen von 2 Wochen gemessen. Insgesamt zeigte die Längenabnahme der oberirdischen Messnagelhälfte auf Akkumulation und die Freilegung ursprünglich im Boden versenkter Nagelabschnitte auf Erosion von Bodenmaterial hin. (Kennzeichnung der Messnagelstandorte im Text: N (Messnagel) + Versuchsstandort + -feld, Tab. 4, Tab. A7).

Mikrorelief: Im Verlauf der Regenzeit 2002 wurde das Mikrorelief der Versuchsstandorte 1 - 4 bei Doguè mittels einer aus 5 mm großen Metallgliedern zusammengesetzten Kette (1 m Länge) nach der Methode von ROOSE (1996a) gemessen. Für die Begrenzung definierter Abstände wurden zunächst Messnägel im Abstand von 50 bzw. 20 cm Luftlinie voneinander auf und zwischen frisch aufgeschüttete Erdämme bzw. Erdhügel von Ackerflächen und in den ebenen Savannenboden gesteckt (Abb. 9). Bei den regelmäßig im 14tägigen Rhythmus durchgeführten Messungen wurde die Länge der Profillinie ermittelt, indem die Metallkette vorsichtig auf die Bodenoberfläche zwischen zwei benachbarte Messnägel gelegt und anschließend die dafür benötigte Kettenlänge gemessen wurde. Der Quotienten aus Profillinie und Grundlinie bildet die Rauigkeit der Bodenoberfläche. (Kennzeichnung der Mikrorelief-Messpunkte im Text: R (Oberflächenrauigkeit) + Versuchsstandort + -feld, Tab. 4, Tab. A8).

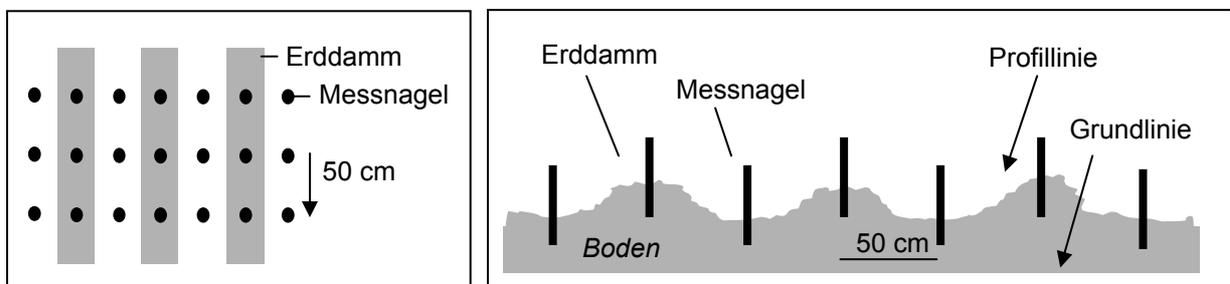


Abb. 9: Anordnung von Messnägeln für die Ermittlung des Mikroreliefs (links Aufsicht, rechts Seitenansicht).

Kartierung von Erosionsformen: Das Aguima-Einzugsgebiet wird von vielen Wegen mit unterschiedlicher Nutzungsart und -intensität durchzogen, die als Abflussbahnen für Oberflächenwasser fungieren und durch viele Erosionsschäden wie Abbruchkanten gekennzeichnet sind. Um den Umfang bestehender Erosionsschäden und deren Veränderung im Verlauf der Regenzeit zu untersuchen, wurden repräsentative Abschnitte gefälleparallel verlaufender Wege ausgewählt und zu Beginn sowie am Ende der Regenzeit 2002 nach der Anleitung der Dvwk (1996) kartiert. Bei den untersuchten

Wegen handelt es sich zum einen um den 67 m umfassenden Abschnitt eines Trampelpfades (Startpunkt UTM 383936 1007014), der vor über 100 Jahren zwischen Doguè und dem ca. 30 km weiter nördlich gelegenen Sarmanga angelegt wurde und sich seitdem in kontinuierlicher Nutzung durch Fußgänger befindet. Zum anderen wurde der 178 m lange Abschnitt einer LKW-Piste vermessen (Startpunkt UTM 382763 1007138), die in den 80er Jahren in die Savanne gebaut wurde und hauptsächlich in der Trockenzeit für den Abtransport von Holz mit LKW befahren wird. Die untersuchten Strecken gleichen sich hinsichtlich der Neigung, die in der jeweils ersten Hälfte 7 % und in der zweiten 2 % beträgt. Des Weiteren wurde bei der Untersuchung die Bodenart des Sediments ermittelt und das Volumen des erodierten und akkumulierten Substrats über geometrische Grundformen quantifiziert. Um die Veränderung von Stufenquerschnitten im Lauf der Zeit zu untersuchen, erfolgte außerdem die Dauerbeobachtung von jeweils sechs Erosionsstufen auf beiden Wegen. Bei den regelmäßig zu Beginn des Monats durchgeführten Messungen wurde eine Messlatte waagrecht auf vorher links und rechts der Erosionsformen fest installierte Metallstäbe gelegt und der Abstand zwischen dieser und der Bodenoberfläche mit einem Zollstock in regelmäßigen Abständen (20 cm) gemessen. Durch Übertragung der Ergebnisse auf Millimeterpapier wurde anschließend der Flächeninhalt und durch Multiplikation mit der Länge der Erosionsform das Volumen des im Messzeitraum insgesamt erodierten Substrats berechnet. Aus dem Volumen und der Lagerungsdichte, die bei sehr lockerem sandigen Material  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$  beträgt, wurde anschließend das Gewicht des erodierten Materials ermittelt.

Tracerversuch: Um Informationen über das Ausmaß der erosiven Kräfte des auf gefälleparallel verlaufenden Wegen abfließenden Wassers zu erhalten, wurde jeweils 1 kg rosa gefärbter Sand (Tracer) auf einem Fußweg (UTM 382771 1007151) und einer LKW-Piste (UTM 383937 1007032) zu Beginn der Regenzeit 2002 ausgebracht. Am Ende der regenreichen Zeit erfolgte die Entnahme von jeweils sechs Sedimentproben in 50 m-Abständen vom Ort der Ausbringung aus und die Ermittlung des Tracergehalts, um über den Fundort Rückschlüsse auf die zurückgelegte Strecke bzw. die Transportkraft des Oberflächenabflusses zu ziehen. Für diesen Versuch wurde Sand als Tracer ausgewählt, da Partikel der Schluff- und Tonfraktion sehr leicht erodiert werden und somit in der Nähe des Ausbringungsortes nicht wieder auffindbar sind. Die Beständigkeit des gefärbten Sandes gegenüber Hitze, Feuchtigkeit und Licht wurde vorher im Labor überprüft.

**Zusätzliche Messungen im Gelände:**

Bodenbedeckung: Um den Einfluss verschiedener Kulturen auf den Bodenabtrag zu untersuchen, wurde der prozentuale Anteil der Bodenbedeckung durch Pflanzen, Streu und Grobboden alle 14 Tage durch Aufsicht auf die Versuchsfläche, d.h. die Parzellenfläche, das Einzugsgebiet der Fangkästen und die Feldabschnitte mit den Messnägeln geschätzt.

**3.3.2 Potentieller Bodenabtrag**

Die quantitative Abschätzung des langjährigen, mittleren jährlichen Bodenabtrags (A) wurde nach der *Universal Soil Loss Equation (USLE)* von WISCHMEIER & SMITH (1978) vorgenommen:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}).$$

Diese empirische Gleichung umfasst folgende erosionsbedingende Faktoren:

Erosivitätsfaktor (R):

Der R-Faktor beschreibt die Erosionskraft der Niederschläge eines Gebietes und wird aus der kinetischen Energie (E), die aus der jeweiligen Regenmenge und -intensität abgeleitet wird, und der maximalen 30-Minuten-Intensität ( $I_{30}$ ) aller erosiven Niederschlagsereignisse eines Jahres berechnet:

$$R = \sum (E_i \times I_{30}) \quad (\text{kJ m}^{-2} \text{ mm h}^{-1}) \text{ oder } (\text{N h}^{-1}).$$

Erodibilitätsfaktor (K):

Als Erodibilität wird die Gefährdung eines Bodens gegenüber Bodenerosion bezeichnet und nach folgender Gleichung bestimmt:

$$K = 2,77 * 10^{-6} * M^{1,14} * (12 - OS) + 0,043 * (A - 2) + 0,033 * (4 - D) \quad (\text{t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}).$$

M = (Schluff (%) + Feinstsand (%)) x (Schluff (%) x Sand (%))

OS = organische Substanz (%)

A = Aggregatklasse (-)

D = Durchlässigkeitsklasse (-)

Hanglängenfaktor (L), Hangneigungsfaktor (S):

Das Relief eines Geländes beeinflusst den Bodenabtrag über die Menge und Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses. Bei der Berechnung des Topgraphiefaktors werden die Hanglänge und -neigung folgendermaßen berücksichtigt:

$$LS = \left(\frac{1}{22}\right)^m \times \frac{s}{9} \times \sqrt{\left(\frac{s}{9}\right)} \quad (-)$$

l = Hanglänge (m)

s = Hangneigung (%)

m = Hanglängenexponent (-) (nach WISCHMEIER & SMITH 1978)

### Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C):

Der C-Faktor wird aus der mittleren Jahres-R-Verteilung, die durch Aufsummierung der täglichen R-Werte bestimmt wird, Kalenderdaten der Kulturperioden und dem relativen Bodenabtrag ermittelt. Letzterer stellt das Verhältnis des Bodenabtrags einer Fläche mit bestimmter Kultur und Entwicklungszustand zu dem Bodenabtrag einer gleichen Fläche unter Schwarzbrache dar (SCHWERTMANN et al. 1987).

$$C = \frac{\sum (R_{rel} * RBA)}{t} \quad (-)$$

R<sub>rel</sub> = Anteil der Erosivität einer Kulturperiode an jährlicher Erosivität (-)

RBA = relativer Bodenabtrag (-)

t = Dauer der Fruchtfolge (a)

### Erosionsschutzfaktor (P):

Der P-Faktor gibt das Verhältnis des Bodenabtrags bei Anwendung von Schutzmaßnahmen zu dem ohne Maßnahmen an und beschreibt die Schutzwirkung von gefälle- bzw. höhenlinienparalleler Bodenbearbeitung. Werte für diesen Faktor wurden Tabellen von WISCHMEIER & SMITH (1978) entnommen.

Einzelheiten über die Berechnung des potentiellen Bodenabtrags sind ROOSE (1977c), WISCHMEIER & SMITH (1978) und NILL et al. (1996) zu entnehmen.

### **3.3.3 Aggregatstabilität**

Um den Einfluss des Klimas und der Nutzung auf die Stabilität von Bodenaggregaten zu untersuchen, wurde Material aus dem Oberboden von Flächen unter Savannenvegetation und von Ackerstandorten, Wurmlosung der Lumbricidenart *Hyperiodrilus africanus* (biogene Aggregate) und Bruchstücke von Termitenhügeln der Art *Macrotermes bellicosus* in den Monaten März (Trockenzeit) und September (Regenzeit) entnommen, luftgetrocknet und die für die verschiedenen Methoden erforderlichen Aggregatgrößen ausgesiebt. Zu kritisieren sei an dieser Stelle die Selektion bestimmter Aggregatgrößen für die Stabilitätstests, was zwar Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von Proben verschiedener Standorte ist. Unter natürlichen

Bedingungen kommen jedoch Aggregate verschiedener Größen vor, die großen Einfluss auf die Erosionsanfälligkeit des Bodens haben. Die gemessene Aggregatstabilität spiegelt somit nicht die wirkliche Erodibilität des Bodens im Untersuchungsgebiet wider.

Stabilitätstest nach SEKER & BRUNNER (1943, modifiziert nach BECHER & KAINZ 1983):

Die Perkulationsmethode dient der Bestimmung der Zerschlämffestigkeit von Bodenaggregaten, indem ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber perkulierendem Wasser untersucht wird (MITSCHKE 2001). Zunächst wurden Aggregate von 1 - 2 mm Größe ausgesiebt und 24 Stunden bei 40° C getrocknet. Anschließend wurden Plexiglasröhrchen (10 cm Länge, 1,5 cm Durchmesser) am unteren Ende mit Mullbinde verschlossen und nacheinander mit 10 g Kies, 10 g Probenmaterial und 10 g Kies befüllt und in die Perkulationsapparatur eingebaut. Bei der folgenden Messung wurde die Menge des durch die Aggregatpackung perkulierenden Wassers (H<sub>2</sub>O dest.) ermittelt und mit Hilfe eines angeschlossenen Computers automatisch in Abständen von anfangs 10 sec und später 60 sec erfasst. Pro Probe wurden 4 Wiederholungen durchgeführt, die Dauer einer Messung betrug 10 Minuten.

Stabilitätstest nach LE BISSONNAIS (1996): Mittels der von LE BISSONNAIS (1996)

entwickelten Methodenkombination kann der Einfluss der zerstörenden Mechanismen Luftsprennung (I), Quellung (II) und mechanische Beanspruchung (III) bestimmt werden. Da die Decksedimente im Untersuchungsgebiet ca. 80 % Kaolinit, d.h. nicht quellfähige Tonminerale enthalten, und die Niederschläge im HVO von hoher Intensität sind, wurde nur Methode III angewendet. Nach dem Aussieben von Aggregaten der Größe 2 - 4 mm und dem Trocknen (40° C, 24 h) erfolgte das Vorbefeuchten von jeweils 5 g Probenmaterial in Ethanol (10 min, 3fache Wiederholung), um den Luftsprennungseffekt herabzusetzen. Anschließend wurde das Probematerial in destilliertem Wasser geschüttelt (20 x), die Fraktion von > 63 µm Größe getrocknet und durch Siebe der Maschenweite 2000, 1000, 630, 200, 100 und 63 µm in weitere Fraktionen getrennt. Da die Untersuchung der in der Regenzeit gesammelten Aggregate in Benin durchgeführt wurde und nur Siebe der Maschenweite 2000, 1000, 500 und 63 µm zur Verfügung standen, sind die Ergebnisse des Stabilitätstest der Regen- und Trockensaison nur bedingt miteinander vergleichbar. Das Material < 63 µm wurde verworfen. Anschließend wurde das Gewicht der einzelnen Fraktionen ermittelt

und der gewogene mittlere Durchmesser (mean weight diameter, MWD) errechnet (LE BISSONNAIS 1996)

$$\text{MWD} = \sum [\text{Siebrückstand (g)} \times \text{Maschenweite (mm)}]$$

Zum Schluss wurde die Aggregatstabilität anhand der MWD nach LE BISSONNAIS (1996) klassifiziert (Tab. A17).

### **Zusätzliche Messungen im Labor:**

Zusammensetzung der Sedimente: Bei den im Oberflächenabfluss enthaltenen Sedimenten wurden ebenfalls bodenphysikalische (Korngrößenfraktion) und -chemische (Gehalt an  $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ , austauschbaren Kationen,  $P_2O_5$ ,  $KAK_{\text{pot}}$ ) Parameter bestimmt (Methoden vgl. Kapitel 3.1.2).

### **3.4 Untersuchungen zur Bodenbiologie**

Untersuchungen über den Organsimenbesatz und faunistische Umsatzleistungen von Böden ermöglichen Rückschlüsse auf die Qualität eines Standortes (GISI et al. 1997). Um die Makrofauna der Böden in der Feuchtsavanne zu charakterisieren und den Einfluss des Klimas und des Ackerbaus auf die Bodenflora und ihre Aktivität zu erfassen, wurden verschiedene bodenbiologische Untersuchungen in Doguè (2001, 2002) und in Awanla und Serou (2002) durchgeführt.

### **Determination und Biomassebestimmung**

Für die Erfassung der Lumbriciden- und Termiten-Spezies wurden verschiedene Exemplare gereinigt, in einem Gemisch aus Formalin (30 %) und Ethanol (70%) konserviert und taxonomisch bestimmt. Bei Ermittlung der Arten waren Prof. P. Omodeo von der Universität Siena, Italien, und Dr. J. Korb von der Universität Regensburg behilflich. Für die Biomasse-Bestimmung wurden aus dem Oberboden verschiedener Savannen- und Ackerstandorte stammende Regenwürmer mit Wasser gereinigt, kurz getrocknet und gewogen. Anschließend wurde der Biomasseverlust von 8,1 % zum jeweiligen Gewicht hinzuaddiert, um die Lebendbiomasse bzw. Hygromasse zu erhalten. (Kennzeichnung der makrofaunistischen Untersuchungsstandorte im Text: M (Makrofauna) + Versuchsstandort + -feld, Tab. A10 bzw. M + Versuchsstandort + Anfangsbuchstaben des Ortes, Tab. A11).

### **Abundanz und räumliche Verteilung**

Um die Verteilung von Lumbriciden im Oberboden in der Trocken- (März) und der Regenzeit (September) zu erfassen, wurden drei Plots von 0,25 m<sup>2</sup> Größe pro Versuchsstandort angelegt und das Substrat aus den Tiefenbereichen 0 - 5, 5 - 10, 10 - 25 cm auf separate Plastikfolien übertragen. Anschließend erfolgte die Auslese per Hand und die Auszählung der Regenwürmer (Tab. A10, A11). Die Verbreitung von Termitenhügeln im Aguima-Einzugsgebiet wurde entlang von Transekten erfasst, die Bereiche des Ober- und Mittelhangs (6,5 bzw. 3,0 ha), Unterhangs (3,0 bzw. 0,4 ha), Bas-Fonds (2,6 ha) und Inselberg-Pediments (1,7 ha) umfassten. Bei der Kartierung, die mit Unterstützung eines ortskundigen Holzfällers erfolgte, wurden die Parameter Lage, ungefähres Alter, Höhe, Durchmesser (Basis), Beschaffenheit und Bedeckung der Oberfläche, Besiedlung der Bauten beschrieben.

### **Biogene Strukturen**

Die Bestimmung der Anzahl der Regenwurmlosung pro Fläche erfolgte nach der Methode von LAMPARSKI (1985), wobei auf allen Versuchsstandorten jeweils drei Plots von 0,25 m<sup>2</sup> Größe mit einem Holzrahmen abgesteckt, von Vegetation und Streu befreit und in weitere Testflächen der Größe 10 x 10 cm unterteilt wurden. Anschließend erfolgte die Auszählung der auf der Bodenoberfläche vorhandenen Exkreme. Für die Ermittlung der Bioporen wurde der Oberboden der Plotflächen (3 pro Versuchsstandort, 0,25 m<sup>2</sup> Größe) ca. 2 cm horizontal mit einem scharfen Messer abgetragen und die Auszählung der Regenwurmgänge vorgenommen (Tab. A10, A11).

### **Ernährungsbiologische Untersuchungen**

Um die Fraßaktivität der im Oberboden lebenden Bodenorganismen zu bestimmen, wurde der Köderstreifen-Test (bait-lamina-test) nach VON TÖRNE (1990) in den Monaten April und September des Jahres 2001 auf unterschiedlich genutzten Flächen durchgeführt. Dazu wurden auf jeden Versuchsstandort drei Plots (12,5 m<sup>2</sup> Größe) eingerichtet, die jeweils drei Subplots (4 m<sup>2</sup> Größe) à 16 Köderstreifen umfassten (Abb. 10). Die mit einer Ködermasse aus 65 % Cellulose, 15 % Agar-Agar, 10 % Bentonit, 10 % Weizenkleie und etwas Aktivkohle befüllten Köderstreifen wurden vertikal in den Ah bzw. Ap-Horizont gesteckt und nach 2 Wochen wieder herausgenommen. Die folgende Auswertung bestand in der Durchmusterung der Köderstreifen, wobei zwischen Fraß und Nichtfraß der Ködermasse unterschieden wurde. (Kennzeichnung der Teststandorte im Text: K (Köderstreifen-Test) + Versuchsstandort + -feld, Tab. A10).

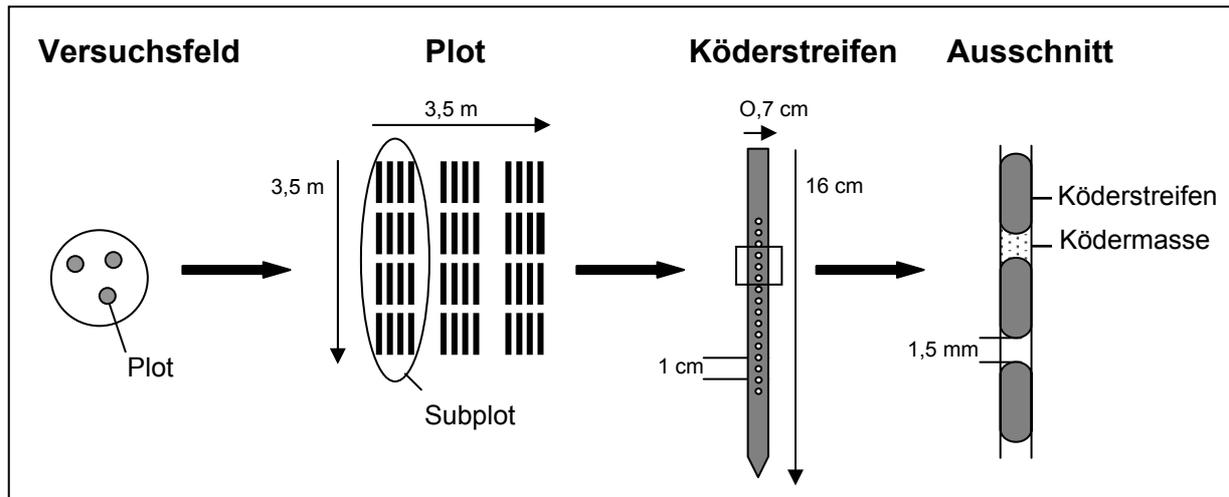


Abb. 10: Versuchsaufbau für die Bestimmung der Fraßaktivität mittels Köderstreifen.

Der Nestbeutel-Test (leaf litter bag-test) wurde während der Regenzeit des Jahres 2001 durchgeführt, um die Aktivität der Makro-, Meso- und Mikrofauna unter sich ändernden klimatischen Bedingungen und dem Einfluss unterschiedlicher Nutzung zu untersuchen (Versuchsstandorte 2, 3, 4; Abb. 6). Auf den Versuchsstandorten wurden jeweils drei Plots ( $24 \text{ m}^2$ ) mit sechs Subplots ( $4 \text{ m}^2$ ) angelegt, die 6 Netzbeutel-Sets umfassten. Ein Set bestand aus jeweils drei Beuteln (20 cm Breite, 20 cm Länge) mit den Maschenweiten 15 mm, 0,5 mm und 0,02 mm, die im folgenden Text mit grob, mittel und fein bezeichnet werden. Die Netzbeutel wurden mit 5 g Blattmasse (Trockenmasse) der häufig auf Ackerflächen vorkommenden Art *Anacardium spec.* und in der Savanne gedeihenden Art *Vitellaria spec.* im Mischungsverhältnis 1:1 gefüllt und zu Beginn der Regenzeit (07.04.2001) in 15 cm Tiefe vergraben. Das Bergen der Beutel fand an 5 aufeinander folgenden Terminen im Verlauf der Regenzeit statt, und zwar nach 2, 4, 8, 20 und 24 Wochen. Nach dem Trocknen wurde der verbliebene Beutelinhalt von mineralischen Bodenbestandteilen gereinigt und gewogen.

#### Zusätzliche Messungen im Labor:

Der Gehalt des Beutelinhalts an Ca, Mg, K, Na, P, Fe, Al, Mn, Zn, Cd und Pb wurde durch Gesamtaufschluss mittels  $\text{HNO}_3$  bestimmt.

### 3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS.

Untersuchungen zur Bodenerosion: Für die Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Messanlagen hinsichtlich des Anbausystems und der Kulturen wurde bei Nichtnormalverteilung der Daten der H-Test nach Kruskal und Wallis (nichtparametrischer Test) durchgeführt. Bei signifikanten Unterschieden folgte zusätzlich der Nemenyi-Test für multiple Vergleiche. Die Erfassung des statistischen Zusammenhangs zwischen dem Bodenabtrag und bodenkundlichen bzw. vegetationskundlichen Parametern erfolgten mittels Regressionsanalysen nach Pearson ( $R_P$ ) (SACHS 1997). Bei Normalverteilung der Daten wurde zur Feststellung signifikanter Unterschiede eine varianzanalytische Verrechnung (ANOVA) mit anschließendem Scheffé-Test durchgeführt.

Untersuchungen zur Bodenbiologie: Bei Nichtnormalverteilung der Daten wurde der H-Test nach Kruskal und Wallis angewendet. Für multiple Vergleiche folgte bei signifikanten Unterschieden zusätzlich der U-Test nach Mann-Whitney und die Korrektur der p-Werte nach Sidak. Zur Bestimmung von Korrelationen zwischen bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften und den biotischen Parametern wurde der Korrelationskoeffizienten nach Spearman ( $R_S$ ) errechnet (SACHS 1997). Die Auswertung des Streuabbaus erfolgte mittels Exponentialfunktionen.

Die Güte der Signifikanzen ist wie folgt angegeben: hochsignifikant bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,1 % ( $p < 0,001$ , \*\*\*), signifikant bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % ( $p < 0,01$ , \*\*), schwach signifikant bei Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ( $p < 0,05$ , \*) und nicht signifikant (ns).

## 4 PEDOLOGIE DER BODENDECKE

### 4.1 Geologische Entwicklung und Petrographie des Untergrundes

Benin liegt am Westrand der Nigerianisch-Beninischen Platte, die Teil des Westafrikanischen Kratons ist (PETTERS 1991, CABY 1989). Letzterer wurde im Präkambrium gebildet und besteht aus archaischen Kernzonen (2,9 - 2,7 Ga) und paläoproterozoischen Bereichen (2,1 Ga) (AFFATON et al. 1980). Über Ghana, Togo und Benin erstreckt sich das Orogen der Dahomeyiden, das während der panafrikanischen Gebirgsbildung vor 750 - 500 Ma durch Kollision des westafrikanischen Kratons mit der Nigerianisch-Beninischen Platte entstand (BESSOLES & TROMPETTE 1980). Dieses Gebirge ist Teil des Transsaharischen Falteingürtels, der sich nach Norden unter dem Niger-Becken in die Pharusiden des Hoggar fortsetzt. Nach Süden tauchen die Dahomeyiden im Golf von Benin ab und finden eine mögliche Fortsetzung im Caririschen Falteingürtel Brasiliens (AFFATON et al. 1980). Bei der Kollision wurde der Westteil der Nigerianisch-Beninischen Platte auf den damaligen Südostrand des westafrikanischen Kratons aufgeschoben und das Material mit von West nach Ost zunehmender Intensität gefaltet (AFFATON 1975, AFFATON et al. 2000). Die Abtragungsprodukte des Gebirges gelangten als Molasse in das westlich vorgelagerte Volta-Becken, das nur in geringem Umfang von der Faltung beeinflusst wurde. Nach TROMPETTE (1979) wird das Orogen in die geologischen Untereinheiten Buem, Atacora und Plaine du Bénin (Abb. 11).

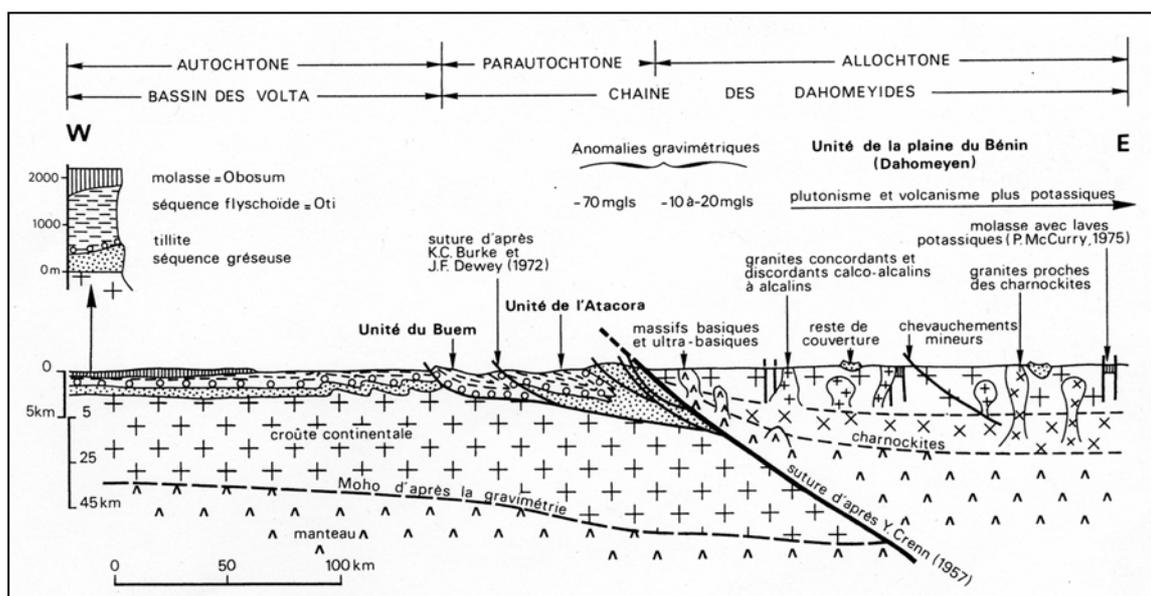


Abb. 11: Schematischer geologischer Schnitt durch das Volta-Becken und die Dahomeyiden (nach BESSOLES & TROMPETTE 1980, Abb. 21, verändert).

Nord-Benin wird in SSW-NNE-Richtung vom Buem und Atacora durchquert. Das aus Tonstein-, Sandstein- und Quarziterien bestehende Buem sowie die Quarzite und Glimmerschiefer des Atacora gleichen faziell den Sedimenten der Oti-Gruppe des angrenzenden Volta-Beckens (BESSELES & TROMPETTE 1980). Die geologische Zusammensetzung der Plaine du Bénin, in dem das Untersuchungsgebiet liegt, ist dagegen sehr heterogen, was auf der unterschiedlichen Herkunft der Materialien von der Nigerianisch-Beninischen Platte, dem Volta-Becken (TROMPETTE 1979) und der syntektonischen Entstehung von Graniten (CHOUBERT & FAURE-MURET 1971) beruht. Die Fazies der Plaine du Bénin, früher auch als Le Dahomeyen bzw. Le Dahoméen bezeichnet, wird nach AICARD & POUUNET (1952) in weitere geologische Einheiten unterteilt. Im HVO kommen die Groupe de Djougou, Kandi, Derouvarou sowie Pira vor, und es dominieren Gneise mit Glimmern, Amphiboliten, Quarziten, Graniten und Migmatiten. Nach AFFATON et al. (1978) sind ebenfalls Formationen mit besonderer Fazies, sog. „formation superficielles“, vorhanden, wozu verwitterte Lateritdecken („alterite“) und durch Eisen verfestigte Horizonte („formations indurées par des oxydes de fer“) gehören (Abb. 12). Im Einzugsgebiet des Aguima dominieren Migmatite der Groupe de Pira bzw. „Migmatites de la zone axiale“ (AFFATON et al. 1978), die zum größten Teil birrimischen Alters (500 -600 Ma) sind (OBEMINES 1984) und deren Ausgangsmaterial granitische bzw. pelitsch-psammitische Gesteine waren. Zu dieser Groupe gehören die

- „Faciès de la Wé-Wé“: Migmatite, granitoide Migmatite mit Biotit und Kalifeldspat-reichen Leukosomen
- „Faciès Sonoumon-Bariénou“: Migmatite und migmatitische Gneise mit Einlagerungen von basischen und ultrabasischen Metamorphiten, Leptyniten und sillimanitisch-aluminosen Gneisen.

Beide Einheiten weisen eine NE-Hauptstreichrichtung auf und sind durch enge Faltung charakterisiert. Datierungen (Rb/Sr, Ar/Ar, Pb/Pb) weisen auf ein panafrikanisches Alter der Metamorphose hin (AFFATON et al. 2000, OBEMINES 1984).

In Awanla liegen vorrangig Orthogneise mit Muskovit und Amphibolithgneise vor, in Serou dominieren ebenfalls Migmatite der „Faciès Sonoumon Bariénou“.

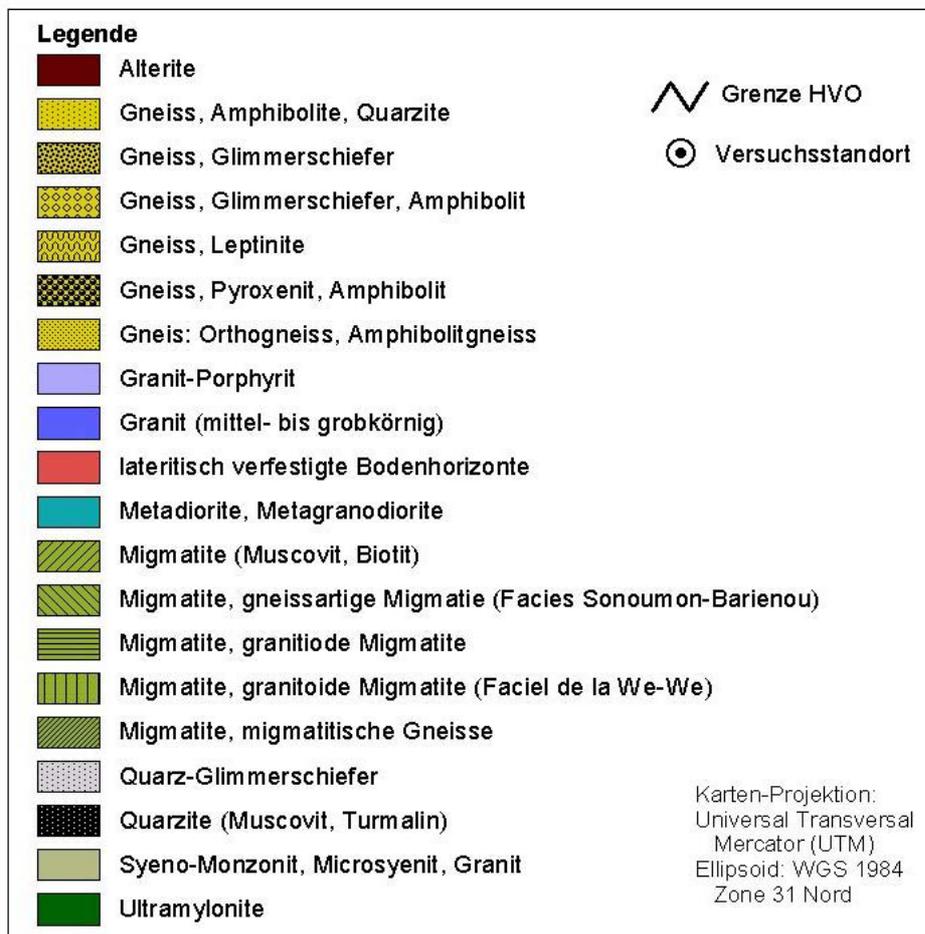
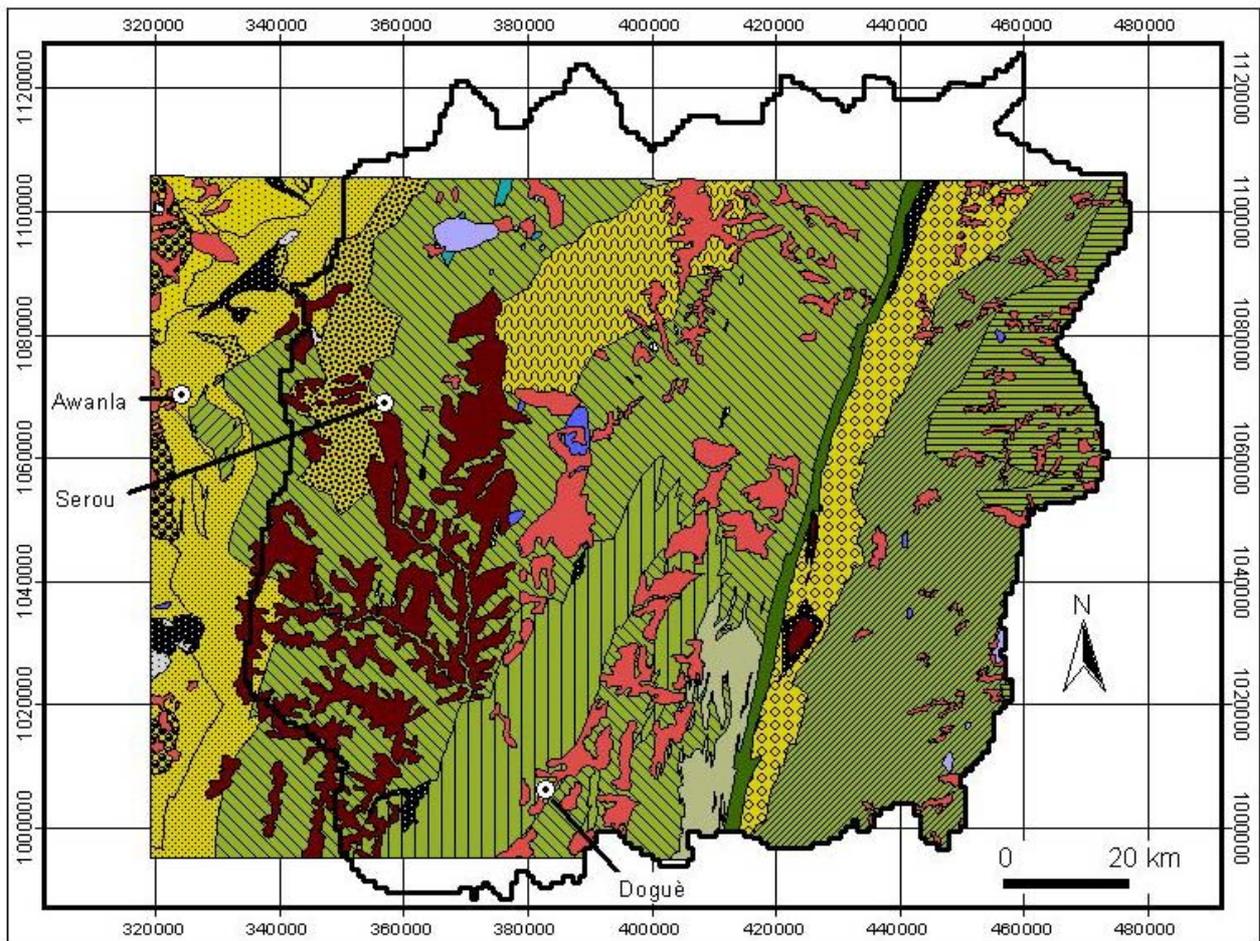


Abb. 12:  
 Geologische  
 Übersichtskarte des  
 HVO und  
 angrenzender  
 Gebiete (i.M.  
 1:800.000) (nach  
 OBEMINES 1978,  
 verändert).

## **4.2 Geomorphogenese**

### **4.2.1 Rumpfflächenlandschaft und Pedisedimente**

Das Untersuchungsgebiet liegt in einer Rumpfflächenlandschaft, die durch ein flachwelliges Relief mit schwach geneigten gestreckten Hängen und niedrigen Scheitelflächen gekennzeichnet ist. Neben dem geringen Relief und der großen räumlichen Ausdehnung besteht eine weitere Besonderheit derartiger Landschaften in der geringen Beeinflussung der Oberflächenformen durch geologische Strukturen oder Gesteinsunterschiede (AHNERT 1996). Für die Erklärung der Landschaftsentwicklung kann vor allem das von ROHDENBURG (1971) und FÖLSTER (1983) weiterentwickelte Pedimentationskonzept herangezogen werden, da es neben der Oberflächenformung auch die Verbreitung unterschiedlicher, für die Bodenbildung wichtiger Substrate erläutert. Demnach erfolgt die Flächenbildung durch Rückverlegung sehr niedriger, oft nicht sichtbarer Stufen im tiefgründig verwitterten Ausgangsmaterial, was als Pedimentation bezeichnet wird. Die dabei gebildeten Ausgleichsflächen bzw. Pedimente sind nur schwach geneigt, weisen ein gestreckt-konkaves Gesamtprofil auf und sind durch Substratschichtung charakterisiert. Werden Pedimente benachbarter Täler durch die vollständige Erosion von Scheitelflächen vereinigt, entsteht eine flachwellige Rumpfflächenlandschaft bzw. Pediplain (FÖLSTER 1964, ROHDENBURG 1971). In den Tropen sind Scheitelflächen häufig von Eisenkrusten bedeckt, die aufgrund ihrer Verwitterungsresistenz seit der Bildung im Tertiär erhalten geblieben und durch Reliefumkehr aus der ursprünglichen Muldenposition in die erhöhte Lage gelangt sind (MAGNIEN 1966). Da die Rückverlegung von mit Ferricreten bedeckten Hängen stark gehemmt ist, bilden sich steile Stufen am Übergang zum nicht verfestigten, weiterhin der Abtragung unterliegenden Material der Umgebung aus (ROHDENBURG 1971). Im HVO kommen Ferricretes auf Kuppen nur kleinflächig vor, wie z.B. in den Städten Parakou und Djougou. Deutlich erkennbar sind hier die Stufenbildung und die Verteilung von Krustenmaterial in Form großer Brocken und kleinerer Fragmente auf den Pedimenten.

Die Pediplain ist im Quartär entstanden und stellt eine relativ junge Landschaft dar (FÖLSTER 1983, VAN WAMBEKE 1991). Die quartären Klimaschwankungen äußerten sich in Afrika im Wechsel von ariden und humiden Phasen (LITTMANN 1989) bzw. in alternierenden Phasen mit morphodynamischer Aktivität und Stabilität (ROHDENBURG 1969, FÖLSTER 1983). Die Aktivitätszeiten sind durch eine unregelmäßige Niederschlagsverteilung gekennzeichnet, was zur Ausbildung einer offenen Vegetation und infolgedessen zu verstärktem Oberflächenabfluss und Substratumlagerungen

führte. In morphodynamischen Stabilitätszeiten ist die Pflanzendecke infolge gleichmäßig verteilter Niederschläge geschlossen und der Bodenschutz entsprechend hoch, so dass pedogene Prozesse weitgehend ungestört ablaufen konnten bzw. können (ROHDENBURG 1970, FÖLSTER 1983) (Abb. 13). Da im Laufe der Zeit verschiedene Aktivitäts- und Stabilitätsphasen aufeinander folgten, kam es wiederholt zur Verfrachtung und Umlagerung der Substrate und zur Ausbildung polyzyklischer Schichtenfolgen (FÖLSTER 1983).

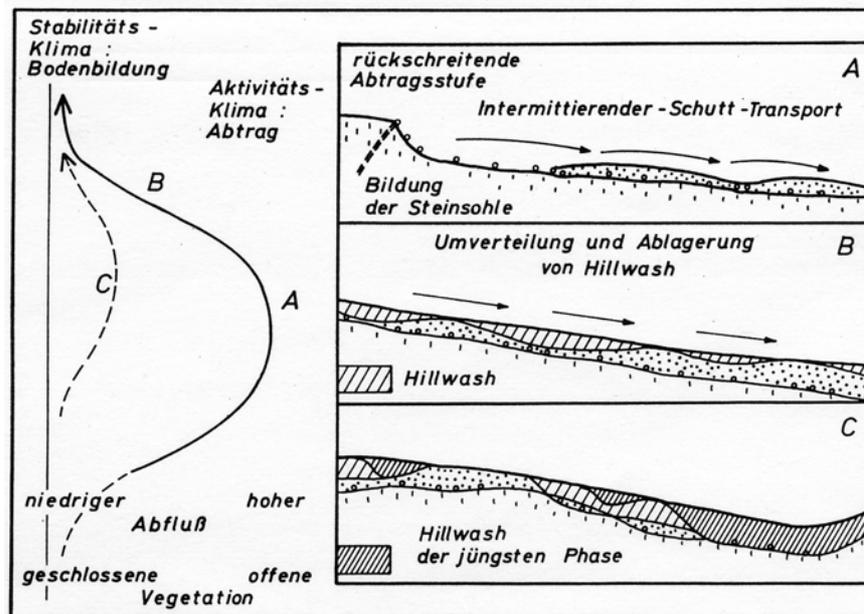


Abb. 13: Morphodynamische Aktivitätsphasen und Bildung der Hangsedimente (Einfache (A, B) und polyzyklische (C) Schichtenfolge) (nach FÖLSTER 1983, Abb. 3).

Eine ungefähre zeitliche Einordnung der Abtragungs- und Bodenbildungsphasen wurde von FÖLSTER (1967) für Westnigeria und von ROHDENBURG (1969) für Ostnigeria vorgenommen. Für die Substrate des Untersuchungsraumes liegen keine Datierungen vor, so dass ihre Einordnung in das erstellte Zeitschema nicht gesichert ist. Die heutige Oberfläche der Rumpfflächenlandschaft des HVO wurde wahrscheinlich während der letzten morphodynamischen Aktivitätsphase (A3 $\alpha$ ), d.h. vor ca. 2000 Jahren gebildet. Diese Phase fiel mit einer Trockenperiode in Westafrika zusammen, die sich während der letzten Kaltzeit von den Glazial- und Periglazialgebieten in Mitteleuropa über das Mittelmeergebiet und die Sahara bis nach Westafrika erstreckte (ROHDENBURG 1969). Auch FAUST (1991) weist in seiner Arbeit über die Böden der Deckschichten Nord-Togos, das in unmittelbarer Nachbarschaft des HVO liegt, auf die vermutliche Bildung

der Decksedimente während der A3 $\alpha$ -Phase hin. Heute befindet sich Westafrika in einer morphodynamischen Ruhephase, in der bodenbildende Prozesse dominieren. Vereinzelt findet jedoch rezente Pedimentation auf anthropogen gestörten Flächen statt (s. Kap. 6).

### Pedisedimente

Die Böden im Untersuchungsraum sind deutlich durch die Schichtung verschiedener Substrate gekennzeichnet. Im Unterboden liegt ein tonreiches Material vor, das aus dem Anstehenden durch Verwitterung entstanden ist und als Saprolit (griech. sapos = verfault, lithos = Gestein) oder Zersatz bezeichnet wird (FÖLSTER 1983, AHNERT 1996). Bei den über dem Gesteinszersatz liegenden Lockersedimenten handelt es sich um Pedisedimente, die in aufeinander folgenden Aktivitätsphasen abgelagert wurden und somit allochthone Substrate darstellen (ROHDENBURG 1971, FÖLSTER 1983) (Abb. 14).

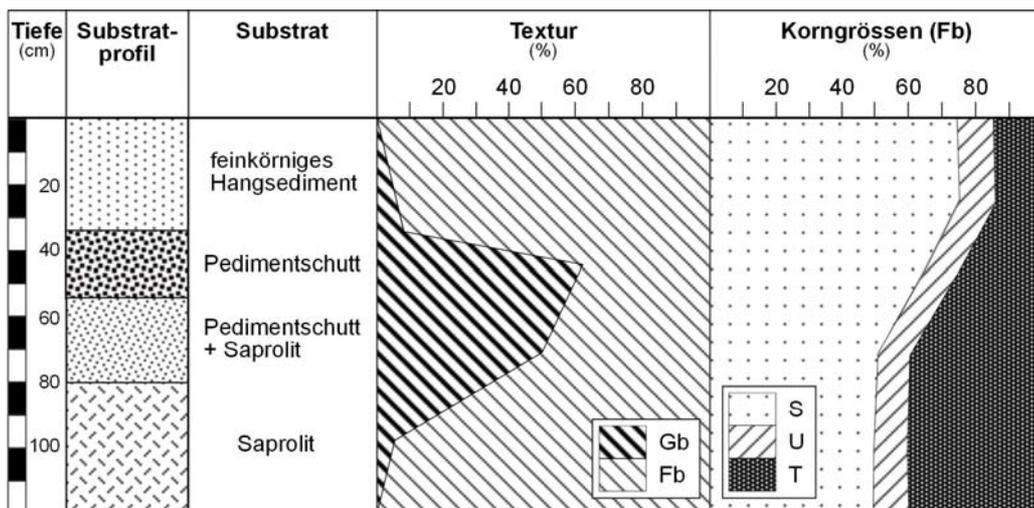


Abb. 14: Substrate und Bodenarten der Hangsedimente über Saprolit im Aguima-Einzugsgebiet (ermittelt aus 9 Bodenprofilen; Gb = Grobboden, Fb = Feinboden, S = Sand, U = Schluff, T = Ton).

Auf den Hängen befindet sich über dem Saprolit vereinzelt eine Lage aus kantigen Steinen, die überwiegend aus Quarz bestehen. Aufgrund ihrer Verwitterungsresistenz wurden sie bei der Gesteinszersetzung angereichert (VOGT 1966, AHNERT 1996) und während der Stufenrückverlagerung auf der Abtragungsfläche als Steinsohle bzw. stone line abgelagert (FÖLSTER 1983, EMBRECHTS & DE DAPPER 1987). Über dem Saprolit bzw. der Steinsohle folgt eine mehrere dm mächtige Schicht, in der durchschnittlich 63 % Grobboden enthalten sind. Häufig ist ein Übergangsbereich zwischen dem verwitterten

Gestein und dem schuttreichen Material vorhanden, der wahrscheinlich durch Mischung beider Substrate entstanden ist. Das skelettreiche Material wird als Pedimentschutt (FÖLSTER 1983), detrital-laterite gravel oder nappe de gravats bezeichnet. Viele Dünnschliffe von dunkelbraunen gerundeten Schuttpartikeln aus dem Aguima-Einzugsgebiet zeigen, dass die Körper eine sehr poröse Struktur aufweisen (Abb. 15). Die Entstehung der Hohlräume wird durch Lösung oder Auswaschen leicht verwitterbarer Minerale bei der Bildung der ursprünglichen Eisenkruste erklärt (GOUDIE 1973). Nur vereinzelt sind sekundäre Verfüllungen aus Eisenoxiden und Ton zu erkennen. Bei diesem Material handelt es sich wahrscheinlich um Krustenbruchstücke, die nach Zerfall der Eisenkruste transportiert und mechanisch gerundet wurden. Die Form der Fragmente liefert somit einen Hinweis auf die allochthone Entstehung der Pedimentschutt-Schicht. Des weiteren deutet die bei den Profilaufnahmen ermittelte ähnliche Größe der Schuttpartikel auf Sortierung durch Wasser hin. Auch ROHDENBURG (1969), FÖLSTER (1983) und VAN WAMBEKE (1991) weisen das skelettreiche Hangsediment als kolluviale Bildung aus. Demnach wurde der Schutt, der nach FÖLSTER (1983) und EMBRECHTS & DE DAPPER (1987) neben Krustenbruchstücken auch Pisolithe, Konkretionen bzw. Pseudokonkretionen, Quarzbrocken und Gesteinsstücke enthält, während morphodynamischer Aktivitätsphasen durch Oberflächenwasser verlagert, gerundet und sortiert. Der im HVO vorliegende Pedimentschutt wurde vermutlich während der vorletzten Aktivitätsphase, d.h. vor ca. 7.000 Jahren abgelagert.

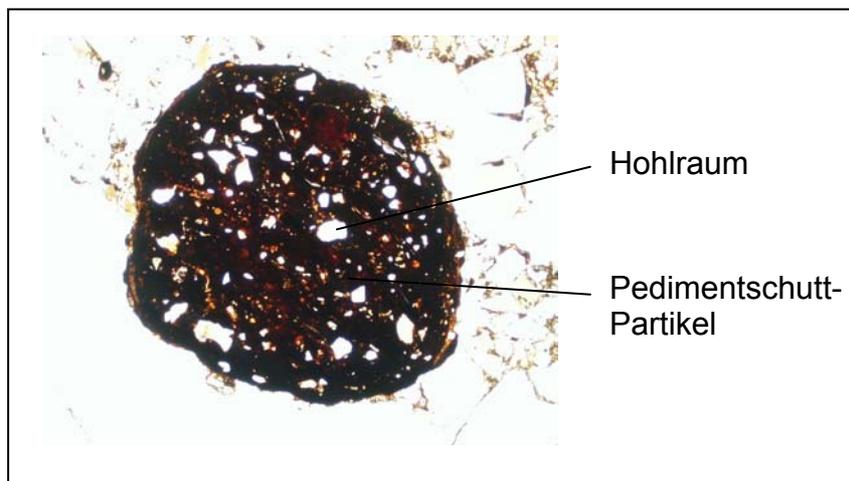


Abb. 15:  
Gerundetes Krusten-  
fragment aus der  
Pedimentschutt-Schicht  
(7,5fache Vergrößerung,  
gekreuzte Polarisatoren).

Nach LÉVÊQUE (1970) sind die gerundeten Partikel jedoch in situ-Bildungen, die durch Ausfällung von gelöstem oder an Chelate oder Komplexe gebundenem Eisen aus darüber liegenden Horizonten bzw. angrenzenden eisenreichen Böden oder durch residuale Sesquioxidanreicherung entstanden sind.

An dieser Stelle sei kurz auf die Eisenanreicherungen in tropischen Böden, d.h. auf die Formen und Bezeichnungen eingegangen, die z.T. recht unterschiedlich sind. Konkretionen sind nach HINTERMAIER-ERHART & ZECH (1997) Anreicherungen u.a. von Sesqui-oxiden, die schalenförmig aufgebaut sind und im Zusammenhang mit Wiederbefeuchtung und Austrocknung des Bodens bzw. durch Mobilisierung und Ausfällung von Eisen, Aluminium und Mangan entstanden sind. Derartig aufgebaute Eisenanreicherungen werden von MAIGNIEN (1966) als „echte“ Konkretionen, von LÉVÊQUE (1970) als „wahre“ Pisolithe bzw. semi-*pisolithische* Konkretionen und von NAHON (1986) als Pisolithe bezeichnet. „Falsche“ Konkretionen bestehen nach MAIGNIEN (1966) dagegen aus verwitterten, mit Eisen imprägnierten Gesteinsbruchstücken von geringerer Härte, während LÉVÊQUE (1970) generell nicht konzentrisch aufgebaute Eisenakkumulationen mit regelmäßiger oder unregelmäßiger Form als Konkretion bezeichnet. Bei der Bezeichnung von Sesquioxidakkumulationen in tropischen Böden findet außerdem der Begriff Pseudokonkretionen Anwendung: LÉVÊQUE (1970) beschreibt damit die mit Eisenhydroxiden angereicherten Bestandteile des Ausgangsgesteins, während FÖLSTER (1971) damit kleine, harte, gerundete und mit Goethit angereicherte Akkumulationen meint. In der französischen Bodenklassifikation werden verhärtete, gerundete Eisenanreicherungen generell als „*concrétions*“ bezeichnet (CPCS 1967).

An der Bodenoberfläche befindet sich ein feinkörniges Substrat aus lehmigem Sand, das durchschnittlich eine 3 dm mächtige Schicht bildet und kein oder nur wenig Grobboden (max. 6 %) enthält. Dieses Sediment ist in der Literatur unter den Bezeichnungen *loamy sand* (BRÜCKNER 1955), *hillwash* (SMYTH & MONTGOMERY 1962), *couverture argilo-sableuse* (DE PLOEY 1964) und feinkörniges Hangsediment (FÖLSTER 1983) aufgeführt. Die Herkunft des Substrats wurde bereits vielfach diskutiert. Zum einen wird Pedimentation als Möglichkeit für die Entstehung der Deckschicht angesehen (ROHDENBURG 1969, FÖLSTER 1983). Demnach wurde das Substrat gegen Ende der letzten morphodynamischen Aktivitätszeit ( $A3\alpha$ ) auf dem Pedimentschutt abgelagert, als die Menge des Oberflächenwassers und dessen Transportkapazität abnahmen und zur Anreicherung relativ gut sortierter Sande führte. Auch FAUST (1990) führt die Entstehung sandiger Deckschichten im benachbarten Togo auf klimatisch-hydrodynamische Formungsvorgänge zurück. Zum anderen wird die zoogene Bildung der Deckschicht durch Termiten und evtl. Regenwürmer diskutiert, die Feinmaterial u.a. für den Nestbau aus dem Unterboden aufwärtstransportiert und über Jahrzehnte an der

Oberfläche angereichert haben (NYE 1954, DE HEINZELEN 1955, FÖLSTER 1964, 1983). NYE (1954) schätzt die Förderleistung von Termiten auf ca. 30 cm Feinboden pro acre in 12 000 Jahren, DE HEINZELEN (1955) auf 50 cm in 1000 Jahren. Die anschließende Verteilung des Feinmaterials auf der Fläche erfolgt nach NYE (1954) durch Bodenfließen, während FÖLSTER (1964) die Verlagerung durch Oberflächenwasser während der jüngeren Pedimentationsphase für wahrscheinlicher hält. Eine weitere Möglichkeit besteht in der äolischen Herkunft des feinkörnigen Hangsediments. Nach HERRMANN (1996) werden jährlich  $6 \text{ g m}^{-2}$  Staub in Zentral-Benin sedimentiert, was die äolische Zufuhr feiner Substrate belegt und langfristig zu Anreicherung auf der Bodenoberfläche beitragen kann. FÖLSTER (1964) schließt den äolischen Einfluss jedoch u.a. aufgrund der engen mineralogischen Verwandtschaft von Hillwash und Anstehendem aus.

Die Schichtung verschiedener Substrate wird ebenfalls anhand der Bodenarten-Tiefenprofils deutlich (Abb. 14). So besteht der Feinboden des feinkörnigen Hangsediments zu 70 % aus Sand, während in der schuttreichen Schicht noch 67 % und im Übergangsbereich aus Pedimentschutt und Saprolit nur noch 48 % ermittelt wurden. Der aus den drei Sandfraktionen und Grob- und Mittelschluff gebildete Quotient nimmt ebenfalls von der Oberfläche (4,5) mit zunehmender Tiefe (3,2 im Saprolit) ab, was zusätzlich die Materialschichtung im Untersuchungsgebiet belegt.

#### **4.2.2 Bas-Fonds und Kolluvien**

Am Oberlauf des Aguima kommen flache, längliche Talformen vor, die keinen klar erkennbaren Wasserlauf in Form eines Flussbettes aufweisen und während der Regenzeit überschwemmt sind. Die hier vorherrschende Vegetationsformation ist die Grassavanne (Savane herbeuse) (IMPETUS 2001). Derartige Talformen bilden das elementare Entwässerungssystem von Rumpfflächenlandschaften (GRUNERT et al. 2000). Von den Einheimischen wird wie in vielen anderen frankophonen Ländern Westafrikas (RAUNERT 1985) der französische Begriff „Bas-Fonds“ für diese Talform verwendet, während die Bezeichnungen „Fadamas“ (Hausa) in Nigeria, „Bolis“ in Sierra Leone (MÄCKEL 1979) und „Dambos“ (Swahili) im östlichen Afrika (MÄCKEL 1974) geläufig sind. (Weitere Informationen über die Klassifikation tropischer Talformen sind GRUNERT et al. 2000 zu entnehmen.)

Bas-Fonds sind relativ junge geomorphologische Formen, die erst im Quartär gebildet wurden (MÄCKEL 1979, RUNGE 1990, THOMAS 1994). Wie auf den Hängen kam es während der Aktivitätsphasen zur Erosion und Akkumulation von Substraten, während

pedogene Prozesse in den stabilen Zeiten abliefen bzw. ablaufen. Auch heute noch unterliegen die Täler morphodynamischen Prozessen. Im oberen Teil der Bas-Fonds findet ständig eine vertikale Tieferlegung durch tiefreichende Gesteinsverwitterung und subterrestrische Abfuhr toniger und schluffiger Verwitterungsprodukte statt (MÄCKEL 1985, MCFARLANE & WHITLOW 1990, MC FARLANE 1991, THOMAS 1994). Die räumliche Orientierung der Bas-Fonds entspricht der Richtung der im Ausgangsgestein entstandenen Klüfte, da Verwitterung und Materialabfuhr hier bevorzugt stattfinden (MÄCKEL 1979). Im Aguima-Einzugsgebiet sind die Bas-Fonds der Aguima-Nebenflüsse NNW-SSO gerichtet, was dem Kluftsystem des Gesteins entspricht (FASS 2004). Auch unterliegen Bas-Fonds der seitlichen Ausdehnung durch Aufbereitung von Gesteinen an den Übergängen zu den Unterhängen und durch Verspülung feiner Materialien (MÄCKEL 1979, THOMAS 1994). An den unteren Abschnitten der Talformen findet dagegen die Zerstörung derselben statt, indem Gerinne zunehmend tiefer in die Oberfläche einschneiden und zur Veränderung des Wasserhaushalts, des Bodens und der Vegetationsformation führen (MÄCKEL 1974, GRUNERT et al. 2000).

Gemäß der Klassifizierung der Täler im tropischen Afrika nach RAUNERT (1985) handelt es sich bei den Bas-Fonds des Aguima-Einzugsgebietes um typische Talböden der sudanesischen und sudano-guineensischen Zone. Diese sind durch ein symmetrisches Querprofil mit einem relativ ebenen Zentrum gekennzeichnet, an das sich zu beiden Seiten schwach geneigte Bereiche anschließen. Der Übergang zu den Pedimenten ist an durch Eisen zementierte Horizonte im Boden der Unterhänge erkennbar (Abb. 16).

Bas-Fonds sind durch einen stark schwankenden Wasserhaushalt im Jahresverlauf gekennzeichnet (MILLINGTON et al. 1985, MCFARLANE & WHITLOW 1990, GRUNERT et al. 2000). Während der Regenzeit liegt der Grundwasserspiegel auf Höhe der Geländeoberfläche, so dass es zur Überflutung der Bas-Fonds kommt. Weiterhin wird infiltriertes Niederschlagswasser an den Hängen über dem tonreichen Gesteinszersatz und den verfestigten Bodenhorizonten gestaut und als Interflow hangabwärts in die Bas-Fonds geleitet (IMPETUS 2002). In der Trockenzeit sinkt der Grundwasserspiegel ab, was die oberflächliche Austrocknung der Täler zur Folge hat. Tiefere Bereiche weisen jedoch auch während der niederschlagsarmen Zeit eine gewisse Bodenfeuchte auf.

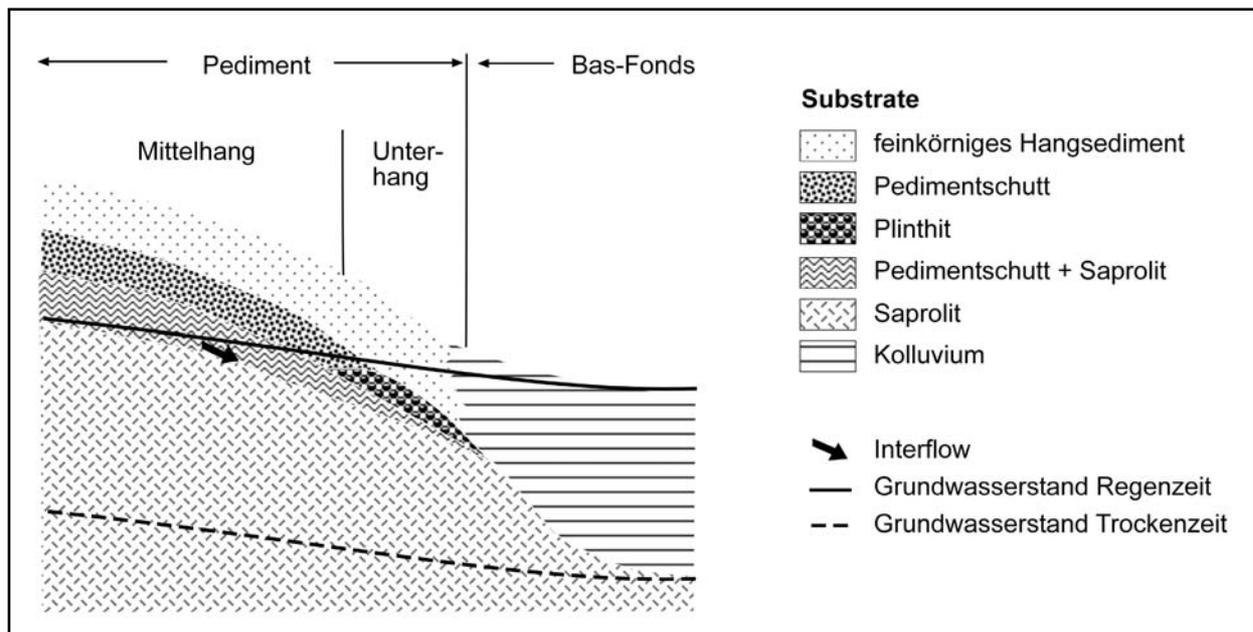


Abb. 16: Schematischer Schnitt durch ein Bas-Fonds und angrenzende Pedimente im Aguima-Einzugsgebiet (erstellt aus Profilbeschreibungen und Bohrungen).

### Kolluvien

Die Bas-Fonds im Aguima-Einzugsgebiet sind durch die Abfolge geringmächtiger sandiger, lehmiger und toniger Schichten gekennzeichnet, was auf ihre Bildung aus Kolluvien hinweist. Im Randbereich der Täler wurden überwiegend lehmige Sande kartiert. Da diese Textur mit der Bodenart der auf den Hängen verbreiteten Decksedimente übereinstimmt, liegt die Herkunft des Substrats aus hangabwärts transportierten Sanden nahe. Auch MÄCKEL (1979) beschreibt die Dominanz sandiger Substrate in den äußeren Boli-Bereichen und deren Entstehung aus Feinmaterial, das im Zuge der lateralen Verbreiterung mit dem Oberflächenwasser von den Böschungen verspült wurde. Im Zentrum der Bas-Fonds wurde vorrangig sandiger Lehm im Oberboden vorgefunden, während in der Tiefe zunehmend tonige Substrate und vereinzelt sandige Schichten auftraten. MUND & GRUNERT (1999) fanden Ton dagegen vorrangig in linsenförmigen Anreicherungen vor und erklären ihre Entstehung durch Sedimentation feinsten Materialien in Stillwasserzonen. Mit zunehmender Nähe zum Flusssystem kommt nach MUND & GRUNERT (1999) zusätzlich alluviales Substrat vor, das jedoch von den Kolluvien kaum zu unterscheiden ist. Schuttpartikel wurden nur vereinzelt in den Tälern des Aguima-Einzugsgebietes angetroffen. Wahrscheinlich sind sie während der letzten Pedimentationsphase abtransportiert worden, als sich das gesamte Oberflächenwasser der benachbarten Hänge in den Talformen sammelte und

den Transport grober Materialien ermöglichte. In der Nähe von Flussläufen kommen zusätzlich reine Sande vor, die eher alluvialen Ursprungs sind.

#### 4.2.3 Inselberge und Inselberg-Pedimente

Der im Süden des HVO gelegene Soubakpérou (620 m. ü. NN, UTM 407681 1011091) und der Mont Charles de Gaulle (333 m. ü. NN, UTM 379475 1009588), der die westliche Grenze des Aguima-Einzugsgebietes bildet, sind sog. Inselberge. Es handelt sich um zonale Inselberge, die entweder im Verlauf der Pedimentation auf der Wasserscheide erhalten geblieben sind oder deren Entstehung auf petrographischen Unterschieden beruht (AHNERT 1996). Letztere ist auf die höhere Widerstandsfähigkeit des Gesteins gegenüber Verwitterung und Abtragung zurückzuführen, so dass Inselberge als Denudationsreste bzw. Härtlinge in der Landschaft vorkommen (MURAWSKI 1992). Im Aguima-Einzugsgebiet kommen weiterhin flache Felsschilde vor (z.B. UTM 380465 1010161), die nur einige Dezimeter bis Meter über die Geländeoberfläche emporragen und nicht von Vegetation oder Boden bedeckt sind.

#### Substrat der Inselberge und Inselberg-Pedimente

Der Mont Charles de Gaulle und die Felsschilde im Aguima-Einzugsgebiet bestehen aus metamorphen Festgesteinen, die oberflächlich angewittert sind. Es handelt sich dabei vorrangig um Augengneis, dessen Foliation deutlich in Dünnschliffen zu erkennen ist (Abb. 17).

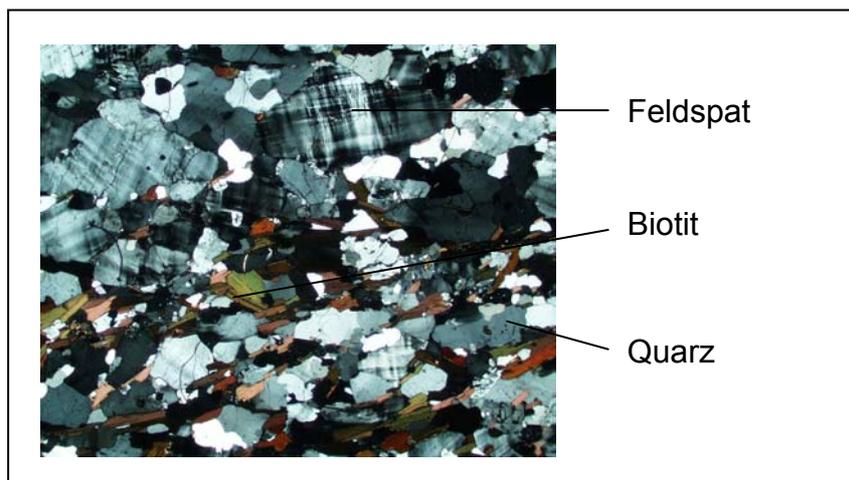


Abb. 17: Augengneis des Inselbergs Mont Charles de Gaulle (3,75fache Vergrößerung, gekreuzte Polarisatoren).

An der Ostseite des Inselbergs kommen außerdem Migmatite vor, die aufgrund eines hohen Anteils an Amphibol dunkel gefärbt sind. Bei radiär vom Inselberg aus durchgeführten Bohrungen wurde zunächst ein sehr geringmächtiges sandiges Substrat über dem Festgestein vorgefunden, das einen großen Anteil an quarzreichem Grus und

Schutt aufwies. Dabei handelt es sich um junge Verwitterungsprodukte des Festgesteins, die mit dem Oberflächenwasser vom Berg abtransportiert und am Bergfuß akkumuliert wurden. Auch MOLDENHAUER & HEINRICH (1999) beschreiben die rezente Entstehung vorrangig sandiger Substrate durch aktuelle Desquamationsprozesse im Bereich von Inselbergen Zentralbenins.

In der bereits von Vegetation besiedelten Umgebung wurde ein nahezu tiefrot gefärbtes Material (2.5 YR 3/6) kartiert, das aus einer Abfolge sandiger und stark lehmiger bis toniger Substrate bestand und dementsprechend durch Schichtung entstanden sein muss (Abb. 18). Da der hohe Tongehalt und die auffällige Farbgebung nicht den Merkmalen der Pedisedimente benachbarter Hänge (vgl. 4.2.2) entsprechen und das Material ausschließlich in der unmittelbaren Umgebung des Inselbergs vorkommt, handelt es sich wahrscheinlich um lokal verbreitete, aus dem Gestein des Inselbergs entstandene Kolluvien. Vereinzelt wurden ebenfalls Steinlagen aus kantigem Quarz und Feldspäten im Unterboden kartiert, was die allochthone Entstehung des Liegenden beweist (AHNERT 1996).

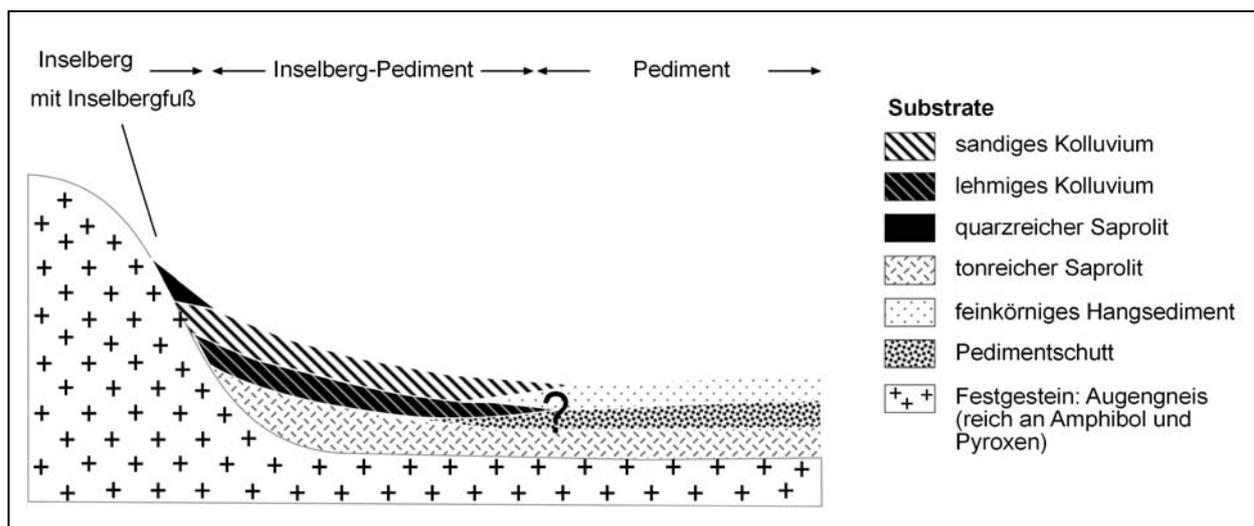


Abb. 18: Schematischer Schnitt durch den Inselberg Mont Charles de Gaulle und angrenzende Pedimente (erstellt aus eigenen Profilbeschreibungen und Bohrungen).

Die besondere Zusammensetzung der Substrate ist ebenfalls in Dünnschliffen zu erkennen, denn im Gegensatz zum sandigen Decksediment und dem Pedimentschutt enthalten sie u.a. Quarz, Biotit, Amphibol und Hämatit (Abb. 19). Letzterer konnte auch in der Tonfraktion nachgewiesen werden und ist für die rötlichen Färbung des Substrats verantwortlich (SCHWERTMANN 1993). Auffällig ist weiterhin der geringe Gehalt von

Gibbsit in der Tonfraktion der Inselberg-Kolluvien, das in den Substraten der benachbarten Hänge fehlt. Dieses Oxid ist wie der Hämatit aus den bei der Verwitterung des Gneises freigesetzten Al- bzw. Fe-Ionen entstanden, der demzufolge einen hohen Anteil an Amphibolit enthalten muss. Auch der vergleichsweise hohe Mg-Gehalt des Substrats ist als Hinweis auf die Entstehung des Materials aus amphibolreichem Gestein zu sehen (FAUST 1991). Anhand der Tonmineralzusammensetzung der Kolluvien, die mit 45 % Kaolinit und 55 % Illit nicht der Verteilung der Tonminerale tiefer liegender Substrate und Pedisedimente entspricht, kann außerdem die besondere Entstehung des in der nahen Umgebung des Inselbergs kartierten Substrats erkannt werden.

Die tiefroten Sedimente sind generell an der Geländeoberfläche anzutreffen und gehen erst in ca. 150 m Entfernung vom Inselbergfuß in sandiges Decksediment über. Es liegt somit der Schluss nahe, dass die Kolluvien erst nach dem Pedimentationsprozess abgelagert wurden und somit jünger als die spätpleistozänen Decksedimente sind. Auch das Vorhandensein des leicht verwitterbaren Biotits weist auf ein relativ geringes Alter des Materials hin.

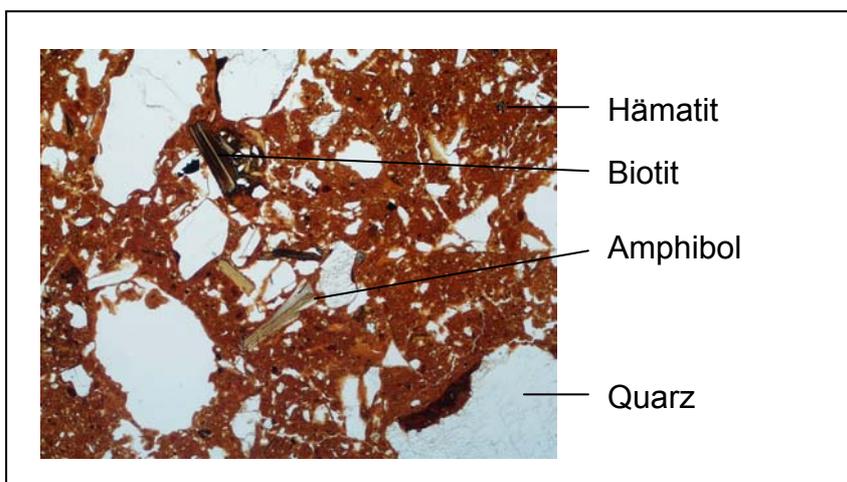


Abb. 19: Junges Kolluvium in der Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle (7,5fache Vergrößerung).

### 4.3 Pedogene Prozesse

#### 4.3.1 Saproлитisierung

Im Aguima-Einzugsgebiet wurde das Festgestein in 11,4 m Tiefe erbohrt (Bohrung, IMPETUS 2002). Zwischen diesem Gestein und dem Pediment befindet sich der mehrere Meter mächtige Saprolit, dessen Entstehung auf die unter tropischen Klimabedingungen besonders intensiv ablaufende hydrolytische Verwitterung zurückzuführen ist (AHN 1970, MOHR et al. 1972, FÖLSTER 1983). Der Zersatz ist durch

einen hohen Gehalt an sekundären Mineralen gekennzeichnet (FÖLSTER 1983, KITTRICK 1986). So wurden im Saprolit des Untersuchungsgebietes rund 90 % Kaolinit in der Tonfraktion vorgefunden, der aus bei der Verwitterung freigesetzten Bestandteilen primärer Minerale entstanden ist. Eine weitere Besonderheit des Zersatzes stellt das Gefüge dar, das vom Ausgangsgestein durch die Bildung von Pseudomorphosen am Ort der primären Minerale übernommen wurde (FÖLSTER 1971, NAHON 1986). Der im oberen Teil des Saprolits, d.h. unterhalb der Pedimente gelegene Bereich weist jedoch kein Primärgefüge auf. Wahrscheinlich haben Mineralumlagerungen zu dessen Zerstörung geführt, so dass es sich um eine Weiterentwicklung des Saprolits mit ersten pedogenen Gefügemerkmalen handelt. Ähnliche Gefügeänderungen werden von NAHON (1986) bei Ferralsolen beschrieben und durch die Quellung von Tonen infolge der Reaktion mit Bodenwasser erklärt. Des weiteren wurden im Aguima-Einzugsgebiet Flächen kartiert, in denen der obere Bereich der Zersatzzone heterogen gefleckt war (z.B. Profil 5), während in anderen Arealen rötlich gefärbte Substrate in vergleichbarer Tiefe gefunden wurden (z.B. Profil 10). Die Ausbildung der braun-roten und gelblichen Flecken ist auf die Diffusion von Eisen unter hydromorphen Bedingungen zurückzuführen (FÖLSTER 1983), die aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit des tonigen Materials entstanden sind. Die Rotfärbung bzw. Rubifizierung beruht auf der Bildung von Hämatit unter stark oxidierenden Bedingungen (FÖLSTER 1983).

Vor dem Pedimentationsprozess haben sich wahrscheinlich Böden an der Oberfläche des authochthonen Saprolits entwickelt, die jedoch größtenteils während der Aktivitätsphasen im Quartär ausgeräumt wurden (FÖLSTER 1983). So konnten auch im Aguima-Einzugsgebiet keine fossilen im Saprolit gebildeten Böden sondern ausschließlich in den Pedisedimenten entstandene Böden kartiert werden. Rezente bodenbildende Prozesse laufen somit nur in den allochthonen Decksedimenten ab (FAUST 1991) und haben keinen Einfluss auf das tiefgründig verwitterte tonreiche Material.

#### **4.3.2 Humifizierung**

In Bereichen des Aguima-Einzugsgebiet mit Waldvegetation entstehen jährlich  $4,1 \text{ t ha}^{-1}$  Streu, wovon durchschnittlich  $3,2 \text{ t ha}^{-1}$  zersetzt werden (MULINDABIGWI 2004). Da die Zersetzungsrate der Biomasse aufgrund der feucht-warmen Klimabedingungen sehr hoch ist, kommt es in tropischen Böden nur zur vergleichsweise geringen Humusanreicherung (MOSANGO 1991). Im Oberboden der Hangpedimente des Aguima-Einzugsgebietes wurden durchschnittlich 2,1 % Humus gemessen, in den jährlich stark

vernässenden Bas-Fonds dagegen 3,1 %, was auf den reduzierten Streuabbau unter feuchten Bedingungen zurückzuführen ist (SCHACHTSCHABEL et al. 1998).

Dünnschliffe der humushaltigen Horizonte aus dem Untersuchungsgebiet zeigen, dass eine intensive Durchmischung der organischen Substanz mit den mineralischen Bestandteilen in den Böden stattgefunden hat (Abb. 20). Zurückzuführen ist die umfangreiche Einarbeitung der Streu in den Boden zum einen auf die Tätigkeit der Bodenfauna (GISI 1997), an der nach eigenen Untersuchungen im Arbeitsgebiet vor allem Termiten und Lumbriciden beteiligt sind. Auch Wurzeln tragen lokal zur Materialdurchmischung bei, indem leere Wurzelgänge durch Wandmaterial zugeschüttet bzw. von oben zugeschlämmt werden (FÖLSTER 1983). Der im durchwurzelten Oberboden entstandene Horizont wird nach FÖLSTER (1971) treffend als Homogenisierungshorizont bezeichnet.

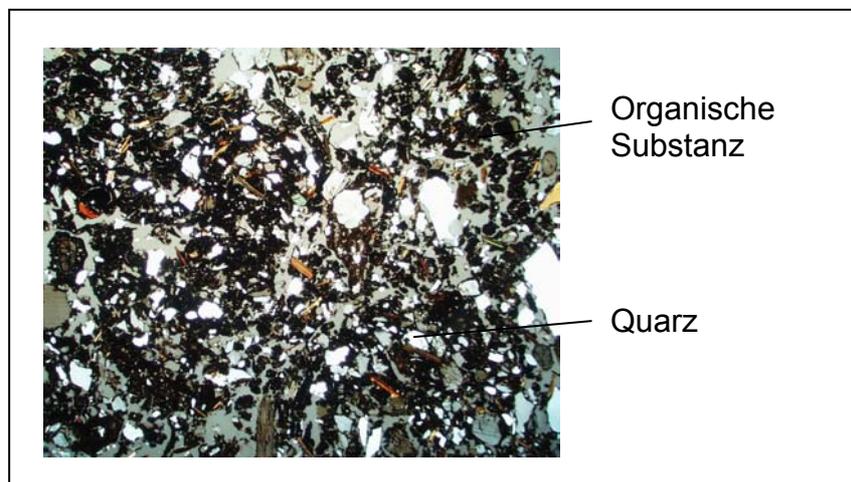


Abb. 20: Oberboden in der Savanne des Aguima-Einzugsgebietes (3,75 fache Vergrößerung, gekreuzte Polarisatoren).

### 4.3.3 Andere bodenbildende Prozesse

#### Lessivierung

Die vertikale Texturdifferenz in den Böden des Untersuchungsraumes ist substratbedingt und auf vertikale Tonverlagerung zurückzuführen (JONES & WILD 1975, FAURE & VOLKOFF 1998). Zwar ist die Lessivierung innerhalb eines Substrats aufgrund relativ geringer Tongehaltsunterschiede z.T. nur schwer im Gelände zu erkennen, jedoch lassen sich Toncutane auf den Aggregatoberflächen und an Grobporenwänden in Dünnschliffen deutlich nachweisen (Abb. 21). In den Kolluvien der Bas-Fonds kommen Toncutane häufiger als in den Hangsedimenten vor. Da die Durchlässigkeit des tonigen Saprolyts und des Plinthits auf den Hängen im Allgemeinen nur gering ist (IMPETUS 2003), werden Tone mit dem Zwischen- und Oberflächenabfluss lateral verlagert und in den Tälern angereichert (FAURE & VOLKOFF 1998).

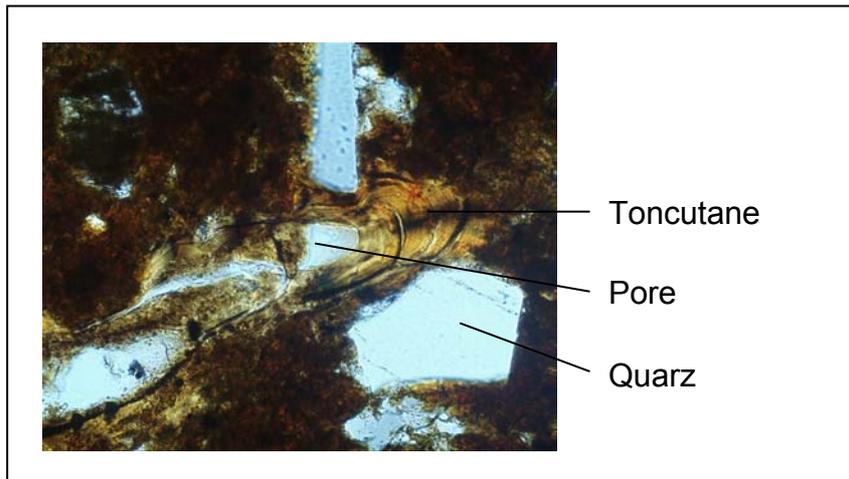


Abb. 21: Toncutane im Kolluvium eines Bas-Fonds (60fache Vergrößerung).

### Ferralisation

Auf den Höhenzügen im HVO kommen intensiv rot gefärbte Böden vor (feucht 2.5 YR 4/8), in deren Tonfraktion Kaolinit dominiert (> 90 %) und die einen hohen Gesamtgehalt an pedogenen Oxiden aufweisen. Diese Eigenschaften deuten auf einen Prozess hin, der die Abfuhr von Silizium, d.h. Desilifizierung (HARRISON 1934) bei gleichzeitiger Akkumulation von Sesquioxiden umfasst und als Lateritisierung (HARRASSOWITZ 1926) oder Ferrallitisierung (SCRIVENOR 1930) bezeichnet wird. Zu den residual angereicherten Sesquioxiden gehören die Eisenoxide Goethit und Hämatit und die Aluminiumoxide Gibbsit sowie in geringeren Mengen Maghemit und Boehmit. Neben dem Zweischichttonmineral Kaolinit wird ebenfalls Halloysit gebildet (MAIGNIEN 1966, MOHR et al. 1972, NAHON 1986, VAN BREEMEN & BUURMAN 1998). In Aufschlüssen der auf Wasserscheiden gelegenen Ortschaften Bassila, Parakou und Djougou waren unterschiedlich mächtige Ferricretes auf der Oberfläche entwickelt, deren Bildung einen schwankenden Grundwasserspiegel voraussetzt (VAN BREEMEN & BUURMAN 1998). Entsprechend ihrer exponierten Lage in der Landschaft werden sie auch als *high level laterite* (GOUDIE 1973) oder *authochthone Primärkrusten im Hangenden* (FRÄNZLE 1977) bezeichnet. Ihre Bildung fand unter den humiden tropischen Bedingungen im Tertiär statt (MAIGNIEN 1966, MOHR et al. 1972, NAHON 1986).

### Plinthisation

In den an Bas-Fonds grenzenden Unterhängen wurde eine verhärtete Schicht kartiert, die teils im Unterboden lag und teils an der Oberfläche freigelegt war (z.B. Profil 15) (Abb. 16). Bei dem verhärteten Material handelt es sich um Pedimentschutt, der sekundär durch Eisenoxide, vorrangig Goethit, verkittet wurde (MAIGNIEN 1966, FÖLSTER

1983, VAN WAMBEKE 1991) (Abb. 22). Das ursprünglich bei der Verwitterung freigesetzte Eisen stammt aus vernässten Bodenbereichen und ist mit dem Grund- und Hangwasser lateral verlagert worden. In Senken und an Unterhängen kam es zur absoluten Anreicherung und Oxidation der Sesquioxide, was die Zementierung des vorliegenden Substrats zur Folge hatte (MAGNIEN 1966, GOUDIE 1973, NAHON 1986, VAN BREEMEN & BUURMAN 1998). Diese Form der absoluten Sesquioxidakkumulation wird als *Plinthisation* bezeichnet, das verhärtete Material als *Plinthit* (griech. plinthos = Ziegelstein) (MOHR et al. 1972), in frankophonen Ländern wird der Prozess mit *induration* beschrieben (FAURE 1977a, b) Aufgrund der Lage im Gelände wurden auch die Bezeichnungen *low level laterite*, *cuirasse de basse pente* (GOUDIE 1973) bzw. *alluviale oder kolluviale Sekundärkrusten* (FRÄNZLE 1977) verwendet. Heute sind Plinthite infolge Reliefinversion ebenfalls auf Wasserscheiden zu finden (FÖLSTER 1964, GOUDIE 1973, SCHWARZ 1994, BREMER 1999), so auch im Aguima-Einzugsgebiet (z.B. Profil 3). Die hier untersuchten Plinthite gehören nach der von PULLAN (1967) erstellten morphologischen Gliederung von Eisenkrusten zu den *recemented nodular crusts*.

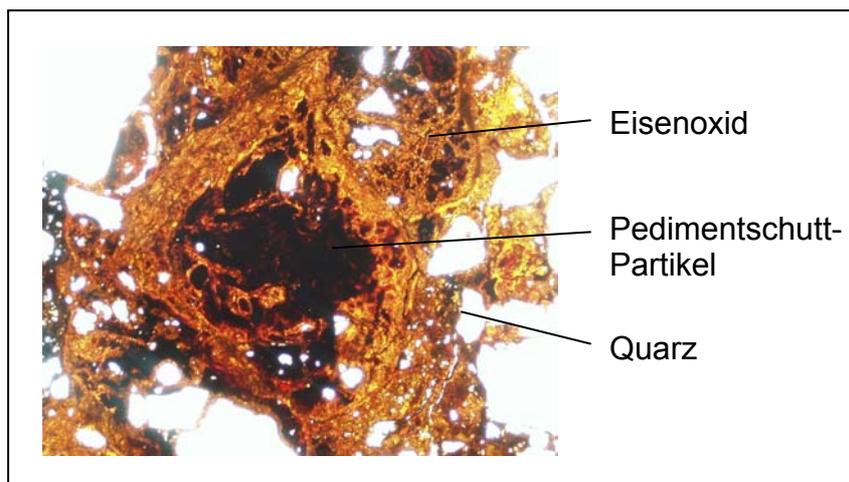


Abb. 22: Zementierter Pedimentschutt (7,5fache Vergrößerung, gekreuzte Polarisatoren).

### Hydromorphierung

Das Decksediment an den Unterhängen ist in der Trockenzeit durch eine auffallend hellgraue bis hellbeige Farbe charakterisiert (z.B. Profile 16, 17). Diese Farbgebung weist auf Nassbleichung des sandigen Substrats hin (HINTERMAIER-ERHARD & ZECH 1997). Grabungen in der regenreichen Periode haben gezeigt, dass Stauwasser und langsam fließendes Hangzugswasser über dem nahezu wasserundurchlässigen Plinthit stagnieren und so zur Reduktion und Abfuhr der färbenden Eisen- und Manganverbindungen führen (FÖLSTER 1983). Rostflecken und Konkretionen zeigen den Ablauf von Redoxreaktionen in den Böden der Bas-Fonds an, die durch jährlich

stark schwankende Wasserverhältnisse gekennzeichnet sind (z.B. Profile 23, 24). Die hohe Durchfeuchtung wirkt sich auch auf die Zersetzung des organischen Materials aus, denn die Oberböden weisen etwas höhere Humusgehalte (3,1 %) als die Ah-Horizonte auf den Pedimenten (2,1 %) auf.

## 5 KLASSIFIZIERUNG DER BÖDEN

Unter Klassifizierung wird hier die umfassende Beschreibung und Benennung typologisch gegliederter Böden sowie die Einordnung in verschiedene Bewertungsklassen verstanden, die durch Evaluierung der bodenphysikalischen und -chemischen Parametern ermittelt wurden.

### 5.1 Aufbau und physikochemische Eigenschaften der Böden im Aguima-Einzugsgebiet

Im folgenden Kapitel wird die charakteristische reliefbestimmte Abfolge der Böden des Untersuchungsgebietes vorgestellt.

#### 5.1.1 Böden der Wasserscheiden

Im Einzugsgebiet des Aguima kommen auf den Scheitelflächen in über 320 m ü NN mittelgründige Böden vor, die im Unterboden Plinthit enthalten (Profil 1 - 3). Die Lage des ursprünglich in tiefen Geländepositionen entstandenen Materials auf der Wasserscheide weist auf Reliefinversion hin (FÖLSTER 1964, GOUDIE 1973, BREMER 1999). Über dem diagnostischen Horizont (2Bsm) befinden sich eine Schicht aus Pedimentschutt und Decksediment, in denen Humifizierung zur Ausbildung eines ochric horizon (Ah) und Lessivierung zur Entstehung eines albic horizon (E) und eines argic horizon (2Bt) geführt haben. Typische Horizontabfolgen der Böden sind somit Ah / E / 2Bt / 2Bsm (Profil 1- 3) (Abb. 23) und Ah / E / Bt / 2Bsm. Eine durchgehende Schicht aus Laub und Humus wurde nicht auf den Böden des Aguima-Einzugsgebietes vorgefunden, da u.a. Termiten und Mikroorganismen eine rasche Umsetzung der Streu unter den tropischen Bedingungen bewirken (KORB 1997). In allen Horizonten dominiert Kaolinit (ca. 80%) in der Tonfraktion, ein low activity clay (LAC), das auch von AHN (1970) und DUCHAUFFOUR (1982) als häufigstes Tonmineral der tropischen Böden Westafrikas beschrieben wird. Illit kommt nur in geringeren Mengen vor, Goethit und Hämatit nur in Spuren. Die Bodenreaktion (pH (H<sub>2</sub>O)) der carbonatfreien Böden ist insgesamt sehr schwach sauer und steigt mit der Tiefe nur geringfügig an. Wie der Gehalt an organischer Substanz (0,8 % C<sub>org</sub>) ist auch die KAK<sub>pot</sub> (4,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Boden bzw. 35,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Ton) im Ah-Horizont am höchsten und im Unterboden gering (0,4 % und 3,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Boden bzw. 13,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Ton im 2Bt). Die Abnahme der Austauschkapazität mit der Tiefe trotz steigenden Tongehalts weist auf die hohe Bedeutung der organischen Substanz als Austauscher hin (FAURE & VOLKOFF 1998).

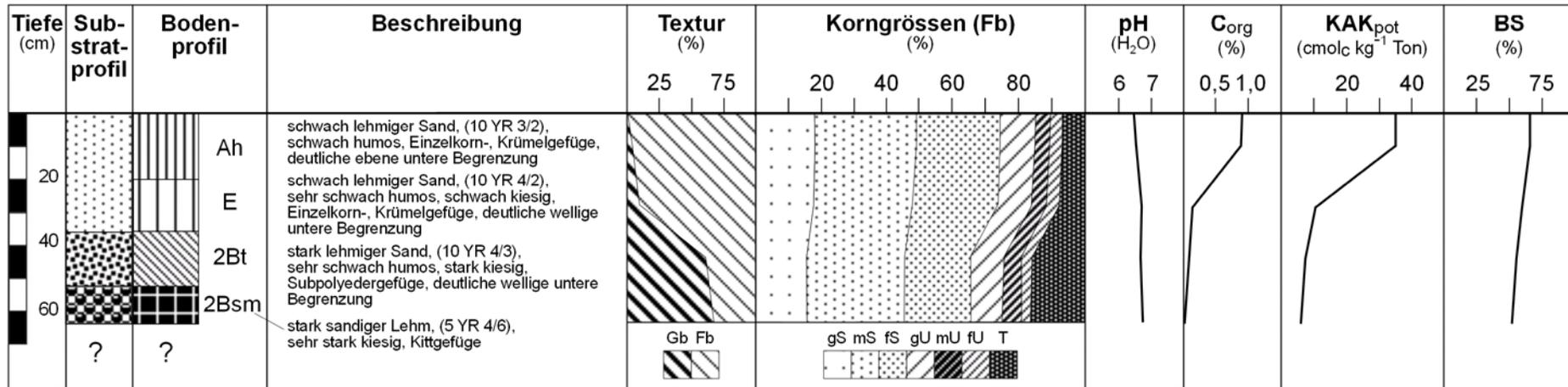


Abb. 23: Aufbau und Eigenschaften der Böden auf den Wasserscheiden (Daten von Profil 1- 3; Legende Abb. 32).

Tab. 6: Nährstoffgehalte der Böden auf den Wasserscheiden (Daten von Profil 1-3, \*Daten von Profil 2); n.e. = nicht ermittelt)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O* (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
Ah	0,04	2,3	0,8	0,1	0,01	0,002	2,3	8,1	0,04	0,51	0,08
E	0,02	0,7	0,6	0,1	0,01	0,001	3,9	4,7	0,03	0,60	0,05
2Bt	0,02	0,7	0,9	0,1	0,01	0,026	4,2	3,9	0,05	1,13	0,05
2Bsm	0,01	0,8	0,7	0,1	0,01	0,047	n.e.	2,4	0,06	1,82	0,03

Auch die BS des Oberbodens ist entsprechend hoch (66 %) und sinkt im Unterboden auf mittlere Sättigungswerte ab. Der Gehalt der Böden an Nährstoffen ist nach LANDON (1984) allgemein als gering zu bewerten (Tab. 6, Tab. A8). Sowohl die austauschbaren Kationen, von denen Ca vor Mg, K und Na in allen Horizonten dominiert, als auch die Hauptpflanzennährstoffe  $N_t$  und  $P_2O_5$  sind im Ah-Horizont konzentriert. Pflanzenverfügbares  $K_2O$  ist jedoch im Unterboden in geringfügig höherer Konzentration ( $7,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  im 2Bt) vorhanden, was auf den Entzug durch die Vegetation an der Bodenoberfläche zurückzuführen sein kann. Anhand der Gehalte der oxalat- und dithionitlöslichen Eisenoxide ist weiterhin die Schichtung unterschiedlicher Substrate erkennbar, denn der aus eisenreichem Pedimentschutt bestehende Unterboden enthält eine deutlich höhere Konzentration als das sandige Decksediment. Der hohe  $Fe_D$ -Gehalt (1,82 %) und das entsprechend kleine  $Fe_O/Fe_D$ -Verhältnis des skelettreichen 2Bsm-Horizontes (0,03) zeigen außerdem, dass die Bodenbildung unter gut drainierten, oxidierenden Bedingungen stattgefunden hat.

### 5.1.2 Böden der Ober- und Mittelhänge

Die mitteltiefen Böden auf den Oberhängen gleichen in Aufbau und Eigenschaften den Böden der Mitelhänge. Humusbildung und Tonverlagerung haben in den Pedisedimenten zur Entstehung der Horizontabfolge Ah / E / 2Bt / 3Bt-Ct / 4Ct (Profil 4, 5, 7, 9, 10, 11, 13; Abb. 24, Abb. A8) bzw. Ah / E / Bt / 2Bt-Ct / 3Ct (Profil 6, 8, 12) geführt. Auch JONES & WILD (1975), FRÄNZLE (1977) und FAURE & VOLKOFF (1998) beschreiben die Lessivierung als dominierenden bodenbildenden Prozess in den Savannenböden Westafrikas, der zur Ausbildung eines argic horizon geführt hat. In der Tonfraktion aller Horizonte kommen wie in den Böden der Scheitelflächen vorrangig Kaolinit (ca. 80 %) und Illit vor, und die Bodenreaktion ( $pH(H_2O)$ ) ist sehr schwach sauer (Oberboden) bzw. schwach sauer (Unterboden). Mit einem Gehalt von 1,1 %  $C_{org}$  bzw. 2,1 % Humus ist der Ah-Horizont der Hangböden als mittel humos zu bezeichnen. Die  $KAK_{pot}$  in diesem Horizont ( $5,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Boden bzw.  $22,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton) ist nach LANDON (1984) mäßig und sinkt parallel zum Humusgehalt mit der Tiefe ab ( $3,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Boden bzw.  $9,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton im 2Bt). Insgesamt liegt die  $KAK_{pot}$  der Hangböden im Aguima-Einzugsgebiet innerhalb der von FAURE & VOLKOFF (1998) für vergleichbare Böden ermittelten Austauschkapazität ( $15 - 25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton). Bei den gemessenen pH-Werten ist die BS im Ah-Horizont erwartungsgemäß als hoch (71 %) und im Unterboden als mäßig zu bewerten (49 % im 2Bt). Vereinzelt ist die BS auch im Unterboden  $> 50 \%$  (Profil 4). Wie bei den Böden der Wasserscheiden

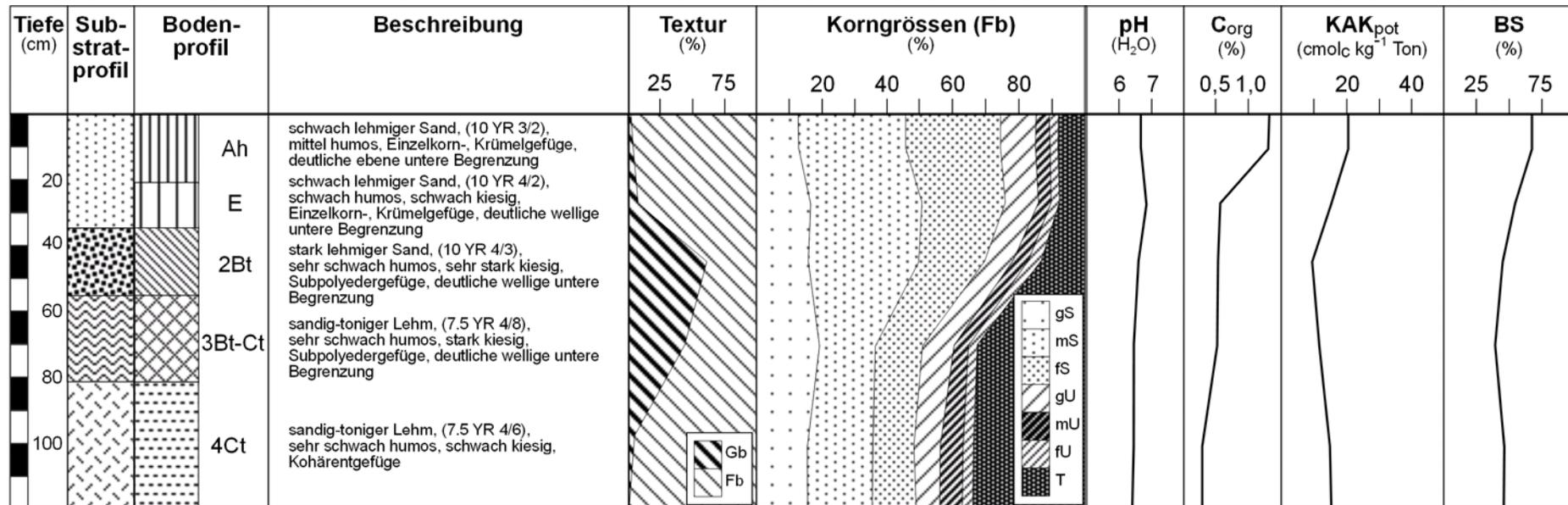


Abb. 24: Aufbau und Eigenschaften der Böden am Ober- und Mittelhang (Daten von Profil 7, 9, 10, 11, 13; Legende Abb. 32).

Tab. 7: Nährstoffgehalte der Böden am Ober- und Mittelhang (Daten von Profil 7, 9, 10, 11, 13; \* Daten von Profil 11)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O* (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
<b>Ah</b>	0,07	2,8	1,2	0,2	0,01	0,005	1,6	11,9	0,04	0,56	0,08
<b>E</b>	0,02	0,6	0,6	0,2	0,01	0,012	3,9	3,3	0,04	0,65	0,06
<b>2Bt</b>	0,03	0,8	0,6	0,2	0,01	0,023	6,3	3,5	0,05	1,07	0,06
<b>3Bt-Ct</b>	0,03	1,1	0,8	0,4	0,02	0,014	8,3	1,8	0,06	2,74	0,03
<b>4Ct</b>	0,02	1,2	1,0	0,2	0,01	0,012	9,9	1,0	0,12	2,91	0,05

sind die Nährstoffgehalte der untersuchten Hangböden nach LANDON (1984) gering (Tab. 7, Tab. A18). Die austauschbaren Kationen liegen auch hier in der Reihenfolge  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} \gg \text{Na}$  vor. Auffällig ist jedoch der erneute Anstieg des Gehalts an Kationen, von pflanzenverfügbarem  $\text{K}_2\text{O}$  und schlecht sowie gut kristallinen Eisenoxiden im Unterboden, was durch Freisetzung aus dem verwitterten Festgestein zu erklären ist. Die Haupt-Pflanzennährstoffe  $\text{N}_t$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  konzentrieren sich erwartungsgemäß im Ah-Horizont und nehmen wie der Humusgehalt mit der Tiefe ab.

### 5.1.3 Böden der Unterhänge

Auffallend mittel- bis flachgründig sind die Böden auf den Unterhängen im Aguima-Einzugsgebiet, die aus sandig-lehmigen Decksedimenten, stellenweise unverfestigtem Pedimentschutt und Plinthit bestehen. Über dem wasserstauenden verfestigten Horizont (2Bsm) folgen ein albic horizon (E), der aufgrund von Nassbleichung in der Trockenzeit hellgrau bis hellbeige gefärbt ist, und ein ochric horizon (Ah) an der Bodenoberfläche. Ein deutlich ausgebildeter Bt-Horizont wurde an den Unterhängen nicht kartiert, was in frakophonem Ländern als *appauvrissement* bezeichnet wird (FAURE 1977a, b) und auf die laterale Verlagerung des Tons durch Hangzugswasser zurückzuführen ist (FAURE & VOLKOFF 1998). Typische an den Unterhängen vorhandene Horizontkombinationen sind somit Ah / E / 2Bsm (Profil 14, 15, 17; Abb. 25, Abb. A8) und Ah / E1 / 2E2 / 2Bsm (Profil 16, 18). Die Zusammensetzung der Tonfraktion und der pH-Wert der Horizonte gleichen den entsprechenden Werten der weiter hangaufwärts liegenden Böden. Der Gehalt an organischer Substanz im Ah-Horizont ist mit 1,8 % jedoch etwas höher als in den Oberböden der Wasserscheiden (0,8 %), Ober- und Mittelhänge (1,4 %), was auf dem verringerten Abbau der Phytomasse infolge der starken regenzeitlichen Vernässung oder auf Anreicherung von erodiertem Bodenmaterial am Hangfuss (JONES & WILD 1975) beruht. Die  $\text{KAK}_{\text{pot}}$  ( $30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton) und BS (79 %) des Oberbodens sind nach LANDON (1984) als hoch zu bewerten, während im Unterboden nur eine geringe Austauschkapazität und BS vorliegen. Insgesamt ist der Nährstoffgehalt aller Horizonte gering und nimmt mit der Bodentiefe kontinuierlich ab (Tab. 8, Tab. A18). Jedoch enthält der Ah-Horizont einen fast doppelt so hohen Gehalt an den austauschbaren Kationen Ca und Mg wie die benachbarten Böden, was auf den leicht erhöhten Humusgehalt und evtl. auf Anreicherung mit dem Oberflächenwasser zurückzuführen ist. Auffällig sind auch der geringe  $\text{Fe}_D$ -Gehalt und das höhere  $\text{Fe}_O/\text{Fe}_D$ -Verhältnis des 2Bsm-Horizontes im Vergleich

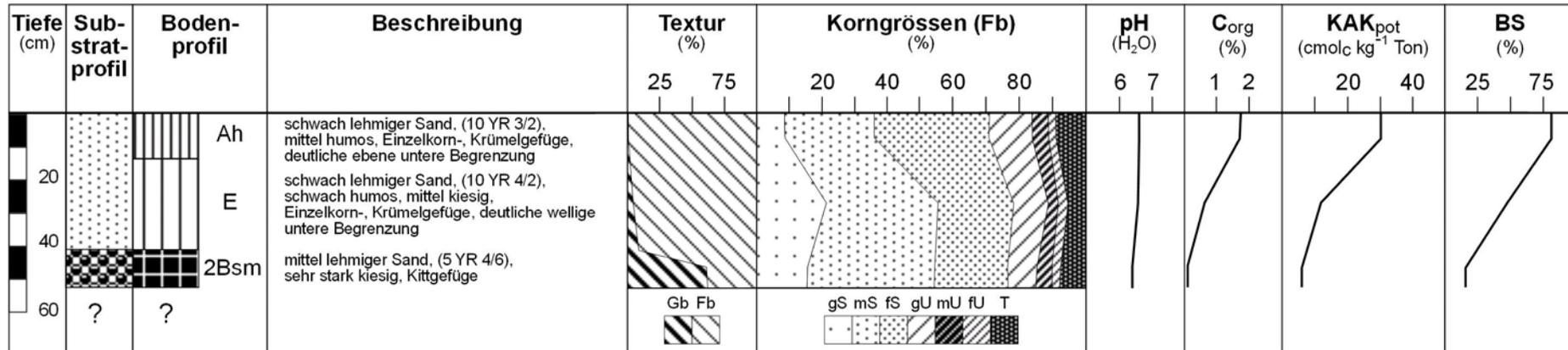


Abb. 25: Aufbau und Eigenschaften der Böden am Unterhang (Daten von Profil 14, 15, 17; Legende Abb. 32).

Tab. 8: Nährstoffgehalte der Böden am Unterhang (Daten von Profil 14, 15, 17; \*Daten von Profil 14)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O* (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
Ah	0,09	4,5	2,4	0,2	0,02	0,002	2,6	23,8	0,04	0,37	0,11
E	0,03	0,5	0,4	0,1	0,01	0,029	4,4	3,3	0,03	0,39	0,06
2Bsm*	0,02	0,4	0,2	0,2	0,01	0,007	4,6	4,0	0,04	1,65	0,02

zum Plinthit der Wasserscheiden. Sie liefern Hinweise auf das relativ geringe Alter der Eisenkrusten am Hangfuß, die heute noch durch Zufuhr eisenreicher Lösungen und Oxidbildung entstehen.

#### 5.1.4 Böden im Randbereich und Zentrum von Bas-Fonds

Die nur lokal Pedimentschutt enthaltenden Kolluvien von Bas-Fonds sind im Randbereich überwiegend sandig und im Zentrum durch sehr variable Substratschichtungen gekennzeichnet. Saprolit wurde nur vereinzelt in ca. 20 dm Tiefe erbohrt. Zu den bodenbildenden Prozessen gehören Humusbildung, Lessivierung und vor allem Hydromorphierung infolge des in der Regenzeit hoch anstehenden Grundwassers (MÄCKEL 1974, MUND & GRUNERT 1999). Bg-Horizonte mit deutlich erkennbaren Eisenflecken sind somit typisch für die phasenweise stark vernässten Talböden. Charakteristische Horizontabfolgen im Randbereich sind Ah / 2Bw / 3Bwg / 3Bg (Profil 20, 21, 22; Abb. 26) oder Ah / 2Btg1 / 2Btg2 (Profil 19) und im Bas-Fonds-Zentrum Ah / Btg / 2Bg1 / 3Bg2 (Profil 23) oder Ah / 2Bg1 / 3Bg2 / 4Bg3 / 4Bg4 (Profil 24, Abb. 27, Abb. A8). Eine weitere Besonderheit stellt das Vorkommen von Smectit (5 - 15 %) neben Kaolinit und Illit in der Tonfraktion dar, der in den feuchten Akkumulationsformen neugebildet wird (MÄCKEL 1974, SCHACHTSCHABEL 1998). Der pH-Wert (H<sub>2</sub>O), der im Randbereich noch den Werten der Hangböden entspricht (6,5 - 7), nimmt zum Zentrum hin ab (5,5 - 6,5), was auf der verstärkten Abfuhr basischer Kationen infolge der starken regenzeitlichen Durchfeuchtung des Bodens beruht. Demzufolge ist die BS des Bodens relativ gering (32 % im Ah von Profil 24) und austauschbares Al freigesetzt (1,38 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Boden im 2Btg1) (MUND & GRUNERT 1999). Der Oberboden enthält wegen des reduzierten Streuabbaus im überfluteten Milieu deutlich mehr organische Substanz (1,9 % C<sub>org</sub> im Randbereich und 2,0 % C<sub>org</sub> im Zentrum der Bas-Fonds) als der Ah-Horizont der in den Pedisedimenten entwickelten Böden. Anmoorige Oberböden, die MÄCKEL (1974) in Dambos der Plateau-Regions Sambias fand, wurden jedoch nicht kartiert. Entsprechend hoch ist auch die Austauschkapazität des Oberbodens (KAK<sub>pot</sub>, KAK<sub>eff</sub> > 10 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Boden bei Profil 23). Auffällig ist jedoch die schwankende Abnahme der Austauschkapazität mit der Tiefe, was durch den Aufbau des Bodens aus Kolluvien mit unterschiedlichem Tongehalt und der variierenden Zusammensetzung der Tonfraktion erklären ist. Die Gehalte der Bas-Fonds an austauschbaren Kationen (Reihenfolge Ca > Mg > K >> Na), N<sub>t</sub>, K<sub>2</sub>O und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sind insgesamt gering (Tab. 9, Tab. 10, Tab. A18). Aus der Verteilung der schlecht und gut kristallinen Eisenoxide kann ebenfalls die Schichtung verschiedener

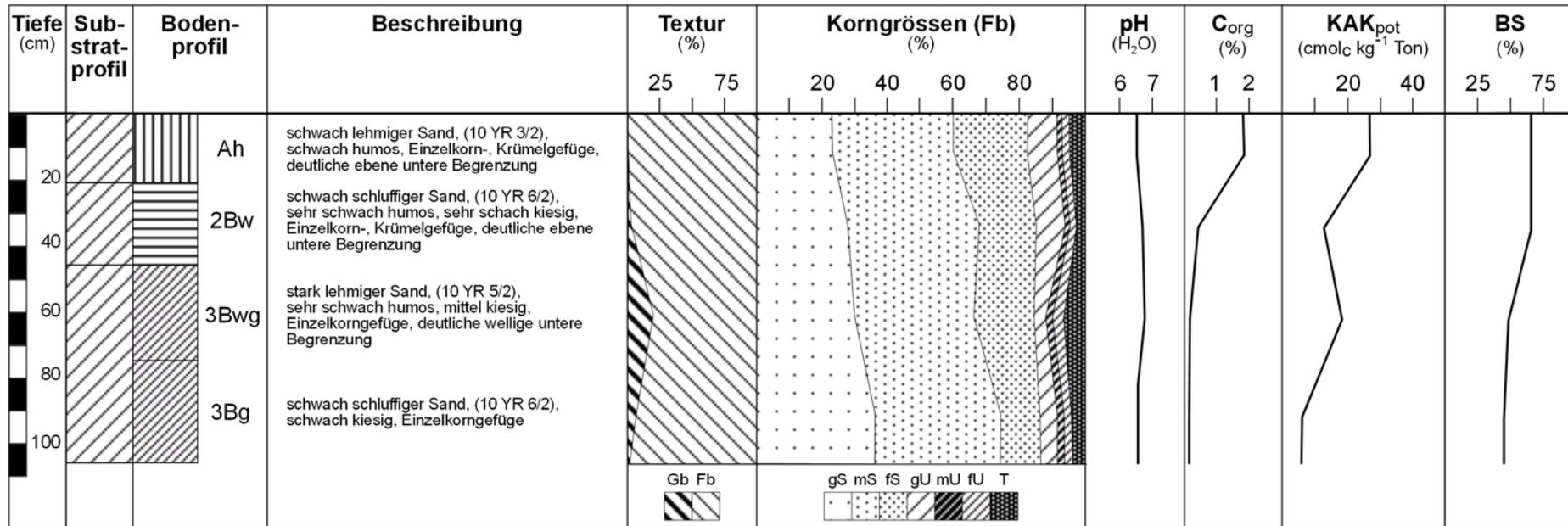


Abb. 26: Aufbau und Eigenschaften der Böden im Randbereich von Bas-Fonds (Daten von Profil 20, 21, 22; Legende Abb. 32).

Tab. 9: Nährstoffgehalte der Böden im Randbereich von Bas-Fonds (Daten von Profil 20, 21, 22, \*Daten von Profil 20)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O* (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
<b>Ah</b>	0,05	2,6	0,8	0,1	0,02	0,000	3,2	8,1	0,07	0,17	0,46
<b>2Bw</b>	0,01	0,6	0,2	0,0	0,02	0,008	2,5	4,7	0,01	0,11	0,16
<b>3Bwg</b>	0,01	0,6	0,1	0,1	0,04	0,015	8,2	3,9	0,02	0,22	0,09
<b>3Bg</b>	0,00	0,3	0,2	0,0	0,01	0,000	3,5	2,4	0,01	0,21	0,07

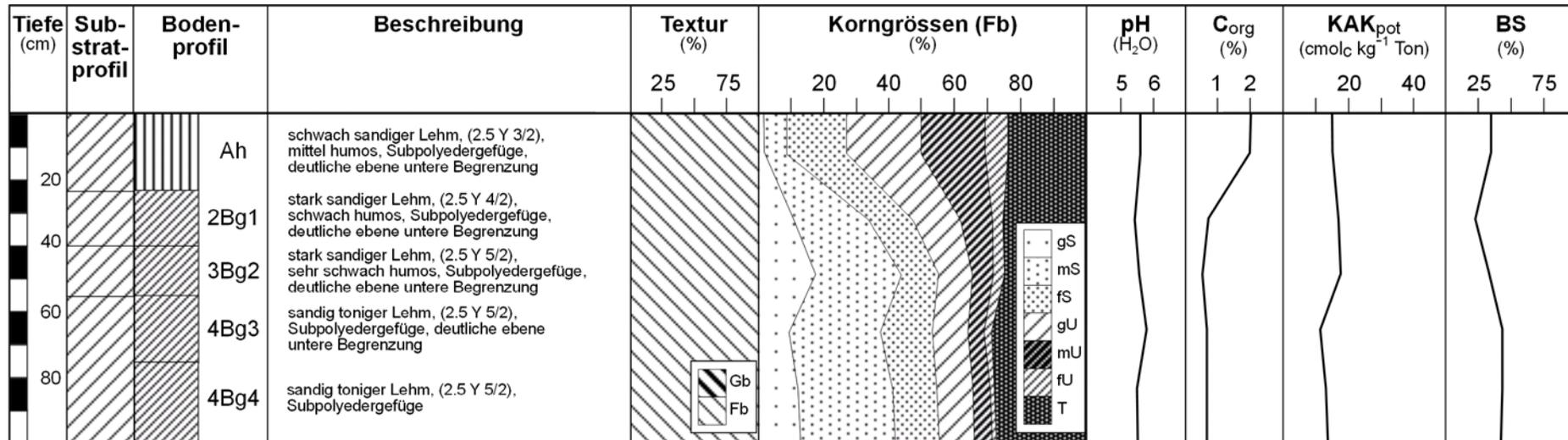


Abb. 27 Aufbau und Eigenschaften des Bodens im Bas-Fonds-Zentrum (Profil 24; Legende Abb. 32).

Tab. 10: Nährstoffgehalte des Bodens im Bas-Fonds-Zentrum (Profil 24)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf.K <sub>2</sub> O (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
<b>Ah</b>	0,12	2,0	1,0	0,3	0,05	0,74	8,1	7,6	0,13	0,16	0,79
<b>2Bg1</b>	0,05	0,6	0,6	0,3	0,05	1,38	7,0	7,5	0,09	0,27	0,35
<b>3Bg2</b>	0,04	0,9	0,9	0,2	0,04	0,60	8,7	5,5	0,03	0,26	0,12
<b>4Bg3</b>	0,04	1,2	1,3	0,2	0,04	0,50	5,4	4,1	0,02	0,40	0,05
<b>4Bg4</b>	0,06	1,3	1,4	0,2	0,05	0,34	5,0	3,9	0,01	0,39	0,03

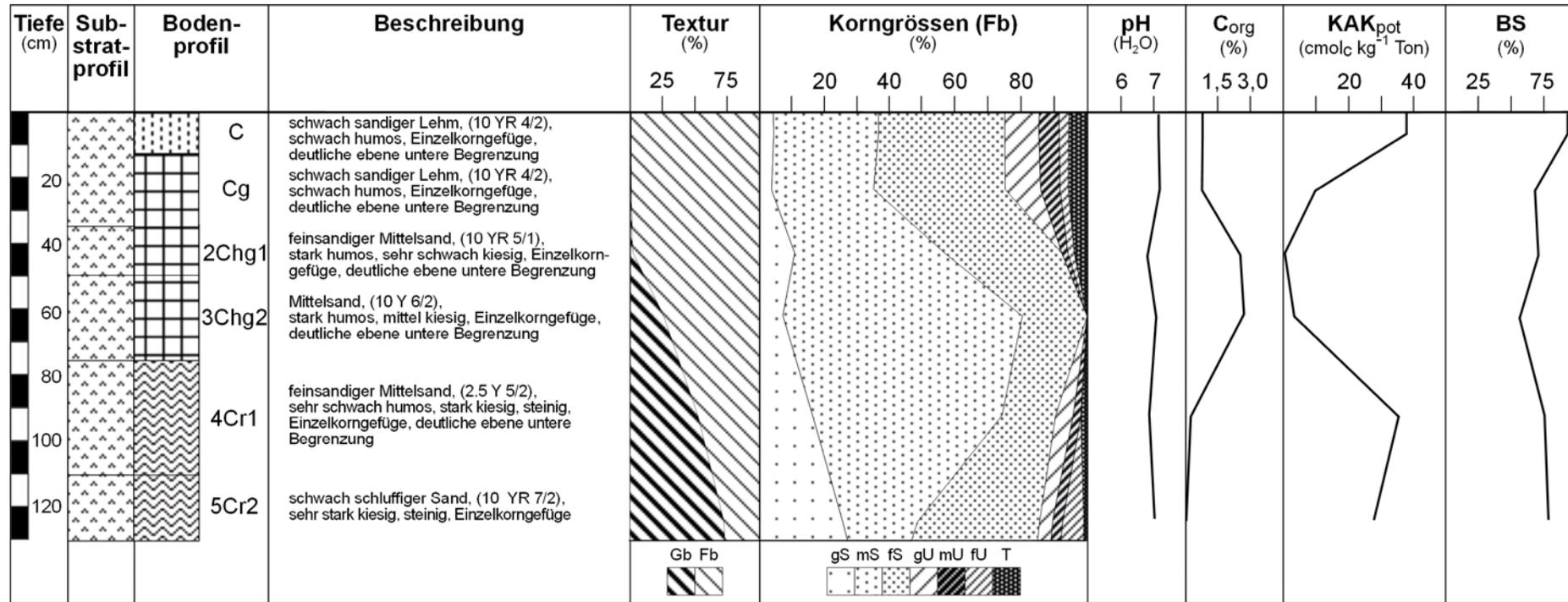


Abb. 28: Aufbau und Eigenschaften des Bodens in der fluvialen Tiefenlinie (Profil 25; Legende Abb. 32).

Tab. 11: Nährstoffgehalte des Bodens in der fluvialen Tiefenlinie (Profil 25)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
<b>C</b>	0,04	4,0	0,9	0,2	0,00	0,083	10,2	24,2	0,17	0,20	0,85
<b>Cg</b>	0,00	1,7	0,9	0,1	0,01	0,083	2,4	2,4	0,15	0,16	0,91
<b>2Chg1</b>	0,06	0,9	0,4	0,0	0,00	0,101	3,2	3,0	0,01	0,03	0,36
<b>3Chg2</b>	0,08	0,3	0,1	0,0	0,00	0,000	0,7	5,2	0,00	0,01	0,17
<b>4Cr1</b>	0,00	0,7	0,2	0,0	0,00	0,000	0,7	2,0	0,00	0,03	0,12
<b>5Cr2</b>	0,00	1,5	0,6	0,1	0,02	0,088	3,2	3,9	0,01	0,03	0,28

Substrate abgeleitet werden, allerdings sind die Konzentrationen deutlich geringer (0,21 % im 4Bg des Bas-Fonds-Randes) als in den benachbarten Pedimenten (2,91 % im 4Ct). Die Reduktion und Abfuhr von Eisen unter den sauerstoffarmen Bedingungen ist als Ursache der geringen  $\text{Fe}_{\text{O}}$ - und  $\text{Fe}_{\text{D}}$ -Gehalte anzusehen.

### 5.1.5 Böden der fluvialen Tiefenlinien

Die Böden im Flussbett des Aguima, der in der Trockenzeit kein Wasser führt, und im Uferbereich bestehen aus sandigen Alluvien, die über Festgestein oder Geröllschichten lagern. Pedogene Prozesse laufen aufgrund wiederholter Sedimentation und Erosion von Substraten nur begrenzt ab. Der Oberboden trocknet in den Monaten November bis März aus, während der Unterboden ganzjährig feucht bleibt und dementsprechend durch redoximorphe Merkmale geprägt ist. Typische Horizontkombinationen der Böden sind C / Cg / 2Chg1 / 3Chg2 / 4Cr1 / 5Cr2 (Profil 25) (Abb. 28, Abb. A8) und Ah / 2Cg1 / 2Cr1 / 3Cr2 (Profil 26). Wie bei den Bas-Fonds kommt in der Tonfraktion neben Kaolinit und Illit auch Smectit (ca. 10 - 20 %) vor. Jedoch sind der pH-Wert ( $\text{H}_2\text{O}$ ) mit 6,6 - 7,2 und die BS (> 50 % in Profil 25) der Flusssedimente deutlich höher als in der Umgebung, was auf die Akkumulation basischer Kationen von den Hängen und Tälern zurückzuführen ist. Die KAK sandiger Horizonte ist aufgrund des Fehlens von Austauschern sehr gering, nur mit organischer Substanz angereicherte Horizonte weisen erhöhte  $\text{KAK}_{\text{eff}}$ -Werte auf. Der Nährstoffgehalt unterscheidet sich kaum von den Böden der Pedimente und der Bas-Fonds (Tab. 11, Tab. A18). Auch der Gehalt an  $\text{Fe}_{\text{O}}$  und  $\text{Fe}_{\text{D}}$  der Alluvien ist ähnlich gering wie bei den Talböden.

### 5.1.6 Böden am Fuß und in der Umgebung von Inselbergen

Flachgründige Böden sind am Fuß des Inselbergs Mont Charles de Gaulle entstanden, wo die Akkumulation und Umsetzung von Streu in der Bildung eines stark humosen Ah-Horizontes ( $\text{C}_{\text{org}}$  3,1 %) über dem Festgestein (R) resultierte (Abb. 29). Der hoch anstehende angewitterte Augengneis bedingt den hohen Gehalt des Bodens an quarzreichen Steinen, Grus und Sand, während der für die umgebenden Böden typische Pedimentschutt fehlt. Auch das Spektrum der Tonminerale unterscheidet sich von dem der Pedisedimente, da hier das 2:1-Tonmineral Illit (55%) dominiert und Kaolinit in geringerer Menge vorkommt. Die Bodenreaktion des Horizontes (pH-Wert ( $\text{H}_2\text{O}$ )), liegt im sehr schwach bzw. schwach sauren Bereich. Der hohe Gehalt an organischer Substanz und Illit spiegelt sich in der hohen KAK ( $\text{KAK}_{\text{pot}}$  40,0  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Boden bzw. 177,1  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton) wider, und auch die BS (86 %)

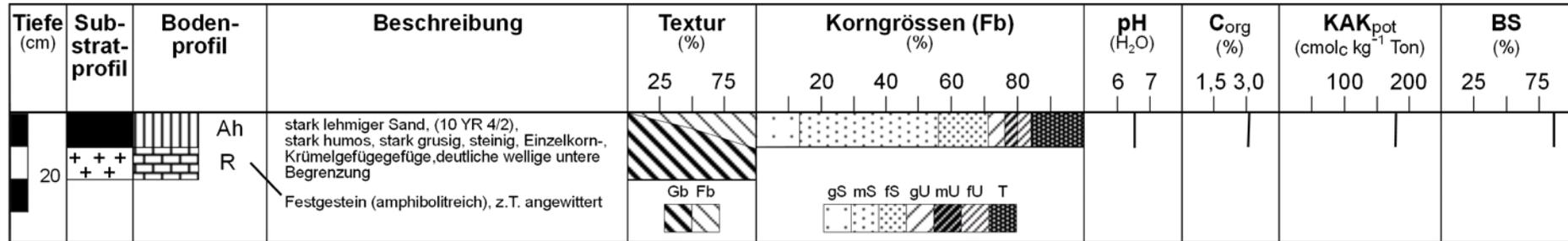


Abb. 29: Aufbau und Eigenschaften des Bodens am Fuß des Inselbergs Mont Charles de Gaulle (Profil 27; Legende Abb. 32).

Tab. 12: Nährstoffgehalte  
des Boden am Fuß des  
Inselbergs Mont Charles  
de Gaulle (Profil 27)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
Ah	0,19	11,0	2,8	0,7	0,04	0,000	25,2	31,0	0,04	0,14	0,27

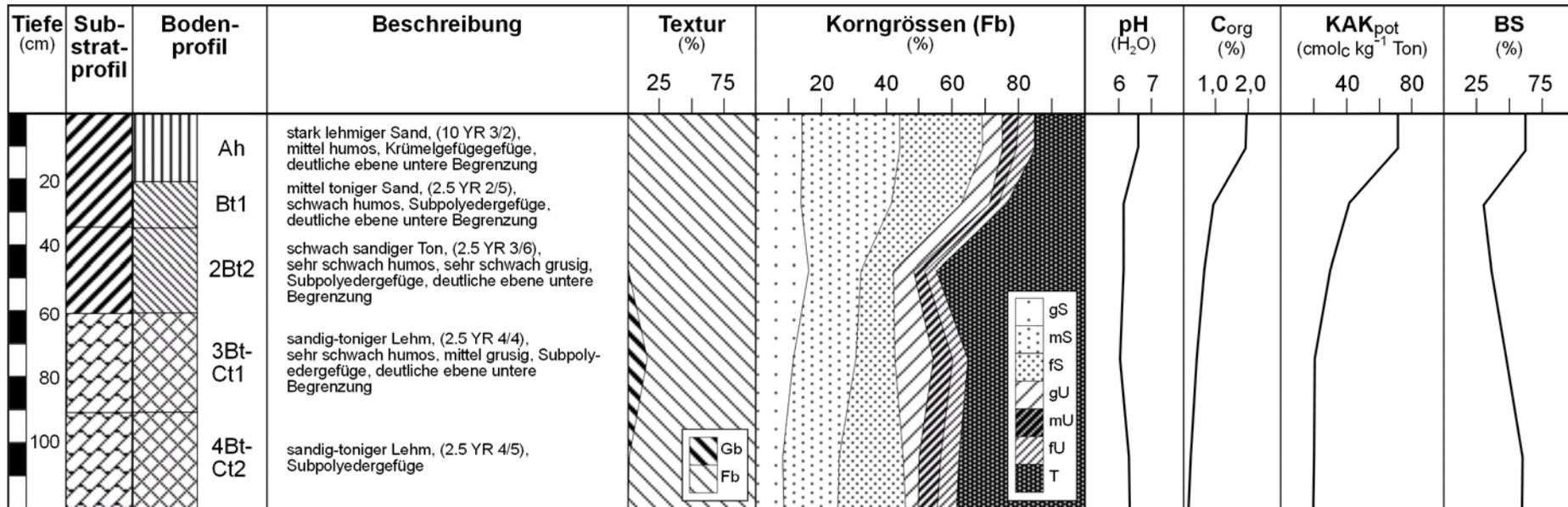


Abb. 30: Aufbau und Eigenschaften des Bodens in der nahen Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle (Daten von Profil 28, 29; Legende Abb. 32).

Tab. 13: Nährstoffgehalte des Boden in der nahen Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle (Daten von Profil 28, 29; \*Daten von Profil 29)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O* (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
Ah	0,11	7,0	2,3	0,5	0,06	0,000	25,2	13,3	0,06	0,52	0,14
Bt1	0,05	2,6	1,3	0,3	0,04	0,776	11,6	4,8	0,07	0,69	0,14
2Bt2	0,06	3,3	1,7	0,5	0,10	0,272	16,8	2,9	0,08	1,14	0,09
3Bt-Ct1	0,04	2,6	1,4	0,2	0,05	0,000	6,1	1,9	0,08	2,02	0,04
4Bt-Ct2	0,04	3,4	1,7	0,3	0,05	0,000	10,0	1,6	0,08	2,13	0,04

ist aufgrund der Freisetzung basischer Kationen aus dem verwitterten amphibolitreichen Gestein hoch. Der Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen  $N_t$ ,  $K_2O$  und  $P_2O_5$  ist ebenfalls bedeutend höher als in den benachbarten Hangböden, jedoch enthalten letztere mehr schlecht und gut kristalline Eisenoxide aufgrund des hohen Schuttgehalts und der Freisetzung aus dem Saprolit (Tab. 12).

In der unmittelbaren Umgebung des Inselbergs schließen sich mittelgründige Böden an, die sich aufgrund ihrer Bildung aus Inselberg-Kolluvien deutlich von den Böden der Pedimente unterscheiden. Toncutane auf Aggregatoberflächen und Porenwänden weisen auf Lessivierung hin, jedoch lässt das Fehlen eines deutlich ausgeprägten Eluvialhorizontes im Oberboden auf laterale Tonverlagerung über das Porensystem des Bodens schließen (EMBRECHTS & SYS 1988). Zwischen den Kolluvien und dem Zersatz liegt ein Übergangshorizont, der Merkmale der Inselberg-Kolluvien (Toncutane, Anreicherung angewitterter Feldspäte und Quarz) und des Saprolits (hoher Kaolinitgehalt) umfasst. Typische Horizontabfolgen sind somit Ah / Bt1 / 2Bt2 / 3Bt-Ct1 / 4Bt-Ct2 (Profil 28, 29; Abb. A8) oder Ah / 2Bt2 / 3Bt-Ct / 4Ct. Wie bereits in Kap. 4.2.6 dargestellt, ist die Schichtung aus jungen Kolluvien über Saprolit anhand der Zusammensetzung der Tonfraktion erkennbar, denn der Oberboden enthält wie der Ah-Horizont am Inselberg-Fuß viel mehr Illit als der kaolinitreiche Saprolit. Auch der große Unterschied zwischen dem  $Fe_D$ -Gehalt der oberen und unteren Bodenhorizonte weist auf Substratschichtung hin. Der zwischen 6 und 7 liegende pH-Wert ( $H_2O$ ) ist mit der Bodenreaktion der benachbarten Hangböden vergleichbar, jedoch sind der  $C_{org}$ -Gehalt (2 %), die  $KAK_{pot}$  ( $70,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ Ton}$ ) und die BS (63 %) des Ah-Horizontes deutlich höher. Letztere werden nach LANDON (1984) als sehr hoch bzw. hoch eingestuft und nehmen mit der Bodentiefe zunächst erwartungsgemäß ab. Im Unterboden steigt die BS erneut an, da bei der Verwitterung primärer Minerale erneut basische Kationen freigesetzt werden (Tab. 13, Tab. A18). Aufgrund des hohen LAC-Gehalts ist die KAK tieferer Bodenbereiche gering. Der Gehalt am Hauptpflanzennährstoff  $K_2O$  ist insgesamt hoch, während  $N_t$  und  $P_2O_5$  in geringen Mengen vorrangig im Oberboden vorkommen.

### 5.1.6 Böden von Termitenbauten

Die Kartierung von Termitenbauten im Untersuchungsgebiet hat ergeben, dass auf den Pedimenten in der Savanne durchschnittlich  $30,9$  Termitenbauten  $ha^{-1}$  vorkommen. Des Weiteren ist der Boden unter auf Pedimenten angelegten Hügeln nicht durch die typische Schichtung sandiger und schuttreicher Sedimente über tonreichem Saprolit

charakterisiert. Stattdessen liegt ein lehmiges Substrat (Lts) bis in 1,5 m Tiefe vor, das durch den Aufwärtstransport tonreichen Materials aus dem Untergrund und die Vermengung mit dem sandigen Hangsediment entstanden ist (PULLAN 1979, JUNGERIUS et al. 1999). Nach NYE (in LEE & WOOD 1971) werden jährlich  $1250 \text{ kg ha}^{-1}$  Boden von Termiten an die Oberfläche befördert, und auch nach SYS (in LEE & WOOD 1971) ist der Lehmgehalt des Bodens mit dem Vorkommen von Termiten der Familie *Macrotermitinae*, die vorrangig im Westafrika vorkommen, korreliert. Pedimentschutt wurde erst in Tiefen  $> 1,5 \text{ m}$  vorgefunden, was auf die Akkumulation großer Mengen Feinboden an der Bodenoberfläche hinweist. Die Verlagerung der ursprünglich geschichteten Substrate durch die Organismen hat ebenfalls zur Veränderung der normalerweise in Böden dieser Geländedeposition ablaufenden pedogenen Prozesse geführt. So konnte unter relativ jungen Bauten keine Lessivierung erkannt werden, was zur Ansprache der Horizonte als cambic horizon führt. Eine typische Horizontabfolge eines über die Bodenoberfläche emporragenden Termitenhügels ist somit C / Bw1 / Bw2 / 2Bw3 (Profil 30) (Abb. 31). Ältere, z.T. bereits eingeebnete Bauten sind ebenfalls durch tiefreichende lehmige Substrate charakterisiert, jedoch konnte hier eine Zunahme des Tongehalts mit der Tiefe und die Horizontabfolge Ah / Bt1 / 2Bt2 (Profil 31) ermittelt werden (Profil 31). Offensichtlich setzt die Lessivierung nach Verlassen der Termitenhügel wieder ein, was durch die erhöhte Infiltration infolge der von Termiten in großer Zahl angelegten Makroporen zusätzlich begünstigt wird (LÉONARD & RAJOT 2001). Wie in den ungestörten Hangböden dominiert auch im Material der Termitenhügel als auch in den Böden unter den Bauten Kaolinit, gefolgt von Illit und Goethit. Auffällig ist jedoch das bis in 1,5 dm konstante Vorkommen von Carbonat, das sonst in keinem Boden der Savanne nachgewiesen wurde und nach LEE & WOOD (1971) bei der Umsetzung pflanzlicher Stoffe durch die Termiten entstanden ist. Entsprechend hoch sind auch die Bodenreaktion ( $\text{pH} (\text{H}_2\text{O})$ ), die im schwach alkalischen Bereich liegt, und die BS, die nahezu 100 % beträgt und sich mit der Tiefe kaum verändert. Der Gehalt an organischer Substanz ist nahe der Bodenoberfläche am höchsten (0,9 %) und nimmt im Unterboden nur geringfügig ab. Im Vergleich zu den benachbarten Hangböden ist der  $C_{\text{org}}$ -Gehalt jedoch gering, was sich ebenfalls in der geringen  $\text{KAK}_{\text{pot}}$  ( $15,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton im Bw1) widerspiegelt. Der Nährstoffgehalt von Termitenbauten ist insgesamt als hoch zu bewerten. So wurden doppelt bis dreifach höhere Gehalte an  $\text{N}_t$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  und basischen Kationen als in den Böden der Umgebung gemessen (Tab. 14, Tab. A18). Zurückzuführen ist der hohe Nährstoffgehalt u.a.

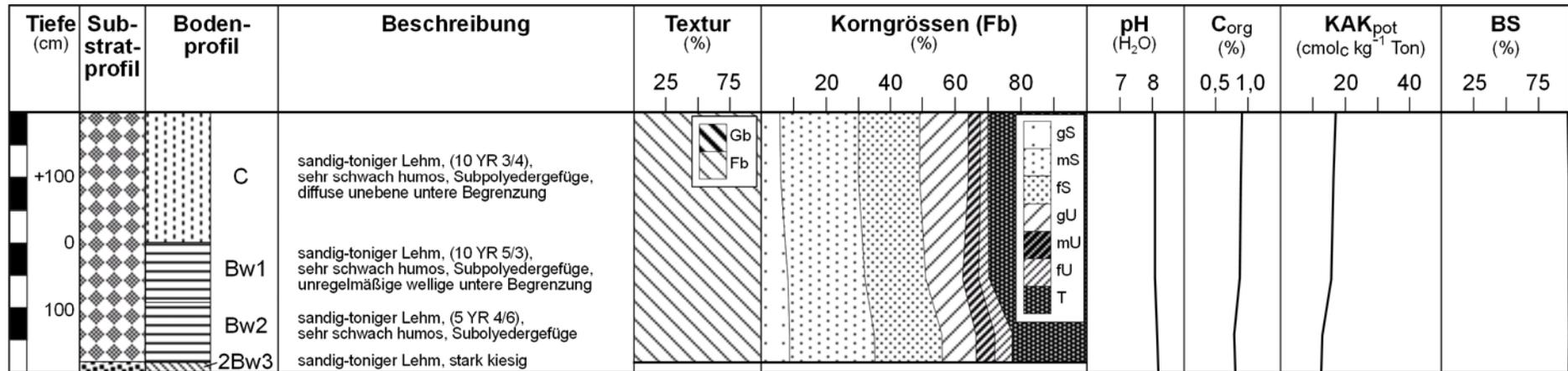


Abb. 31: Aufbau und Eigenschaften des Bodens unter einem Termitenhügel (Profil 30; Legende Abb. 32).

Tab. 14: Nährstoffgehalte des Boden unter einem Termitenhügel (Profil 30; n.e. = nicht ermittelt)

Horizont	N <sub>t</sub> (%)	Ca	Mg	K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Na	Al	verf. K <sub>2</sub> O (mg 100 g <sup>-1</sup> )	verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe <sub>O</sub> (%)	Fe <sub>D</sub> (%)	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
<b>C</b>	0,07	6,3	1,8	1,1	0,00	0,000	n.e.	23,1	0,05	1,22	0,04
<b>Bw1</b>	0,09	5,9	2,3	1,1	0,01	0,000	n.e.	10,7	0,05	1,28	0,04
<b>Bw2</b>	0,04	3,1	1,8	1,0	0,01	0,000	n.e.	4,9	0,07	1,07	0,07
<b>2Bw3</b>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.

Substrat		Bodenhorizont	
	feinkörniges Hangsediment		Ah
	Pedimentschutt		E
	Pedimentschutt + Saprolit		Bt
	Plinthit		Bt - Ct
	quarzreicher Saprolit		Bsm
	tonreicher Saprolit		Bg
	Festgestein (amphibolit-reicher Augengneis)		Bw
	Kolluvium vom Inselberg		Ct
	Kolluvium vom Inselberg + tonreicher Saprolit		C
	Kolluvium		Cg
	Alluvium		Cr

Abb. 32: Legende.

auf Ausscheidungen der Organismen und unvollständig verdaute Reste von Kräutern und Gräsern (ROOSE 1977b). Ein Unterschied zwischen dem oberirdischen Teil des Hügels und dem direkt unterhalb der Erdoberfläche liegenden Teil konnte nicht ermittelt werden, jedoch nimmt der Nährstoffgehalt allgemein in tieferen Bodenbereichen ab. Anhand des oxalat- und dithionitlöslichen Eisens wird ebenfalls die intensive Durchmischung des Bodenmaterials deutlich, da die Oxidgehalte verschiedener Hügelabschnitte bzw. Bodenbereiche ähnlich sind.

### **5.1.7 Böden in Awanla und Serou**

Die Böden in Awanla (Profil 44 - 45) und Serou (Profil 46 - 50) sind grundsätzlich ähnlich aufgebaut wie die Böden im Aguima-Einzugsgebiet (Tab. A18). Sie sind ebenfalls durch die Schichtung allochthoner sandiger und schuttreicher Substrate über Gesteinszersatz charakterisiert und je nach Lage im Gelände durch Humifizierung, Lessivierung, Plinthisation oder/und Hydromorphierung geprägt. Eine Besonderheit in Awanla stellt jedoch die bis zu 15 cm mächtige Überdeckung der Böden mit äolischen Sedimenten dar, die während einer Phase mit starkem Holzeinschlag und Übernutzung des Bodens in den 50er und 60er Jahren dieses Jahrhunderts abgelagert wurden.

## **5.2 Klassifizierung der Böden in umfassenden Systemen**

### **5.2.1 Übersicht über internationale Klassifikationssysteme**

In vielen westafrikanischen frankophonen Ländern wurde die Bodenklassifizierung seit der Kolonialzeit nach dem französischen System *Classification des Sols* (CPCS 1967) vorgenommen. Dieses System wurde im Jahre 1995 durch die *Référentiel Pédologique* (INRA 1995) ersetzt, das keine Klassifikation tropischer Böden mehr vorsieht. Demzufolge haben einige Länder die Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF 1975) übernommen, während andere die Böden nach der Revised Legend (FAO-UNESCO 1974, FAO-UNESCO-ISRIC 1988) ansprechen. Die nationalen Bodenkarten der südlich der Sahara liegenden Länder Afrikas sind daher auf der Grundlage verschiedener Bodenklassifikationssysteme entstanden, woraus Probleme u.a. bei der wissenschaftlichen Kommunikation und dem Transfer von Technologien resultieren. Die Entwicklung eines global akzeptierten bodenkundlichen Klassifikationssystems wie der *World Reference Base* (FAO-ISRIC-ISSS 1998) ist daher notwendig, um die Identifikation der Böden der Erde zu erleichtern, die Korrelation nationaler Systeme und den Austausch bodenkundlicher Daten zu ermöglichen (FAO-UNESCO-ISRIC 1998).

In dieser Arbeit werden die Böden des Untersuchungsgebietes nach den folgenden Klassifikationssystemen benannt:

### **Classification des Sols**

Von AUBERT wurde im Jahre 1965 die *Classification des Sols* (CdS) vorrangig für die in frankophonen Ländern u.a. bodenkundlich tätige Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) erstellt. Diese Klassifikation wurde 1967 in das gleichnamige System der Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS) integriert, in dem weitere Kategorien enthalten und z.T. anders benannt sind. Das ökologisch-pedogenetische System ist hierarchisch aufgebaut und gruppiert Böden je nach Entstehung, pedoklimatischen Bedingungen und charakteristischen Merkmalen in die *unités majeures classe, sous-classe, groupe* und *sous-groupe*. Weitere Unterteilungen erfolgen u.a. anhand von Ausgangsmaterial, Variabilität und Textur des Oberbodens in die *unités mineures famille, série, type* und *phase*.

### **Soil Taxonomy**

Die in den USA entstandene *Soil Taxonomy* (Soil Tax.) (SOIL SURVEY STAFF 1975, 1999) ist ein morphologisches deduktives Klassifikationssystem, nach dem Böden über sog. diagnostische Horizonte in order eingeteilt werden. Diese Horizonte weisen Merkmale auf, deren Ausprägungsgrad im Hinblick auf Erscheinungsbild, Messbarkeit, Bedeutung, Relevanz und quantitative Kriterien ein festgesetztes Mindestmaß erreicht haben. Die Zuordnung in die Kategorien suborder, great group und subgroup erfolgt nach morphologischen, physikochemischen Bodeneigenschaften oder bodenklimatischen Bedingungen, die durch lateinische und griechische Wortstämme dargestellt und zu Bodennamen kombiniert werden. Eine zusätzliche Einteilung der Böden in family und serie wird aufgrund weiterer Merkmale vorgenommen, die dem Bodennamen als Adjektiv vorangestellt werden (SOIL SURVEY STAFF 1975).

### **Revised Legend of the Soil Map of the World**

Für die umfassende Darstellung der weltweit verbreiteten Boden-Ressourcen in der *Soil Map of the World* (SMW) (Maßstab 1:5 Mio), deren Kartenblätter von 1974 bis 1981 veröffentlicht wurden, hat die FAO-UNESCO im Jahre 1974 eine Kartenlegende entwickelt. Da diese für die Korrelation verschiedener Klassifikationssysteme zunehmend an Bedeutung gewann, wurde 1988 bzw. 1997 die *Revised Legend* (Rev. Leg.) von der FAO herausgegeben, bei der es sich nicht um ein hierarchisches Klassifikationssystem

sondern um eine Gruppierung von Böden in drei kategorischen Ebenen handelt. Die erste Ebene umfasst 28 *major soil groups*, die jeweils durch diagnostische Horizonte gekennzeichnet sind. Die weitere Differenzierung in insgesamt 153 *soil units* wird nach diagnostischen Eigenschaften vorgenommen. Die in der Karte dargestellten *map units* werden zusätzlich durch Körnungsklassen der Oberböden, Hangneigungsklassen und Phasen beschrieben. Viele Begriffe und Namen dieser Nomenklatur stammen aus bestehenden Klassifikationen bzw. wurden neu geschaffen (FAO 1993a).

### **World Reference Base of Soil Resources**

Die World Reference Base for Soil Resources (WRB) ist aus der International Reference Base for Soil Classification (IRB) hervorgegangen, deren Erstellung als Grundlage u.a. für die Korrelation bestehende Bodenklassifikationssysteme 1980 von der FAO veranlasst wurde. Das zunächst entwickelte 20 *soil units* umfassende IRB wurde 1992 mit der Revised Legend der FAO zu einem Klassifikationssystem, der WRB, zusammengefasst, wobei der grundlegende Aufbau von der Revised Legend übernommen wurde. Die oberste Ebene der Kategorisierung umfasst 30 *reference soil groups*, deren Böden diagnostische Horizonte, diagnostische Eigenschaften oder diagnostische Materialien aufweisen. Mittels *modifier* oder *qualifier* (insgesamt 121) werden dominante sekundäre Bodenbildungsprozesse berücksichtigt, die zur Festlegung der zweiten Kategorisierungsebene führen (NACHTERGAELE et al. 2000). Die Reihenfolge mehrerer *qualifier*, die dem Bodennamen als Adjektive vorangestellt werden, wird nach Prioritätsregeln aufgestellt. Insgesamt erleichtert die WRB die Identifikation, Kennzeichnung und Benennung von Haupt-Bodengruppen sowie die Korrelation nationaler Systeme (FAO-ISRIC-ISSS 1998).

### **5.2.2 Benennung der Böden in umfassenden Klassifikationssystemen**

Die im Einzugsgebiet des Aguima überwiegend vorkommenden Böden (s. 5.1) werden nach den unter 5.3.1 dargestellten Klassifikationssystemen folgendermaßen benannt:

#### Böden der Wasserscheiden (Ah / E / 2Bt / 2Bsm)

CdS: Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés

sur matériaux kaolinique issu de granite et granito-gneiss à deux mica,  
sablonneux

Soil Tax.: Typic Plinthustalfs, sandy over loamy-skeletal, kaolinitic, nonacid,  
isohyperthermic, shallow

Rev. Leg.: Albic Plinthosols, petroferric phase (PTa)

WRB: Albi-Petric Plinthosols

#### Böden der Ober- und Mittelhänge (Ah / E / 2Bt / 3Bt-Ct / 4Ct)

CdS: Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions  
sur matériaux kaolinique issu de granite et granito-gneiss à deux mica,  
sablonneux

Soil Tax.: Kanhaplic Haplustalfs, loamy over clayey-skeletal over clayey, kaolinitic,  
nonacid, isohyperthermic

Rev. Leg.: Haplic Acrisols (ACh)

WRB: Endoskeleti-Albic Acrisols

#### Böden der Unterhänge (Ah / E / 2Bsm)

CdS: Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés  
sur matériaux kaolinique issu de granite et granito-gneiss à deux mica,  
sablonneux

Soil Tax.: Plinthic Petraquepts, sandy over loamy-skeletal, kaolinitic,  
isohyperthermic, shallow

Rev. Leg.: Dystric Plinthosols, petroferric phase (PTd)

WRB : Albi-Petric Plinthosols (Stagnic)

#### Böden im Randbereich von Bas-Fonds (Ah / 2Bw / 3Bwg / 3Bg)

CdS: Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley à nappe perchée  
sur granito-gneiss à deux micas, sablonneux, colluvial

Soil Tax.: Typic Epiaquents, sandy, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic

Rev. Leg.: Eutric Gleysols (GLE)

WRB: Eutri-Arenic Gleysols

#### Böden im Zentrum von Bas-Fonds (Ah / 2Bg1 / 3Bg2 / 4Bg3 / 4Bg4)

CdS: Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley à nappe perchée  
sur granito-gneiss à deux micas, sablonneux / limoneux, colluvial

Soil Tax.: Typic Epiaquents, sandy over loamy, kaolinitic, superactive, acid,  
isohyperthermic

Rev. Leg.: Dystric Gleysols (GLd)

WRB: Orthidystic Gleysols

Böden in fluvialen Tiefenlinien (C / Cg / 2Chg1 / 3Chg2 / 4Cr1 / 5Cr2)

CdS: Sols minéraux bruts non climatiques d'apport alluvial modal  
sur embréchite, sablonneux, alluvial

Soil Tax.: Typic Ustifluvents, sandy, kaolinitic, isohyperthermic

Rev. Leg.: Eutric Fluvisols (FLe)

WRB: Orthieutri-Arenic Fluvisols

Böden am Fuß von Inselbergen (Ah / R)

CdS: Sols minéraux bruts non climatiques d'érosion Lithosols  
sur granito-gneiss à deux micas, limoneux

Soil Tax.: Lithic Ustorthents, loamy, kaolinitic, superactive, nonacid, isohyperthermic,  
shallow

Rev. Leg.: Eutric Leptosols (LPe)

WRB: Molli-Lithic Leptosols (Eutric)

Böden in der unmittelbaren Umgebung von Inselbergen (Ah / Bt1 / 2Bt2 / 3Bt-Ct1 / 4Bt-Ct2)

CdS: Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions  
sur granito-gneiss à deux micas, sablonneux

Soil Tax.: Kanhaplic Rhodustalfs, loamy, illitic over kaolinitic, nonacid,  
isohyperthermic

Rev. Leg.: Haplic Acrisols (ACh)

WRB: Rhodic Acrisols

Böden unter Termitenbauten (C / Bw1 / Bw2 / 2Bw3)

CdS: Sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisées  
sur matériaux kaolinique issu de granite et granito-gneiss à deux micas,  
limoneux

Soil Tax.: Typic Haplustepts, loamy, kaolinitic, active, isohyperthermic

Rev. Leg.: Eutric Cambisols (CMe)

WRB: Orthieutric Cambisols

Vergleichbare Klassifizierungen wurden von SANCHEZ (1976), DUCHAUFOR (1976), FAURE (1977a,b), FITZPATRICK (1980), GREENLAND (1981), IGUÉ & YOUSOUF (1995), KOGBLERI & AZONHOUME (1981), MOORMANN (1981), SEMMEL (1982), MØBERG & ESU (1991), BRIDGES et al. (1998), DECKERS et al. (1998), FAURE & VOLKOFF (1998), IGWE et

al. (1999) und IGUÉ (2000) für ähnlich aufgebaute Böden Benins bzw. Westafrikas vorgenommen.

### 5.2.3 Bodenkorrelation in verschiedenen Klassifikationssystemen

Die Bezeichnungen der Horizonte nach den Nomenklaturen der verschiedenen Klassifikationssysteme unterschieden sich vorrangig hinsichtlich der die pedogenen Eigenschaften charakterisierenden Suffixe, während die Haupt-Horizontsymbole generell ähnlich sind (Tab. 15). Dabei ist der Unterschied zwischen der französischen Nomenklatur und den englischsprachigen aufgrund der Entstehungsgeschichte letzterer erwartungsgemäß am größten. Eine Besonderheit der Soil Tax. stellt jedoch der *kandic horizon* dar, der in den 90er Jahren zur leichteren Unterscheidung von *Alfisols*, *Ultisols* und *Oxisols* ins amerikanische Klassifikationssystem aufgenommen wurde (RICHTER & BABBAR 1991).

Tab. 15: Bezeichnung der häufig im Aguima-Einzugsgebiet vorkommenden Horizonte nach verschiedenen Nomenklaturen (*kursiv* = diagnostischer Horizont, Material, Eigenschaft oder Phase nach Soil Tax., Rev. Leg., WRB)

Horizont-Charakteristika	CdS	Soil Tax.	Rev. Leg.	WRB
helle Farbe oder niedriger C <sub>org</sub> -Gehalt	A <sub>1</sub> horizon humifère	Ah horizon with organic matter	Ah <i>ochric horizon</i>	Ah <i>ochric horizon</i>
helle Farbe und an Ton, freien Eisenoxiden verarmt	A <sub>2</sub> horizon éluvial albique	E <i>albic horizon</i>	E <i>albic horizon</i>	E <i>albic horizon</i>
Tongehalt höher als der des darüber liegenden Horizontes	Bt horizon argilluvial	Bt <i>argillic horizon</i>	Bt <i>argic horizon</i>	Bt <i>argic horizon</i>
	/	Bt <i>kandic horizon</i>	/	/
mit Umwandlungsmerkmalen im Vergleich zum darunter liegenden Horizont	(B) horizon structural	Bw <i>cambic horizon</i>	Bw <i>cambic horizon</i>	Bw <i>cambic horizon</i>

Tab. 15: Fortsetzung

Horizont-Charakteristika	CdS	Soil Tax.	Rev. Leg.	WRB
mit Umwandlungsmerkmalen im Vergleich zum darunter liegenden Horizont	(B) horizon structural	Bw <i>cambic horizon</i>	Bw <i>cambic horizon</i>	Bw <i>cambic horizon</i>
zusammenhängend verhärtetes Material mit Eisen als Zementierungsmittel	B <sub>2</sub> fem horizon pétro- ferrique	Bsm cemented horizon with plinthite	Bsm <i>petroferric phase</i>	Bsm <i>petroplinthic horizon</i>
Bodenmaterial mit gleyic oder stagnic Farbmuster	Bg horizon à caractère rédoxique	Bg strong gleying horizon	Bg <i>gleyic o. stagnic properties</i>	Bg <i>gleyic o. stagnic properties</i>
kaum von der Bodenbildung beeinflusstes, tonreiches Material	C	Ct	Ct	Ct
kaum von der Bodenbildung beeinflusstes, reduziertes Material	C	C	Cr	Cr
Festgestein	R	R	R	R

Auch im Aguima-Einzugsgebiet wurden vereinzelt geringfügig mit Ton angereicherte und durch sehr geringe  $KAK_{pot}$  gekennzeichnete Horizonte als *kandic horizon* ausgewiesen, die nach der Nomenklatur der Rev. Leg. sowie der WRB weiterhin als *argic horizon* bezeichnet werden (s. 5.3 Bodenvariabilität).

Die Korrelation der Bodeneinheiten nach den vier Klassifikationssystemen ist z.T. recht schwierig. Sowohl die unterschiedliche Anzahl der Kategorisierungsebenen als auch die Verwendung ähnlicher Namen für Kategorien gleicher Ebenen jedoch verschiedenen Inhalts wie bei der CdS und der Soil Tax. (SKOWRONEK 1983) erschweren Parallelisierungen (Tab. 16).

Die auf den Wasserscheiden, Ober-, Mittel- und Unterhängen vorkommenden Böden des Untersuchungsgebietes werden nach der CdS alle zur classe *Sols à sesquioxides de fer et manganèse* gestellt und als *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* angesprochen. Eine Unterscheidung in Böden mit verfestigtem Unterbodenhorizont (*indurés*) bzw. mit hohem Anteil an Pedimentschutt (*à concrétions*) findet erst auf der Ebene der sous-groupe statt. Nach der Soil Tax., Rev. Leg. und WRB werden die Böden jedoch verschiedenen *order, soil groups* bzw. *reference groups*, zugeordnet, d.h., dass eine Unterscheidung bereits auf höchster Kategorisierungsebene stattfindet. So werden die im Aguima-Einzugsgebiet vorkommenden Böden nach der Soil Tax. als *Alfisols* (Wasserscheide, Ober- und Mittelhang) bzw. *Entisols* (Unterhang) und nach der Rev.

Leg. sowie WRB als *Acrisols* (Ober- und Mittelhang) bzw. *Plinthosols* (Wasserscheide , Unterhang) klassifiziert.

Tab. 16: Kategorien verschiedener Klassifikationssysteme (D'HOORE 1968, Tab. 1.2, erweitert)

Kategorien	Klassifikationssystem			
	CdS (1967)	Soil Tax. (1999)	Rev. Leg. (1997)	WRB (1998)
1	classe	order	soil group	reference group
2	sous-classe	suborder	soil unit	qualifier
3	groupe	great group	subunit	
4	sous-groupe	subgroup		
5	famille	family		
6	série	serie		
7	type			

An dieser Stelle sei auf den unterschiedlichen Stellenwert verschiedener pedogener Prozesse in frankophonen und anglophonen Ländern hingewiesen, was zur grundsätzlich unterschiedlichen Gruppierung von Böden innerhalb der Klassifikationssysteme geführt hat. In der hierarchisch gegliederten CdS wird die Eisendynamik oder die Verbraunung der Lessivierung vorangestellt, so dass alle durch Tonverlagerung gekennzeichneten Böden zur classe *Sols à sesquioxydes de fer et manganèse* oder zur classe *Sols brunifiés* gestellt werden. Erst auf der Stufe der groupe findet eine Unterscheidung in *peu lessivés* bzw. *lessivés* aufgrund einer bestimmten Tongehaltsdifferenz zwischen dem horizon éluvial albique und dem horizon argilluvial statt. Eine entsprechende classe mit ausschließlich durch Tonverlagerung gekennzeichneten Böden wie bei der Soil Tax., Rev. Leg. und WRB, in denen bereits auf höchster Kategorisierungsebene zwischen Böden mit *argillic* bzw. *argic* oder anderen Horizonten unterschieden wird, existiert nicht. Ein ähnliches Problem liegt nach MOORMANN (1981) bei den *Sols ferrallitiques* vor, die aufgrund des hohen Stellenwertes der Ferralisation und der untergeordneten Bedeutung der Tonverlagerung z.T. nur schwer mit *Ferralsols* und *Oxisols* korreliert werden können.

Die Korrelation der nach den verschiedenen Klassifikationssystemen benannten Böden, d.h. besonders zwischen der CdS auf der einen und der Soil Tax., Rev. Leg. und WRB auf der anderen Seite, ist somit schwierig. Bei letzteren sind allgemein *Alfisols* mit *Luvisols* bzw. *Lixisols* und *Ultisols* mit *Acrisols* vergleichbar (MOORMANN 1981). Bei den untersuchten Böden des Aguima-Einzugsgebietes sind jedoch *Afisols* mit *Acrisols* zu korrelieren. Sie weisen definitionsgemäß einen *argillic* bzw. *argic horizon* auf, sind allerdings durch eine BS (z.B. 48 % bei Profil 9) gekennzeichnet, die im Überlappungsbereich zwischen den von der Soil Tax. und Rev. Leg. bzw. WRB festgelegten Grenzwerten liegt. So beträgt der BS-Grenzwert zur Unterscheidung von *Ultisols* und *Alfisols* 35 %, während bei der Rev. Leg. und WRB ein Wert von 50 % zur Abgrenzung der *Acrisols* von *Lixi-* und *Luvisols* festgelegt wurde. Anhand dieser Korrelation wird die Problematik deutlich, die bei der Verwendung desselben Kriteriums, der BS, jedoch mit unterschiedlichen Grenzwerten für die Zuordnung eines Bodens zu einer bestimmten Kategorie entsteht. Die Festlegung absolut identischer Kriterien in den verschiedenen Klassifikationssystemen wäre vorteilhaft, um derartige Überlappungen zu vermeiden und Korrelationen zu vereinfachen.

In den Bas-Fonds, d.h. sowohl im Randbereich als auch im Zentrum kommen Böden der classe *Sols hydromorphes* vor, die aufgrund ihres geringen Gehalts an organischer Substanz zur sous-classe *minéraux ou peu humifères* und des jährlich stark schwankenden Wasserhaushalts zur groupe à *pseudogley* gehören. Aufgrund der z.T. bis zur Bodenoberfläche reichenden diagnostischen *stagnic properties* werden die Böden der Täler nach der Soil Tax. der *Aquic* subgroup der *Entisols* und nach der Rev. Leg. und WRB den *Gleysols* zugeordnet.

Vergleichsweise leicht ist die Korrelation von im Untergrund und am Ufer von Flüssen entwickelten Böden. Der Aufbau aus Alluvium führt zur Zuordnung zu den *Sols minéraux bruts non climatiques d'apport alluvial*, zur *Fluvic suborder* innerhalb der *Entisols* und zu *Fluvisols*. Auch hier wird deutlich, dass die eindeutige Klassifizierung der Böden auf verschiedenen Ebenen innerhalb der Systeme stattfindet: CdS – groupe (3. Ebene), Soil Tax. – suborder (2. Ebene), Rev. Leg. und WRB – soil bzw. reference group (1. Ebene). Ebenfalls einfach ist die Parallelisierung von am Fuß von Inselbergen gebildeten, flachgründigen Böden, jedoch auf weiter untergeordneten Kategorisierungsebenen. Nach der CdS und der Soil Tax. werden diese Böden eindeutig auf der vierten Ebene (sous-groupe *Lithosols* der *Sols minéraux bruts non climatiques d'érosion* bzw. *Lithic* sub-group der Ustorthent klassifiziert, nach der Rev. Leg. und WRB auf der obersten.

Die Böden in der unmittelbaren Umgebung des Inselbergs werden wie die Hangböden als *Sols ferrugineux tropicaux lessivés*, *Alfisols* oder *Acrisols* klassifiziert. Die besondere Farbgebung des Substrats wird durch die Zuordnung zur great group *Rhodustalf* (Soil Tax.) bzw. durch den *qualifier Rhodic* (WRB) berücksichtigt.

#### 5.2.4 Anmerkungen zu Klassifikationssystemen

Die Anwendung der CdS für die Klassifizierung der Böden auf Wasserscheiden und in Unterhange hat sich z.T. als schwierig erwiesen. So werden alle Böden, die durch einen 2Bsm-Horizont charakterisiert sind, als *Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés* ausgewiesen, auch wenn kaum Tonverlagerung vorliegt. Eine Zuordnung zu den *Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés* ist aufgrund des Fehlens einer sous-groupe, die Böden mit verfestigten Horizonten umfasst, nicht möglich.

Eine weitere Anmerkung betrifft den Pedimentschutt, der auf den Bodenkarten des HVO als *concrétions* bezeichnet wird (FAURE 1977a,b). Böden ohne sekundäre Verfestigung der eisenreichen Partikel werden zur sous-groupe *à concrétions* innerhalb der *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* gestellt, während Böden mit verkittetem Pedimentschutt der sous-groupe *indurés* innerhalb der gleichen groupe zugeordnet werden. Der Pedimentschutt bleibt hier trotz des umfangreichen Vorkommens unberücksichtigt, was im Vergleich zu den schutthaltigen, nicht verfestigten Böden irreführend ist.

Die Anwendung der Soil Tax., Rev. Leg. und der WRB für die Klassifizierung der untersuchten Böden ist generell einfach, da der dichotome Aufbau der Anleitungen und eindeutige Definitionen der diagnostischen Kriterien die Benennung der Böden erleichtern. Jedoch ist die Menge der Auswahlkriterien auf den unteren Kategorisierungsebenen der Soil Tax. z.T. recht groß, was die Anwendungsfreundlichkeit reduziert. Auch sind die zusammengesetzten, oft etwas fremd klingenden Bodennamen des amerikanischen Klassifikationssystems ungewöhnlich im Vergleich zu den besser verständlichen Namen der CdS. Ein weiterer Nachteil der nicht hierarchisch aufgebauten Rev. Leg. und WRB besteht in der starken Generalisierung der Böden, die zwar für die weltweite Verwendung notwendig ist, jedoch viele lokale oder regionale Besonderheiten außer Acht lässt. So tragen die Böden in der Umgebung von Inselbergen z.T. den gleichen Namen wie die Böden der Pedimente, obwohl sie nur begrenzt und an bestimmten Positionen in der Rumpfflächenlandschaft vorkommen. Auch fehlen Angaben zum Pedoklima in der Rev. Leg. und der WRB, während in der CdS entsprechende Informationen auf der Ebene

der sous-classe und in der Soil Tax. u.a. auf der suborder-Ebene (soil moisture regime) oder family (soil temperature regime) in den Bodennamen einfließen.

Die Rev. Leg. und WRB sehen für die Klassifizierung von Böden mit argic horizons neben der BS noch ein weiteres Kriterium, die  $KAK_{pot}$  vor. Zwar lassen sich Böden anhand zwei genau definierter Kriterien besser voneinander abgrenzen, jedoch ist eine Benennung der Böden oft erst nach Vorlage von Labordaten möglich. So konnte bei der Bodenkartierung im Untersuchungsgebiet oftmals keine eindeutige Bodenklassifizierung im Gelände vorgenommen werden, was bei der Erstellung der Feldbodenkarte etwas unbefriedigend war.

### 5.2.5 Bodensystematik der Nagot

Die in Doguè ansässigen, vorrangig dem Nagot-Stamm angehörenden Bauern bezeichnen die Böden der ackerbaulich genutzten Scheitelflächen und Hänge mit hohem Sandgehalt als *ilè odan*, während die sandigen Böden vergleichbarer Lage in der Savanne, die nicht für den Anbau von Kulturpflanzen Verwendung finden, *ilè yibo* genannt werden. Das Nagot-Wort *ilè* bedeutet Erde (terre), was evtl. auf die große Verbreitung der sandigen Böden in der Region hinweist. Ist jedoch der Anteil an Grobboden bzw. Pedimentschutt im Oberboden auffallend hoch, wird stattdessen die Bezeichnung *yangari* verwendet. Die in der Regenzeit stark vernässten Böden der Bas-Fonds werden von den Bauern als *aman* angesprochen, das gleichbedeutend mit Ton (argile) ist.

Die Bodensystematik der Nagot richtet sich offensichtlich nach bestimmten Bodenmerkmalen, zu denen die Textur und der Grobbodenanteil des Oberbodens sowie der Wassergehalt gehören. Die Eigenschaften des Unterbodens wie Verfestigung (Plinthit) oder Tonanreicherung (Saprolit) sind nicht relevant. Auch die Nutzungsform wird bei der Benennung der Böden berücksichtigt, da zwischen gleich aufgebauten Böden der Savanne und Ackerflächen unterschieden wird.

### 5.3 Bodenvariabilität

Im Aguima-Einzugsgebiet kommen ebenfalls Böden vor, deren Aufbau und Eigenschaften von den unter 5.1 beschriebenen Leitprofilen abweichen. Zum einen variiert die Mächtigkeit der verschiedenen Pedisedimente, was auf den oberen und mittleren Hangabschnitten besonders ausgeprägt ist (Tab. 17). So wurden in dieser Geländedeposition feinkörnige Hangsedimente und Schuttschichten kartiert, deren Schichtmächtigkeiten von 7 bis 120 cm bzw. 5 bis 62 cm reichten. Zurückzuführen ist

diese Variabilität auf die polyzyklische Entwicklung der Sedimentdecke mit unterschiedlich intensiv verlaufender Ausräumung und Ablagerung von Substraten während der Aktivitätsphasen (FÖLSTER 1983). Die Tiefenlage und Mächtigkeit skelettreicher Bodenhorizonte ist ausschlaggebend für die Wahl bestimmter *qualifier* nach der WRB. So kommen auf den Hängen sowohl *Endoskeletal Acrisols* mit einem hohem Grobbodenanteil zwischen 50 und 100 cm als auch *Episkeletal Acrisols* mit einem entsprechenden Anteil zwischen 20 und 50 cm unterhalb der Bodenoberfläche vor. Im Bereich von Bas-Fonds, Flüssen und der Umgebung von Inselbergen ist die Mächtigkeit der Substrate entsprechend der wiederholten Ablagerung von Kolluvien bzw. Alluvien ebenfalls sehr unterschiedlich und reicht von einigen Zentimetern bis Metern. So kommen am Bas-Fonds-Rand des Aguima-Einzugsgebietes lokal Böden vor, die aufgrund der großen Mächtigkeit des sandigen Substrats als *Aquic Ustipsamments* oder *Typic Psammaquents* (Soil Tax.) bzw. *Albi-Gleyic Arenosols* (Rev. Leg., WRB) klassifiziert werden. MUND & GRUNERT (2000) haben ebenfalls tiefgründige sandige Böden in der Rumpfflächenlandschaft von Côte d'Ivoire als *Gleyic Arenosols* angesprochen, ordnen sie jedoch den Unterhängen und nicht dem Randbereich von Bas-Fonds zu.

Tab. 17: Variabilität der Substratmächtigkeiten in der extensiv genutzten Savanne des Aguima-Einzugsgebietes

Geländeexposition		Feinkörniges Hang-sediment	Pediment-schutt	Pedimentschutt + Saprolit	Kolluvium bzw. Alluvium
<b>Wasserscheide</b> (n = 3)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	<b>31 ± 13,6</b> 23 - 47	<b>21 ± 4,6</b> 16 - 25	/	/
<b>Ober-, Mittelhang</b> (n = 102)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	<b>30 ± 20,3</b> 7 - 120	<b>26 ± 14,4</b> 5 - 62	<b>29 ± 17,8</b> 6 - 92	/
<b>Unterhang</b> (n = 34)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	<b>34 ± 15,3</b> 4 - 64	<b>25 ± 13,7</b> 4 - 52	/	/
<b>Bas-Fonds-Rand</b> (n = 49)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	/	/	/	<b>61 ± 38,1</b> 5 - 182
<b>Bas-Fonds-Zentrum</b> (n = 45)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	/	/	/	<b>57 ± 35,8</b> 2 - 175
<b>Fluviale Tiefenlinie</b> (n = 10)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	/	/	/	<b>37 ± 25,3</b> 2 - 105
<b>Inselberg-Umgebung</b> (n = 16)	Mittel ± Std.abw. Min. - Max.	/	/	/	<b>97 ± 53,8</b> 29 - 200

Zum anderen sind die Bodenhorizonte infolge kleinräumiger Schwankungen der bodenbildenden Faktoren unterschiedlich mächtig (Tab. 18). So umfasst der Ah-Horizont von Hangböden durchschnittlich 20 cm, während in Bas-Fonds und am Fuß und in der näheren Umgebung von Inselbergen 25 cm mächtige, mit Humus angereicherte Horizonte vorkommen.

In der Horizontierung der Böden gibt es ebenfalls Unterschiede. So konnte nicht bei allen durch Tonverlagerung charakterisierten Böden der Pedimente ein *albic horizon* ermittelt werden, so dass ebenfalls Horizontabfolgen wie Ah / Bt / 2Bsm oder Ah / 2Bt / 2Bsm in Böden auf den Wasserscheiden und Ah / Bt / 2Bt-Ct / 3Ct in Böden oberer und mittlere Hangabschnitte vorkamen.

Tab. 18: Variabilität der Horizont-Mächtigkeiten von Böden in der extensiv genutzten Savanne des Aguima-Einzugsgebietes

Geländedeposition		Horizonte			
<b>Wasserscheide</b> (n = 3)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 20 ± 7,0	<b>E</b> 16 ± 7,8	<b>Bt</b> 21 ± 4,6	<b>Bsm</b>
	Min. - Max.	11 - 25	22 - 25	16 - 25	n.e.
<b>Ober-, Mittelhang</b> (n = 102)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 22 ± 7,2	<b>E</b> 20 ± 9,0	<b>Bt</b> 25 ± 12,2	<b>Bt-Ct</b> 29 ± 17,2
	Min. - Max.	5 - 45	6 - 47	5 - 63	10 - 70
<b>Unterhang</b> (n = 34)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 19 ± 8,4	<b>E</b> 22 ± 9,4	<b>Bsm</b>	
	Min. - Max.	7 - 36	9 - 45	n.e.	
<b>Bas-Fonds-Rand</b> (n = 49)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 28 ± 8,4	<b>Bw</b> 21 ± 5,5	<b>Bg*</b> 94 ± 31,7	
	Min. - Max.	13 - 45	16 - 29	4 - 156	
<b>Bas-Fonds-Zentrum</b> (n = 45)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 25 ± 6,3	<b>Bg*</b> 100,8 ± 31,3		
	Min. - Max.	10 - 41	14 - 149		
<b>Fluviale Tiefenlinie</b> (n = 10)	Mittel ± Sd.	<b>C*</b> 24 ± 12,5			
	Min. - Max.	2 - 60			
<b>Inselberg-Fuss</b> (n = 7)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 25 ± 8,1			
	Min. - Max.	10 - 36			
<b>Inselberg-Umgebung</b> (n = 16)	Mittel ± Sd.	<b>Ah</b> 26 ± 9,8	<b>Bt*</b> 70 ± 40,1		
	Min. - Max.	13 - 46	13 - 138		

\*Horizonte gleicher Eigenschaften zusammengefasst

Auch die Lessivierung war trotz schwacher Texturdifferenz nicht in allen Hangböden nachweisbar, was zur Ansprache der Unterbodenhorizonte als *kandic horizon* und der

Böden als *Typic Kandistalfs* oder *Typic Kanhaplustalfs* nach der Soil Tax. führte. An den Unterhängen wurden außerdem geringmächtige Schichten aus nicht verfestigtem, etwas mit Ton angereicherter Pedimentschutt über dem Plinthit angetroffen, was die Abfolge der Horizonte Ah / E / 2Bt / 2Bsm ergibt und die Böden zu den *Typic Plinthustalfs* stellt.

Wie der Aufbau so variieren auch die chemische Eigenschaften der untersuchten Böden. So betragen die BS und  $KAK_{pot}$  von Bt-Horizonten, die als Grundlage für die Klassifizierung lessivierter Böden dienen, durchschnittlich 43,4 % bzw.  $9,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton ( $n = 17$ ) im Untersuchungsgebiet (Tab. 19). Dabei weist ein Teil der Böden eine BS  $< 50 \%$  und eine  $KAK_{pot}$  von  $< 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  Ton auf und ist nach der Rev. Leg. und WRB als *Acrisols* zu klassifizieren, während andere mit einer den Grenzwert überschreitenden BS *Lixisols* genannt werden. Nach der Soil Tax. werden die Böden als *Alfisols* (BS  $> 35 \%$ ) oder *Ultisols* (BS  $< 35 \%$ ) angesprochen. Jeweils beide Böden kommen im Einzugsgebiet des Aguima nebeneinander vor, wobei jedoch *Acrisols* bzw. *Alfisols* auf den Pedimenten und in der Umgebung von Inselbergen dominieren.

Die Variabilität der BS wird ebenfalls auf der Ebene der *soil units* (Rev. Leg.) und *qualifier* (WRB) deutlich, denn im Aguima-Einzugsgebiet kommen sowohl *dystric* (*epi-* oder *orthidystic*) Böden (BS  $< 50 \%$ ) als auch *eutric* (*epi-* oder *orthieutric*) Böden (BS  $> 50 \%$ ) nebeneinander vor. In den Randbereichen von Bas-Fonds wurden neben Böden mit *stagnic properties* auch solche mit *cambic* oder *argillic* bzw. *argic horizon* kartiert, was zur Klassifizierung als *Aquic Haplustepts* oder *Aquic Arenic* bzw. *Aquultic Haplustalfs* (Soil Tax.), *Eutric Cambisol* oder je nach BS als *Stagnic Acrisol* oder *Lixisol* (Rev. Leg.) bzw. *Endostagnic Acrisol* oder *Lixisol* (WRB) führt.

Tab. 19: Variabilität der BS und  $KAK_{pot}$  von Bt-Horizonten lessivierter Böden

Geländedeposition		BS (%)	$KAK_{pot}$ ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ Ton)
<b>Wasserscheide</b> ( $n = 3$ )	Mittel $\pm$ Sd.	<b>51,1</b> $\pm$ 3,6	<b>8,5</b> $\pm$ 4,2
	Min. - Max.	47,0 - 53,8	3,6 - 11,2
<b>Ober-, Mittelhang</b> ( $n = 9$ )	Mittel $\pm$ Sd.	<b>51,0</b> $\pm$ 10,2	<b>8,7</b> $\pm$ 5,9
	Min. - Max.	37,3 - 68,3	5,0 - 15,5
<b>Inselberg-Umgebung</b> ( $n = 2$ )	Mittel $\pm$ Sd.	<b>28,2</b> $\pm$ 7,7	<b>11,7</b> $\pm$ 14,0
	Min. - Max.	22,7 - 33,6	1,8 - 21,6
<b>gesamt</b> ( $n = 17$ )	Mittel $\pm$ Sd.	<b>43,4</b> $\pm$ 7,2	<b>9,6</b> $\pm$ 8,0
	Min. - Max.	22,7 - 68,3	1,8 - 21,6

## 5.4 Bodenverbreitung

### 5.4.1 Übersicht über vorhandene Bodenkarten der Untersuchungsstandorte

Nach der *FAO-Unesco Soil Map of the World* (Maßstab 1:5 Mio) (FAO-UNESCO 1971 - 1981) und der *World Soil Resource Map* (Maßstab 1:2,5 Mio) (FAO-EC-ISRIC 2003) sind *Lixisols* in Zentral-Benin weit verbreitet, nach der *Distribution of Soil order* (Maßstab 1:38 000 000) (USDA 1996) sind es *Alfisols*. Genauere Informationen über die Böden des HVO liefert die von ORSTOM erstellte *Carte Pédologique de Reconnaissance* (Maßstab 1:200 000) (DUBROEUCQ 1977a, b, FAURE 1977a, 1977b, VIENNOT 1978). Demnach kommen im Aguima-Einzugsgebiet ausschließlich *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* mit den sous-groupe *sans concrétions, avec concrétions* und *indurés* (Abb. 33) und in Awanla und Serou zusätzlich *Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés* vor. Zahlreiche Bohrungen haben jedoch gezeigt, dass in der flachwelligen Rumpfflächenlandschaft der Untersuchungsstandorte auch Böden der classe *Sols minéraux bruts* (Inselbergfuß, fluviale Tiefenlinien) und *Sols hydromorphes* (Bas-Fonds) vorkommen.

Die erstellten Karten des Aguima-Einzugsgebietes (Abb. 34) und der Umgebung der Ortschaften von Awanla und Serou (Abb. 35) zeigen somit ein detaillierteres Bodenmuster als die *Carte Pédologique*, was zum einen auf den Maßstab und zum anderen auf die Entstehungsweise der Karten zurückzuführen ist. In letztere wurden vorwiegend die dominierenden Böden der in der jeweiligen Region vorherrschenden Bodenassoziation und keine detaillierten Beschreibungen der lokal vorkommenden Böden übernommen (FAURE & VOLKOFF 1998). Weiterhin sind die Karten Ableitung aus bodenrelevanten Daten entstanden, und die Beschreibung von Bohrungen oder Profilgruben erfolgten nur in geringem Umfang. Dementsprechend fehlen in diesem Kartenwerk viele Böden von Bas-Fonds, fluvialen Tiefenlinien und Unterhängen entlang von Nebenflüssen, und zahlreiche Grenzverläufe sind recht ungenau.

Bohrungen entlang repräsentativer Catenen durch das Aguima-Einzugsgebiet zeigen, dass die unter 5.1 beschriebenen Böden in charakteristischen Bodensequenzen in der Rumpfflächenlandschaft angeordnet sind (Abb. 36). Insgesamt dominieren auf den Pedimenten des Aguima-Einzugsgebietes *Acrisols* und *Lixisols* (60 %), während *Plinthosols* auf den Wasserscheiden und an Unterhängen (15 %), *Gleysols* in den Basfonds (12 %) und *Fluvisols* in den fluvialen Tiefenlinien (8 %) in geringerem Umfang vorkommen. *Leptosols* und in Inselberg-Kolluvien entwickelte *Acrisols* wurden entsprechend der geringen Verbreitung von Inselbergen und Felsschilden im Untersuchungsgebiet nur in kleinem Umfang kartiert (1 bzw. 4 %) (Abb. 37).

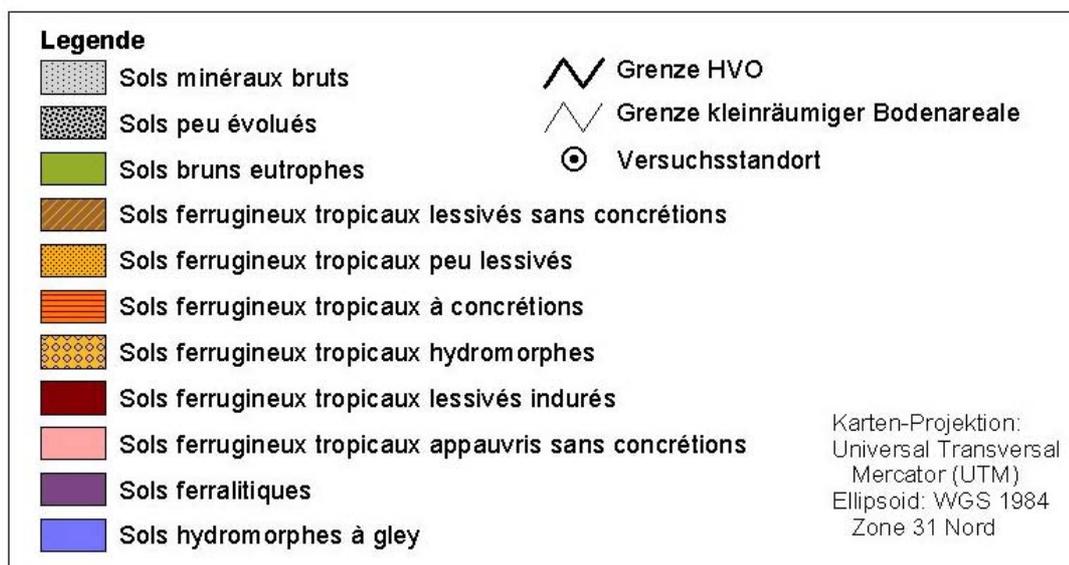
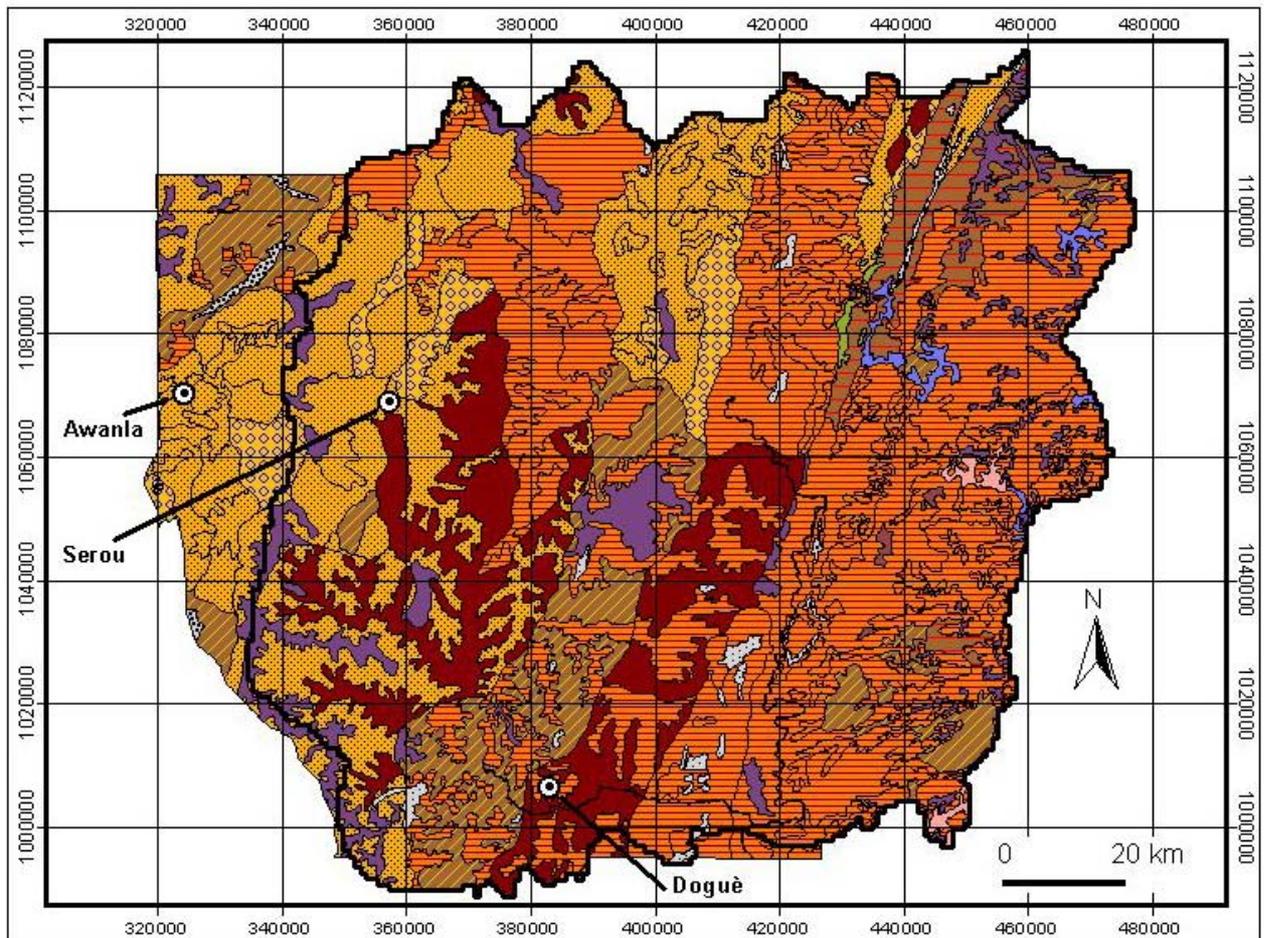
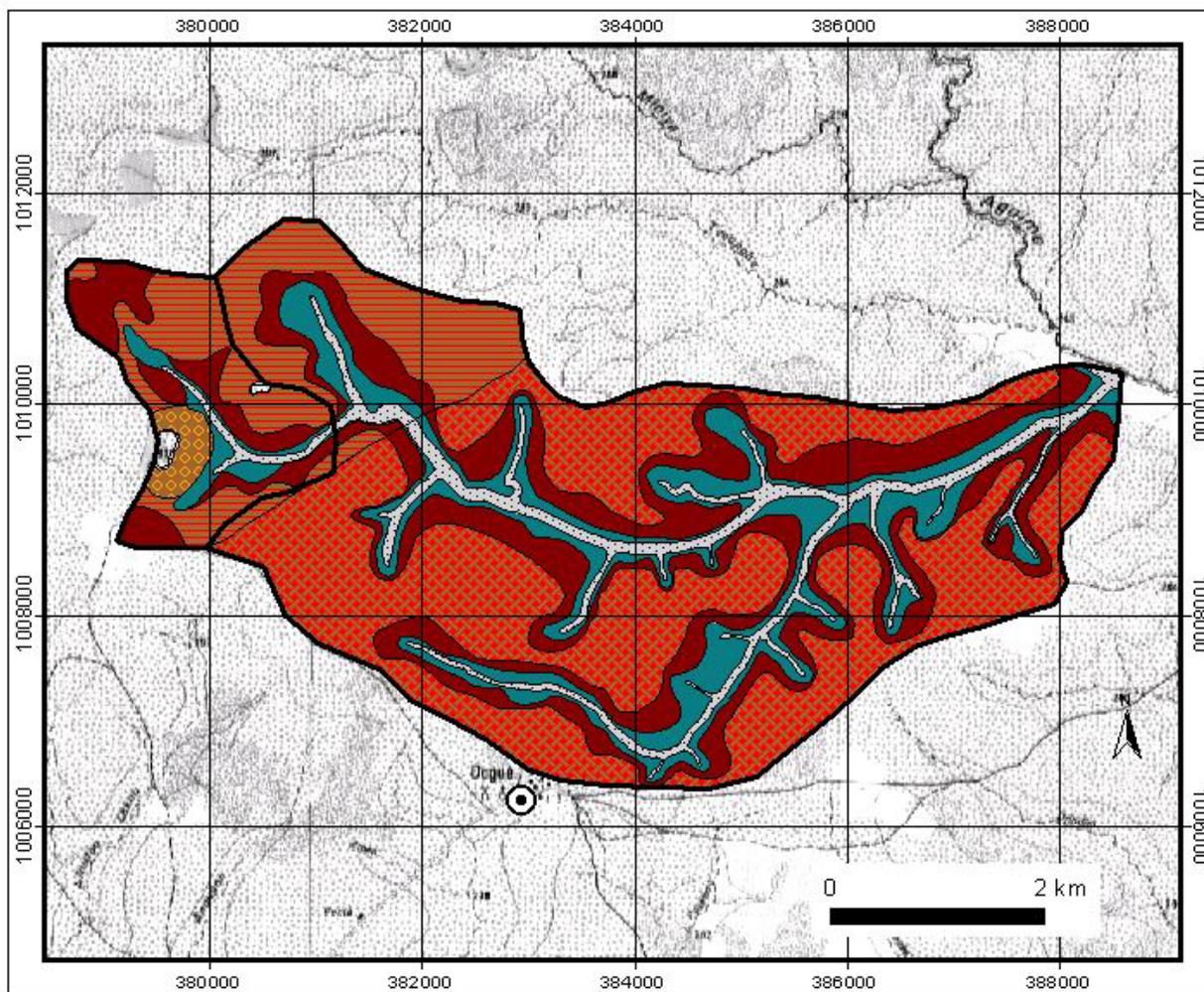


Abb. 33: Bodenkundliche Übersichtskarte des HVO und angrenzender Gebiete (i.M. 1:900.000) (nach DUBROEUCQ 1977a,b, FAURE 1977a,b, VIENNOT 1978, verändert).



**Legende (CdS)**

**Sols minéraux bruts d'érosion Lithosols**  
 sur granito-gneiss à deux micas

**Sols minéraux bruts d'apport alluvial modal**  
 sur embréchite

**Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions**  
 sur granito-gneiss à deux micas

**Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions**  
 sur matériaux kaolinique issu d'embréchite  
 sur matériaux kaolinique issu de granite et granito-gneiss à deux micas

**Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés**  
 sur embréchite

**Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley à nappe perchée**  
 sur embréchite

 Grenze Aguima-Einzugsgebiet

 Versuchsstandort

Topographische Karte  
 i.M. 1:50.000  
 Blatt Djougou 2b  
 NC-31-VIII (IGN 1978)

Karten-Projektion:  
 Universal Transversal  
 Mercator (UTM)  
 Ellipsoid: WGS 1984  
 Zone 31 Nord

Abb. 34: Bodenkarte des Aguima-Einzugsgebietes (i.M. 1:35.000) (CdS-Klassifizierung).

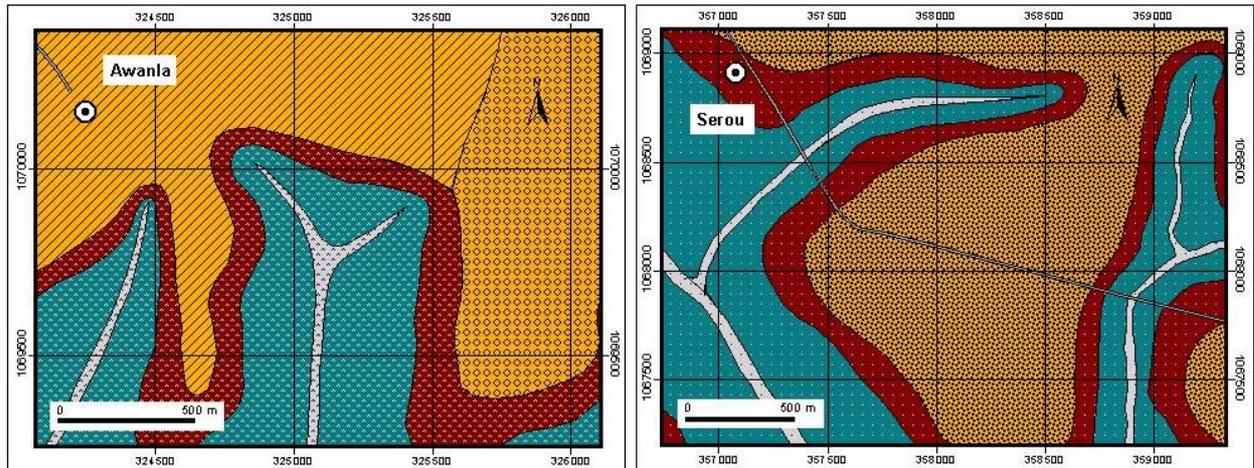


Abb. 35: Bodenkarten von Awanla (i.M. 1:8.000) (links) und Serou (i.M. 1:11.000) (rechts) (CdS-Klassifizierung).

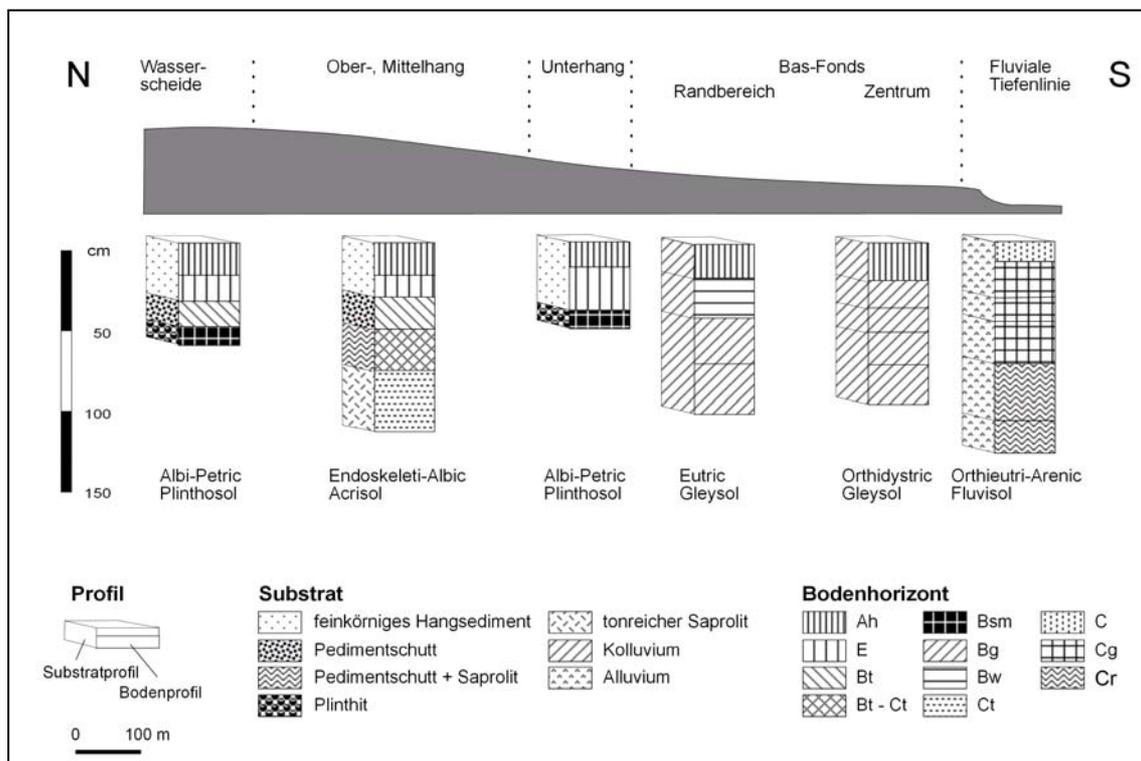


Abb. 36: Bodensequenz einer repräsentativen Catena im Aguima-Einzugsgebiet (WRB-Klassifizierung) (Säulen: Substratprofil links, Bodenprofil rechts).

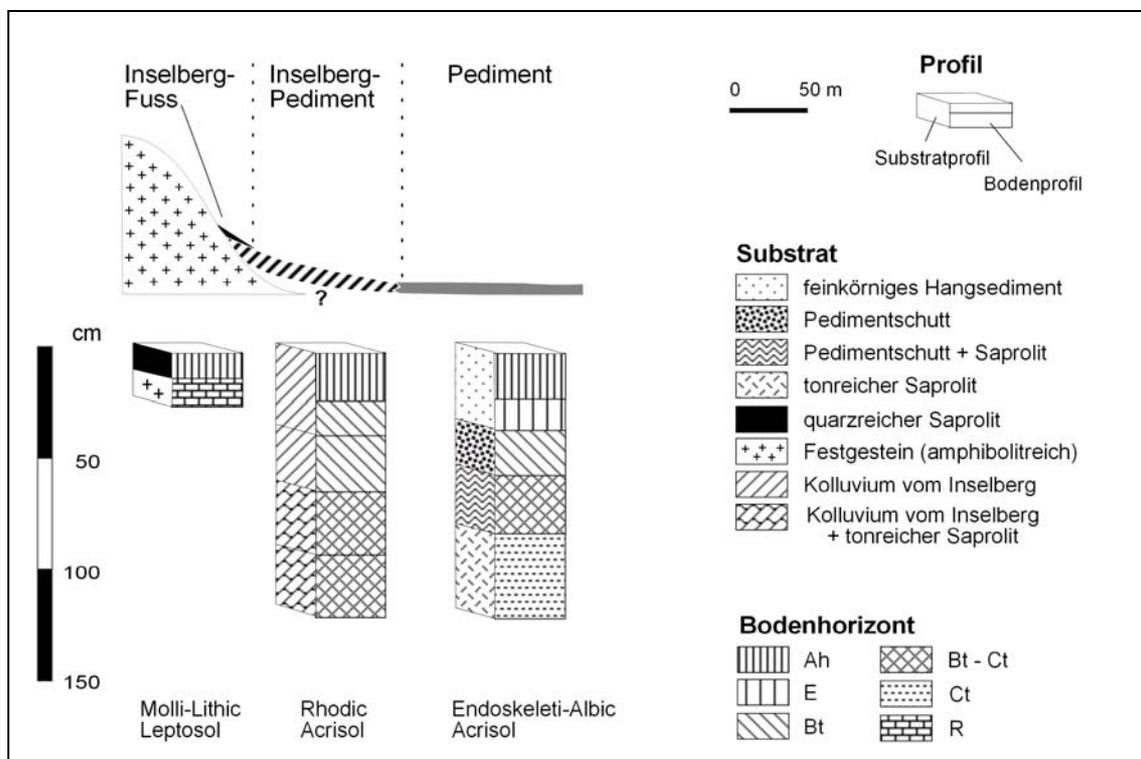


Abb. 37: Bodensequenz einer vom Inselberg Mont Charles de Gaulle in die Umgebung verlaufenden Catena (WRB-Klassifizierung) (Säulen: Substratprofil links, Bodenprofil rechts).

### 5.4.2 Verbreitung von Böden nach Vorstellung der Nagot

Die von Bauern des Nagot-Stammes in eine topographische Karte der Umgebung Doguès durchgeführten Eintragungen über die Böden und ihre Verbreitung zeigen, dass die Ortschaft ausschließlich von *yangari*, d.h. schutteichen Böden umgeben ist. An diese schließen sich in alle Richtungen *ilè odan* an, die in Bas-Fonds u.a. in der Nähe der Flüsse Aguima und Niaou in *aman* übergehen (Abb. 38). Diese Vorstellungen decken sich größtenteils mit der kartierten Verbreitung der Substrate im Untersuchungsgebiet. So sind *ilè odan* mit den sandigen Decksedimenten der Pedimente und *aman* mit den lehmigen Kolluvien der Täler zu vergleichen. *Yangari* weist aufgrund des hohen Anteils an Grobboden auf das Fehlen des feinkörnigen Hangesediments hin. Da die Böden in unmittelbarer Nachbarschaft des Dorfes liegen und durch langjährige ackerbauliche Nutzung gekennzeichnet sind, handelt es sich vermutlich um stark degradierte Böden, bei denen das Decksediment durch Erosion im Laufe der Zeit abgetragen und der skelettreiche Unterboden freigelegt wurde.

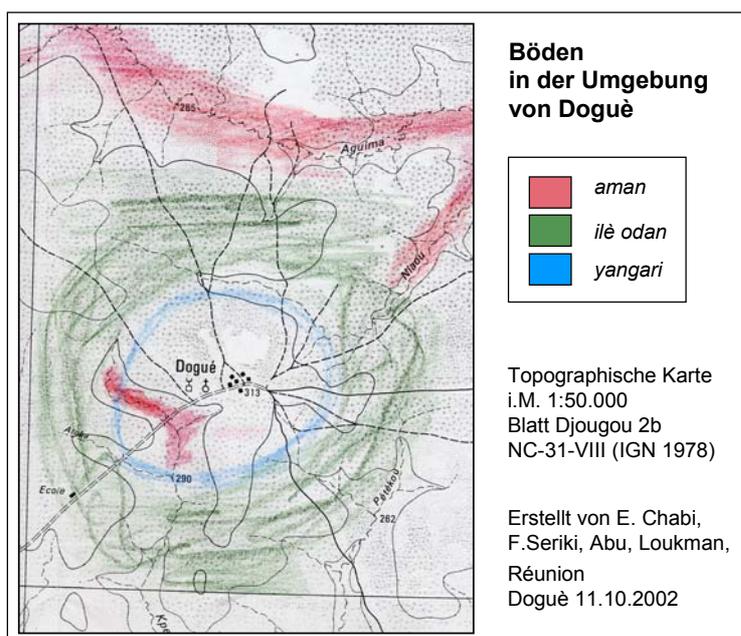


Abb. 38: Verbreitung von Böden in der Umgebung von Doguè nach der Vorstellung der Nagot.

### 5.5 Natürliche Fruchtbarkeit und agrarisches Produktionspotential der Böden

Die Bodenfruchtbarkeit, Ertragsfähigkeit oder Produktivität ist nach HINTERMAIER-ERHARD & ZECH (1997) die „messbare, natürliche Fähigkeit eines Bodens, (Kultur)pflanzen als Standort zu dienen, so dass sie mehr oder weniger gut wachsen können“.

Unterschieden wird zwischen aktueller Bodenfruchtbarkeit, d.h. der Ertragsfähigkeit eines Bodens unter den gegebenen Bedingungen, und potentieller Bodenfruchtbarkeit, die bei optimaler Konstellation der Wachstumsfaktoren vorliegt.

Im Folgenden wird die Ertragsfähigkeit verschiedener Böden bewertet, die zusammen eine typische Reliefsequenz in der Savanne des Aguima-Einzugsgebietes bilden. Da diese Areale nur als extensiv genutzt Weide, zum selektiven Holzeinschlag und nicht als Ackerflächen Verwendung finden, kann die aktuelle als die natürliche Bodenfruchtbarkeit angesehen werden.

### **5.5.1 Ökologische Bewertung des Bodens**

#### **Physiologische Gründigkeit, Durchwurzelbarkeit**

Die Böden im Aguima-Einzugsgebiet sind generell nicht sehr tiefgründig (Tab. 20). So beträgt die physiologische Tiefe der auf den Wasserscheiden und an den Unterhängen entwickelten Böden infolge der Verfestigung der Unterbodenhorizonte weniger als 55 cm. Auch die Acrisols und Lixisols auf den Ober- und Mittelhängen sowie in der Umgebung des Inselbergs sind aufgrund des tonreichen, dichten Saprolits (Ld 4, 5) nur mittelgründig (50 - 100 cm). Die Böden in den Bas-Fonds sind wegen des Fehlens verfestigter oder dichter Unterbodenhorizonte als mechanisch tief zu bewerten. Die starke, z.T. bis über die Bodenoberfläche reichende Vernässung während der Vegetationsperiode begrenzt jedoch die tiefreichende Durchwurzelung des Bodens, so dass die Talböden je nach Lage nur flach- bis mittelgründig sind. Flachgründig sind ebenfalls die Böden am Fuß des Mont Charles de Gaulle infolge des dicht unter der Bodenoberfläche anstehenden Festgesteins. Nur im Bereich von Termitenhügeln sind die Böden sehr tief, was auf die Umwälzung der ursprünglich abgelagerten Sedimente und der Anreicherung des Oberbodens mit aufwärts transportierten lehmigen Substraten beruht (LEE & WOOD 1971). Insgesamt ist die Durchwurzelbarkeit der nicht von Termiten gestörten Böden im Aguima-Einzugsgebiet aufgrund der mittleren bis geringen physiologischen Tiefe als gering zu bewerten. Das über dem Saprolit, Festgestein oder verhärteten Horizont liegende Bodenmaterial ist jedoch allgemein leicht durchwurzelbar, was auf den hohen Sandanteil des Decksediments (um 70 %) zurückzuführen ist (Tab. 20).

#### **Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität**

Die sandige Bodenart ist ebenfalls als Ursache für die mittlere bis hohe Luftkapazität und die entsprechend sehr geringe bzw. geringe nutzbare Feldkapazität des

durchwurzelbaren Bodenbereiches anzusehen (Tab. 20). So beträgt die nFKWe von auf Wasserscheiden, Unterhängen und in Bas-Fonds gebildeten Böden nur < 60 mm und von Böden der oberen und mittleren Hangabschnitte sowie in der Umgebung des Inselbergs um 100 mm (pF 1,8 - 4,2). Auch AGOUSSOU (1983) stuft die Reserven der Sols ferrugineux an nutzbarem Wasser als gering ein. Nach GAISER et al. (2000) ist der hohe LAC-Gehalt tropischer Böden ebenfalls mitverantwortlich für die relativ geringe nFKWe, da Kaolinit wegen seiner geringen spezifischen Oberfläche ( $1 - 40 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) weniger Wasser als andere Tonminerale binden kann.

Tab. 20: Bewertung der Böden einer Catena in der extensiv genutzten Savanne

Lage		Physiolog. Gründigkeit (cm)	Durchwurzelbarkeit	LKWe (Vol.-%)	nFKWe* pF 1,8-4,2 (mm)	nFKWe* pF 2,5-4,2 (mm)
<b>WS</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	52,0 ± 9,6 <i>mittel</i>	<b>gering</b>	11,5 ± 1,2 <i>mittel</i>	56,1 <b>gering</b>	28,1 <b>sehr gering</b>
<b>OM-Hang</b> (n = 5)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	79,4 ± 18,0 <i>mittel</i>	<b>gering</b>	9,6 ± 2,0 <i>mittel</i>	105,4 <i>mittel</i>	54,5 <i>gering</i>
<b>U-Hang</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	41,3 ± 6,5 <b>flach</b>	<b>gering</b>	15,1 ± 0,4 <i>hoch</i>	43,1 <b>gering</b>	21,7 <b>sehr gering</b>
<b>BF-Rand</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	43,3 ± 10,4 <b>flach</b>	<b>gering</b>	14,2 ± 5,7 <i>hoch</i>	24,9 <b>gering</b>	11,0 <b>sehr gering</b>
<b>BF-Zentrum</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	23 <b>sehr flach</b>	<b>gering</b>	8,5 <i>mittel</i>	33,4 <b>gering</b>	21,4 <b>sehr gering</b>
<b>Fl. Tiefenlinie</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	12 <b>sehr flach</b>	<b>gering</b>	15 <i>hoch</i>	16,0 <b>gering</b>	5,6 <b>sehr gering</b>
<b>Ib-Fuss</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	10 <b>sehr flach</b>	<b>gering</b>	14,5 <i>hoch</i>	n.e.	n.e.
<b>Ib-Umgebung</b> (n = 2)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	62,2 <i>mittel</i>	<b>gering</b>	8,7 <i>mittel</i>	98,9 <i>mittel</i>	58,8 <b>gering</b>
<b>T.-hügel</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	165 <i>sehr tief</i>	<i>mittel</i>	10 <i>mittel</i>	n.e.	n.e.

\*Die nFKWe wurde von folgenden Profilen ermittelt: Wasserscheide Profil 2; Ober-, Mittelhang Profil 11; Unterhang Profil 17; Bas-Fonds-Rand Profil 20; Bas-Fonds-Zentrum Profil 24; Fluviale Tiefenlinie Profil 25; Inselberg-Umgebung Profil 29) (n.e. = nicht ermittelt).

An dieser Stelle sei erneut kurz auf das *ustic soil moisture regime* eingegangen, das durch einen saisonal stark schwankenden Luft- und Wasserhaushalt gekennzeichnet ist. Mit Beginn der Trockenzeit im Oktober/November (PET>N) werden die

Wasservorräte der auf den Pedimenten verbreiteten Böden aufgebraucht (*utilization*) bis kein pflanzenverfügbares Wasser mehr vorhanden ist (*deficit*, Ende November) und die LK nahezu 100 % beträgt. Mit Beginn der Regenzeit im März/April ( $N > PET$ ) füllen sich die Poren wieder mit Wasser (*recharge*), die pflanzenverfügbare Wassermenge steigt an und die LK sinkt entsprechend ab. Ab Mitte Juli sind die Wasservorräte des Bodens wieder vollständig aufgefüllt, so dass Wassersättigung im Boden und verstärkter Oberflächenabfluss auftreten (*surplus*) (Abb. 3) (IGUÉ & YOUSOUF 1995). Insgesamt ist der Pflanzenbau durch den klimatisch bedingt stark schwankenden Wasserhaushalt, d.h. *soil moisture stress* begrenzt, der nur während des von Mai bis November dauernden Zeitraumes für Regenfeldbau nutzbar ist. Auch EKWOANYA & OJANUGA (2002) sehen ein Problem der nigerianischen Landwirtschaft in der allgemein geringen Verfügbarkeit von Bodenwasser im Verlauf des Jahres.

### **Bodenreaktion**

Die Bewertung der chemischen Parameter nach LANDON (1984) zeigt, dass fast alle Böden in der Savanne des Aguima-Einzugsgebietes eine mittlere Bodenreaktion ( $pH(H_2O)$  5,5 - 7,0) aufweisen (Tab. 21). Es sind jedoch leichte Unterschiede innerhalb dieser Klasse zu erkennen. So sind die Böden der Bas-Fonds mit  $pH(H_2O)$  5,6 infolge des Austrags basischer Kationen während der regenzeitlichen Vernässung etwas saurer, was auch von ISSAKA et al. (1997) in verschiedenen inland valleys Westafrikas ermittelt wurde. Die Bodenreaktion des im Flussbett abgelagerten Substrats und vor allem das Material von Termitenbauten liegt dagegen im neutralen bis mittel alkalischen Bereich ( $pH(H_2O)$  7,1 bzw. 8,0). Letzteres entspricht den in Côte d'Ivoire durchgeführten Untersuchungen an Termitenbauten von KORB (1997) und ist auf die Bildung von Carbonat zurückzuführen (LEE & WOOD 1971).

### **C<sub>org</sub>**

Der Gehalt an organischer Substanz aller untersuchten Oberböden ist gering (2 - 4 %) bis sehr gering (< 2 %), da in den Tropen nicht nur die Bildungsrate sondern auch die Zersetzungsrate der organischen Substanz sehr hoch ist (MOSANGO 1991). Weiterhin trägt das jährliche Buschfeuer zum verstärkten Humusabbau in der Savanne bei (BIRD et al. 2000, EKWOANYA & OJANUGA 2002) (Tab. 21). Es fällt weiterhin auf, dass der Humusgehalt des Oberbodens im Verlauf der Catena zunimmt, denn auf den Wasserscheiden wurde durchschnittlich 0,8 % C<sub>org</sub> ermittelt, während am Unterhang 1,8 % und im Bas-Fonds-Zentrum sogar 2 % gemessen wurden. Der erhöhte Gehalt in den

Bas-Fonds beruht nach MUND & GRUNERT (1999) auf dem verringerten Streuabbau infolge der starken regenzeitlichen Vernässung der Täler. Da die Unterhänge während der Regenzeit unter dem Einfluss von Stauwasser stehen, ist der hohe Wassergehalt ebenfalls als Grund für die Reduzierung des Humusabbaus zu sehen. Auch am Fuß des Inselbergs ist der Humusgehalt deutlich höher ( $C_{org}$  3,1 %) als in den umliegenden Böden. In dieser Position kommt es nach POREMBSKI & BARTHLOTT (2000) zu Akkumulation von Nährstoffen und organischer Substanz, die durch Verwitterung aus dem Gestein freigesetzt wurden bzw. vom Bewuchs des Inselberges stammen und mit dem Oberflächenwasser hangabwärts verlagert wurden.

Tab. 21: Bewertung chemischer Parameter (pH (H<sub>2</sub>O), C<sub>org</sub>, N<sub>t</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) von Oberböden in der Savanne (bezogen auf obere 20 cm des Bodens)

Lage		pH (H <sub>2</sub> O)	C <sub>org</sub> (%)	N <sub>t</sub> (%)	verf.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)
<b>WS</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	6,4 ± 0,3 <i>mittel</i>	0,8 ± 0,2 <i>sehr gering</i>	0,04 ± 0,02 <i>sehr gering</i>	9,4 ± 1,9 <i>gering</i>
<b>OM-Hang</b> (n = 5)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	6,6 ± 0,1 <i>mittel</i>	1,2 ± 0,5 <i>sehr gering</i>	0,07 ± 0,03 <i>sehr gering</i>	11,9 ± 8,6 <i>gering</i>
<b>U-Hang</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	6,7 ± 0,1 <i>mittel</i>	1,8 ± 0,4 <i>sehr gering</i>	0,09 ± 0,03 <i>sehr gering</i>	23,8 ± 5,1 <i>mittel</i>
<b>BF-Rand</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	6,6 ± 0,4 <i>mittel</i>	1,0 ± 0,9 <i>sehr gering</i>	0,05 ± 0,05 <i>sehr gering</i>	8,1 ± 0,8 <i>gering</i>
<b>BF-Zentrum</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	5,6 <i>mittel</i>	2,0 <i>gering</i>	0,12 <i>gering</i>	5,4 <i>gering</i>
<b>Fl. Tiefenlinie</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	7,1 <i>hoch</i>	0,09 <i>sehr gering</i>	0,04 <i>sehr gering</i>	24,2 <i>mittel</i>
<b>lb-Fuss</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	6,5 <i>mittel</i>	3,1 <i>gering</i>	0,19 <i>gering</i>	31,0 <i>mittel</i>
<b>lb-Umgebung</b> (n = 2)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	6,7 <i>mittel</i>	2,0 <i>gering</i>	0,11 <i>gering</i>	13,3 <i>gering</i>
<b>T.-hügel</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. <i>Bewertung</i>	8,0 <i>hoch</i>	0,9 <i>sehr gering</i>	0,07 <i>sehr gering</i>	23,1 <i>mittel</i>

## N<sub>t</sub>

Auch der Gehalt der Savannenböden am Haupt-Pflanzennährstoff N ist insgesamt als gering (0,1-0,2 %) bis sehr gering (< 0,1 %) einzustufen, was wie der geringe C<sub>org</sub>-Gehalt auf der hohe Mineralisationsrate unter den gegebenen Klimabedingungen und dem Humusabbau durch Feuer beruht (EKWOANYA & OJANUGA 2002) (Tab. 21). Wie die

organische Substanz so nimmt auch der  $N_t$ -Gehalt der oberen Bodenbereiche von der Wasserscheide über die Hänge bis zu den Bas-Fonds zu.

### **Pflanzenverfügbares $P_2O_5$**

Nach LANDON (1984) ist der  $P_2O_5$ -Gehalt der auf den Wasserscheiden, Ober- und Mittelhängen, Bas-Fonds und in der Umgebung des Inselbergs entwickelten Böden gering (Tab. 21). Die Ursache ist im zum einem im geringen P-Gehalt des Ausgangsmaterials zu sehen, während zum anderen auch die Nachlieferung aus der organischen, nur begrenzt vorhandenen Reserve gering ist. Ein weiterer Grund liegt in der P-Bindung durch freie Eisenoxide, deren Gehalt in Alfisols, Plinthosols und Gleysols zwar deutlich geringer als in Ferralsols ist, deren Vorkommen aber trotzdem zur Reduzierung der Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats beiträgt (ABEKOE & TIESSEN 1998).

### **Austauschbare Kationen, $KAK_{pot}$**

Die Bewertung des Nährstoffhaushalts des für den Ackerbau vorrangig wichtigen Oberbodens zeigt, dass diese Bodenbereiche der Hänge und Bas-Fonds in der Savanne insgesamt recht nährstoffarm sind, denn die Konzentrationen an austauschbaren Kationen und die  $KAK_{pot}$  sind überwiegend gering (Tab. 22). Eine Ursache der geringen Bodenfruchtbarkeit liegt zum einen in der Art des Ausgangsgesteins begründet, das vorrangig Migmatite und Gneise umfasst und somit einen hohen Gehalt an Quarz und relativ wenig Feldspäte, Amphibole, Pyroxene und Glimmer aufweist. Da bei dessen Verwitterung in erster Linie quarzreiche Sande entstehen, ist die Nachlieferung von Nährstoffen aus der mineralischen Reserve allgemein gering. Auch der Pedimentschutt und das Decksediment stellen aufgrund ihres hohen Sandanteils nährstoffarme Substrate dar. Des weiteren liegt die geringe Fruchtbarkeit im geringen Nährstoffbindungsvermögen des Bodens begründet. Neben dem adsorptionsschwachen Sand und dem vorrangig aus Kaolinit bestehenden Ton bildet die organische Substanz den Haupt-Adsorbent der Nährelemente. Nach KADEBE & BENJAMINSEN (1976) beträgt der Anteil der organischen Substanz an der  $KAK$  tropischer Böden 56-83 %. Gleichzeitig dient der Humus als Nährstofflieferant, so dass er insgesamt eine wichtige Funktion in tropischen Böden hat (EKWOANYA & OJANUGA 2002). Eine Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Saprolit findet dagegen nur begrenzt statt, da das tonreiche dichte Material nur geringfügig von einjährigen Pflanzen durchwurzelt wird. Nur Bäume wie *Isobertinia doka* nutzen die Nährstoffreserven des

verwitterten Materials mit Hilfe ihres tief reichendes Wurzelwerkes. Des weiteren nimmt auch die Kationenkonzentration parallel zum Gehalt an organischer Substanz im Verlauf der Catena zu, was auf die Verlagerung der Elemente mit hangabwärtsgerichtetem Oberflächenabfluss zurückzuführen ist. Höhere Kationenkonzentration als im Oberboden der Pedimente und Kolluvien kommen im Ah-Horizont der am Fuß bzw. in der Umgebung des Inselbergs gelegenen Böden vor. Wie bereits erwähnt hängt die erhöhte Konzentration in den bergnah gelegenen Oberböden mit den Nährstoffreserven des Substrats zusammen.

Tab. 22: Bewertung chemischer Parameter (austauschbare Kationen,  $KAK_{pot}$ , BS) von Oberböden in der Savanne (bezogen auf obere 20 cm des Bodens)

Lage		aust. Ca	aust. Mg	aust. K	aust. Na	$KAK_{pot}$ ( $cmol_c\ kg^{-1}$ Boden)	BS (%)
<b>WS</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. Bewertung	$2,3 \pm 0,3$ <b>gering</b>	$0,8 \pm 0,2$ <i>mittel</i>	$0,1 \pm 0,0$ <b>gering</b>	$0,01 \pm 0,00$ <b>gering</b>	$4,8 \pm 0,5$ <b>sehr gering</b>	$66,6 \pm 3,7$ <i>hoch</i>
<b>OM-Hang</b> (n = 5)	Mittel ± Sd. Bewertung	$2,8 \pm 1,6$ <b>gering</b>	$1,2 \pm 0,9$ <i>mittel</i>	$0,2 \pm 0,0$ <b>gering</b>	$0,01 \pm 0,01$ <b>gering</b>	$5,3 \pm 2,6$ <b>gering</b>	$69,1 \pm 10,0$ <i>hoch</i>
<b>U-Hang</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. Bewertung	$4,5 \pm 2,0$ <i>mittel</i>	$2,4 \pm 1,2$ <i>mittel</i>	$0,2 \pm 0,0$ <b>gering</b>	$0,02 \pm 0,01$ <b>gering</b>	$9,0 \pm 1,8$ <b>gering</b>	$79,0 \pm 6,2$ <i>hoch</i>
<b>BF-Rand</b> (n = 3)	Mittel ± Sd. Bewertung	$2,6 \pm 2,4$ <b>gering</b>	$0,8 \pm 0,7$ <i>mittel</i>	$0,1 \pm 0,1$ <b>gering</b>	$0,02 \pm 0,01$ <b>gering</b>	$5,0 \pm 3,8$ <b>sehr gering</b>	$67,0 \pm 14,7$ <i>hoch</i>
<b>BF-Zentrum</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. Bewertung	2,0 <b>gering</b>	1,0 <i>mittel</i>	0,3 <i>mittel</i>	0,05 <b>gering</b>	10,3 <b>gering</b>	32,0 <i>mittel</i>
<b>Fl. Tiefenlinie</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. Bewertung	4,0 <i>mittel</i>	0,9 <i>mittel</i>	0,2 <b>gering</b>	0,00 <b>gering</b>	5,6 <b>gering</b>	91,5 <i>hoch</i>
<b>Ib-Fuss</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. Bewertung	11,8 <i>hoch</i>	2,8 <i>mittel</i>	0,6 <i>mittel</i>	0,04 <b>gering</b>	40,0 <i>hoch</i>	86,4 <i>hoch</i>
<b>Ib-Umgebung</b> (n = 2)	Mittel ± Sd. Bewertung	7,0 <i>mittel</i>	2,3 <i>mittel</i>	0,5 <i>mittel</i>	0,06 <b>gering</b>	20,4 <i>mittel</i>	63,0 <i>hoch</i>
<b>T.-hügel</b> (n = 1)	Mittel ± Sd. Bewertung	6,3 <i>mittel</i>	1,8 <i>mittel</i>	1,1 <i>hoch</i>	0,00 <b>gering</b>	20,9 <i>mittel</i>	100 <i>hoch</i>

Auch das Tonmineral Illit, das in der Tonfraktion dominiert, ermöglicht aufgrund seiner im Vergleich zu Kaolinit größeren spezifischen Oberfläche ( $50 - 200\ m^2\ g^{-1}$ ) eine größere Nährstoffspeicherung. In den von Termiten beeinflussten Bereichen wurden ebenfalls erhöhte Konzentrationen an Basen gemessen, die aus dem eingemischtem saprolitischen Material oder evtl. aus Nahrungsresten oder Ausscheidungen der Organismen stammen können.

## **Basensättigung**

Die BS im Oberboden der auf den Pedimenten und in den Bas-Fonds entwickelten Böden ist im Allgemeinen hoch (> 60 %). Hervorzuheben ist auch hier die hohe BS (100 %) des biogen umgearbeiteten Materials, was neben der Einmischung von basischen Kationen aus dem Saprolit evtl. ebenfalls auf die Anreicherung aus Nahrungsresten oder Ausscheidungen der Organismen zurückzuführen ist. Auffällig ist auch die hohe BS des alluvialen Sediments, eine Folge der Akkumulation der aus den Pedisedimenten ausgetragenen basischen Kationen.

### **5.5.2 Bewertung der Bodenfruchtbarkeit nach dem Fertility Capability Classification System (FCC) (SANCHEZ et al. 1982)**

Die Evaluierung der Böden des Aguima-Einzugsgebietes hat zusammenfassend ergeben, dass die Böden infolge des hohen Sandanteils im Oberboden (type S) durch eine geringe Wasserhaltekapazität und hohe Infiltrationsrate gekennzeichnet sind, so dass der Pflanzenanbau durch eine geringe Wasserverfügbarkeit erschwert wird. Auf den Hängen wird die Durchwurzelung durch den hohen Grobbodengehalt (``) und auf den Wasserscheiden sowie am Unterhang zusätzlich durch Verfestigungen im Unterboden (substrata type R) begrenzt. Deutlich werden ebenso die temporär schlechte Wasserversorgung der Pflanzen auf den Pedimenten infolge des *ustic soil moisture regime* (modifier d), während in den Tälern die geringe Luftkapazität (modifier g) infolge des hoch anstehenden Grundwassers während der Regenzeit problematisch ist. Ein weiteres Problem stellt das geringe Bindungsvermögen des Bodens für Nährstoffe (modifier e) und die niedrige Reserve an K, einem wichtigen Nährelement (modifier k), dar, so dass die Eignung der Savannenböden als Ackerstandorte eines Landnutzungssystems, das u.a. durch den fehlenden bzw. minimalen Einsatz von Düngemitteln gekennzeichnet ist, eher gering ist. Nur die Böden in der Umgebung von Inselbergen und von Termitenhügeln weisen vergleichsweise wenig limitierende Faktoren auf, d.h. da sowohl ausreichend Nährstoffe als auch K-Reserven vorhanden sind (Tab. 23).

Tab. 23: Bewertung der Böden nach FCC (SANCHEZ et al. 1982)

Lage	WRB- Soil group	FCC-unit	Interpretation
<b>WS</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	S R <sup>0</sup> d e k	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; begrenzte Durchwurzelbarkeit infolge hohen Grobbodenanteils; begrenzter Wurzelraum wegen verfestigter Schicht im Unterboden; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; geringes Nährstoffhaltevermögen, insbesondere K, Ca, Mg; geringe K-Reserve, potentielles K-Mg-Ca-Ungleichgewicht
<b>OM-Hang</b> (n = 5)	Endo- skeleti- Albic Acrisol	S L <sup>0</sup> d e k	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; begrenzte Durchwurzelbarkeit infolge hohen Grobbodenanteils; Erosion des Oberbodens führt zur Freilegung des lehmigen Unterbodens; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; geringes Nährstoffhaltevermögen, insbesondere K, Ca, Mg; geringe K-Reserve, potentielles K-Mg-Ca-Ungleichgewicht
<b>U-Hang</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	S R <sup>0</sup> d e k	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; begrenzte Durchwurzelbarkeit infolge hohen Grobbodenanteils; begrenzter Wurzelraum wegen verfestigter Schicht im Unterboden; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; geringes Nährstoffhaltevermögen, insbesondere K, Ca, Mg; geringe K-Reserve, potentielles K-Mg-Ca-Ungleichgewicht
<b>BF-Rand</b> (n = 3)	Eutri-Arenic Gleysols	S g d e k	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; begrenzte Drainage, begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; geringes Nährstoffhaltevermögen, insbesondere K, Ca, Mg; geringe K-Reserve, potentielles K-Mg-Ca-Ungleichgewicht
<b>BF-Zentrum</b> (n = 1)	Orthidystri- Gleysol	L g d h	gute Wasserhaltekapazität, mittlere Infiltrationsrate; begrenzte Drainage; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; geringe bis mittlere Bodenazidität
<b>Fl. Tiefen- linie</b> (n = 1)	Orthieutri- Arenic Fluvisols	S d e k	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; geringes Nährstoffhaltevermögen, insbesondere K, Ca, Mg; geringe K-Reserve, potentielles K-Mg-Ca-Ungleichgewicht
<b>Ib-Fuss</b> (n = 1)	Molli-Lithic Leptosols	S R d	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; Feuchtigkeit begrenzt während Trockenzeit; begrenzter Wurzelraum wegen Festgestein; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit
<b>Ib-Umgebung</b> (n = 2)	Rhodic Acrisols	S C d	geringe Wasserhaltekapazität, hohe Infiltrationsrate; Erosion des Oberbodens führt zur Freilegung des tonigen Unterbodens; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit
<b>T.-hügel</b> (n = 1)	Orthieutric Cambisols	L d b	gute Wasserhaltekapazität, mittlere Infiltrationsrate; begrenzte Feuchtigkeit während Trockenzeit; carbonatreich

Insgesamt entsprechen die Ergebnisse der FCC-Boden-Evaluierung der detaillierten Bewertung der Bodenparameter nach LANDON (1984). Auch sind Übereinstimmungen mit der Übersetzung der FAO-Legendeneinheiten der World Soil Map of Africa (FAO-UNESCO 1977) in FCC-Klassen (SANCHEZ et al. 1982) vorhanden.

### 5.5.3 Bewertung der Bodenfruchtbarkeit nach der FAO-Framework for Land Evaluation (FAO 1976, 1981)

Nach SANCHEZ et al. (1982) kann das FCC-System in die *FAO Framework for Land Evaluation* (FAO 1976) integriert werden, da die *FCC type*, *substrata type* und *modifier* der Definition von *land characteristics* entsprechen. In dieser Arbeit werden die *characteristics* Nährstoff-, Wasser- und Luftverfügbarkeit sowie die Durchwurzelbarkeit des Bodens mit den *FCC type* und *substrata type* S, R sowie den *modifier* e, k, d, g und dem Grobbodenanteil (´, ``) korreliert, um die Eignung des Bodens für ackerbauliche Nutzung zu bewerten (Tab. 24).

Tab. 24: Bewertung der Böden nach der *FAO-Framework for Land Evaluation* (FAO 1976, 1981)

Lage	WRB- Soil group	Pflanzenproduktion
<b>WS</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	S2nma
<b>OM-Hang</b> (n = 5)	Endoskeleti-Albic Acrisol	S2nm
<b>U-Hang</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	S2nma
<b>BF-Rand</b> (n = 3)	Eutri-Arenic Gleysols	S2mno
<b>BF-Zentrum</b> (n = 1)	Orthidystic Gleysol	S2mo
<b>Fl. Tiefenlinie</b> (n = 1)	Orthieutri-Arenic Fluvisols	N2g
<b>Ib-Fuss</b> (n = 1)	Molli-Lithic Leptosols	N2ma
<b>Ib-Umgebung</b> (n = 2)	Rhodic Acrisols	S1m
<b>T.-hügel</b> (n = 1)	Orthieutric Cambisols	S1m

Demnach sind die Böden in der Savanne des Aguima-Einzugsgebietes nur mäßig für die Pflanzenproduktion geeignet (*suitability class* S2), denn sowohl die Wasserverfügbarkeit (*suitability subclass* m) als auch die Nährstoffverfügbarkeit (*suitability subclass* n) stellen Begrenzungsfaktoren dar. Auch die begrenzte Durchwurzelbarkeit des Bodens auf den Wasserscheiden und am Unterhang (*suitability subclass* a) sind als limitierende Faktoren für den Ackerbau zu sehen. Permanent nicht nutzbar sind Böden am Fuß der Inselberge wegen der geringen Gründigkeit und

erwartungsgemäß in den fluvialen Tiefenlinien (*sutability class* N2). Für den Kulturpflanzenanbau gut geeignet sind dagegen sowohl die nährstoffhaltigen Böden in der Umgebung der Inselberge als auch die von Termiten umgearbeiteten Areale, jedoch begrenzt die geringe bzw. eher punktuelle Verbreitung dieser Böden die Inkulturnahme.

#### **5.5.4 Bewertung der Bodenfruchtbarkeit nach Einschätzung einheimischer Bodenkundler und ortsansässiger Bauern**

Der beninische Pedologe AGOSSOU (1983) beurteilt die Fruchtbarkeit der *Sols ferrugineux* als mäßig, da nur eine mittlere Austauschkapazität vorliegt und die Nachlieferung von Nährstoffen aus mineralischen Reserven gering ist. Die geringe bis mäßige Durchwurzelbarkeit der schuttreichen und z.T. durch verhärtete Unterbodenhorizonte gekennzeichneten Böden wird ebenfalls als ein den Anbau von Kulturpflanzen begrenzender Faktor aufgeführt. Die Produktivität der *Sols ferrugineux* für einjährige Kulturen ist nach AGOSSOU (1983) insgesamt gut, wenn der Boden mit Mineraldünger versorgt und die Bodentiefe durch technische Maßnahmen erhöht wird.

Die Bauern im Einzugsgebiet des Aguima stufen die Böden der von ihnen ackerbaulich genutzten Flächen insgesamt als fruchtbar ein (*La fertilité est bonne*). Nur die bereits seit mehreren Jahren bearbeiteten Flächen werden als müde bezeichnet (*La terre est fatiguée bzw. Le sol est fatigué*) und in Brache überführt. Bodenmüdigkeit wird hier im Sinne von Verarmung an Nährstoffen verstanden und ist nicht mit dem in unserem Sprachgebrauch verwendeten Begriff zu vergleichen, der die Erschöpfung des Bodens infolge der Anreicherung wuchshemmender Stoffe oder Krankheitserreger (HINTERMAIER-ERHARD & ZECH 1997) beschreibt. In Awanla bewerten die Bauern die Bodenfruchtbarkeit heute als gering. Zurückzuführen ist die starke Verarmung der Böden auf die Abholzung sämtlicher Waldbestände, intensive Bodennutzung und den Abtrag des Oberbodens durch Wasser und Wind in den vergangenen Jahrzehnten. Allerdings haben die seit den 1960er Jahren durchgeführten Maßnahmen verschiedener NGO-Projekte zur Reduzierung der Bodendegradierung in ihren Augen zur leichten Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit geführt.

## 6 NUTZUNG UND DEGRADIERUNG DER BÖDEN

### 6.1 Bodennutzung

Die Funktion des Bodens als Produktionsstandort von Nahrungsmitteln und pflanzlichen Rohstoffen ist insgesamt von großer Bedeutung für Benin, da das Einkommen des Staates und seine Bewohner vorrangig durch den Export landwirtschaftlicher Produkte bestritten wird. So wurden im Jahre 1994 Palmöl und Baumwolle im Wert von 120 Millionen US \$ exportiert (FAO 2004). Außerdem werden ca. 35 % des Bruttoinlandproduktes (1902,3 Mrd. Franc CFA = 2,9 Mrd. Euro 2002) im Agrarsektor erwirtschaftet, in dem mehr als zwei Drittel der Bevölkerung bzw. 56 % der Erwerbstätigen beschäftigt sind (REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD 2000, AUSWÄTIGES AMT 2002).

#### 6.1.1 Bodenrecht

In Doguè gilt heute noch das traditionelle autochthone Bodenrecht, das aus vorkolonialer Zeit stammt (IMPETUS 2001). Demnach hat der Boden eine mystisch-sakrale Bedeutung und wird als spirituelle, lebendspendende Kraft angesehen, die Eigentum der Götter und somit unveräußerlich ist. Der Erdherr, *chef de terre*, ist meist ein Bodenpriester und als ältester lebender Nachkomme des ersten Nutzers für die Verteilung des Bodens an die Familien und die Einhaltung von Nutzungsregeln zuständig (DEGLA 1998). Die Mitglieder der ursprünglichen autarken Lebens- und Produktionsgemeinschaften sind nach dem traditionellen Bodenrecht keine autonomen Individuen, so dass eine Einzelperson kein dauerhaftes Eigentumsrecht am Boden sondern nur ein zeitlich begrenztes Nutzungsrecht erhalten kann (MÜNKNER 1984). In Doguè ist der *chef de terre* gleichzeitig der König, der alle traditionellen Angelegenheiten regelt. Das Dorf und das Territorium außerhalb der Ortschaft sind außerdem unter den patrilinearen Clans *elekoun*, *éléphant* und *dokoidou* aufgeteilt, in denen jeweils der Clan-Älteste das Sagen hat (HETTIG 2000). Zuwanderer können auf Bitten Land vom *chef de terre* zur Nutzung erhalten, haben jedoch nicht die gleichen Nutzungsrechte wie die Mitglieder der Gemeinschaft und müssen u.a. Dienste oder Abgaben leisten (DEGLA 1998).

Die Kolonialmächte versuchten mittels Registrierung von Grundstücken Individualeigentum an Boden einzuführen (importiertes Bodenrecht) und so das Land für weitere Kapitalinvestitionen und Produktionen zu nutzen (MÜNKNER 1984). Diese Bodenreformen waren anfangs erfolglos, jedoch schreitet die Individualisierung des

Bodenrechts infolge der Einführung der Geldwirtschaft und den Übergang zur Marktproduktion zunehmend voran (DEGLA 1998). Heute existieren das autochthone und importierte Bodenrecht nebeneinander, so dass es häufig zu Konflikten kommt. Auch aufgrund der steigenden Inanspruchnahme des Bodens infolge des hohen natürlichen Bevölkerungswachstums und der Zuwanderung aus anderen Regionen ist eine Verschärfung des Bodenrechtsproblems in der Zukunft zu erwarten (DOEVENSPECK 2004).

### **6.1.2 Agrarisches Bodennutzungssystem**

Im Nordosten Benins und somit auch in den Dörfern des HVO bildet Ackerbau die Haupteinverberbsgrundlage der Ethnien. Da im Département Borgou auf der ca. 198 000 ha umfassenden landwirtschaftlichen Nutzfläche vorwiegend Regenfeldbau betrieben wird (FAO 2004), bildet die fünf bis sieben Monate dauernde Regenzeit die Hauptanbauperiode in der Region. Die Haltung von Tieren wie Geflügel, Schafe, Ziegen und Schweine ist von untergeordneter Bedeutung (CENATEL 2002, WOTTO 2003). Mit 1 bis 5 ha Nutzfläche (ohne Kaschunuss) handelt es sich um kleinbäuerliche Betriebe, die jeweils vom Familienoberhaupt geleitet werden und in erster Linie auf Subsistenzwirtschaft ausgerichtet sind. Der mehrjährige Anbau der Kulturen erfolgt im Wechsel mit einer Brache, was nach FRANKE (1995) als Nutzungssystem mit geregelter Brache und nach RUTHENBERG & ANDREAE (1982) als Brandrodungswechselwirtschaft bezeichnet wird. Nach BEETS (1990) handelt es sich bei dem praktizierten Nutzungssystem um das sog. *upland cereal-based system*, in dem die Körnerfrüchte Mais (regenreichere Gebiete), Sorghum oder Hirse (regenärmere Gebiete) dominieren. Weitere Kennzeichen sind der geringe Technisierungsgrad und der geringe bis fehlende Einsatz von Dünge- und Pflanzenbehandlungsmitteln, da das Einkommen der Bauern für Investitionen und die Finanzierung externer inputs nicht ausreicht (BEETS 1990).

### **Kulturen und Anbaumethoden**

Im Folgenden werden einige Beispiele der am häufigsten im HVO angebauten Kulturen und Informationen über ihrem Anbau dargestellt, die in erster Linie das Ergebnis der Befragungsaktionen sind.

#### **Yams (lat. *Dioscorea spec.*, frz. *igname*)**

Dieses stärkehaltige Knollengewächs bildet das Hauptnahrungsmittel im HVO und wird nach Aussage der Bauern aufgrund seiner vergleichsweise hohen Standortansprüche

als erstes Glied der Fruchtfolge angebaut (Abb. 39). Nach der Rodung der Savannen- oder Brachflächen erfolgt die Anlage von bis zu ca. 1,2 m großen Erdhügel am Ende der Regenzeit. Die durch vegetative Vermehrung entstandenen Tochterknollen und knospentragenden Knollenstücke werden im Januar/Februar des Folgejahres mit einer Hacke im oberen Teil der Hügel vergraben. Einige Bauern behandeln die Stecklinge direkt vor der Pflanzung mit Insektiziden, um Fraßschäden durch Ameisen vorzubeugen. Zum Schutz des Pflanzgutes vor Überhitzung infolge hoher Sonneneinstrahlung werden Laub und Stroh auf den Hügeln angehäuft. Die Beseitigung von Unkraut erfolgt im April bis Juli, und auf Düngung wird aufgrund des Anbaus direkt nach der Rodung verzichtet. In Doguè werden frühreife und spätreife Yamssorten und insgesamt acht Varietäten unterschieden. Die frühreife Sorte wird Ende September bis Anfang Oktober in einem Arbeitsgang geerntet, während Knollen der spätreifen Sorte sowohl im August als auch im November/Dezember ausgegraben werden. Die im zweiten Durchgang geernteten Knollen finden für die Herstellung von Stecklingen für die folgende Anbauperiode Verwendung, während die übrigen Yamsknollen auf den Feldern unter Stroh gelagert werden (REHM & ESPIG 1996, WOLF 2002). In Doguè werden durchschnittlich  $11,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und in Serou  $5,5 \text{ t Yams ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  geerntet (MULINDABIGWI 2004).

### **Mais** (lat. *Zea mays*, frz. *maïs*)

Im Untersuchungsgebiet werden zwei Sorten dieser stärkehaltigen Getreideart angebaut, die sich hinsichtlich des Aussaattermins voneinander unterscheiden. Die frühe Sorte wird zu Beginn der Regenzeit, d.h. im April/Mai gesät und im Juli/August geerntet, während die Aussaat der späten Sorte im Juli/August und die Ernte im Oktober/November erfolgt. Da Mais für den Eigenbedarf und teilweise für den Verkauf bestimmt ist, wird er häufig zweimal hintereinander auf einem Feld angebaut. Das Saatgut beziehen die Bauern zum einem vom *Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural* (CARDER), einem staatlich organisierten landwirtschaftlichen Beratungsring, oder sie entnehmen es der eigenen Ernte. Vor der Aussaat erfolgt auf dem Feld die Anlage von Dammreihen im Abstand von ca. 80 cm. In diese werden mit der Hacke des Fußes mehrer Zentimeter tiefe Mulden getreten, in die das Saatgut gelegt und mit Erde bedeckt wird. Unkrautbekämpfung findet in jeweils ein bis zwei Durchgängen im Mai bzw. September statt. Einige Bauern in Doguè bringen bis zu  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  NPK-Dünger nach der Unkrautbekämpfung aus, während bei anderen die Zufuhr von Mineraldünger aufgrund es Fehlens finanzieller Mittel unterbleibt. Die Ernte

in Doguè umfasst durchschnittlich  $0,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und in Serou  $1,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (MULINDABIGWI 2004). Die Ernterückstände werden entweder abgebrannt oder von Rindern der Peulh gefressen. Für die Lagerung der Maiskolben existieren auf den Feldern oder im Hof Speicher mit Strohdächern (FRANKE 1989, WOLF 2002).

### **Erdnuss** (*Arachis hypogaea*, frz. *arachide*)

Die zu den Leguminosen gehörende Erdnuss ist eine einjährige Kultur, die sowohl einen hohen Fett- (42 - 52 %) als auch einen hohen Eiweißgehalt (24 - 35 %) aufweist (FRANKE 1989). In Doguè werden Erdnüsse für den Eigenbedarf und den Verkauf angebaut. Dabei wird zwischen frühen und späten Sorten unterschieden, die im April/Mai bzw. Juli/August gesät und im August/September bzw. November/Dezember geerntet werden. Vor der Aussaat werden Dammreihen im Abstand von 80 cm mit der Hacke angelegt, in die Samen nach der gleichen Methode wie bei der Maissaat gesteckt werden. Die Bekämpfung von Unkraut erfolgt im Juni/Juli bzw. September/Oktober, während Düngung unterbleibt. Die Ernte der ein bis zwei Samen enthaltenden Nüsse umfasst in Doguè durchschnittlich  $0,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , in Serou dagegen  $0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (MULINDABIGWI 2004). Da die Ernterückstände recht nährstoffreich sind, dienen sie u.a. als Futtermittel für Peulh-Rinder.

### **Baumwolle** (lat. *Gossypium spec.*, frz. *coton*)

Der Anbau von Baumwolle, einer Faserpflanze, im HVO erfolgt ausschließlich für den Export und wird durch die staatliche Gesellschaft *Société Nationale pour la Promotion Agricole* (SONAPRA) organisiert, die die Bauern mit Saatgut beliefert, die Ernte aufkauft und den Transport übernimmt. Bei der im Monat Mai durchgeführten Saatbettbereitung werden Dammreihen im Abstand von ca. 80 cm mit der Hacke angelegt. Die Aussaat der Baumwolle erfolgt nach den ersten Niederschlägen von Mai bis Juli, wobei die Samen im Abstand von ca. 40 cm in mit dem Fuß in die Dämme getretene Mulden gelegt und mit Erde überdeckt werden. Der in Monokultur erfolgende Anbau von Baumwolle ist insgesamt sehr arbeitsintensiv, da neben der Düngung (z.B.  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  NPK und  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  Harnstoff in Serou) und wiederholter Unkrautbekämpfung (Juli) zusätzlich überschüssige Triebe an den Pflanzen manuell entfernt (August) und mehrere Behandlungen mit verschiedenen Insektiziden durchgeführt werden. Die erste Applikation erfolgt 45 Tage nach der Aussaat, die folgenden im 14tägigen Abstand, so dass insgesamt  $8 \text{ l ha}^{-1}$  Insektizide in sechs Durchgängen während der Anbauperiode auf die Pflanzen aufgebracht werden. Diese Arbeit wird je nach finanzieller Ausstattung

eines Hofes vom Bauern selbst oder von Lohnarbeitern durchgeführt. Letztere werden neben Frauen und Kindern ebenfalls bei der von Hand erfolgenden Baumwollernte eingesetzt, die von Oktober bis Dezember dauert. Geerntet werden in Doguè durchschnittlich 0,4 t Baumwolle  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ , in Serou dagegen 1,6 t  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  (MULINDABIGWI 2004). Da Baumwolle zu den verholzenden Sträuchern gehört, bleiben schwer zersetzbare Rückstände auf dem abgeernteten Feld übrig, die zu Beginn der folgenden Anbauperiode verbrannt werden (WOLF 2002).

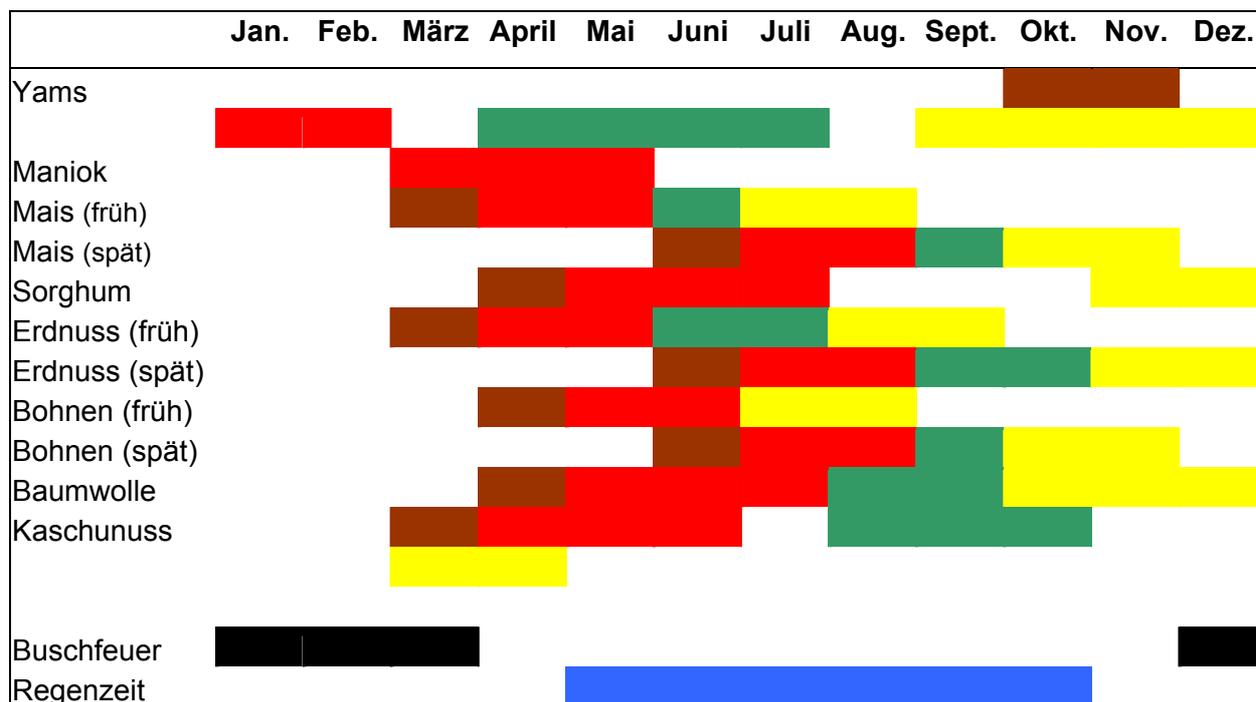
**Kaschunuss** (lat. *Anacardium occidentale.*, frz. *acajou, anacardier*)

Kaschunüsse werden im HVO als cash crop angepflanzt und dienen aufgrund des langjährigen Anbaus ebenfalls der Regeneration verarmter Böden. Die Samen werden entweder direkt nach der Rodung oder in den folgenden Anbaujahren im April bis Juni, d.h. zu Beginn der Regenzeit im großem Abstand zwischen die einjährigen Kulturen gesät. Da der Baum erst nach drei bis vier Jahren Früchte trägt, beginnt seine Nutzung, wenn der Boden für den Anbau einjährigen Kulturpflanzen unrentabel geworden ist. Ernten von ca. 500 Früchten pro Baum sind nach fünf bis sechs Jahren möglich. Von den im Februar/März reifenden Früchten werden nur die Kerne gebraucht und an Händler im Dorf oder an SONAPRA verkauft. Der Anbau der Kaschunuss, der nach Aussagen der Bauern in Doguè 20 bis 100 Jahre beträgt, erfordert jährlich die Beseitigung der neu aufkommenden Sträucher und Bäume, Gräser bzw. das Stroh werden häufig gebündelt und für das Decken von Hausdächern verwendet. In Doguè nimmt die Produktion von Kaschunüssen zu, da sie das finanzielle Einkommen der Bauern erhöht. Als Nachteil wird jedoch die Verknappung der Ackerflächen durch den Anbau gesehen, da die Nutzung der Flächen für einjährige Kulturen für viele Jahre unterbleibt (WOLF 2002). In Serou werden Kaschunüsse aufgrund der bestehenden Landknappheit selten angebaut.

**Fruchtfolge**

Eine charakteristische Fruchtfolge in Doguè, in der seit 100 bis 150 Jahren Ackerbau betrieben wird, besteht aus Yams (*Dioscorea spec.*) oder Maniok (*Manihot esculenta*), Getreide wie Mais oder Sorghum (*Sorghum bicolor*), Baumwolle, Erdnuss (*Arachis hypogaea*) und erneut Getreide (Abb. 39). Der durchschnittlich fünf Jahre umfassende Kulturpflanzenanbau erfolgt teils in Rein- und teils in Mischkultur. Die anschließende traditionelle Brache dauert vier bis sieben Jahre. Vielfach werden jedoch Kaschunüsse

(*Anacardium spec.*) auf erschöpften Böden angepflanzt, die als cash crop die finanziellen Einnahmen der Bauern erhöhen.



#### Legende

	Saatbettbereitung
	Aussaat, Pflanzung
	Pflegemaßnahmen (Unkrautbekämpfung, Pestizidbehandlung, Düngung)
	Ernte
	Buschfeuer
	Regenzeit

\* Für die Erstellung des Anbaukalenders wurden zusätzlich Daten von WOLF (2002) und MULINDABIGWI (2004) verwendet.

Abb. 39: Anbaukalender der häufig im Aguima-Einzugsgebiet kultivierten Nutzpflanzen\*.

Die Bodennutzungsintensität, d.h. der prozentuale Anteil der Nutzzahre am gesamten Zyklus, beträgt somit 45-55 %, was nach RUTHENBERG & ANDREAE (1982) typisch für Brachewechselwirtschaft ist. In geringerem Umfang werden ebenfalls Bohnen (*Phaseolus spec.*), Chilli (*Capsicum frutescens*) und Gombo (*Abelmoschus esculentus*) angebaut. Gärten in der Nähe der Häuser sind in Doguè sehr selten. So wurde 2001 nur eine an die Dorfstraße angrenzende, eingezäunte Fläche mit Tabak (*Nicotina tabacum*) beobachtet.

In Serou, das seit 200 bis 250 Jahren von den Yom bewohnt wird, umfasst der Kulturpflanzenanbau durchschnittlich sechs bis sieben Jahre. Nach dem Anbau einer

Knollenpflanze (Yams oder Maniok) folgen Mais oder Sorghum, mehrere Jahre Baumwolle oder Erdnuss und schließlich erneut Mais (IMPETUS 2001). Viele Kulturen wie Yams und Maniok werden in Form von Mischkulturen angebaut, z.B. Gombo im Randbereich von Yams-Hügeln. Die Brache wurde im Laufe der Zeit auf zwei bis drei Jahre reduziert, so dass die Bodennutzungsintensität in Serou 66-77 % beträgt. In den hinter den Häusern liegenden Gärten werden außerdem Gemüse wie Tomaten (*Lycopersicon esculentum*), Paprika (*Capsicum annum*), Gurken (*Cucumis sativus*) und Aubergine (*Solanum melongena*) sowie das Gewürz Chilli und Tabak für die Eigenversorgung und für den Verkauf auf hochbeetartigen Hügeln angebaut (MULINDABIGWI 2004).

Seit ca. 300 bis 350 Jahren wird in Awanla Ackerbau u.a. von den Logba betrieben. Nach einer einjährigen Brache mit Grasvegetation werden in drei aufeinander folgenden Jahren die Kulturen Yams, Sorghum oder Mais und Erdnuss oder Baumwolle angebaut. Die Bodennutzungsintensität ist mit 75 % entsprechend hoch. Der Anbau von Mischkulturen ist in Awanla weit verbreitet. So werden z.B. im Randbereich von Bas-Fonds Yams-Hügel angelegt, in deren unterer Teil ebenfalls Maniok oder Bohnen angepflanzt werden. In die während der Regenzeit stark vernässenden Bereiche zwischen den Erdhügeln erfolgt außerdem der Anbau von Nassreis (*Oryza spec.*) (Abb. 40). Ähnliche Nutzungen von Bas-Fonds wurden auch von FAUST (1987) bei den Kabyè im benachbarten Togo beschrieben.



Abb. 40: Anbau von Mischkulturen (Yams, Maniok und Reis) im Randbereich von Bas-Fonds, Awanla (September 2002).

### **Brache**

Der in Doguè und Serou erfolgende klassische Wechsel von Brache- und Anbauperioden wird als sukzedane Brache bezeichnet (FRANKE 1995). Da auf brach liegenden Feldern jeglicher Eingriff des Menschen unterbleibt, kommt es durch den

umfangreichen natürlichen Aufwuchs von Gräsern, Kräutern und verholzten Büschen zur Anreicherung von Humus aus der oberirdischen und unterirdischen pflanzlichen Biomasse (FRANKE 1995). Der Nährstoffhaushalt der sandigen, kaolinithaltigen Böden des Untersuchungsgebietes wird durch dieses von RUTHENBERG (1980) als *savanna-fallow system* bezeichnete Brachesystem wesentlich verbessert, da durch die organische Substanz die Nährstoffreserven und die Speicherkapazität des Bodens für Nährelemente und Wasser erhöht werden. Die intensive Durchwurzelung des Bodens durch das tiefreichende Wurzelsystem der verholzten Büsche führt weiterhin zur Mobilisierung von Nährstoffen aus dem Unterboden (Nährstoffpumpe) und zur Verbesserung der Bodenstruktur. Da der Einsatz von organischen oder mineralischen Düngemitteln für die Nährstoffversorgung der Pflanzen in dem low input System heute noch sehr begrenzt ist bzw. fehlt, ist die Brache für die Regeneration des Bodens von sehr großer Bedeutung (VAN DIEPEN 1980).

In Serou und vor allem in Awanla ist die Brachezeit deutlich kürzer bzw. die Bodennutzungsintensität höher als in Doguè. Zurückzuführen ist die Intensivierung des Ackerbaus auf Landknappheit, die bereits in den Ortschaften herrscht. Im Aguima-Einzugsgebiet bei Doguè stehen dagegen noch Flächen in der bisher nur extensiv weidewirtschaftlich genutzten Savanne für die ackerbauliche Nutzung zur Verfügung, so dass dort die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion durch die Inanspruchnahme weiterer Savannenflächen möglich ist (IMPETUS 2001).

Wie bereits erwähnt, werden verarmte Böden im HVO mit Kaschunüssen bepflanzt und erst nach über 20 Jahren (max. 100 Jahre) wieder in Ackernutzung überführt. Nährstoffanalysen des Oberbodens einer derartigen Brache bei Doguè zeigen, dass der  $C_{org}$ -Gehalt mit 1,5 % ( $n = 1$ ) etwas höher als im Ah-Horizont von Savannenböden ( $1,3 \pm 0,5$  %,  $n = 17$ ) und im Ap-Horizont von Ackerflächen ( $1,1 \pm 0,3$  %,  $n = 9$ ) ist. Entsprechend höher sind die  $KAK_{pot}$ ,  $KAK_{eff}$ , BS und der Gehalt an austauschbaren Kationen und Phosphat, d.h. die Bodenfruchtbarkeit wird insgesamt durch den langjährigen Anbau von Kaschunüssen stark verbessert.

### **Buschfeuer**

Buschfeuer sind im HVO weit verbreitet, wobei die ursprünglich natürlich in der Savanne vorkommenden Brände heute größtenteils anthropogen bedingt sind (VAN DIEPEN 1980, MULINDABIGWI et al. 2003). Für die Inbrandsetzung der Vegetation werden Gründe aus unterschiedlichen Bereichen genannt. So nutzen die in Doguè befragten Ackerbauern das Feuer zur Erleichterung der Feldarbeit, d.h. zur Rodung von

Savannen- und Brachflächen (frz. *défrichement*) und zur Beseitigung von Ernterückständen (frz. *nettoyage*), sowie zum Schutz der Kulturpflanzen gegen unkontrollierte Buschfeuer (GREENLAND & LAL 1977). Brände werden ebenfalls zur Schaffung offener Jagdgebiete und zum Freilegen von Erdlöchern gelegt, damit die Rückzugsgebiete der wilden Tiere zerstört und das Erlegen mit dem Gewehr erleichtert wird. Die Peulh setzen Flächen in der Savanne in Brand, um den Aufwuchs von Gräsern und Austrieb junger Blätter an Sträuchern und Bäumen als Futter für ihre Rinder zu fördern (GRENZ 1998). Des Weiteren wird die Vegetation vor allem in der Nähe der Siedlungen zum Schutz vor Tieren, z.B. Schlangen, und aus rituellen Gründen abgebrannt (GRENZ 1998, MULINDABIGWI et al. 2003).

Die Auswirkung der Buschfeuers auf die Umwelt hängt in starkem Maß vom Zeitpunkt ab und ist sowohl positiver als auch negativer Art. So führen Brände zu Beginn der Trockenzeit, zu denen die Schaffung neuen Viehfutters zählt, zur unvollständigen Vernichtung der z.T. noch feuchten Vegetation, so dass Pflanzenreste auf der Bodenoberfläche übrigbleiben und eine Reduzierung der Bodenerosion bewirken. Die Intensität des Feuers ist aufgrund der vorhandenen Restfeuchte eher gering. Spätes, erst gegen Ende der Trockenzeit durchgeführtes Brennen wie die Feldsäuberung der Ackerbauern hat die vollständige Zerstörung der ausgetrockneten Nekromasse zur Folge. Die Bodenoberfläche wird dadurch freigelegt und der erodierenden Wirkung von Wasser und Wind stärker ausgesetzt (WILL 1998). Da Boden und Vegetation zu diesem Zeitpunkt völlig trocken sind und sich viel brennbare Substanz im Verlauf der regenarmen Zeit angesammelt hat, ist die Intensität des späten Buschfeuers sehr hoch (GRENZ 1998).

Insgesamt führen wiederholte Brände zur Veränderung des Arteninventars. So werden z.B. Holzgewächse stärker durch Buschfeuer geschädigt als Gräser, da sie mehr brennbare Masse liefern und ihre Vegetationskegel über dem Erdboden, d.h. in der stark erhitzten Zone liegen (FRANKE 1995). Für den Boden haben Buschfeuer die Reduzierung der Wasser- und  $C_{org}$ -Gehalts und dementsprechend des Nährstoffgehalts zur Folge. Zwar werden bei der Veraschung viele Mineralstoffe freigesetzt, jedoch kann die große Menge der Nährelemente nicht sofort in pflanzlicher Biomasse gebunden werden und geht durch Abtransport mit dem Oberflächenwasser, Verwehung und Auswaschung in den Untergrund verloren (VAN DIEPEN 1980, FRANKE 1995).

In Serou wird Buschfeuer nach wie vor zur Rodung von Flächen eingesetzt. Einige Bauern verzichten jedoch bereits auf das Abbrennen von Ernteresten und arbeiten diese stattdessen bei der Saatbettbereitung in den Boden ein. In Awanla wird generell

kein Brand mehr betrieben, da den Bauern die Bedeutung der organischen Substanz für die Bodenfruchtbarkeit durch die Aktivität von Projekten mit produktionstechnischem Schwerpunkt bewusst ist. Aktionen wie Malwettbewerbe und die Aufnahme selbstgeschriebener Lieder auf Musikkassetten zum Thema Buschfeuer und deren Folgen sowie Versammlungen, die von geschulten Projektmitarbeitern in der Sprache der jeweiligen Ethnie geleitet wurden, haben in Laufe der Zeit zur Änderung der Denk- und Handlungsweise in der Region geführt (persönliche Mitteilung BASSABE 2002).

### **Bodenbearbeitung, Anbaumethoden**

Für die Feldarbeit wird im HVO traditionsgemäß die Handhacke (Nagot *oko*, *daba*, frz. *houe*) verwendet, die aus einem ca. 50 cm langen Holzstiel und einem im Winkel von 40 - 80° angebrachten Metallblatt besteht (Abb. 41). Der Einsatz von Pflügen oder Traktoren findet nur in wenigen Dörfern der Region statt, was u.a. auf die geringe Förderung des landwirtschaftlichen Sektor von Seiten des Staates zurückzuführen ist (IMPETUS 2001).



Abb. 41: Hacken (oben, Mitte) und Messer (unten) für die Bodenbearbeitung und Unkrautbekämpfung.

Die Grundbodenbearbeitung und Saat- bzw. Pflanzbettbereitung (frz. *labour*) finden in einem Arbeitsgang statt. Für die Pflanzung von Yams werden 0,5 bis 1,2 m hohe Erdhügel von ca. 1 m Durchmesser aufgeschichtet, was in Doguè u.a. durch eine Gruppe junger Bauern, die *jeunes*, oder durch Lohnarbeiter vorgenommen wird. Meistens werden die Hügel in Reihen (frz. *à ligne*) angelegt, vereinzelt auch versetzt hintereinander (frz. *en quinconce*). Die Kulturen Mais, Sorghum, Baumwolle usw. werden auf Dämmen angezogen, die parallel zum Gefälle oder zu den Höhenlinien verlaufen. Die Anhäufung der Erde bringt den Vorteil, dass den Pflanzen mehr Wurzelraum zu Verfügung steht (JONES & WILD 1975) und die Drainage verbessert wird

(ROOSE 1976b). Bei der Anlage von Dämmen werden die bestehenden Erdhügel bzw. Dämme der vorherigen Anbauperiode zu neuen Reihen umgeschichtet, indem der angehäuften Boden mit der Hacke in die ehemaligen Zwischenräume der Hügel oder Dämme befördert wird. Insgesamt wird bei dieser Bodenbearbeitung nur der Oberboden gewendet, und eine Vermischung mit dem Unterboden bzw. Umverteilung von Nährstoffen im durchwurzelbaren Raum findet aufgrund der geringen Arbeitstiefe nicht statt. Durch das Wenden wird der Boden zusätzlich belüftet, was besonders beim Anbau einjähriger Kulturen zum verstärkten Abbau der organischen Substanz führt. Der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung zu Beginn der Regenzeit ist ebenfalls als problematisch zu sehen, da die Bodenoberfläche beim Eintreffen der ersten, häufig recht intensiven Niederschläge unbedeckt ist und dementsprechend leicht abgetragen werden kann (FRANKE 1995).

### **Unkrautbekämpfung, Düngung, Pflanzenbehandlung**

Die Beseitigung von Unkraut (frz. *saclage*) wird mechanisch mit einer Handhacke (Nagot *oko*, *daba*, frz. *houe*) oder einem ca. 50 cm langen und 5 cm breiten Messer (Nagot *ada*, frz. *coupcoup*) durchgeführt (Abb. 41). Aufgrund des üppigen Pflanzenwuchses sind generell mehrere Durchgänge in allen Kulturen erforderlich, wozu häufig Kinder und Lohnarbeiter eingesetzt werden. In Serou kommt z.B. in Maisfeldern das wurzelparasitäre Unkraut *Striga hermonthica* vor, das bei Nichtbekämpfung zu großen Ertragseinbußen führen kann.

Düngemittel in Form von Mineraldünger werden in Doguè vorrangig beim Anbau von Baumwolle verwendet, und zwar durchschnittlich  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  NPK. Organischer Dünger steht den Bauern aufgrund der einseitigen Ausrichtung der Betriebe auf Pflanzenproduktion nicht zur Verfügung. Jedoch lassen viele Bauern die Rinder der Peulh nach der Ernte auf ihre Felder, damit sie die Ernterückstände fressen und den Boden mit Dung anreichern. In Serou werden neben Baumwolle ( $250 \text{ kg ha}^{-1}$  NPK und  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  Harnstoff) auch andere Kulturen mineralisch gedüngt, z.B. Mais mit  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  NPK und  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  Harnstoff. Die Bauern in Awanla verwenden Mineraldünger ebenfalls nur im Baumwollanbau. Von Projekten wurde jedoch die Verwendung von Rinderdung zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit eingeführt. So werden die Rinder der sesshaften Peulh nachts in umzäunten Bereichen gehalten, um den mit Stroh gemischten Dung zu sammeln und später auf die Felder auszubringen. Außerdem werden die Ernterückstände gezielt in den Boden eingearbeitet, indem sie zwischen den Dämmen bzw. Hügeln angehäuften und mit Erde bedeckt werden. Nach Aussagen

ortsansässiger Bauern sind die Erträge seit Beginn dieser Verfahren in den frühen 1990er Jahren stabil geblieben bzw. haben sich bei einigen Kulturen erhöht. Auch konnte die Abwanderung von Familien aus dem Gebiet gestoppt und bereits verzogene Bauern zur Umkehr bewegt werden, was die Effektivität dieser Methoden unterstreicht (persönliche Mitteilung BASSABE 2002).

Pflanzenschutz mittels chemischer Mittel wird nur beim Anbau von Baumwolle betrieben, da diese in Kombination mit Saatgut und Dünger von SONAPRA verkauft werden. Bei den Substanzen handelt es sich ausschließlich um Insektizide, die mit Hilfe einfacher Rückenspritzen meist von Lohnarbeitern in den Beständen verteilt werden. Da verschiedene Mittel zum Einsatz kommen (3 in Doguè) und die Applikationen (frz. *traitement*) in bestimmten Zeitabständen erfolgen müssen, ist der Arbeitsaufwand insgesamt recht hoch und wird von den Bauern als problematisch angesehen.

### 6.1.3 Agro-pastorales Nutzungssystem

Im Aguima-Einzugsgebiet leben seit 1996 einige Peulh-Familien in halbnomadischer bzw. sesshafter Form, die entweder ausschließlich Viehhaltung oder vorrangig Ackerbau betreiben (WOTTO 2003). Die ursprünglich in der Sahelzone nomadisch lebenden Peulh oder Fulbe (WUNDERLICH & ADEYE 1995) sind wahrscheinlich im frühen 18. Jahrhundert ins Département Borgou eingewandert (LOMBARD 1957 in BIERSCHENK & FORSTER 1987). Die in der Nähe Doguès lebenden Fulbe kommen aus dem weiter nördlich gelegenen Département Dongo. Ihre Siedlungen, Campements, sind satellitenartig um die Dörfer der Ackerbauern gruppiert, um die wirtschaftlichen, politischen und sozialen Funktionen der Ortschaften mitnutzen zu können (MEURER 1998). Die Tierhaltung wird in extensiver Form durch Nutzung der kommunalen Ressourcen Weide und Wasser betrieben. Die Rinderherden befinden sich in Privatbesitz und umfassen durchschnittlich 52 Tiere der Rassen *Borgu*, *Zébu* sowie deren Kreuzungen (WOTTO 2003). Vorrangiges Ziel der Rinderhaltung ist die Sicherung der Reproduktionsbasis durch Bevorzugung weiblicher Tiere, denn große Herden bedeuten soziales Prestige, dienen als Kapitalanlage und sichern die Milch- und Fleischversorgung sowie die Vermarktung letzterer. Demnach ist das Betriebssystem als subsistenz- und marktorientiert zu bezeichnen (STURM 1993). Die Vegetation in Benin erlaubt eine ganzjährige Rinderhaltung auf Naturweiden, die durch jahreszeitlich schwankende Quantität und Qualität des Futters gekennzeichnet sind (REIFF 1998). Ein Charakteristikum der Weidewirtschaft ist die Transhumanz, d.h. der Standortwechsel zur Linderung von Futter- und Wassermangel. So werden die Tiere während der

Regenzeit täglich in 10 km Entfernung der Campements umhergetrieben (kleine Transhumanz), wo sie sich von Gräsern und Kräutern ernähren. In der Trockenzeit besteht das Futter aus Laub, Blüten und Früchten der Gehölze und Ernterückständen auf den abgeernteten Feldern (WOTTO 2003). In dieser Zeit wird ein Großteil der Herde in ca. 50 bis 60 km entfernt gelegene Gebiete mit besserer Futter- und Wasserversorgung getrieben (große Transhumanz) (DE HAAN 1997, SCHMÜDDERICH 1998). Die Haltung von Schafen und Hühnern findet dagegen nur als Nebenerwerb statt.

Die zunehmende Reduzierung von Weidegebieten in der Sahelzone wird als Hauptgrund für die Ansiedlung der Fulbe in Benin angesehen. Um die Ernährung der Familien vor Ort sicherzustellen, wurde der Anbau von Nahrungsmitteln notwendig, was wiederum zum Sesshaftwerden führte. Pro Haushalt werden durchschnittlich 2,1 ha Land in der Nähe der Campements bewirtschaftet, wobei Bodenbearbeitung, Säen und Ernten zu den Aufgaben der Männer und Unkrautjäten und Ernten zu den Arbeiten der Frauen gehören. Angebaut werden in erster Linie Mais, Yams, Sorghum und Hirse, während Maniok, Erdnuss und Reis in geringerem Umfang und Baumwolle und Tabak nur vereinzelt kultiviert werden (STURM 1993, WOTTO 2003). Für den Ackerbau werden Handhacken und lange Messer verwendet, der Einsatz von Pflügen konnte bei den Fulbe dagegen nicht beobachtet werden (STURM 1993). Durch den Auftrieb des Viehs auf die abgeernteten Felder (WOTTO 2003) wird der Boden mit Dung angereichert und dessen Nährstoffbilanz so stark verbessert, dass die Peulh höhere Erträge pro Flächeneinheit als die ausschließlich Ackerbau betreibenden Bauern der Dörfer erwirtschaften. Diese Düngung ermöglicht ebenfalls eine bis zu 30jährige permanente Nutzung der Felder ohne Brache und ohne den Einsatz mineralischer Düngemittel. Zur Aufgabe einer Siedlung kommt es erst bei völliger Erschöpfung des Bodens, die nach durchschnittlich 12 Jahren erreicht ist (STURM 1993, SWOBODA 1994).

Insgesamt handelt es sich bei dem agro-pastoralen Nutzungssystem der Fulbe um die Integration von Tierhaltung und Ackerbau (MEURER 1998), das durch den Einsatz von tierischem Dung quasi-permanenten Anbau selbst auf marginalen Standorten ermöglicht.

#### **6.1.4 Intensität der Bodennutzung**

Das HVO ist durch eine umfangreiche anthropogen bedingte Veränderung der Land- bzw. Bodennutzung gekennzeichnet, die u.a. auf der Vernichtung des Waldes durch selektiven Holzeinschlag und durch die Ausdehnung von Ackerflächen beruht

(IMPETUS 2001). Deutlich erkennbar ist die Veränderung der Landnutzung an LANDSAT Satellitenszenen aus verschiedenen Jahrzehnten. So betrug die Größe der ackerbaulich genutzte Fläche im Aguima-Einzugsgebiet am 31.01.1986 ca. 32 ha und am 26.10.2000 ca. 100 ha, d.h. während eines Zeitraumes von 14 Jahren wurden weitere 68 ha Land in ackerbauliche Nutzung zwecks Produktion von Lebensmitteln und pflanzlichen Rohstoffen überführt (IMPETUS 2003). Nach Aussage der Bauern Doguès werden je nach Bedarf jährlich ein bis zwei Hektar Ackerfläche pro Betrieb durch Brandrodung hinzugewonnen. Diese Methode wird zur Sicherung der Ernährung der wachsenden Bevölkerung nach wie vor angewendet, da ihrer Meinung nach ausreichend Flächen in der Savanne zur Verfügung stehen. Die zunehmende Umwandlung der Savanne in Ackerflächen und Viehweiden ist ebenfalls eine Folge der großen Zuwanderung verschiedener Ethnien aus dem Nordwesten Benins und den Nachbarländern Togo und Nigeria. Gründe dieser seit ca. 4 Jahren besonders intensiv verlaufenden Ansiedlung im südlichen Teil des HVO sind die Verfügbarkeit von Land bzw. Boden, die relativ hohen Erträge der erstmalig genutzten Böden und das Vorkommen großer Weideflächen sowie ausreichenden Viehfutters während der Trockenzeit. Auch die Erschöpfung der Böden, Bodenrechtskonflikte und die große Entfernung zwischen den Wohnorten und Feldern im Herkunftsgebiet haben Familien zur Migration bewegt (IMPETUS 2000). Insgesamt wird die zunehmende Besiedlungsdichte in den bisher weniger intensiv genutzten Gebieten des HVO auf Dauer zu Nutzungskonflikten zwischen Ackerbauern und Viehhaltern, Landknappheit und infolge des geringen Einsatzes von Düngemitteln zu verstärkter Verarmung der Böden und zu kontinuierlichem Rückgang der Agrarproduktion führen (IMPETUS 2003). Klimaänderungen wie die seit ca. 30 Jahren anhaltende Verringerung der Jahresniederschläge in Westafrika führen außerdem zur Abnahme der Wasserverfügbarkeit, wodurch die o.g. Probleme verstärkt und tiefgreifende Konsequenzen für die soziale und wirtschaftliche Entwicklung des Landes zu erwarten sind (IMPETUS 2003).

## 6.2 Degradierung der Böden

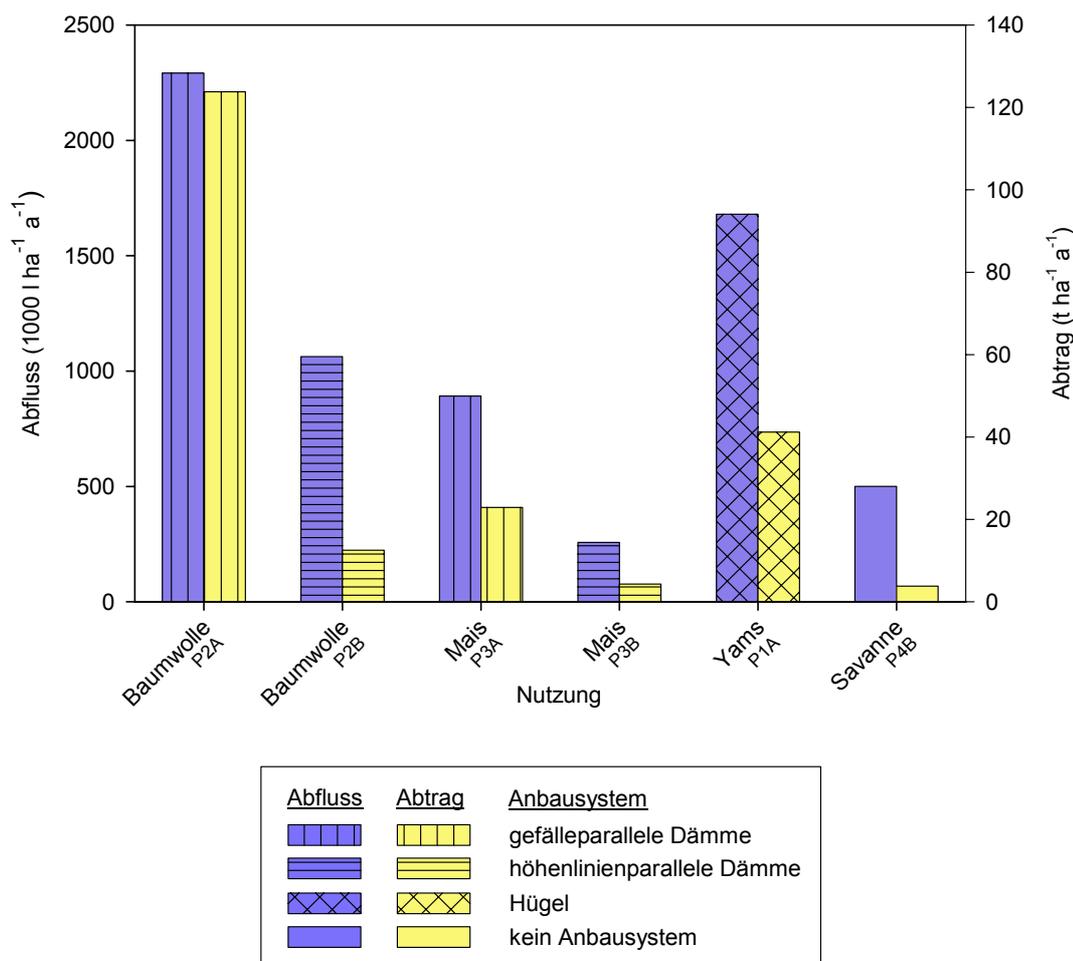
### 6.2.1 Aktueller Bodenabtrag durch Wassererosion

Das Ziel der Erosionsmessungen besteht in der Erfassung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag von Flächen, die unterschiedlichen Nutzungen unterliegen. So kann anhand der Ergebnisse der Einfluss unterschiedlicher Anbausysteme und Kulturen bzw. Vegetation, d.h. der Art und Deckungsgrad der Pflanzen auf Bodenerosion durch Wasser erfasst werden.

#### Messung mittels Freilandparzellen

Aus dem ersten Versuchsjahr können nur die Messergebnisse ausgewählter Niederschlagsereignisse für die Auswertung herangezogen werden, da in dem Jahr viele Messausfälle zu verzeichnen waren. Im Jahr 2002 konnten dagegen aufgrund der Verbesserung der Anlagen kontinuierlich Erosionsmessungen durchgeführt werden, so dass vollständige Jahresgesamtwerte vorliegen. Die Ergebnisse der Erosionsmessungen aus dem Jahre 2002 zeigen signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Nutzungen ( $p < 0,05$ ) und Anbaumethoden ( $p < 0,01$ ) hinsichtlich Oberflächenabfluss und Bodenabtrag (Abb. 42, Tab. A19). Insgesamt fand auf Flächen mit parallel zum Gefälle angelegten Dämmen am meisten Erosion statt, während auf Feldern mit Hügeln, höhenlinienparallel verlaufenden Reihen und vor allem in der extensiv pastoral genutzten Savanne deutlich weniger Boden abgetragen wurde. So betragen z.B. der Abfluss von Baumwoll-Parzellen (P2A) mit hangparallelen Dämmen  $2291,0 \cdot 1000 \text{ l ha}^{-1}$  und der Abtrag  $123,8 \text{ t ha}^{-1}$  im Jahre 2002 und von Flächen mit hintereinander angelegten Erdhügeln (P1A)  $1679,6 \cdot 1000 \text{ l ha}^{-1}$  Abfluss und  $41,2 \text{ t ha}^{-1}$  Abtrag. Auf dem Baumwollfeld mit in Hangkontur verlaufenden Dämmen (P2B) wurden dagegen nur  $1062,4 \cdot 1000 \text{ l ha}^{-1}$  Abfluss und  $12,5 \text{ t ha}^{-1}$  Abtrag gemessen. Zurückzuführen ist die starke Erosion auf Flächen mit gefälleparallel angelegten Dämmen auf die kanalisierende Wirkung letzterer. Da das Oberflächenwasser in den Damm-Zwischenräumen, d.h. Rillen, konzentriert hangabwärts fließen kann, sind die kinetische Energie, die das Produkt aus Wassermasse und Fließgeschwindigkeit darstellt und die proportional zum Produkt aus Tiefe und Gefälle ist, und somit die Erosions- und Transportarbeit des fließenden Wassers groß (AHNERT 1996, MORGAN 1999). Auf den Ackerflächen liegt daher Rillenerosion, *rill erosion* bzw. *érosion en rigoles* vor. Der hohe Erosion auf Yamsfeldern liegt zum einen in der großen Neigung der Hügeloberflächen begründet, die die Bildung von Oberflächenabfluss und Verlagerung von Bodenmaterial begünstigt (ROOSE 1976b). Zum anderen führt die

lineare Anordnung der Hügel zu verstärktem Abfluss und Materialtransport, da zwischen den in Gefällrichtung angelegten Hügelreihen rinnenartige Abflussbahnen entstehen, in denen das sedimenthaltige Wasser schnell abfließen kann. Die vergleichsweise geringe Erosion auf Feldern mit isohypsenparallel angelegten Dämmen geht auf den wasserstauenden Effekt letzterer zurück. Jedoch wurde nach intensiven Niederschlägen gelegentlich auf dem Feld beobachtet, dass derartig angelegte Dämme vom oberflächlich abgeflossenen Wasser durchbrochen waren.



Nutzung: Abfluss: P2A > P2B, P3A, P3B, P4B; P2B > P3B; P3B > P3A, P1A; 4B > P1A ( $p < 0,05$ )  
 Abtrag: P2A > P2B, P3A, P3B, P1A, P4B; P2B > P3B; P3B > P3A, P1A, P4B; 4B > P1A  
 ( $p < 0,05$ )

Anbausystem: Abfluss: gefällep. Dämme > höhenlinienp. Dämme, kein Anbausystem; höhenlinienp. Dämme > Hügel, Hügel > kein Anbausystem ( $p < 0,01$ )

Abtrag: gefällep. Dämme > höhenlinienp. Dämme, kein Anbausystem;  
 höhenlinienp. Dämme > Hügel; Hügel > kein Anbausystem ( $p < 0,01$ )

Abb. 42: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag (Summe) von Flächen unterschiedlicher Nutzung im Jahre 2002. Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

In der nicht ackerbaulich genutzten Savanne (P4B) wurden ebenfalls Oberflächenabfluss ( $500,1 \cdot 1000 \text{ l ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und Bodenabtrag ( $3,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) gemessen, jedoch im vergleichsweise geringen Umfang. Es handelt sich hierbei um flächenhafte Abspülung, *sheet flow* bzw. *érosion en nappe*, die im Gelände mit dem Auge nicht sofort sichtbar ist. Nach LAL (1977b) bildet sie jedoch den größten Anteil der Bodenerosion in der Savannenregion.

Der Einfluss der Vegetation auf die Bodenerosion wird ebenfalls anhand der Messergebnisse der Parzellen mit Baumwoll- (P2A,B), Mais- (P3A,B) und Yamsanbau (P1A) und den in der Savanne gelegenen Flächen (P4B) deutlich. Im Allgemeinen nehmen sowohl der Oberflächenabfluss als auch der Bodenabtrag mit zunehmender Bedeckung des Bodens durch die Vegetation ab, da die oberirdischen Pflanzenteile einen Teil der kinetischen Energie der Niederschläge absorbieren und den Boden vor dem Aufprall der Regentropfen schützen (ROOSE 1977c, SCHWERTMANN et al. 1987, NILL et al. 1996, RICHTER 1998, MORGAN 1999). Nach ELWELL (1981) handelt es sich um eine exponentielle Abnahme des Bodenabtrags mit zunehmender Bedeckung des Bodens durch Pflanzen (Abb. 43).

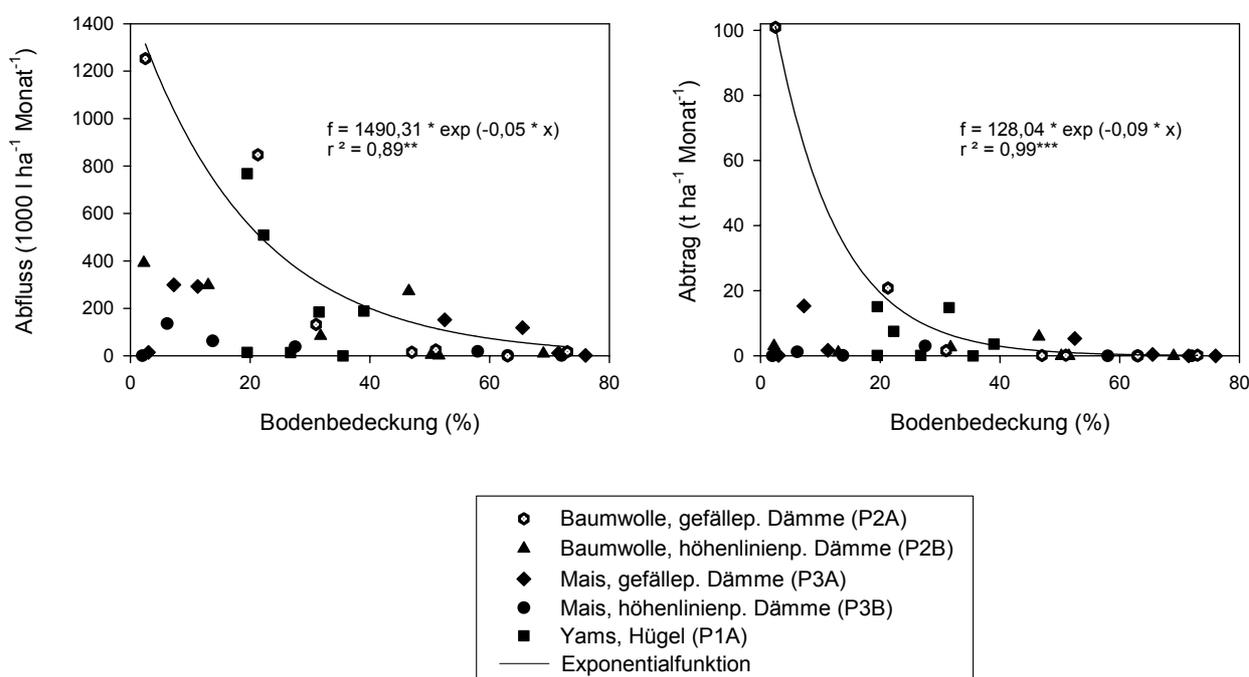


Abb. 43: Abfluss und Abtrag von unterschiedlich genutzten Ackerflächen in Abhängigkeit von der Bodenbedeckung im Jahre 2002 (Abfluss  $n = 35$ , Abtrag  $n = 35$ ).

Der höchste Abfluss und Abtrag wurde 2002 beim Baumwollanbau gemessen, während die Erosion auf den Flächen mit Yams und Mais und vor allem in der Savanne geringer ausfiel. Der Grund für die verschiedenen Abfluss- und Abtragsraten ist im unterschiedlichen Ausmaß der Bodenbedeckung durch Pflanzen und Streu im Verlauf der Vegetationsperiode zu sehen (Abb. A9). So bedecken Baumwoll- und Yamspflanzen die Bodenoberfläche aufgrund der insgesamt geringen Blattfläche weniger als Maispflanzen. In der Savanne ist die Bodenbedeckung infolge des üppigen Wuchses vieler einjähriger Gräser besonders hoch, so dass der Boden gut vor Erosion geschützt ist (SWOBODA 1994). Die Schätzung der Bodenbedeckung zeigt außerdem, dass Unkräuter und -gräser besonders in den ersten Wochen der Vegetationsperiode einen hohen Anteil an der Bedeckung auf noch unbestellten Ackerflächen bilden und so ebenfalls zur Verminderung der Bodenerosion beitragen.

Im Verlauf der Regenzeit ist die Bodenerosion starken Schwankungen unterlegen. So wurden besonders hohe Abflüsse und Abträge in den Monaten August und September und vereinzelt zu Beginn der Regenzeit gemessen, während von Mai bis Juli und am Ende der Regenzeit deutlich weniger Wasser oberflächlich abfloss und Bodenmaterial erodiert wurde (Abb. 44). Zu ähnlichen Ergebnissen gelangen auch VAN CAMPEN (1978) und VAN DIEPEN (1980) bei in der Nähe Parakous durchgeführten Erosionsversuchen. Diese Schwankungen sind neben der im Laufe der Vegetationsperiode sich ändernden Bodenbedeckung auf die Variabilität der Niederschläge, d.h. der Menge und Intensität der einzelnen Regenereignisse sowie auf den schwankenden Wassergehalt und die Infiltrationskapazität des Bodens zurückzuführen. Der z.T. zu Beginn der Regenzeit gemessene hohe Abfluss auf dem trockenen Boden hängt mit der Intensität der Niederschläge zusammen, die in dieser Zeit besonders hoch ist (ADEGBIDI 1985) und die Infiltrationskapazität des Bodens übersteigt (Horton-Abfluss) (MORGAN 1999). Zwar sind die Infiltrationsrate ( $423 \text{ cm d}^{-1}$ ,  $n = 5$ ) und die Wasserleitfähigkeit ( $k_f = 130 \text{ cm d}^{-1}$ ,  $n = 15$ ) der auf den Pedimenten entwickelten sandigen Oberböden allgemein hoch (GIERTZ 2004), jedoch wird der Übertritt des Niederschlagswassers in den Boden durch Lufteinschlüsse und Benetzungswiderstände (BLUME 1992) und besonders bei Sandböden durch die Ausbildung von Krusten (MORGAN 1999) stark reduziert. Auch die geringe Bedeckung des Bodens durch Ernterückstände, die durch Buschfeuer oder Fraß beseitigt wurden, oder durch das nach der Trockenheit erst in geringem Umfang entwickelte Unkraut tragen zur verstärkten Ablösung von Bodenpartikeln durch Tropfenaufprall bei.

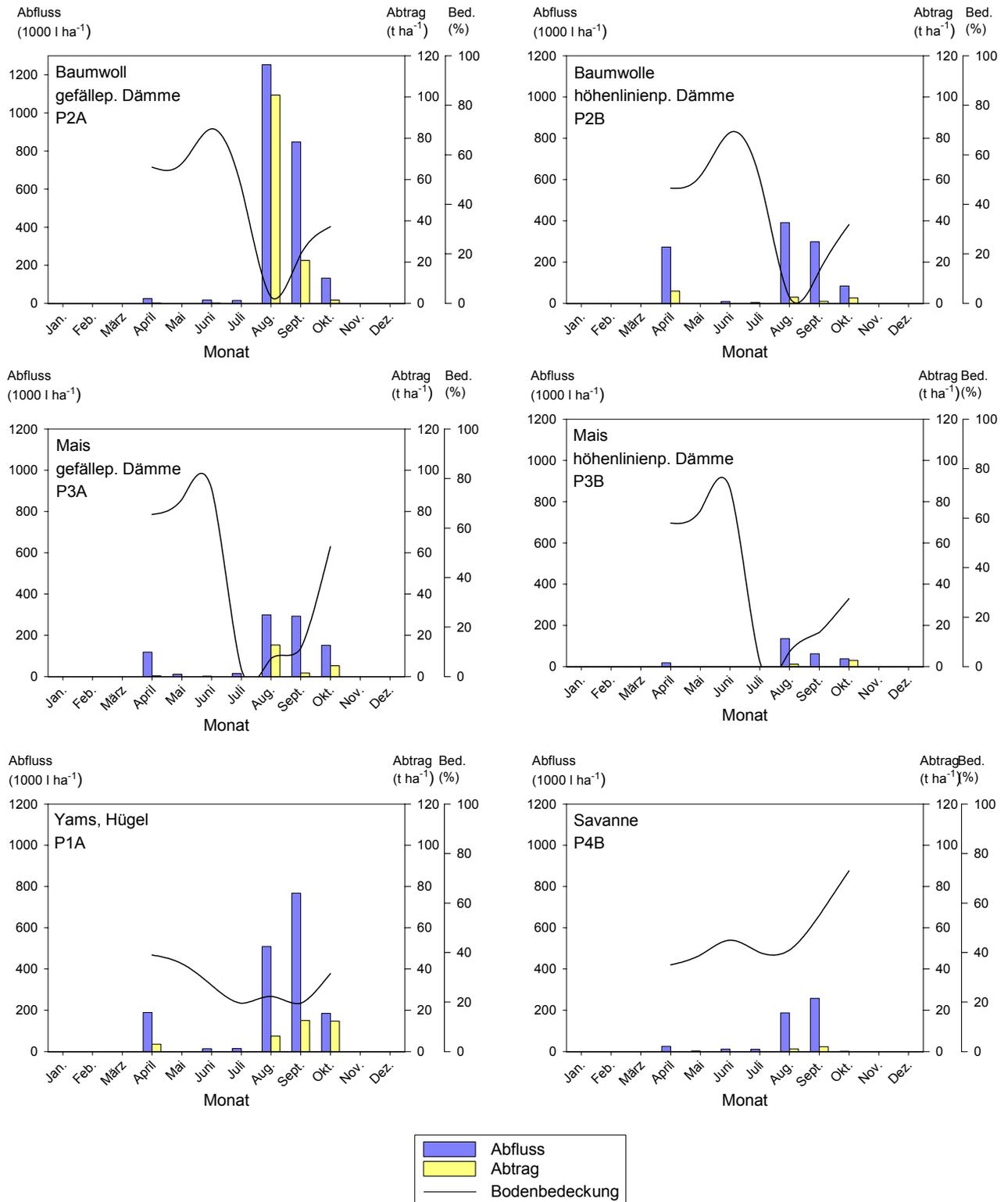


Abb. 44: Monatlicher Oberflächenabfluss und Bodenabtrag (Summe) von Flächen unterschiedlicher Nutzung und Bedeckung im Jahre 2002.

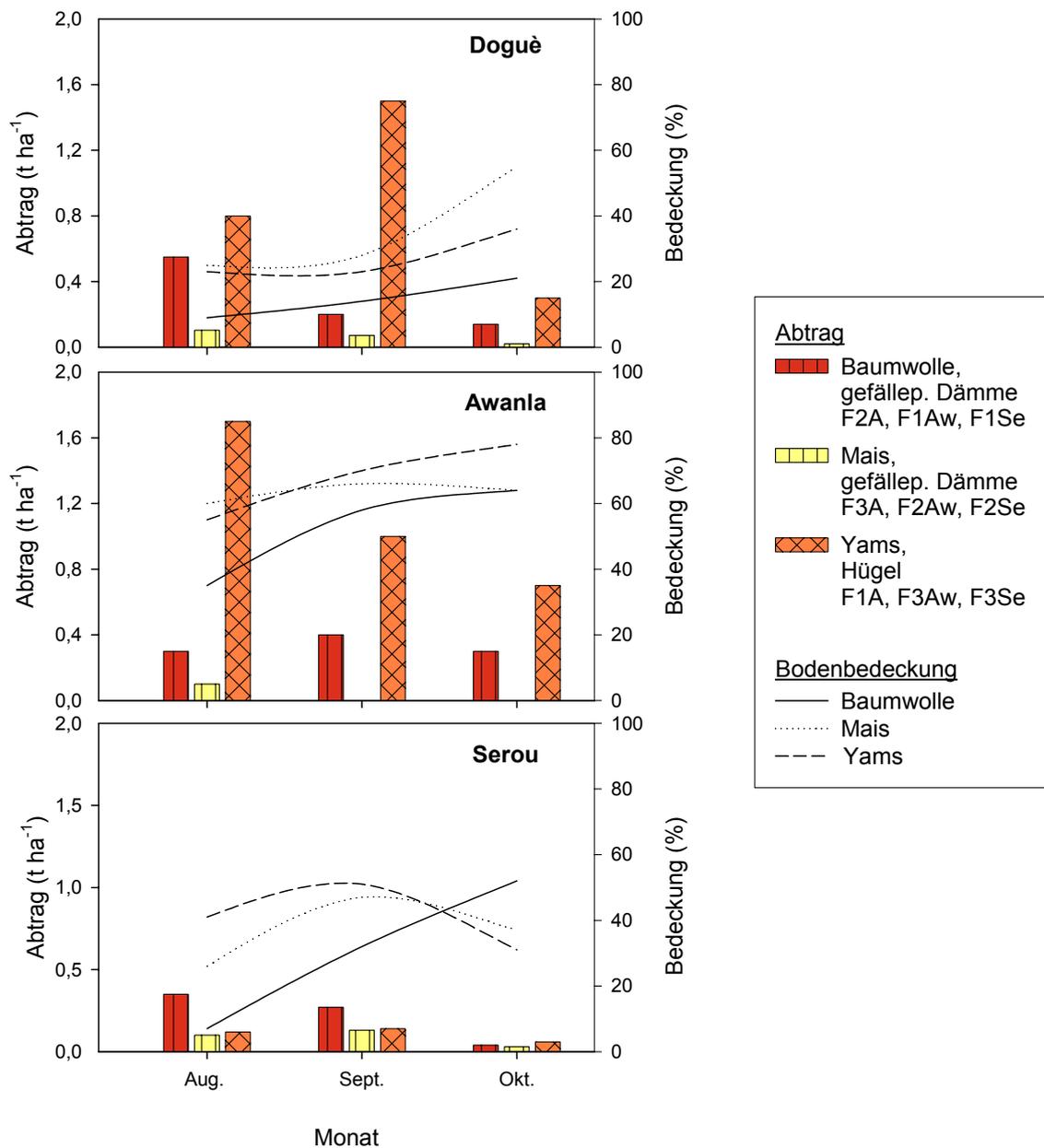
Der hohe Oberflächenabfluss im August und September beruht neben der Überschreitung der Infiltrationskapazität vor allem auf der Übertretung der Wasserspeicherkapazität des Bodens (ROOSE 1977c). Langanhaltende und häufige Niederschläge haben im Laufe der regenreichen Zeit zur Wassersättigung des Bodens geführt, so dass Regenwasser nur in sehr begrenztem Umfang infiltriert wird und bis zu 75 % (P2A) oberflächlich abfließt (Abb. A10). Des Weiteren war auch die Bodenbedeckung aufgrund der späten Aussaat der Kulturen im Jahre 2002 in den o.g. Monaten nur gering, so dass Splash-Erosion verstärkt ablief. Von Mai bis Juli und im Oktober fallen Niederschläge von vergleichsweise geringer Menge und Intensität, so dass der Boden im ungesättigten Zustand vorliegt und die Bildung von Oberflächenabfluss infolge der Infiltration von Regenwasser gering ist. Da auch die Bedeckung des Bodens mit Kulturen bzw. Unkraut in dieser Zeit hoch ist, ist die zerstörende Wirkung aufprallender Regentropfen vermindert.

Beim Vergleich des Abtragsdaten mit Ergebnissen von an ähnlich ausgestatteten Standorten durchgeführten Messungen fällt jedoch auf, dass sich die im Aguima-Einzugsgebiet ermittelten Abträge z.T. stark von den Literaturdaten unterscheiden. So wurden von VAN CAMPEN (1978) im ca. 100 km entfernt gelegenen Ort Alafiarou, Benin, Abträge von  $14,3 - 20,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  von Baumwollparzellen mit gefälleparallelen Dämmen gemessen, während in Doguè die sechsfache Menge ermittelt wurde. ROOSE (1977a) hat dagegen in Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, durchschnittlich  $92,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  Bodenabtrag von Mais-Parzellen mit in Richtung des Gefälles angelegten Reihen gemessen, was wiederum fünf mal höher als die im Aguima-Einzugsgebiet ermittelte Menge ist. Die bei Doguè gemessenen Abträge vom Yamsfeld ( $41,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) liegen dagegen innerhalb der von ROOSE (1977c) angegebenen Schwankungsbreite von  $22 - 93 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Der Vergleich zeigt deutlich, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf größere Flächen und die Vergleichbarkeit mit anderen Messungen problematisch ist (MORGAN 1988). Nach VAN CAMPEN (1978) können Erosionsmessungen, die nur über einen kurzen Zeitraum und außerdem in einem Gebiet mit hoher Niederschlagsvariabilität durchgeführt werden, keine verlässlichen Aussagen über die Bodenerosion einer Region liefern. Nur mittels Langzeitversuchen und vielen Wiederholungen ist es möglich, die Einflüsse der den Bodenabtrag beeinflussenden Faktoren und ihre Schwankungen zu erfassen und Aussagen bzw. Prognosen über das künftige Ausmaß des Bodenabtrags zu treffen (MORGAN 1988).

### Messung mittels Sediment-Fangkästen

Für den Vergleich der Bodenerosion an den drei Standorten Doguè, Awanla und Serou wurden ausschließlich Daten der Monate August bis Oktober verwendet, um den Abtrag von den Versuchsflächen mit den zu verschiedenen Zeitpunkten gesäten Kulturen besser vergleichen zu können. Die in Doguè und Awanla ermittelten Messergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Kulturen ( $p < 0,05$  bzw.  $0,01$ ) und Anbaumethoden ( $p < 0,001$ ) hinsichtlich der Bodenerosion, während ein derartiger Zusammenhang in Serou nur zwischen einzelnen Wiederholungen ermittelt werden konnte. In den beiden zuerst genannten Dörfern wurde der höchste Abtrag von Flächen mit Yamshügeln gemessen, während von Baumwollfeldern und vor allem von Maisfeldern weniger Material mit dem Oberflächenwasser erodiert wurde (Abb. 45, Tab. A19). In Serou fand dagegen am meisten Erosion auf dem Baumwollfeld statt, und zwar bei den beiden Wiederholungen in sehr unterschiedlichem Ausmaß, während der Abtrag von Flächen mit Yams- und Maisanbau deutlich geringer ausfiel. Insgesamt unterscheiden sich die Bodenabträge von Doguè und Awanla stark von den in Serou ermittelten. Ein Grund ist wahrscheinlich auf Unterschiede der Hangneigung zurückzuführen, die zwar sehr geringfügig sind, offensichtlich aber einen großen Einfluss auf die Erosion ausüben. So ist die Baumwollfläche in Serou mit 5,9 % etwas mehr geneigt als die Vergleichsflächen in Doguè (3,5 %) und Awanla (3,0 %). Auch der hohe Abtrag vom Yamsfeld in Awanla ist demzufolge auf die etwas größere Neigung des Feldes (6,2 %) zurückzuführen (Doguè 3,5 %, Serou 3,6 %). Auch ROOSE (1977c) erklärt die um einige t pro ha variierenden Abträge von *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* in Séfa, Senegal (1955 - 1962) durch Unterschiede in der Hangneigung von nur 0,5%.

Insgesamt waren die gemessenen Abträge der in den Baumwoll- und Maisfeldern installierten Wiederholungen an den Standorten Doguè und Awanla von vergleichbarer Größenordnung, während auf den Flächen mit Yamshügeln jeweils große Unterschiede ermittelt wurden. Zum Beispiel betrug die Differenz zwischen den auf dem Maisfeld in Doguè ermittelten Gesamtabträgen  $0,22 \text{ t ha}^{-1}$ , während sich die Ergebnisse der Wiederholungen auf dem Yamsfeld um  $1,54 \text{ t ha}^{-1}$  voneinander unterschieden. Auch HUDSON (1993) und MORGAN (1999) weisen auf die große Variabilität von unter Freilandbedingungen gemessenen Bodenabträgen hin, die bis zu 40 % betragen kann. Offensichtlich sind für Erosionsmessungen auf Yamsfeldern mehr als zwei Wiederholungen notwendig, um genaue Aussagen über den Bodenabtrag zu liefern.



Kultur: Doguè: F2A > F3A, F1A; F3A > F1A ( $p < 0,05$ )  
 Awanla: F1Aw > F2Aw; F2Aw > F3Aw ( $p < 0,01$ )  
 Serou: F1Se (Wiederholung 1) > F2Se, F3Se ( $p < 0,01$ )  
 Anbausystem: Doguè: gefällep. Dämme > Hügel ( $p < 0,001$ )  
 Awanla: gefällep. Dämme > Hügel ( $p < 0,001$ )

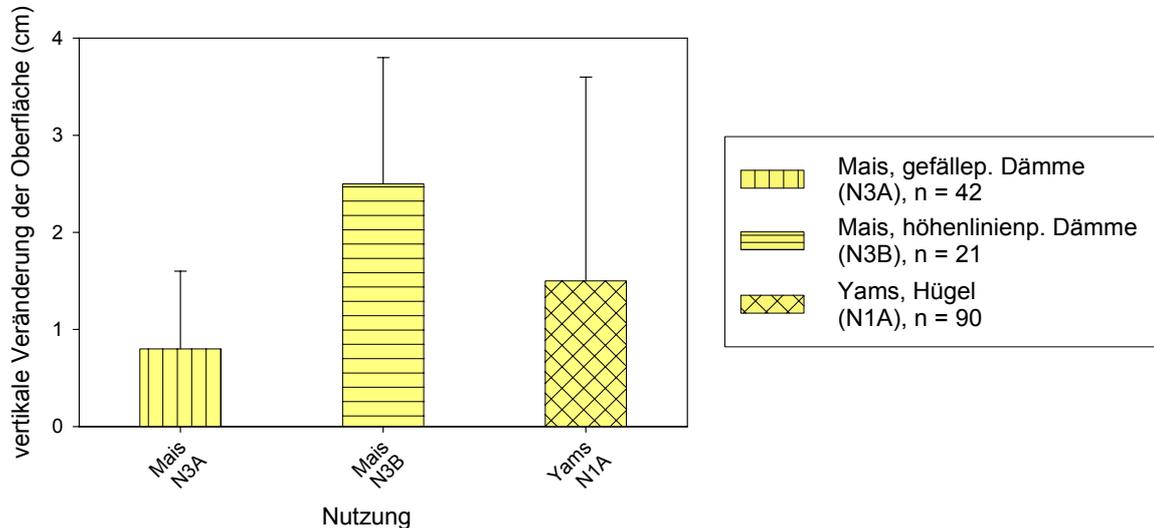
Abb. 45: Bodenabtrag (Summe) von Flächen unterschiedlicher Nutzung und Bedeckung an den Standorten Doguè (oben), Awanla (Mitte) und Serou (unten) in den Monaten August - Oktober 2002. (In Awanla wurde der Mais in Kombination mit Bohnen angebaut). Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

Der Umfang der ermittelten Bodenabträge weicht ebenfalls stark von den Messergebnissen des in Doguè durchgeführten Parzellenversuches ab. So sind die innerhalb desselben Zeitraumes erfassten Abträge von Freilandparzellen um ein Vielfaches höher als die mittels Fangkästen gemessenen. Eine Ursache ist in der unterschiedlichen Größe der Einzugsgebiete zu sehen (MORGAN 1988). So werden in großen Untersuchungsgebieten umfangreiche Substratumlagerungsprozesse erfasst, die neben der Auswaschung ebenfalls durch Sedimentanschwemmungen charakterisiert sind (MORGAN 1999). Nach HUDSON (1993) liefern Abtragsmessungen von großen Untersuchungsflächen realistischere Ergebnisse als die von kleinen Einzugsgebieten, da auf letzteren häufig nur Ausschnitte der Umlagerungsprozesse erfasst werden. Auch anhand des Vergleiches mit Ergebnissen von in Benin und Nigeria durchgeführten Erosionsversuchen (ADEGBIDI 1985) wird deutlich, dass die mittels Fangkästen gemessenen Bodenabträge realistischer sind als die mit Hilfe der Parzellen ermittelten Daten. Ähnliche Ergebnisse liegen jedoch hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Bodenerosion und Bodenbedeckung sowie den Niederschlägen vor, denn wie bei den Messparzellen nimmt der Abtrag mit zunehmender Bedeckung des Bodens ab und mit der Menge, Intensität und Energie der Niederschläge zu.

### **Messung mittels Erosionsmessnägeln**

Anhand der regelmäßig im Jahr 2002 durchgeführten Vermessung von Erosionsmessnägeln wurde herausgefunden, dass während der Regenzeit umfangreiche Materialumlagerungen auch auf kleinstem Raum auf den unterschiedlich genutzten Flächen stattgefunden haben. Zum Beispiel nahm die Höhe eines mit Mais bewachsenen und in Hangkontur verlaufenden Erddammes (N3B) während der Messperiode um durchschnittlich 1,8 cm ab, während die Anreicherung des Materials zwischen den Dämmen zur Erhöhung der Bodenoberfläche um durchschnittlich 2,5 cm führte (Abb. A11). Insgesamt zeigen die Messergebnisse, dass die Akkumulation in tiefer gelegenen Bereichen je nach Anbausystem unterschiedlich ist (Abb. 46). So wurde die Bodenoberfläche in den Räumen zwischen gefälleparallel angelegten Dämmen um durchschnittlich 0,8 cm, zwischen Yamshügeln um 1,5 cm und zwischen parallel zu den Isohypsen verlaufenden Dämmen um 2,5 cm erhöht. Wie die Erosionsmessungen mittels Freilandparzellen gezeigt haben, erfolgt auf Feldern mit hangabwärts gerichteten Dämmen und linear angeordneten Hügeln am meisten Bodenabtrag, so dass die Substratakkumulation hier nur ein geringes Ausmaß

erreichen kann. Auf Flächen mit in Hangkontur verlaufenden Dämmen ist die Erhöhung der Bodenoberfläche bzw. Akkumulation zwischen den Dämmen am größten, da das von den Reihen verlagerte Material nachweislich nur in geringem Umfang wieder abtransportiert wird.



Anbausystem: gefällep. Dämme > höhenlinienp. Dämme ( $p < 0,01$ )

Abb. 46: Erhöhung der Bodenoberfläche (Mittelwert  $\pm$  Std.abw.) zwischen Erddämmen bzw. -hügeln während der Regenzeit im Jahre 2002. Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

Bei diesem Versuch wurde auch in der Savanne (N4B) die Akkumulation von Substrat (Erhöhung der Bodenoberfläche um 0,7 cm) festgestellt, das wahrscheinlich von weiter hangaufwärts gelegenen Ackerflächen stammt. Des weiteren zeigen die Messungen eine stärkere Akkumulation von Bodenmaterial am Unterhang von Ackerflächen, denn je nach Anbausystem ist die Bodenoberfläche ca. 1 cm (gefälleparallele Dämme) bzw. 0,5 cm (höhenlinienparallele Dämme, Hügel) höher als am Oberhang. Es wird ebenfalls deutlich, dass die Akkumulation in den Zwischenräumen der Reihen bzw. Hügel in den Monaten August bis Anfang Oktober am größten war, während zu Beginn der Regenzeit weniger Substratumlagerungsprozesse abliefen (Abb. 47). Insgesamt werden auch anhand dieser Messmethode der Einfluss des Niederschlags auf die Bodenerosion und die Ergebnisse der zuerst erläuterten Erosionsversuche bestätigt.

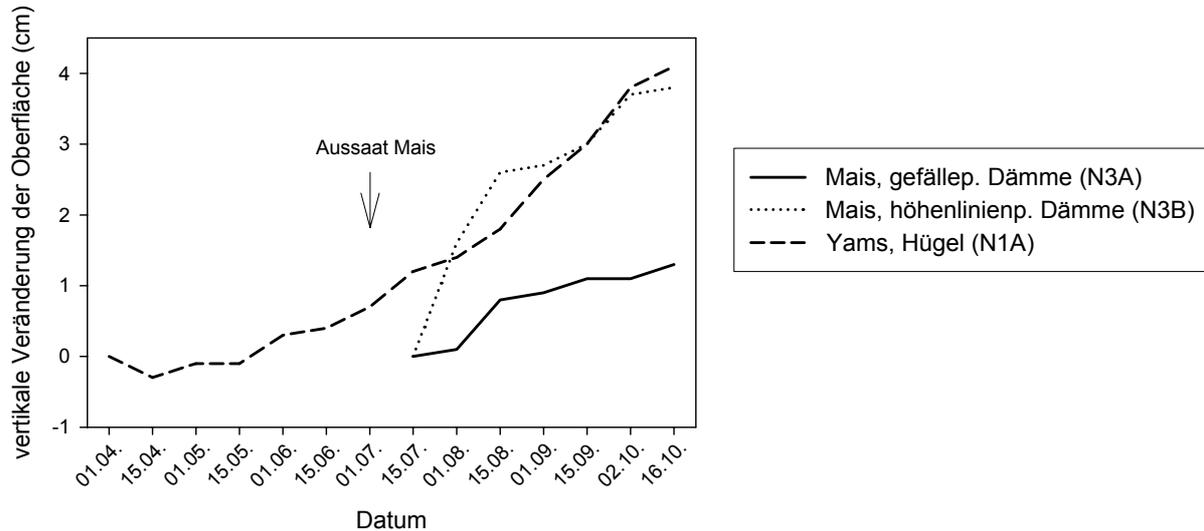


Abb. 47: Verlauf der vertikalen Veränderung der Bodenoberfläche zwischen Erdreihen bzw. -hügeln während der Regenzeit im Jahre 2002.

### Mikrorelief

Im Verlauf der Regenzeit ist das Mikrorelief der Bodenoberfläche starken Veränderungen unterlegen, die bereits mit dem Auge erkennbar sind. So ist die Oberfläche direkt nach der Saatbettbereitung infolge der Lockerung des Bodens durch große Unebenheiten, d.h. durch eine große Oberflächenrauigkeit gekennzeichnet, während am Ende der Regenzeit deutlich geringere Höhenunterschiede vorliegen. Insgesamt nimmt die Oberflächenrauigkeit von gesamten Yamshügeln um 12 %, von gefälleparallel angelegten Dämmen um 7 % und von parallel zu den Isohypsen verlaufenden Dämmen um 6 % ab. Nur auf der Bodenoberfläche in der extensiv pastoral genutzten Savanne ist die Veränderung des Mikrorelief vergleichsweise gering (0,5 %) (Abb. 48). Die Ergebnisse liegen allgemein unterhalb der von ROOSE (1996a) für bearbeitete Ackerflächen ermittelten Reduzierung der Rauigkeit von 15 - 35 %. Die Ursache dieser Einebnung ist zum einen auf die Setzung des Oberbodens nach der lockernden Bearbeitung zurückzuführen, die zur Verringerung des Poren- und Bodenvolumens führt. Zum anderen beruht die Abnahme der Oberflächenrauigkeit auf dem Zerfall der Bodenaggregate durch den zerstörenden Effekt aufprallender Regentropfen. Bei diesem Prozess werden die Bindungskräfte der einzelnen Partikel durch die hohe kinetische Energie der Regentropfen überwunden, die Bestandteile aus den Aggregaten herausgelöst und einige Zentimeter weit durch die Luft geschleudert. Durch die anschließende Verstopfung von Bodenporen durch feine Partikel wird die Infiltration des Bodens gehemmt, der Abfluss gefördert und die Oberfläche durch die Ausbildung feiner, ebener, aus verlagerten Bodenkomponenten bestehenden Schichten

versiegelt (AHNERT 1996, RICHTER 1998, MORGAN 1999). Dieser Prozess findet im Untersuchungsgebiet allgemein im großen Umfang statt, da auf den Pedimenten des Aguima-Einzugsgebietes sehr sandige und daher nicht bindige Oberböden vorliegen. Die starke Einebnung des Mikroreliefs von Yamshügeln ist in erster Linie auf die große Neigung der Hügeloberflächen zurückzuführen, die den Abfluss von Regenwasser und die Verlagerung von Bodenpartikeln begünstigt. In der Savanne wird die Oberflächenrauhigkeit im Verlauf der regenreichen Periode dagegen kaum verändert, da keine Lockerung mit anschließender Setzung des Oberbodens stattfindet und die dichte Bodenbedeckung den Splash-Effekt stark vermindert.

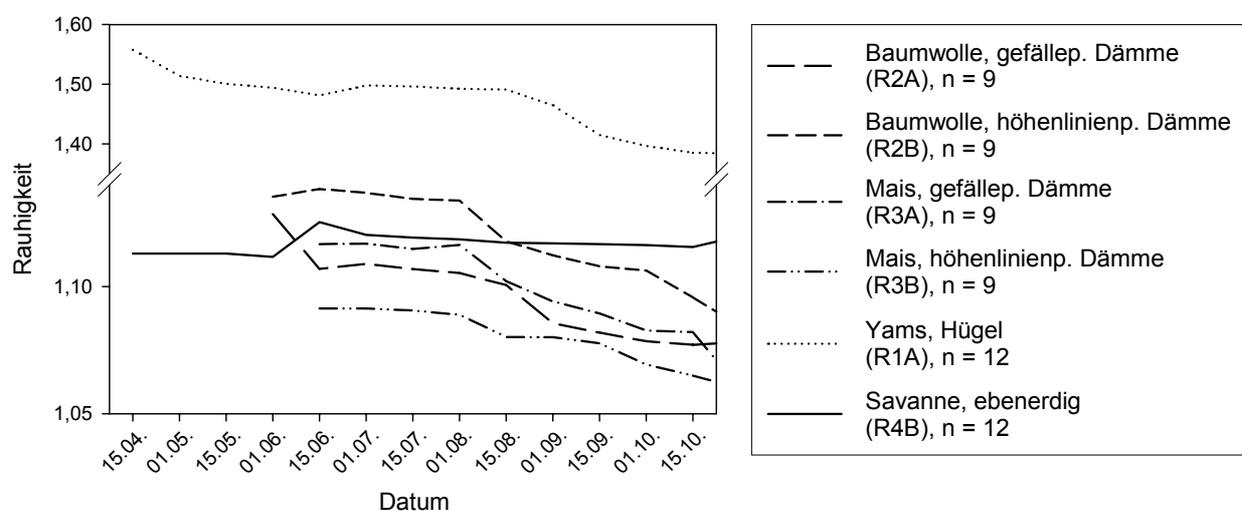


Abb. 48: Veränderung der Oberflächenrauhigkeit gesamter Dämme, Hügel und des Savannenbodens im Verlauf der Regenzeit des Jahres 2002.

Die Messergebnisse zeigen weiterhin, dass die Einebnung der Bodenoberfläche im August und September am stärksten ist, was auf den hohen Oberflächenabfluss in diesen Monaten und der damit verbundenen Ablösung und Verlagerung von Bodenpartikeln zurückzuführen ist (Abb. A11). Auch ist die Abnahme der Oberflächenrauhigkeit in den Damm-Zwischenräumen größer als auf den Dämmen, da der höhere Abfluss hier verstärkt zur Ausbildung versiegelter und später verkrusteter Bereiche führt (Abb. 49). Des weiteren liegen zwischen den Nutzflächen mit gefälleparallel bzw. isohypsenparallel verlaufenden Dämmen und Damm-Zwischenräumen signifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) hinsichtlich des Mikroreliefs vor. So findet z.B. in den Zwischenräumen von mit Baumwolle bewachsenen Dämmen eine größere Einebnung des Mikroreliefs statt als auf Maisfeldern, was auf der geringeren Bodenbedeckung und demzufolge auf der größeren Wirkung des

Regentropenaufpralls beruht. Letzterer wird nach MC GREFOR & MUTCHLER (1978 in MORGAN 1999) zusätzlich durch die Zunahme der kinetischen Energie infolge der Tropfenkonzentrierung auf den Blättern verursacht.



Abb. 49: Oberfläche eines Baumwollfeldes mit deutlichen Unterschieden hinsichtlich des Mikroreliefs von Dämmen und Damm-Zwischenräumen (September 2002).

Die Untersuchung des Mikroreliefs liefert insgesamt wichtige Erkenntnisse für die Erklärung des Erosionsprozesses auf den unterschiedlich genutzten Flächen. So kann u.a. der hohe Bodenabtrag von Baumwollfeldern mit hangabwärts gerichteten Dämmen durch die starke Abnahme der Oberflächenrauigkeit in den Damm-Zwischenbereichen erklärt werden, in denen die Verschlammung und Versiegelung der Bodenoberfläche zur Verringerung der Infiltration und infolgedessen zur Verstärkung des Oberflächenabflusses geführt haben. Der geringe Bodenabtrag in der Savanne beruht dagegen u.a. auf der relativ konstanten Oberflächenrauigkeit, die die Infiltration des Niederschlagswassers in den Boden während der Regenzeit ermöglicht und die Bildung von Oberflächenabfluss reduziert. Auch BERGSMA & KWAAD (1992) weisen auf die Korrelation zwischen der Mikrotopographie der Bodenoberfläche und dem Bodenabtrag hin und verwenden diese Methode für die Evaluierung von Abtragsmessungen.

### **Kartierung von Erosionsformen**

Wege sind anthropogen bedingte Leitlinien, entlang derer Oberflächenwasser konzentriert über weite Strecken abfließen und umfangreiches Material verfrachten kann, das wiederum zur Belastung der umliegenden Gewässer führt (DVWK 1996). Die

Untersuchung der Wege zeigt, dass die ca. 30 Jahre alte Piste infolge der Nutzung durch Holzlaster erwartungsgemäß wesentlich breiter und tiefer ausgefahren ist als der seit viel längerer Zeit genutzte Fußweg. So erreichen die Fahrspuren häufig eine Tiefe von  $> 1$  m und eine Breite von durchschnittlich 3,8 m, während der Trampelpfad stellenweise bis zu 0,5 m tief und durchschnittlich 1,8 m breit ist. Vereinzelt wurden ebenfalls bis zu 50 m breite und im zentralen Bereich für LKW unpassierbare Pistenabschnitte im Aguima-Einzugsgebiet vorgefunden, die durch wiederholte seitliche Ausdehnung entstanden sind. Auch entlang der Fußwege sind häufig Trittschäden am Wegrand und streckenweise neu angelegte Pfade parallel zu den sehr tief ausgetretenen und in der Regenzeit überfluteten alten Wegen beobachtet worden. Die Vermessung der Wegabschnitte zu Beginn und am Ende der Regenzeit hat ergeben, dass pro Meter Fußweg  $0,07 \text{ m}^3$  und pro Meter LKW-Piste  $0,31 \text{ m}^3$  Bodenvolumen durch Wassererosion abtransportiert worden sind. Der Vergleich der akkumulierten Substratmengen zeigt dagegen den Verlust von  $6,1 \text{ kg}$  Boden pro Meter Trampelpfad, während auf der Piste  $120,7 \text{ kg m}^{-1}$  Material zusätzlich sedimentiert wurde (Tab. 25).

Tab. 25: Ausmaß der Erosion und Akkumulation ausgewählter Wegabschnitte im Jahre 2002

Weg	Wegstrecke	Erosion ( $\text{m}^3$ )	Erosion (kg)	Akkumulation ( $\text{m}^3$ )	Akkumulation (kg)
<b>Trampelpfad</b>	67 m	4,7	5222,4	-0,4	-406,5
	1 m	0,071	77,9	-0,006	-6,1
<b>LKW-Piste</b>	178 m	54,3	59698,1	19,5	21485,5
	1 m	0,305	335,4	0,110	120,7

Insgesamt ist die Holzfällerpiste nutzungsbedingt durch wesentlich größere Substratumlagerungen gekennzeichnet als der schmale Fußweg. Übereinstimmend ist jedoch das Überwiegen der Erosion gegenüber der Akkumulation, so dass hangabwärts verlaufende unbefestigte Wege allgemein und unabhängig von ihrer Nutzung zum Austrag von Sedimenten aus einem Einzugsgebiet beitragen. Da das bestehende Wegenetz im Aguima-Einzugsgebiet aufgrund der zunehmenden Umwandlung von extensiv pastoral genutzten Flächen in Ackerstandorte und wegen des anhaltenden illegalen Holzeinschlags ausgedehnt wird, ist zukünftig mit einem Anstieg dieser Form des Materialabtrags zu rechnen.

Bei der Bodenart des akkumulierten Substrats handelt es sich vorwiegend um gut sortierte Sande, bei denen Mittelsand dominiert und die z.T. neben Anreicherungen von Pedimentschutt der Grus- und Kiesgröße in muldenförmigen Vertiefungen oder hinter Hindernissen wie Baumwurzeln abgelagert wurden. Demnach sind Partikel der Ton- und Schlufffraktion mit dem Oberflächenabfluss abtransportiert und in den Aguima bzw. dessen Nebenfluss Niaou eingetragen worden, was u.a. an der trüben beige-braunen Farbe des Flusswassers erkennbar ist.

Die regelmäßig durchgeführte Vermessung der auf den unbefestigten Wegen entstandenen Erosionsformen zeigt die laufende Veränderung der Stufenquerschnitte während der Regenzeit (Abb. 50, Abb. A12, A13). So wurden die Stufen auf dem Trampelpfad entweder um maximal 5 cm tiefer in den Boden eingeschnitten oder durch Sedimente von maximal 6 cm Mächtigkeit z.T. verfüllt. Die Erosionsstufen auf den LKW-Pisten sind infolge der zwar nur temporären aber während dieser Zeit recht intensiven Nutzung großen Veränderungen unterlegen. Im Allgemeinen wurden die Erosionsformen um durchschnittlich 24 cm tiefer in den Untergrund eingeschnitten. Bei den Erosionsformen 1, 2, 4 und 5 konnte ebenfalls die seitliche Ausdehnung infolge der vom ursprünglichen Weg abweichenden Fahrweise der LKW beobachtet werden, die zur Tieferlegung des bisher ungenutzten Wegrandes um durchschnittlich 7 cm führte.

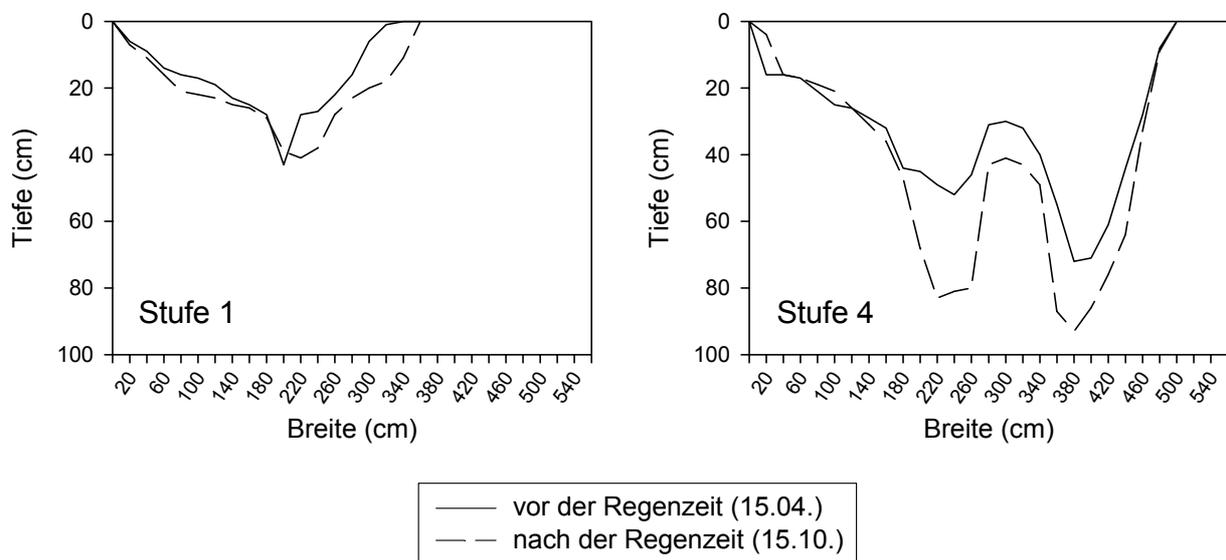


Abb. 50: Beispiel der Querschnittsentwicklung von Erosionsformen auf einem Trampelpfad (links) und einer LKW-Piste (rechts) während der Regenzeit im Jahre 2002.

Die gesamte Ausdehnung der Erosionsschäden wird anhand der Zunahme der Volumina deutlich (Tab. 26). Die auf den weniger geneigten Wegabschnitten gelegenen Stufen (Stufe 6) haben eine vergleichsweise geringe Vergrößerung erfahren, was auf die geringere Fließgeschwindigkeit des Wassers und die erodierende Wirkung zurückzuführen ist.

Tab. 26: Veränderung von Erosionsstufen während der Regenzeit im Jahre 2002

Weg	Stufe					
	1	2	3	4	5	6
<b>Trampelpfad</b>						
Erosion (m <sup>3</sup> )	0,09	0,28	0,10	0,34	0,06	0,03
Erosion (kg)	102,7	307,4	109,5	370,7	68,1	36,6
<b>LKW-Piste</b>						
Erosion (m <sup>3</sup> )	0,06	0,74	0,63	0,45	0,79	0,37
Erosion (kg)	70,1	809,1	690,9	498,3	867,4	408,0

### Tracerversuch

In den untersuchten Sedimentproben des Fußweges und der Holzfällerpiste konnten keine gefärbten Sandpartikel nachgewiesen werden, so dass vom vollständigen Abtransport des Materials ausgegangen werden muss. Demzufolge ist das Oberflächenwasser mit einer Fließgeschwindigkeit von  $> 20 \text{ cm s}^{-1}$  auf den Wegen hangabwärts geflossen, die nach HJULSTRÖM (1935) für die Erosion von Material der Sandfraktion notwendig ist. Die Akkumulation von Pedimentschutt auf verschiedenen Wegabschnitten weist allerdings auf eine noch größere Schleppkraft bzw. Fließgeschwindigkeit des Abflusses hin. Auch die Ausbildung von Rippeln, die nach heftigen Niederschlagsereignissen auf der Oberfläche von Akkumulationsformen auf den Wegen beobachtet worden sind, lassen den Abfluss des Oberflächenwassers in Form mächtiger Schichten mit turbulenter Strömungen erkennen (AHNERT 1996).

### 6.2.2 Potentieller Bodenabtrag

Parallel zu den Erosionsmessungen wurde der potentielle Bodenabtrag nach der *Universal Soil Loss Equation* (USLE) von WISCHMEIER & SMITH (1978) bestimmt und die Anwendbarkeit dieses empirischen Modells auf das Untersuchungsgebiet überprüft.

### **Erosivität der Niederschläge (R-Faktor)**

Niederschlag wird aufgrund des Splash-Effekts der Regentropfen und der Abscherung sowie des Transports von Bodenpartikeln mit dem Oberflächenabfluss als der Auslöser für Bodenerosion durch Wasser angesehen (LAL 1977a, ROOSE 1977c, SCHWERTMANN et al. 1987). Die erosive Wirkung eines Regens beruht auf der kinetischen Energie, die aus der Niederschlagsintensität und der Regenmenge ermittelt wird, und die je nach Höhe unterschiedliche Erosionsprozesse verursachen kann (MORGAN 1999). So findet Bodenabtrag durch Oberflächenabfluss nach WISCHMEIER & SMITH (1978) in den USA ab einer maximalen 30-Minuten-Intensität ( $I_{30}$ ) von  $12,5 \text{ mm h}^{-1}$  bzw. einer Menge (N) von  $12,5 \text{ mm}$  statt, während NILL et al. (1996) aufgrund der höheren Intensität der Niederschläge in Kamerun und Nigeria mindestens  $10 \text{ mm h}^{-1}$  bzw.  $10 \text{ mm}$  und HUDSON (1981) in Sambia eine Intensität (I) von mindestens  $25 \text{ mm h}^{-1}$  dafür erforderlich hält. Für Grabenerosion sind Niederschlagsmengen von  $2000 - 5000 \text{ mm}$  pro Monat (STARKEL 1972 in MORGAN 1999) und für Geröll- und Schlammflüsse sogar  $500 - 1000 \text{ mm}$  innerhalb weniger Tage (FROELICH & STARKEL 1993 in MORGAN 1999) notwendig. In dieser Arbeit werden alle Regenfälle ab  $10 \text{ mm h}^{-1}$  bzw.  $10 \text{ mm}$  als erosiv bezeichnet, da die Untersuchung des Bodenabtrags durch Oberflächenabfluss im Vordergrund steht und diese Schwellenwerte ebenfalls von AALDERS (1977), VAN DIEPEN (1980) und ADEGBIDI (1985) bei Berechnungen des R-Faktors für verschiedene Orte Benins zugrunde gelegt wurden.

Innerhalb des Zeitraumes von 1997 - 2002 wurden im Aguima-Einzugsgebiet durchschnittlich 33 erosive Niederschläge pro Jahr registriert, die 82 % der Jahresniederschläge umfassten. ADEGBIDI (1985) hat für die Messperiode von 1966 - 1983 durchschnittlich 34 erosive Ereignisse pro Jahr in Parakou ermittelt, was mit den Ergebnissen des Aguima-Einzugsgebietes vergleichbar ist.

Die Erosivität der Niederschläge im Aguima-Einzugsgebiet, die nach WISCHMEIER & SMITH (1978) der Summe der Produkte aus kinetischer Energie (E) und maximaler 30-Minuten-Intensität aller erosiven Niederschlagsereignisse entspricht, betrug im untersuchten Zeitraum durchschnittlich  $748,3 \text{ N h}^{-1}$  (Tab. 27, Tab. A21). Sie liegt somit innerhalb der VAN DIEPEN (1980) für Benin ermittelten Erosivität von  $730 - 1300 \text{ N h}^{-1}$  und ist etwas geringer als der von VAN CAMPEN (1978) für Parakou und Alafiarou errechnete R-Faktor von  $943,2 \text{ N h}^{-1}$  (1966 - 1976). Auch der Vergleich mit der Isoerodenkarte von Benin (AALDERS 1975) bzw. von Westafrika (ROOSE 1977a) zeigt, dass der für Doguè bestimmte Wert geringer als die in den Karten dargestellte Regenerosivität Zentralbenins ( $997,9 - 1041,5 \text{ N h}^{-1}$  bzw.  $1041 - 1215 \text{ N h}^{-1}$ ) ist. Die

Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Erosivität der Niederschläge sehr variabel ist. So wurde im Jahre 1998 mit  $1075,0 \text{ N h}^{-1}$  ein wesentlich höherer R-Faktor als im Vorjahr ermittelt ( $446,2 \text{ N h}^{-1}$ ), was zum einen auf der unterschiedlichen Menge der Niederschläge und zum anderen auf der ebenfalls schwankenden Intensität bzw. kinetischen Energie der Regenfälle beruht (VAN DIEPEN 1980). Letztere sind ebenfalls für die Variabilität der Regenerosivität im Verlauf eines Jahres verantwortlich. So kommen die meisten erosiven Ereignisse im Aguima-Einzugsgebiet im August und September, d.h. in den Monaten mit maximaler Niederschlagsmenge vor, während zu Beginn und am Ende der regenreichen Periode deutlich weniger Regenfälle mit erosiver Wirkung auftreten (Abb. 51, Tab. A21). Vereinzelt wurden jedoch Ereignisse von hoher Erosivität bereits im April (2002) oder im Juni (1998) gemessen. VAN DIEPEN (1980) hat dagegen für den Standort Parakou die höchste Regenerosivität im Juni ermittelt (1966 - 1975), während im August, September und im April weniger erosive Niederschläge gefallen sind.

Tab. 27: Erosivität der Niederschläge in Doguè von 1997 - 2002

<b>Jahr</b>	<b>N<sub>gesamt</sub></b> (mm)	<b>Anzahl erosiver Niederschläge</b>	<b>R-Faktor</b> ( $\text{N h}^{-1}$ )
1997	906,0	46	446,2
1998*	1330,0	56	1075,0
1999*	966,5	46	723,2
2000	781,5	33	490,3
2001	1100,5	45	907,6
2002	916,0	35	847,4
Mittel $\pm$ Std.abw.	$1000,1 \pm 191,7$	$44 \pm 8$	<b><math>748,3 \pm 245,1</math></b>

\*Berechnung der R-Faktoren von Wolf (2002)

Des Weiteren unterscheiden sich die Arten der im HVO fallenden Niederschläge signifikant hinsichtlich ihrer Menge und Intensität und somit hinsichtlich ihres Einflusses auf die Erosion. Die abends fallenden *young classical squall systems* (yMCS) und die um Mitternacht häufigen *classical squall systems* (MCS) sind durch Mengen  $> 25 \text{ mm}$  und  $I_{30} > 30 \text{ mm h}^{-1}$  charakterisiert und als besonders erosiv zu bewerten. Weniger intensiv sind dagegen die *small multicell afternoon convection* (SMAC) und *MCS/SL systems*, die deutlich kürzer als die erst genannten Regenfälle sind und deren Menge durchschnittlich  $< 15 \text{ mm}$  und  $I_{30} < 20 \text{ mm h}^{-1}$  umfasst (Abb. A14).

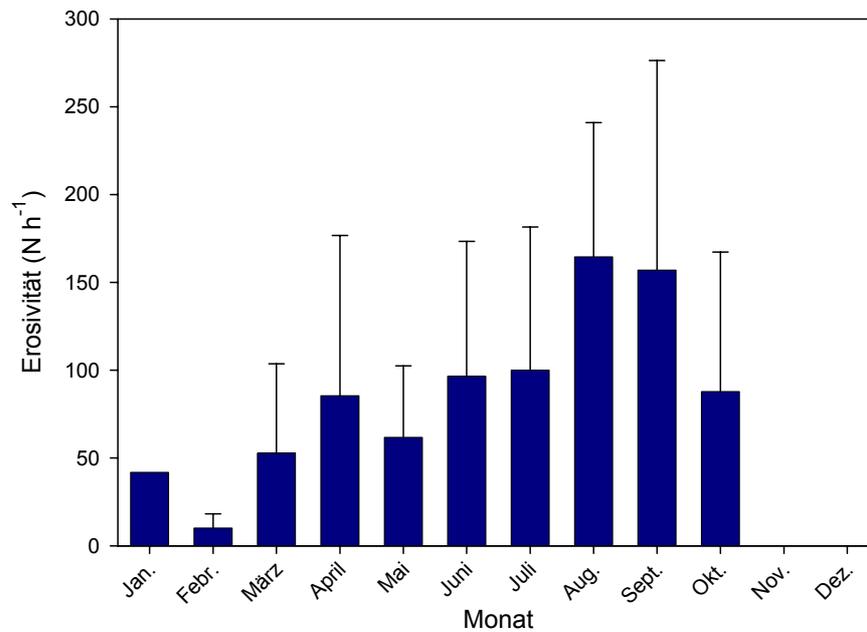


Abb. 51: Mittlere Erosivität der Niederschläge im Aguima-Einzugsgebiet im Verlauf des Jahres (1997 - 2002, n = 259).

Des weiteren unterscheiden sich die Arten der im HVO fallenden Niederschläge signifikant hinsichtlich ihrer Menge und Intensität und somit hinsichtlich ihres Einflusses auf die Erosion. Die abends fallenden *young classical squall systems* (yMCS) und die um Mitternacht häufigen *classical squall systems* (MCS) sind durch Mengen  $> 25$  mm und  $I_{30} > 30$  mm h<sup>-1</sup> charakterisiert und als besonders erosiv zu bewerten. Weniger intensiv sind dagegen die *small multicell afternoon convection* (SMAC) und *MCS/SL systems*, die deutlich kürzer als die erst genannten Regenfälle sind und deren Menge durchschnittlich  $< 15$  mm und  $I_{30} < 20$  mm h<sup>-1</sup> umfasst (Abb. A14).

Die von GALABERT & MILLOGO (1973) und ROOSE (1977c) in Burkina Faso und Cote d'Ivoire ermittelten Zusammenhänge zwischen der Regenmenge und der kinetischen Energie bzw. der max. 30-Minuten-Intensität treffen erwartungsgemäß auch für die Niederschläge des Aguima-Einzugsgebietes zu. So besteht eine lineare Regression zwischen E und N, während zwischen  $I_{30}$  und N eine kurvenlineare Regression vorliegt (Abb. 52).

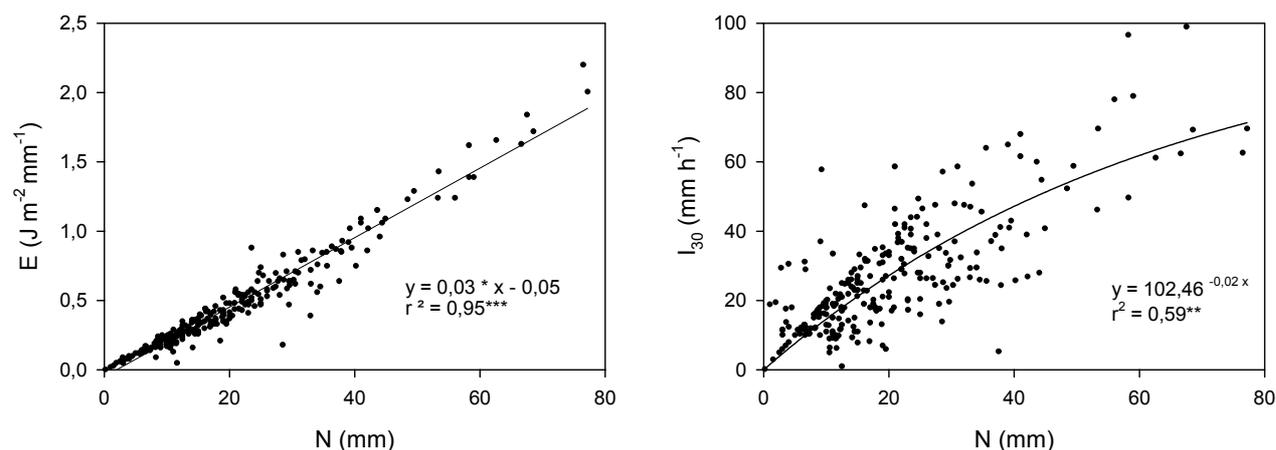


Abb. 52: Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie (links) bzw. der max. 30-Minuten-Intensität (rechts) und der Niederschlagsmenge im Aguima-Einzugsgebiet (1997 - 2002, n = 259).

Nach GALABERT & MILLOGO (1973) besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Regenerosivität aus der Niederschlagsmenge und der max. 30-Minuten-Intensität nach der Gleichung  $R = 0,01572 H * I_{30} - 1,179$  (foot-tons inch  $\text{acre}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) bzw.  $R = 0,02728 H I_{30} - 2,04627$  ( $\text{N h}^{-1}$ ) abzuleiten. Der so ermittelte R-Faktor des Aguima-Einzugsgebietes ( $768,9 \text{ N h}^{-1}$ ) (1997 - 2002) stimmt gut mit der nach WISCHMEIER & SMITH bestimmten Erosivität ( $R = \sum EI_{30} = 748,3 \text{ N h}^{-1}$ ) überein, so dass diese Gleichung als gutes Hilfsmittel zur vereinfachten Berechnung des R-Faktors angesehen werden kann. Dementsprechend ähnlich ist auch die für das Aguima-Einzugsgebiet erstellte Regressionsgleichung ( $R = 0,02589 H I_{30} - 1,4815$  ( $\text{N h}^{-1}$ )) (Abb. A15).

Eine lineare Regression liegt nach ROOSE (1977c) auch zwischen der Menge und der Erosivität der von Juni bis September fallenden Niederschläge vor ( $R = 0,577 N - 5,766$  (foot-tons inch  $\text{acre}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) bzw.  $R = 1,007 N - 10,007$  ( $\text{N h}^{-1}$ )), so dass der R-Faktor bestenfalls auf diese Weise berechnet werden kann. Die mit Hilfe dieser Gleichung bestimmte Erosivität für die o.g. Monate der Jahre 1997 - 2002 ist jedoch kleiner ( $R = 315,7 \text{ N h}^{-1}$ ) als die nach der WISCHMEIER & SMITH-Gleichung ermittelte ( $R = 511,2 \text{ N h}^{-1}$ ). Auch die aus der Regenerosivität und der Niederschlagsmenge des Aguima-Einzugsgebietes ermittelte Regressionsgleichung ( $R = 1,551 * N - 14,757$  ( $\text{N h}^{-1}$ )) weicht etwas von der erstgenannten Gleichung ab (Abb. A16). Diese empirische Beziehung ist offensichtlich weniger für die Ermittlung der Regenerosivität des Aguima-Einzugsgebietes geeignet, da in dem untersuchten Zeitraum mehr erosive Niederschläge fallen.

Nach ROOSE (1977c) besteht für Westafrika außer den Gebirgs- und Küstenregionen auch ein Bezug zwischen dem mittleren jährlichen Erosivitätsindex (Ram von 5 - 10 Jahren) und dem mittleren Jahresniederschlag (Ham):  $Ram/Ham = 0.50 \pm 0,05$  (amerikanische Einheit) bzw.  $Ram/Ham = 0.87 \pm 0,09$  (metrische Einheit). Für das Aguima-Einzugsgebiet beträgt der Quotient 0,75 (metrische Einheit) (1997 - 2002) und für Parakou 0,83 (1966 - 1976) (VAN DIEPEN 1980), d.h. die mit Hilfe der Niederschlagsmenge berechnete Erosivität ist hier etwas geringer als nach der ROOSE-Gleichung vorhergesagt. Deutlich wird dieser Unterschied durch Vergleichen der R-Faktoren, die mittels der umgeformten Gleichung von ROOSE (1977c) ( $Ram = 0,87 * Ham = 867,9 N h^{-1}$ ) bzw. WISCHMEIER & SMITH ( $R = \sum EI_{30} = 748,3 N h^{-1}$ ) ermittelt wurden. Insgesamt ist auch dieser Index als grobe Einschätzung der Regenerosivität eines Gebietes zu sehen, jedoch zur Vereinfachung der zeitaufwendigen Erosivitätsberechnung gut zu verwenden (Abb. 53) (Abb. A17).

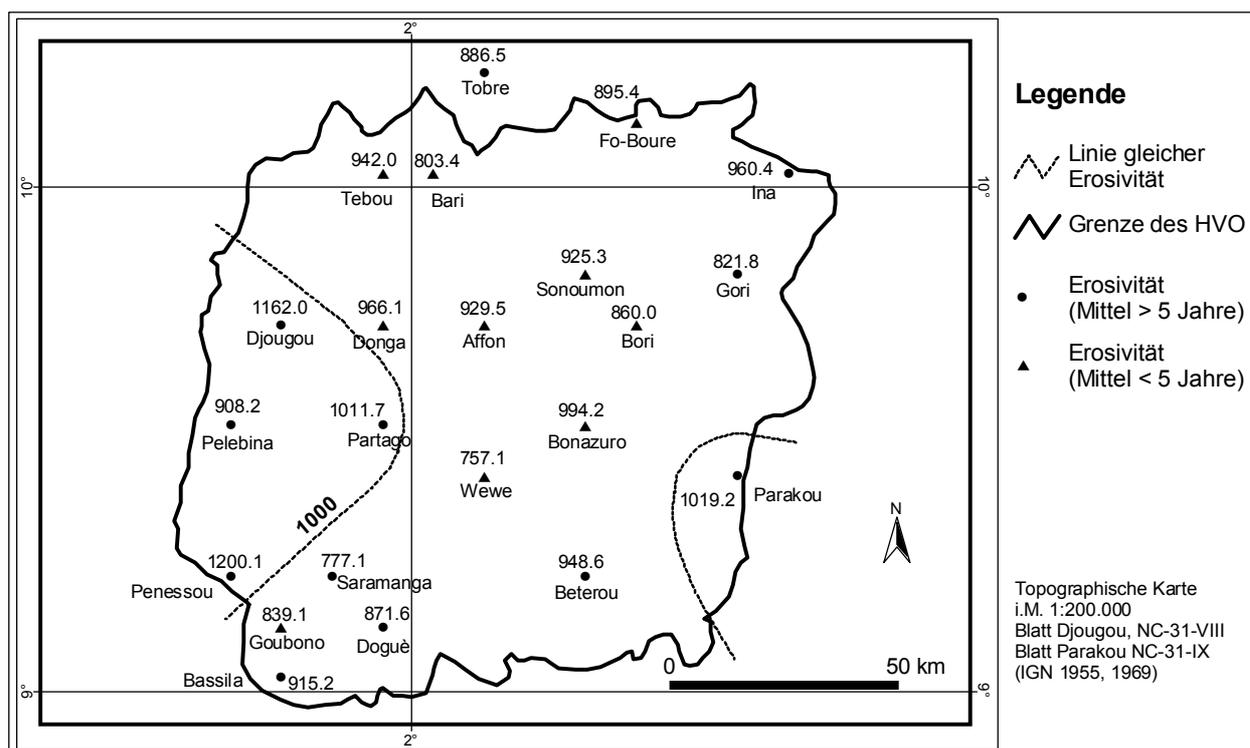


Abb. 53: Isoerodenkarte des HVO (ermittelt aus Niederschlagsdaten von 1990 - 2002).

### Erodibilität der Böden (K-Faktor)

Die Erodibilität bzw. Erodierbarkeit eines Bodens beschreibt seine Widerstandsfähigkeit gegenüber Ablösung und Transport und ist vorrangig von den Einflussgrößen Textur,  $C_{org}$ -Gehalt, Aggregatstabilität und Infiltrationskapazität abhängig (WISCHMEIER & SMITH

1978, MORGAN 1999). Die Böden der Pedimente unter Savannenvegetation, d.h. die Acrisols und Plinthosols, sind allgemein als erosionsresistent ( $K > 0,1 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) zu bewerten, was auf dem geringen Anteil des sandigen Decksediments an leicht erodierbarem Feinstsand (6,5 %,  $n = 18$ ) und Schluff (19,3 %,  $n = 18$ ) zurückzuführen ist (Tab. 28).

Die hohe Durchlässigkeit des überwiegend sandigen und schluff- sowie tonarmen Alluviums bedingt die geringe Erosionsanfälligkeit der in der Tiefenlinie entstandenen Fluvisols. Leptosols und Acrisols, die am Fuß bzw. in der Umgebung des Inselbergs Mont Charles de Gaulle vorkommen, sind ebenfalls resistent gegenüber Erosion. Die Ursache liegt im hohen Gehalt des Leptosol-Oberbodens an  $C_{\text{org}}$  bzw. des Inselberg-Pediments an Ton (17,9 %,  $n = 2$ ), die zur Bildung stabiler Aggregate beitragen (MORGAN 1999). Stärker erosionsgefährdet sind dagegen die Gleysols im Zentrum der Bas-Fonds ( $K > 0,35 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ), was auf dem erhöhten Schluffgehalt (41,1 %,  $n = 2$ ) des Talbodensediments beruht. Eine höhere Erodierbarkeit wurde ebenfalls bei den ackerbaulich genutzten Böden der Pedimente vorgefunden, deren K-Wert größer als der von ähnlich aufgebauten Böden der extensiv pastoral genutzten Savanne ist (Tab. 29). Zurückzuführen ist die höhere Erodibilität auf den vergleichsweise geringen  $C_{\text{org}}$ -Gehalt der Ackerflächen (1,9 %) und die entsprechend reduzierte Aggregatstabilität (MORGAN 1999). Auffällig ist weiterhin, dass brach liegende Flächen etwas weniger erosionsanfällig sind als Ackerflächen, was als Folge der Humusanreicherung gesehen werden kann.

Insgesamt gleicht die Erodierbarkeit der im Aguima-Einzugsgebiet ackerbaulich genutzten oder temporär beweideten Acrisols und Plinthosols der Erodibilität der von ROOSE (1976b) und ROOSE & SARRAILH (1990) in Westafrika untersuchten *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* ( $K = 0,2 - 0,3 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) (z.B.  $K = 0,13 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  Agonkamey, Benin (1964-68),  $K = 0,24 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  Saria, Burkina Faso (1971 - 74, 1978 - 80)). Auch liegt eine Übereinstimmung mit der von BOLI et al. (1993) für vergleichbare Böden Kameruns ( $0,07 - 0,24 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) und mit der von VAN CAMPEN (1978) für nahe Parakou ( $0,26 - 0,30 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) ermittelten Erosionsempfindlichkeit vor.

Tab. 28: Erodibilität der Böden im Aguima-Einzugsgebiet im Jahre 2002

Lage	WRB- Soil group	M (%)	OS (%)	A	D	K-Faktor (t h N <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Klassifikation (BOLLINNE & ROSSEAU 1978)*
<b>Savanne</b>							
<b>Wasserscheide</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	2202,7	1,4	2	4	<b>0,195</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Ober-, Mittelhang</b> (n = 5)	Endoskeleti-Albic Acrisol	2292,2	2,5	2	4	<b>0,178</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Unterhang</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	2619,2	3,2	2	4	<b>0,187</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Bas Fonds-Rand</b> (n = 3)	Eutri-Arenic Gleysols	1912,1	1,8	2	5	<b>0,138</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Bas Fonds-Zentrum</b> (n = 1)	Orthidystic Gleysol	4315,2	3,4	2	3	<b>0,376</b>	erosionsgefährdet
<b>Fluviale Tiefenlinie</b> (n = 1)	Orthieutri-Arenic Fluvisols	2540,5	1,6	2	5	<b>0,187</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Inselberg-Fuss</b> (n = 1)	Molli-Lithic Leptosols	1231,4	5,3	3	4	<b>0,105</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Inselberg- Umgebung</b> (n = 2)	Rhodic Acrisols	1717,1	3,4	3	2	<b>0,225</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Termitenhügel</b> (n = 1)	Orthieutric Cambisols	1751,4	1,6	3	2	<b>0,253</b>	mäßig erosionsgefährdet
<b>Acker</b>							
<b>Ober-, Mittelhang</b> (n = 6)	Episkeletic Acrisol	3129,4	2,2	2	3	<b>0,294</b>	mäßig erosionsgefährdet
<b>Unterhang</b> (n = 3)	Albi-Petric Plinthosol	2385,0	1,9	2	3	<b>0,232</b>	ausreichend erosionsresistent
<b>Brache</b>							
<b>Mittelhang</b> (n = 1)	Haplic Lixisol	2206,4	2,7	2	3	<b>0,201</b>	ausreichend erosionsresistent

\* Klassifikation nach BOLLINNE & ROSSEAU (1978) vgl. Tab. A16

Nach VORONEY et al. (1981 in MORGAN 1999) nimmt die Erodibilität der Böden mit zunehmendem C<sub>org</sub>-Gehalt linear ab. Bei den untersuchten Böden des Aguima-Einzugsgebietes wurde ebenfalls eine entsprechende, jedoch nicht signifikante Abnahme ermittelt (Abb. A18). Weiterhin zeigt der Vergleich des berechneten K-Faktors mit der aus den Abtragsmessungen ermittelten Erodibilität auch nach Berücksichtigung des z.T. hohen Schuttanteils im Oberboden keine Übereinstimmung. Letztere sind ca. um ein Dreifaches höher, was auf die hohen mittels Parzellen gemessenen Bodenabträge zurückzuführen ist.

Tab. 29: Erodibilität von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002

Kultur	Anbau-system	Versuchs-feld	M (%)	OS (%)	A	D	K-Faktor (t h N <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Klassifikation (BOLLINNE & ROSSEAU 1978)*
Baumwolle	gefällep. Dämme	P2A	3787,8	2,2	2	3	0,366	erosionsgefährdet
Baumwolle	höhenlinienp. Dämme	P2B	3402,9	2,5	2	3	0,304	mäßig erosionsgefährdet
Mais	gefällep. Dämme	P3A	2793,9	1,4	2	3	0,283	mäßig erosionsgefährdet
Mais	höhenlinienp. Dämme	P3B	2736,0	1,3	2	4	0,257	mäßig erosionsgefährdet
Yams	Hügel	P1A	2850,5	1,4	2	4	0,265	mäßig erosionsgefährdet
Savanne	/	P4B	2320,1	2,2	2	3	0,211	ausreichend erosionsresistent

\* Klassifikation nach BOLLINNE & ROSSEAU (1978) vgl. Tab. A16

### Hanglänge und Hangneigung (LS-Faktor)

Das Gefälle des Geländes beeinflusst in hohem Maß den Abtrag des Bodens (FOURNIER 1967). Entsprechend der schwachen Neigung der Pedimente sind die LS-Faktoren der untersuchten Flächen allgemein gering (Tab. 30) und entsprechen nur z.T. dem von VAN CAMPEN (1978) für ackerbaulich genutzte Flächen nahe Parakou ermittelten Topographiefaktor (LS = 0,27). Zurückzuführen sind die im Aguima-Einzugsgebiet ermittelten LS-Faktoren wahrscheinlich auf die etwas größere Hangneigung. Nach BORST & WOODBURN (1949 in ROOSE 1977c) nimmt die Erosion des Bodens exponentiell mit der Hangneigung zu, während WISCHMEIER & SMITH (1957) einen logarithmischen Zusammenhang zwischen den beiden Größen annehmen. Für das Aguima-Einzugsgebiet konnte dieser Zusammenhang aufgrund zu geringer Datenmengen nicht ermittelt werden.

Tab. 30: LS-Faktoren von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002

Kultur	Anbausystem	Versuchsfeld	LS-Faktor
Baumwolle	gefällep. Dämme	P2A	0,31
Baumwolle	höhenlinienp. Dämme	P2B	0,45
Mais	gefällep. Dämme	P3A	0,52
Mais	höhenlinienp. Dämme	P3B	0,47
Yams	Hügel	P1A	0,30
Savanne	gefällep. Dämme	P4B	0,30

**Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor)**

Generell schützen Pflanzen den Boden vor Erosion, indem sie die Planschwirkung der Regentropfen reduzieren, zur Verlangsamung des Oberflächenabflusses beitragen und die Porosität des Bodens erhalten (ROOSE 1977c). Durch die Bearbeitung der Ackerkrume werden die Aggregation der Bodenpartikel und die Rauigkeit der Oberfläche verändert, so dass der Oberboden je nach Zustand auf das oberflächlich abfließende Wasser einwirkt (SCHWERTMANN et al. 1987). Der Einfluss von Vegetation und Bodenbearbeitung auf die Bodenerosion wird mit Hilfe des C-Faktors quantifiziert.

Der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor wurde für die in Doguè typische Folge der auf Erdhügeln bzw. auf gefälleparallelen Dämmen angebauten Kulturen Yams, Mais, Baumwolle, Erdnuss, Mais errechnet. Als Grundlage dienten die Abtragsmessungen aus den Jahren 2001 und 2002 sowie die Niederschlagsdaten von 1997 bis 2002. Zunächst erfolgte die Ermittlung der Kulturperioden der einzelnen Furchtfolgeglieder aus den Kalenderdaten (s. 6.1.2) (Tab. A22) und die Bestimmung des relativen Bodenabtrags (RBA) ausgewählter Messungen (Tab. A23) sowie der mittleren Jahres-R-Verteilung (Tab. A24). Anschließend wurden die C-Faktoranteile (Tab. 31) und der C-Faktor berechnet.

Der Vergleich der C-Faktoranteile mit Daten von ROOSE (1977c) und NILL et al. (1996) zeigt, dass die errechneten Werte nicht mit den gemittelten C-Faktoranteilen der Literatur übereinstimmen, insgesamt jedoch innerhalb der Schwankungsbreite letzterer liegen (Tab. A25). Auch liegen Abweichungen von C-Faktoranteilen vor, die VAN CAMPEN (1978) für in vergleichbarer Weise bei Parakou angebaute Erdnüsse und Baumwolle ermittelt hat. Die Übersicht der Bedeckungsfaktoren verschiedener Kulturen lässt erkennen, dass diese allgemein recht unterschiedlich sein können, was auf die unterschiedliche Dichte der Pflanzenbestände, Bodenabträge und Niederschlagsvariabilität zurückzuführen ist (ROOSE 1977c). Die Höhe der C-Faktoranteile der im Aguima-Einzugsgebiet untersuchten Ackerflächen ist vor allem auf die RBA-Werte aus Erosionsmessungen von nur einem kurzen Zeitraum zu erklären, die z.T. stark von vergleichbaren Untersuchungen abweichen.

Tab. 31: R-Faktoranteil und Relativer Bodenabtrag für die Berechnung von C-Faktoranteilen verschiedener Kulturen (2001, 2002)

Kultur	Periode	Dauer (Tag)	R-Faktor-Anteil	RBA	C-Faktor-Anteil
Yams	BB-SB	122	0,45	0,00	0,00
	SB-10% BB	121	0,08	1,06	0,09
	10-50% BB	77	0,18	0,14	0,03
	50-75% BB	30	0,14	0,02	0,00
	75% BB-E	31	0,23	0,99	0,22
	E-BB	242	0,46	0,20	0,09
Mais	BB-SB	30	0,09	0,00	0,00
	SB-10% BB	15	0,07	0,04	0,00
	10-50% BB	31	0,18	0,17	0,03
	50-75% BB	31	0,26	0,11	0,03
	75% BB-E	46	0,19	0,61	0,12
	E-BB	117	0,01	0,00	0,00
Baumwolle	BB-SB	61	0,14	0,00	0,00
	SB-10% BB	30	0,09	0,07	0,01
	10-50% BB	31	0,18	0,90	0,16
	50-75% BB	61	0,38	0,54	0,21
	75% BB-E	46	0,02	0,00	0,00
	E-BB	136	0,09	0,00	0,00
Erdnuss	BB-SB	91	0,26	0,66	0,17
	SB-10% BB	15	0,07	0,00	0,00
	10-50% BB	15	0,07	0,01	0,00
	50-75% BB	15	0,11	0,46	0,05
	75% BB-E	76	0,45	0,02	0,01
	E-BB	117	0,01	0,000	0,00
Mais	BB-SB	30	0,09	0,00	0,00
	SB-10% BB	15	0,07	0,04	0,00
	10-50% BB	31	0,18	0,17	0,03
	50-75% BB	31	0,26	0,11	0,03
	75% BB-E	46	0,19	0,61	0,12
	E-BB	117	0,01	0,00	0,00
Summe R-Faktoranteile					1,40

$$C\text{-Faktor} = \frac{1,40}{5} = 0,28$$

Der C-Faktor für die Fruchtfolge Yams-Mais-Baumwolle-Erdnuss-Mais beträgt 0,28.

### Erosionsschutzfaktor (P-Faktor)

Der P-Faktor dient der Quantifizierung von Erosionsschutzmaßnahmen und gibt das Verhältnis des Abtrags von Flächen, auf denen entsprechende Maßnahmen durchgeführt wurden, zu Flächen ohne diese Behandlung an (SCHWERTMANN et al. 1987). Für die Bestimmung des P-Faktors der untersuchten Flächen wurde auf Daten von WISCHMEIER & SMITH (1978) zurückgegriffen (Tab. 32).

Tab. 32: P-Faktor von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002

Kultur	Anbausystem	Versuchsfeld	P-Faktor
Baumwolle	gefällep. Dämme	P2A	1,0
Baumwolle	höhenlinienp. Dämme	P2B	0,5
Mais	gefällep. Dämme	P3A	1,0
Mais	höhenlinienp. Dämme	P3B	0,5
Yams	Hügel	P1A	1,0
Savanne	gefällep. Dämme	P4B	1,0

### Bodenabtrag (A)

Durch Multiplikation der erosionsbedingenden Faktoren wurde der potentielle Bodenabtrag für die unterschiedlich genutzten Ackerflächen ermittelt (Tab. 33). Zwischen dem aktuellen und dem nach der USLE berechneten Bodenabtrag gibt es sowohl Unterschiede als auch Ähnlichkeiten (Abb. 42). So ist der auf dem Baumwollfeld mit hangabwärts verlaufenden Dämmen gemessene Abtrag ( $123,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) bedeutend höher als der geschätzte ( $24,9 \text{ t ha}^{-1}$ ), während sich die Abträge von Flächen mit gefälleparallel angebautem Mais (Messung  $22,9 \text{ t ha}^{-1}$ , Schätzung  $32,3 \text{ t ha}^{-1}$ ) und der Savanne (Messung  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ , Schätzung  $5,1 \text{ t ha}^{-1}$ ) relativ ähnlich sind. Der Vergleich des potentiellen Bodenabtrags mit in den Alafiarou bei Parakou durchgeführten Erosionsmessungen von VAN CAMPEN (1978) zeigt, dass erstere als realistisch zu bewerten sind. Zum Beispiel wurde dort auf einem Baumwollfeld mit parallel zum Gefälle verlaufenden Dämmen ein Abtrag von  $20,4 \text{ t ha}^{-1}$  (1977) gemessen, dem der geschätzte Bodenverlust von  $24,9 \text{ t ha}^{-1}$  ähnelt. Abgesehen von den Untersuchungen auf den Baumwollfeldern ist die von WISCHMEIER & SMITH (1978) ursprünglich für die Schätzung des Bodenverlustes in den USA entwickelte Gleichung ebenfalls für die grobe Abschätzung des Abtrags im Aguiama-Einzugsgebiet anwendbar. Sowohl Messungen auf den Yams- und Maisfeldern als auch vergleichbare Untersuchungen anderer Forscher nahe Parakou zeigen tendenziell Übereinstimmungen mit den

potentiellen Abträgen. Auch ROOSE (1977c) weist auf die Verwendbarkeit der Gleichung für die Bestimmung der Erosion u.a. von *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* in Westafrika hin. Neben Vorteilen wie der leichten Anwendbarkeit für unterschiedliche Faktorenkombinationen sind jedoch auch Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Abtrags mittels der USLE aufgetreten.

Tab. 33: Potentieller Bodenabtrag von Ackerflächen mit unterschiedlichen Kulturen im Jahre 2002

Kultur	Anbau-system	Versuchs-feld	R (N h <sup>-1</sup> )	K (t h N <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	LS (-)	C (-)	P (-)	A (t ha <sup>-1</sup> )
Baumwolle	gefällep. Dämme	P2A	784,3	0,366	0,31	0,28	1,0	24,9
Baumwolle	höhenlinienp. Dämme	P2B	784,3	0,304	0,45	0,28	0,5	15,0
Mais	gefällep. Dämme	P3A	784,3	0,283	0,52	0,28	1,0	32,3
Mais	höhenlinienp. Dämme	P3B	784,3	0,257	0,47	0,28	0,5	13,3
Yams	Hügel	P1A	784,3	0,265	0,30	0,28	1,0	17,5
Savanne	gefällep. Dämme	P4B	784,3	0,211	0,71	0,1	1,0	5,1

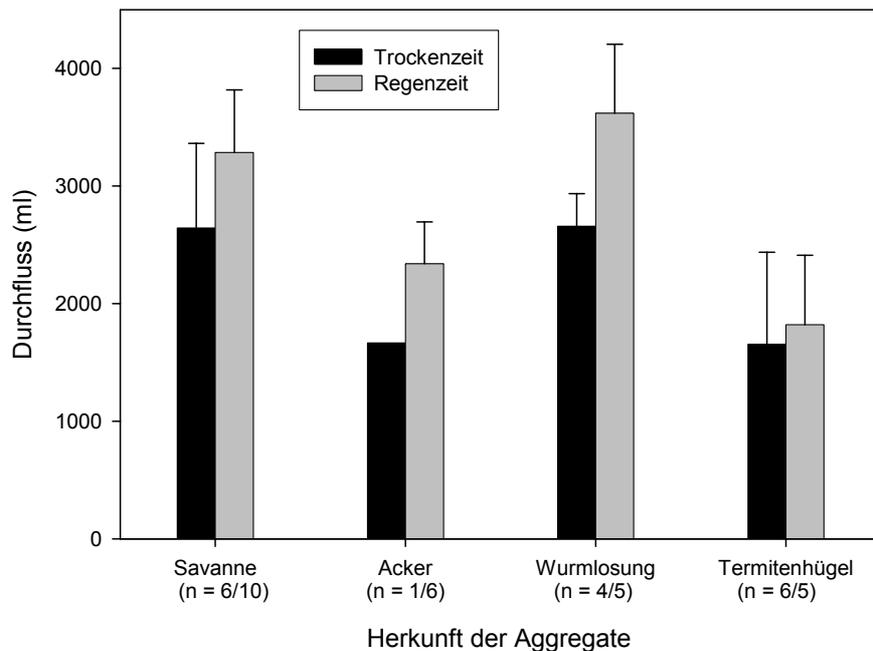
So sind für die Berechnung des R-Faktors aufgrund der großen Niederschlagsvariabilität Regenmessungen vieler Jahre bzw. Jahrzehnte notwendig, die jedoch für das Aguima-Einzugsgebiet nicht zur Verfügung standen. Der ermittelte R-Faktor wurde aus Niederschlagsdaten der Jahre 1997 - 2002 berechnet und charakterisiert die Erosivität nur begrenzt. Des weiteren beschränkt sich die Gültigkeit des K-Faktors nach WISCHMEIER & SMITH (1978) auf Böden mit einem Schluff- und Feinsandgehalt < 70 %. Während letzterer im Oberboden von Savannenflächen durchschnittlich 47,6 % (n = 9) beträgt, liegt der Gehalt im Ap-Horizont der untersuchten Ackerstandorte dicht unter (Profil 37: 66,4 %) und z.T. über diesem Grenzwert (Profil 34: 71,0 %). Auch die Ermittlung des Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktors aus Abtragsmessungen setzt mehrjährige Untersuchungen voraus, die im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden konnten. Als problematisch sei ebenfalls bemerkt, dass die USLE in ihrer ursprünglichen Form keine Akkumulation von Sedimenten berücksichtigt, die gerade auf flach geneigten Pedimenten häufig neben der Erosion auftritt. Auch Infiltration und Oberflächenabfluss werden nicht in die USLE einbezogen, was besonders bei den sandigen, leicht zur Verkrustung neigenden Böden des Untersuchungsgebietes wichtig wäre.

### 6.2.3 Aggregatstabilität

Bodenaggregate sind nach SCHACHTSCHABEL et al. (1998) Teile der Bodenmatrix, die separate Körper bilden und sich deutlich von ihrer Umgebung absetzen. An ihre Bildung sind neben Mikroorganismen, Pflanzenwurzeln, Pilzhyphen (ANDERSON 1991, TISDALL 1991) und Algen (SEQUI 1978) auch mineralische Bodenpartikel und organisches Material beteiligt (MORGAN 1999). Die Widerstandskraft der Aggregate gegenüber zerstörenden Faktoren ist nach LE BISSONNAIS (1996) für die Erosionsgefährdung des Bodens verantwortlich, so dass Untersuchungen zur Aggregatstabilität Aussagen über die Erosionsanfälligkeit eines Standortes liefern.

Der Perkolationstest von SEKERA & BRUNNER (1943), modifiziert nach BECHER & KAINZ (1983), zeigt eine deutliche Saisonalität der Aggregatstabilität im Aguima-Einzugsgebiet. So war die Perkulationsstabilität dieser Verbindungen, die durch den Durchfluss von Wasser innerhalb einer bestimmten Zeitspanne dargestellt ist, in der Regenzeit allgemein größer als in der Trockenzeit des Jahres 2002 (Abb. 54, Abb. A19). Signifikante Stabilitätsunterschiede konnten jedoch nur zwischen den Aggregaten der Savanne und der Wurmlösung nachgewiesen werden ( $p < 0,01$ ). Die verringerte Verschlammungsneigung der Aggregate in der niederschlagreichen Periode ist auf die erhöhte mikrobielle Aktivität in dieser Zeit zurückzuführen, die nach PERFECT et al. (1990) mit steigendem Bodenwassergehalt zunimmt (vgl. 6.3.3). Parallel zur Feuchtigkeitszunahme sinkt die Temperatur des Bodens im Verlauf der Regenzeit ab (z.B.  $27,3^{\circ}\text{C}$  in 10 cm Tiefe, September), was die Ausbreitung von Mikroorganismen an der Bodenoberfläche zusätzlich begünstigt. In der Trockenzeit führen Wassermangel und hohen Temperaturen (z.B.  $31,8^{\circ}\text{C}$  in 10 cm Tiefe, März) zur vertikalen Wanderung beweglicher Bodenorganismen in tiefere Bodenbereiche oder zur Ausbildung hitze- und trockenheitsresistenter Stadien (DUNGER 1983, GISI et al. 1997), so dass die stabilisierende Aktivität stark reduziert und die Verschlammungsneigung der Aggregate entsprechend größer ist. Die von SALAKO et al. (1999) ermittelte höhere Stabilität von Aggregaten nigerianischer Böden in der trockenen, heißen Jahreszeit (Januar) und die entsprechend größere Zerfallsneigung in der regenreichen Phase (Juli) wurde somit nicht bestätigt.

Die saisonal unterschiedliche Aggregatstabilität konnte durch den Test nach LE BISSONNAIS (1996), bei dem die mechanische Belastung der Aggregate durch Regentropfenaufprall und Transport mit dem Oberflächenabfluss simuliert wurde, aufgrund veränderter Versuchsbedingungen bei den regenzeitlichen Proben nicht nachgewiesen werden.



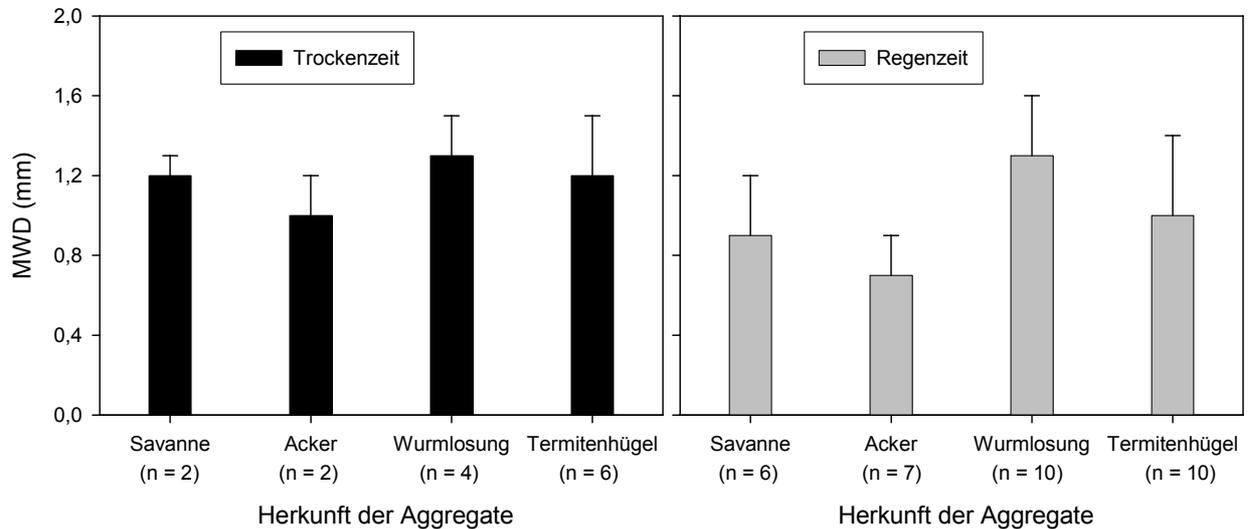
Trockenzeit > Regenzeit: Savanne, Wurmlosung ( $p < 0,01$ )

Herkunft: Regenzeit: Savanne > Acker, Termitenhügel; Wurmlosung > Acker, Termitenhügel ( $p < 0,01$ )

Abb. 54: Perkolationsstabilität von Aggregaten verschiedener Herkunft in der Trocken- und Regenzeit des Jahres 2002. Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

Übereinstimmend ist jedoch bei beiden Versuchen der Unterschied zwischen der Stabilität der Aggregate verschiedener Standorte bzw. Entstehungsart. So neigt die Losung der Lumbriciden-Art *Hyperiodrilus africanus* weniger zum Zerfall als die Aggregate aus dem Oberboden der Pedimente mit Savannenvegetation, von Termitenhügeln der Art *Macrotermes bellicosus* oder von ackerbaulich genutzten Flächen. Letztere sind nach der Klassifikation von LE BISSONNAIS (1996) nur mäßig stabil (MWD 0,8 - 1,3 mm), während die Verbindungen der anderen Standorte bzw. Entstehungsart als stabil (MWD > 1,3 mm) zu bewerten sind (Abb. 55 links, Abb. A20). Anhand der Untersuchung der Stabilität nach LE BISSONNAIS (1996) wird trotz abgeänderter Versuchsbedingungen ebenfalls deutlich, dass beim Zerfall der ursprünglich 2 - 4 mm großen Aggregate in der Trockenzeit vorrangig Fragmente von > 1 mm Größe entstehen, während in der niederschlagreichen Periode mehr < 0,5 mm große Verbindungen auftreten (Abb. A21). Da Fragmente der Feinsand- und Schlufffraktion besonders leicht erodiert werden, kommt es in der Regenzeit zur Verlagerung der Aggregatbruchstücke bzw. -bestandteile mit dem Oberflächenwasser und zur Verstopfung der Porenräume, d.h. zur Verschlämzung mit anschließender

Krustenbildung. Letzteres wird nach OLDEMAN (1991) als physikalische Bodendegradierung (*physical deterioration*) bezeichnet und trägt zur Erhöhung des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrags bei.



Herkunft: Regenzeit: Savanne, Acker, Wurmlosung > Termitenhügel ( $p < 0,001$ )

Abb. 55: Stabilität von Aggregaten verschiedener Herkunft in der Trocken- und Regenzeit des Jahres 2002 (Test nach LE BISSONNAIS 1996). Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

Die Festigkeit der Aggregate in den sandigen Oberböden des Aguima-Einzugsgebietes ist in Anbetracht des allgemein geringen Gehaltes an die Aggregation fördernder organischer Substanz ( $1,4 \pm 0,3$  %  $C_{org}$  im Ah,  $n = 15$ ), Ton ( $8,3 \pm 1,9$  % im Ah,  $n = 15$ ) und zweiwertigen Ca- und Mg-Ionen ( $5,2 \pm 1,1$   $cmol_c$   $kg^{-1}$  im Ah,  $n = 15$ ) relativ hoch. Offensichtlich tragen neben den o.g. Substanzen und Verbindungen weitere Faktoren zur Stabilisierung der Aggregate in den tropischen Böden bei, zu denen nach OBI et al. (1989) und IGWE et al. (1999) Eisenoxide wie Hämatit und Goethit gehören. Zwar ist der Sesquioxidgehalt im Oberboden der Acrisols und Plinthosols ( $0,5 \pm 0,1$  % im Ah-Horizont,  $n = 15$ ) des Untersuchungsgebietes nicht mit dem hohen Gehalt von Ferralsols zu vergleichen, jedoch wird anhand der Mikrogefügeuntersuchungen der Dünnschliffe die Beteiligung dieser Verbindungen bei der Aggregation belegt (Abb. 56 a,b).

Anhand der Untersuchung wird ebenfalls deutlich, dass nicht nur die Menge sondern auch die Art der Tonminerale entscheidend für die Festigkeit der aus Bodenpartikeln

bestehenden Aggregate ist. So führt Kaolinit, der mit ca. 80 % in der Tonfraktion der sandigen Decksedimente dominiert, aufgrund seines Unvermögens zur Quellung und Schrumpfung nicht zur Zerstörung der Aggregate (*microcracking*) bei wechselnden Feuchtigkeitsverhältnissen (IGWE et al. 1999, MORGAN 1999). Die Aggregate im Oberboden des Inselberg-Pediments sind dementsprechend weniger stabil, da neben Kaolinit ein erhöhter Gehalt an Illit (ca. 50 %), einem sowohl im Randbereich als auch zwischen den Schichten aufweitbaren Tonmineral (SCHACHTSCHABEL et al. 1998), nachgewiesen wurde (Abb. A19, A20).

Die Unterschiede zwischen der Festigkeit der unter dem Einfluss von Regenwürmern bzw. Termiten und an den beiden Standorten gebildeten Aggregate ist zum einen auf die Entstehungsweise zurückzuführen. Im Darm der Geophagen werden die mineralischen und organischen Partikel intensiv durchmischt und mittels Schleimstoffen und Calcit zu stabilen Tonhumuskomplexen verbunden (DUNGER 1983, EDWARDS & BOHLEN 1996, GISI et al. 1997). Auch Termiten verkitten die Bodenbestandteile, indem sie das Material mit Exkrementen vermengen oder wie im Fall der *Macrotermitinae* durch das Sekret Saliva zementieren (LEE & WOOD 1971, JUNGERIUS et al. 1999). Die Aggregate in den Savannen- und Ackerböden sind dagegen unter dem Einfluss von Mikroorganismen, Pflanzenwurzeln und Pilzhyphen, d.h. ohne zusätzliche Verkittung durch Bodenorganismen entstanden, so dass sie größtenteils weniger stabil sind. Auch der unterschiedliche Gehalt an organischer Substanz, die nach TIDSDALL & OADES (1982) und HAYNES & SWIFT (1990) zur Verkittung der mineralischen Bodenbestandteile beiträgt, erklärt die voneinander abweichende Festigkeit der Aggregate. So beträgt der  $C_{org}$ -Gehalt der Lumbriciden-Losung durchschnittlich  $1,8 \pm 0,6$  % ( $n = 5$ ) bzw. nach NORREN et al. (1995) sogar bis  $4,5$  %  $C_{org}$ , während im Oberboden unter Savannenvegetation  $1,4 \pm 0,3$  % ( $n = 15$ ) und im Ap-Horizont der Felder nur  $1,1 \pm 0,5$  % ( $n = 9$ ) nachgewiesen wurden. Eine Ursache für den in beiden Tests nachgewiesenen geringen Zerfallswiderstand der Aggregate ackerbaulich genutzter Standorte ist nach BARTHÈS et al. (2000) auf die Bodenbearbeitung zurückzuführen. Diese führt zum einen zur mechanischen Zerstörung der Aggregate und zum anderen zur verstärkten Belüftung des Oberbodens, wodurch die aggregierend wirkende organische Substanz einer erhöhten Mineralisation unterliegt. Der unterschiedliche Tongehalt der unter dem Einfluss von Organismen bzw. im Oberboden gebildeten Aggregate ist ebenfalls als Grund für die voneinander abweichende Stabilität zu nennen. So wurde in Wurmexkrementen  $10,5 \pm 0,1$  % ( $n = 2$ ) und in Material aus Termitenhügeln  $25,7 \pm 7,5$

% Ton ( $n = 12$ ) nachgewiesen, während in Aggregaten des Oberbodens nur  $8,3 \pm 1,9$  % ( $n = 15$ ) gemessen wurden.

In Tab. 34 ist die Korrelation der Aggregatstabilität zu verschiedenen die Aggregierung bewirkenden Faktoren dargestellt, die zwar wie bei IGWE et al. (1999) allgemein gering, aber im Falle des  $C_{org}$ -, Ton- und Sesquioxid-Gehalts signifikant ist.

Tab. 34: Korrelation (Spearman Koeffizient) zwischen der Perkulations- bzw. Aggregatstabilität und verschiedenen Bodenparametern

Bodenparameter	Perkulationsstabilität		Aggregatstabilität	
	$R_s$	n	$R_s$	n
$C_{org}$ (%)	0,32 **	49	0,27 **	56
Ton (%)	0,37 **	50	0,04 ns	57
Ca ( $cmol_c kg^{-1}$ )	0,05 ns	44	0,21 ns	51
Mg ( $cmol_c kg^{-1}$ )	0,02 ns	44	0,39 **	51
Fe <sub>d</sub> (%)	0,39 ***	45	0,18 ns	51

An dieser Stelle sei kurz auf die Stabilität der Aggregate von Termitenhügeln eingegangen. Die Höhe der von *Macrotermes bellicosus* angelegten Bauten sowie das Alter, das nach Aussagen Ortsansässiger mehrere Jahrzehnte umfassen kann, lässt auf einen hohen Zerfallswiderstand der Aggregate schließen. Auch der hohe Gehalt an Ton ( $25,7 \pm 7,5$  %,  $n = 12$ ) und Ca ( $7,7 \pm 6,1$   $cmol_c kg^{-1}$ ,  $n = 12$ ) sowie die Zementierung der Partikel weisen auf eine intensive Verkittung des Materials hin (LEE & WOOD 1971, JUNGERIUS et al. 1999). Doch im Gegensatz zu JOACHIM & PANDITISEKERA (1948, in LEE & WOOD 1971) und JUNGERIUS et al. (1999), die auf die schlechte Dispergierbarkeit von unter dem Einfluss von Termiten hergestellten Aggregaten hinweisen, haben die Messungen eine vergleichsweise geringe Festigkeit ergeben. Mögliche Ursachen liegen evtl. im geringen  $C_{org}$ -Gehalt der Proben ( $0,9 \pm 0,1$  %,  $n = 9$ ) begründet oder sind auf die Lagerung der Bestandteile zurückzuführen, die lockerer als die der Wurmlösung ist (Abb. 56 c,d). Als Hauptgrund für die geringe Stabilität wird hier die Herstellung der für die Methoden vorgeschriebenen Aggregatgrößen gesehen. Wie von HARTGE & HORN (1989) beschrieben, wurden die großen Fragmente unter Zuhilfenahme einer hölzernen Kuchenrolle in kleinere Fraktionen zerlegt, was wahrscheinlich zur Rissbildung und Destabilisierung der Aggregate beigetragen hat.

Das Mikroskopieren von Dünnschliffen liefert weitere Hinweise auf die Stabilität von Bodenaggregaten (SCHLICHTING et al. 1995), von denen hier nur die wichtigsten angesprochen werden. Die im Oberboden von Savannen- und Ackerflächen vorkommenden Aggregate sind krümelig bis subpolyedrisch geformt und bestehen vorwiegend aus Quarzkörnern und Silikaten verschiedener Größen, organischer Substanz und braun gefärbten Sesquioxiden (Abb. 56 a,b). Dabei fällt auf, dass in den Aggregaten des Savannenbodens mehr organische Substanz zwischen den mineralischen Partikeln oder als Hülle um letztere vorkommt als in denen der kultivierten Standorte, was auf eine höhere Stabilität hinweist. In der Wurmlösung sind weniger große mineralische Bestandteile als in den Aggregaten der Oberböden enthalten, die außerdem dicht gepackt (*compact grain structure*) und durch viel organische Substanz verbunden sind (Abb. 56 c). Offensichtlich hat im Darm der Regenwürmer eine intensive Durchmischung und Verkittung der Mineralkörner mit Sekreten und Exkrementen stattgefunden (EDWARDS & BOHLEN 1997), die den hohen Zerfallswiderstand der Losung begründen. Die Bestandteile der Bodenaggregate sind dagegen locker und unorientiert angeordnet (*pellicular grain structure*) und durch mehr runde bis längliche Hohlräumen (*eqidimensional or elongate packing voids*) voneinander getrennt, was die Zerstörung durch Luftspregung (*air-slaking*) bei intensiven Niederschlägen zu Beginn der Regenzeit begünstigt (TISDALL 1991). Das Fragment des Termitenhügels ist im Gegensatz zu den Proben der drei anderen Standorte durch die Anreicherung hellbraun gefärbter Sesquioxide und Tonminerale charakterisiert (Abb. 56 d). Die unsortierten Bestandteile sind allgemein weniger dicht gelagert und durch weniger organische Substanz miteinander verkittet als die der biogenen Aggregate, was sich in der größeren Verschlammungsneigung widerspiegelt.

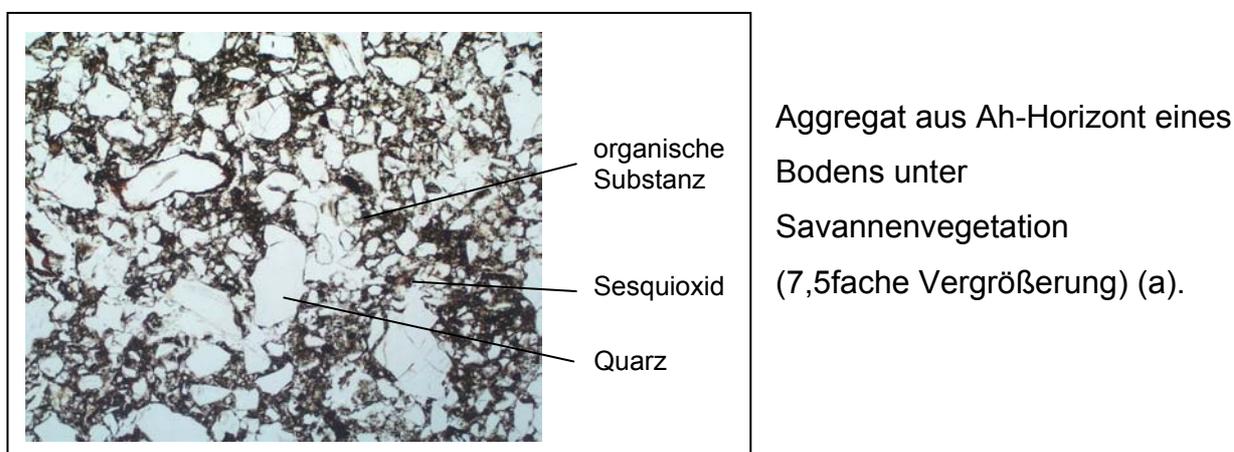
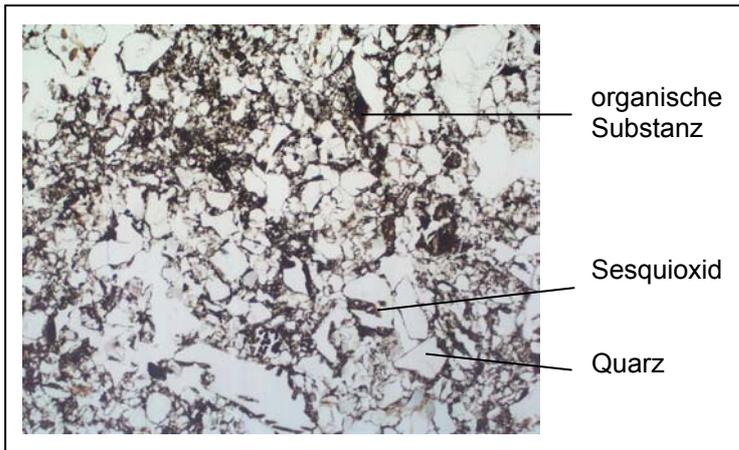
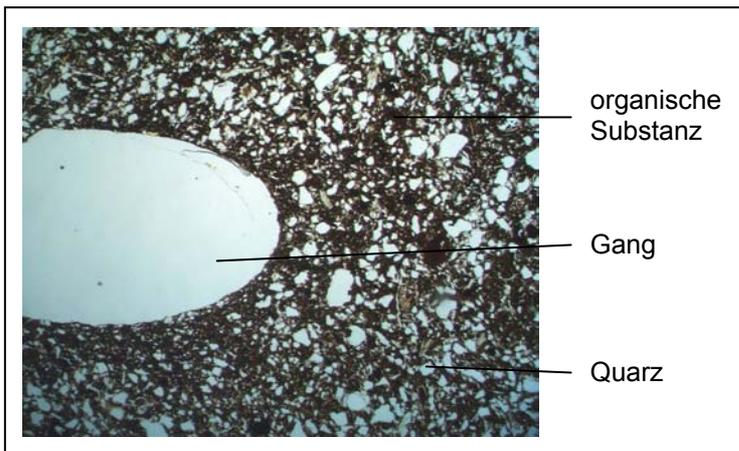


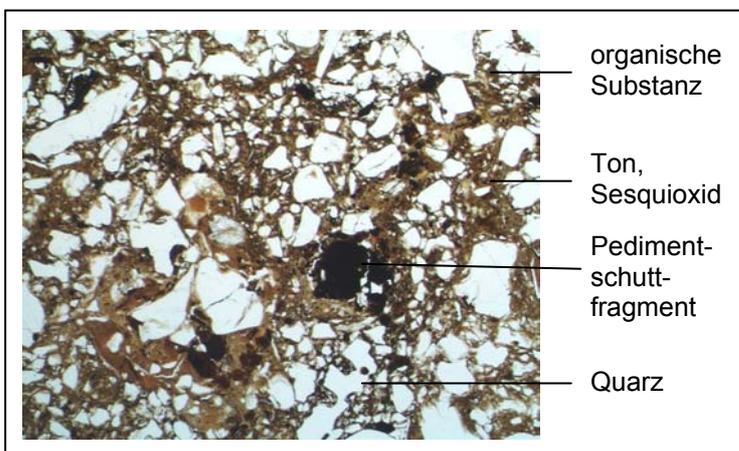
Abb. 56: Dünnschliffe von Aggregaten verschiedener Standorte bzw. Entstehungsart.



Aggregat aus Ap-Horizont einer Ackerfläche  
(7,5fache Vergrößerung) (b).



Wurmlosung von *Hyperiodrilus africanus*  
(7,5fache Vergrößerung, gekreuzte Polarisatoren) (c).



Fragment eines Termitenhügels von *Macrotermes bellicosus*  
(3,75fache Vergrößerung) (d).

Abb. 56: Fortsetzung.

Insgesamt können die Ergebnisse der Stabilitätsuntersuchungen zur Erläuterung der unterschiedlichen Erodibilität der Savannen- und Ackerstandorte und der gemessenen Bodenabträge herangezogen werden, zwischen denen nach BARTHES et al. (2000) ein Zusammenhang besteht. So sind die in der extensiv pastoral genutzten Savanne im Jahre 2002 ermittelten Abträge von  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$  neben der hohen Bodenbedeckung auf

die hohe Festigkeit der Aggregate im Oberboden zurückzuführen, die trotz der erosiven Niederschläge weitgehend stabil bleiben. Auch die geringe Erodibilität der Savannenböden, die nach der Klassifikation von BOLLINNE & ROSSEAU (1978) als ausreichend erosionsresistent bezeichnet werden (K-Faktor:  $0,178 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , Ober-, Mittelhang), beruht u.a. auf der hohen Stabilität der Bodenaggregate.

Auf den Ackerstandorten mit auf Dämmen bzw. Hügeln angebauten Kulturpflanzen führt der erosive Regen dagegen zur Zerschlagung der Bodenaggregate in ihre Bestandteile, da sie der Planschwirkung aufgrund ihrer geringen Stabilität nicht standhalten können. Die Verschlammung der Bodenoberfläche sowie die Reduzierung der Infiltrationskapazität und die Verstärkung des Oberflächenabflusses sind die Folgen, die insgesamt zu verstärktem Bodenabtrag führen. Auch die ermittelte Erosionsempfindlichkeit der Ackerböden, die als mäßig erosionsgefährdet gelten (K-Faktor:  $0,294 \text{ t h N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  Mittelhang) ist auf die geringe Festigkeit der Bodenaggregate zurückzuführen.

#### **6.2.4 Chemische Verschlechterung**

Der Vergleich der chemischen Parameter der mit dem Oberflächenwasser vom Boden erodierten Substrate und der Ah- bzw. Ap-Horizonte der jeweiligen Flächen zeigt, dass die Sedimente größtenteils durch höhere Nährstoffgehalte charakterisiert sind (Abb. 57, Tab. A20). Somit werden bei jedem erosiven Niederschlag beträchtliche Mengen an  $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ , Kationen, von denen Ca überwiegt, und  $P_2O_5$  zusammen mit den mineralischen Bodenbestandteilen und in gelöster Form vom Oberboden abgetragen (ROOSE 1978, SANCHEZ & IZAC 1995, ROOSE & BARTHÈS 2001). Bei fehlendem Ausgleich durch mineralische bzw. organische Düngung ist langfristig die Verarmung des Bodens an Nährstoffen, d.h. chemische Degradierung, und die Verringerung der Bodenfruchtbarkeit zu erwarten (KAYOMBO & MREMA 1998). Verstärkt wird dieser Prozess zusätzlich durch wiederholtes Ernten, was für den Boden den Entzug von Elementen aus dem Stoffkreislauf bedeutet (ROOSE 1976b, BEETS 1990). Auch das Abbrennen von Ernterückständen beschleunigt die chemische Degradierung, da die bei der Mineralisierung freigesetzten Nährstoffmengen durch Abspülung, Auswaschung und Verwehung verloren gehen (FRANKE 1995). Stark verkürzte Brachezeiten und die Umstellung auf Grasbrache fördern ebenfalls die Auslaugung des Bodens, da u.a. nicht genügend organische Substanz neugebildet wird (GREENLAND & LAL 1977, KAYOMBO & MREMA 1998). Letztere ist jedoch u.a. für die Wasser- und Nährstoffspeicherung von großer Bedeutung für die sandigen, vorwiegend mit LAC ausgestatteten Böden, so dass

mit der Abnahme des Humusgehaltes die Bodenfruchtbarkeit allgemein sinkt (ROOSE 1976b, AHN 1970, VAN WAMBEKE 1991, FRANKE 1995). Auch nach IGUÉ & YOUSOUF (1995) manifestiert sich die chemische Degradierung des Bodens in der starken Abnahme des  $C_{org}$ -Gehalts, der auf kultivierten Flächen nahe Ina, Nordbenin, z.T. nur noch 0,38 - 0,65 % beträgt.

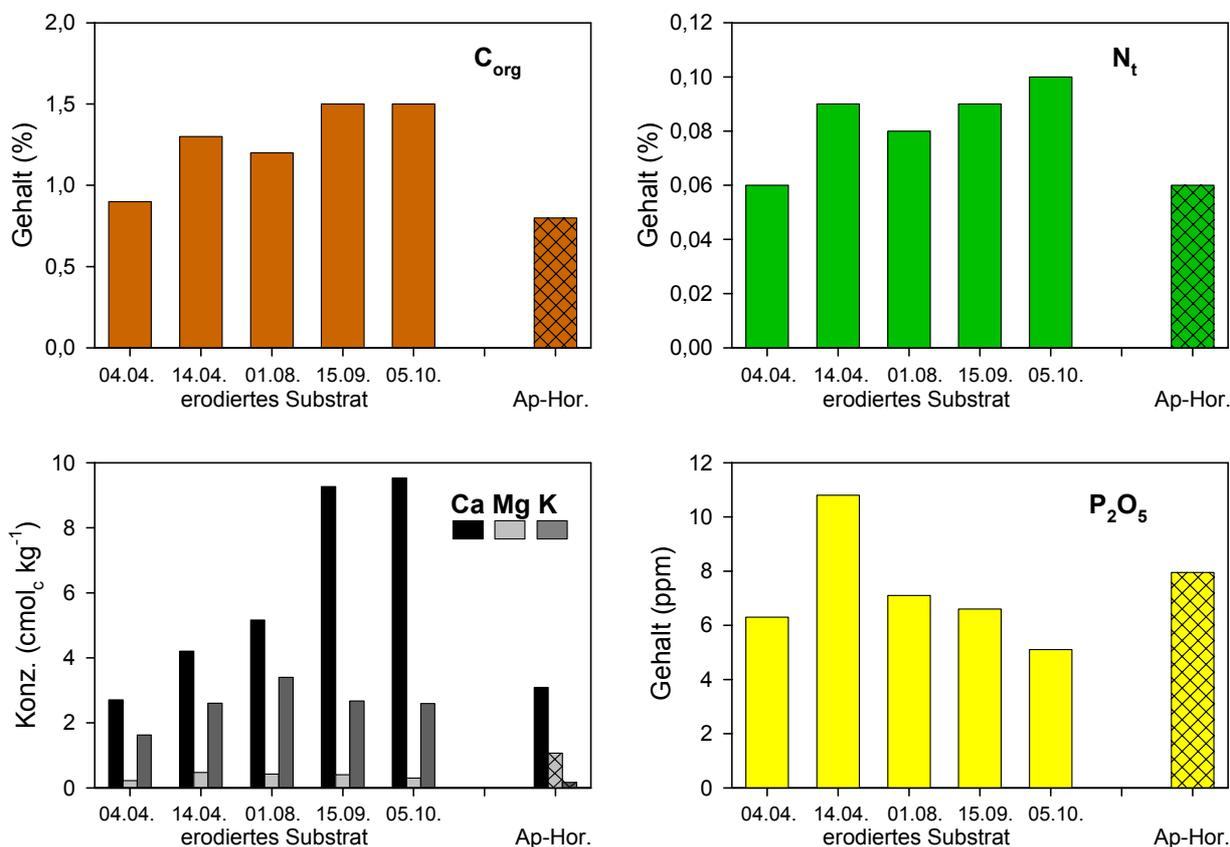


Abb. 57: Nährstoffgehalt erodierter Substrate (einfarbig) und des Ap-Horizontes (gemustert) des mit Yams bestellten Versuchsfeldes (Doguè 2002, F1A) (Ap-Hor. = Ap-Horizont).

Die Folgen langjähriger Bodennutzung in einem Landnutzungssystem mit geringem input werden anhand ausgewählter bodenchemischer Kennwerte der Standorte Doguè, Serou und Awanla deutlich. So unterscheiden sich die im Aguima-Einzugsgebiet gelegenen Böden, d.h. der Oberboden der extensiv pastoral genutzten Savanne und der untersuchten Ackerflächen, allgemein nur wenig hinsichtlich der Nährstoffversorgung, was auf die vergleichsweise geringe Nutzungsdauer und die lange Brachezeit (4 - 7 Jahre) zurückzuführen ist (Tab. 35). Signifikante Unterschiede wurden jedoch zwischen dem Gehalt an austauschbarem Ca, Mg und K, der  $KAK_{eff}$ , der BS und

dem pH-Wert der Ap-Horizonte von ackerbaulich genutzten Standorten in Doguè sowie Serou und Awanla ermittelt ( $p < 0,05$ ). Zwischen den bodenchemischen Parametern der in den beiden älteren Siedlungen gelegenen Böden konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden, jedoch ist tendenziell die Versauerung und Verarmung an Nährstoffen mit zunehmender Nutzungsdauer zu erkennen. Ein Ausgleich der durch Auswaschung, Erosion und Aufnahme durch die Pflanzen im Boden entstandenen Ca- und Mg-Verluste durch atmosphärische Deposition (HERRMANN 1996) konnte somit nicht bestätigt werden. Besonders der abnehmende Gehalt der Hauptnährstoffe P und N wird sich limitierend auf die Produktion von Nahrungsmitteln und pflanzlichen Rohstoffen auswirken, was bereits anhand der in Doguè und Serou ermittelten Erträge verschiedener Kulturen erkennbar ist. So wurden z.B. im Aguima-Einzugsgebiet durchschnittlich  $11,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  Yams geerntet, in Serou dagegen nur  $5,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vgl. 6.1.2). Nach Ansicht der einheimischen Bauern ist diese Art der Bodendegradierung ebenfalls an der Größe und am Gewicht einzelner Yamsknollen sichtbar. So sind Knollen aus nährstoffreicheren Böden wie in Doguè bis zu 50 cm lang und 9,5 kg schwer (Frischmasse,  $n = 9$ ), während auf ausgelaugten Ackerflächen in Awanla nur Knollen von ca. 30 cm Länge und 3 - 4 kg Gewicht geerntet werden können.

Tab. 35: Vergleich bodenchemischer Parameter (Mittelwert  $\pm$  Std.abw.) von Ah- bzw. Ap-Horizonten von Standorten unterschiedlicher Nutzungsdauer (ermittelt aus Profildaten). Unter der Tab. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet

Ort	Doguè	Doguè	Serou	Awanla
9 Nutzung	Savanne	Acker	Acker	Acker
Dauer der Nutzung (Jahre)	0	ca. 100 - 150	ca. 200 - 250	ca. 300 - 350
n	17	9	4	2
<b>C<sub>org</sub></b> (%)	1,31 $\pm$ 0,47	1,12 $\pm$ 0,31	0,73 $\pm$ 0,28	0,54 $\pm$ 0,04
<b>N<sub>t</sub></b> (%)	0,07 $\pm$ 0,03	0,06 $\pm$ 0,04	0,05 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,01
<b>Ca</b> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	3,40 $\pm$ 1,26	3,32 $\pm$ 0,91	1,87 $\pm$ 0,81	0,95 $\pm$ 0,13
<b>Mg</b> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	1,39 $\pm$ 0,86	1,28 $\pm$ 0,40	0,50 $\pm$ 0,18	0,32 $\pm$ 0,07
<b>K</b> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	0,17 $\pm$ 0,05	0,17 $\pm$ 0,06	0,08 $\pm$ 0,04	0,09 $\pm$ 0,04
<b>Na</b> (cmolc kg <sup>-1</sup> )	0,114 $\pm$ 0,008	0,002 $\pm$ 0,003	0,000 $\pm$ 0,000	0,000 $\pm$ 0,000
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (ppm)	16,61 $\pm$ 7,74	10,17 $\pm$ 5,67	10,32 $\pm$ 11,13	5,73 $\pm$ 0,78
<b>KAK<sub>eff</sub></b> (cmolc kg <sup>-1</sup> Boden)	6,56 $\pm$ 2,41	6,23 $\pm$ 1,52	3,05 $\pm$ 1,17	1,78 $\pm$ 0,05
<b>BS</b> (%)	73,5 $\pm$ 7,27	82,6 $\pm$ 7,75	47,06 $\pm$ 8,94	45,7 $\pm$ 10,9
<b>pH-Wert</b> (H <sub>2</sub> O)	6,61 $\pm$ 0,20	6,53 $\pm$ 0,24	5,96 $\pm$ 0,15	5,87 $\pm$ 0,06

Nutzung (Doguè): Na: Savanne > Acker ( $p < 0,001$ )

Parameter (Acker): Ca, Mg, K,  $KAK_{eff}$ , BS, pH-Wert: Doguè > Serou, Awanla ( $p < 0,05$ )

Die Verarmung der Böden wird von den Bauern der Region mit dem Ausdruck *La terre est fatiguée* bzw. *Le sol est fatigué* beschrieben (vgl. 5.5.4). Diese Bodenverschlechterung stellt ihrer Meinung nach ein größeres Problem als der Verlust von Bodenmaterial dar, da auch in absehbarer Zeit nur wenig bis keine finanziellen Mittel für den Erwerb ausreichender Düngermengen zur Verfügung stehen. Einige Bauern bringen jedoch den in Kombination mit Pestiziden und Baumwollsaat verkauften Mineraldünger auch auf Feldern mit anderen Kulturen aus, um der Verarmung an Nährstoffen entgegenzuwirken.

### **6.3 Bodenbiologische Beobachtungen zur Degradierung**

#### **6.3.1 Abundanz, vertikale Verteilung und Biomasse**

##### **Lumbriciden**

In der wirbellosen Makrofauna der Böden des Aguima-Einzugsgebietes dominieren Regenwürmer der Art *Hyperiodrilus africanus* (Familie *Eurilidae*), die nach DE VLEESCHAUWER & LAL (1981) zu den häufigsten Oligochaeten Westafrikas gehört. Im Verlauf eines Jahres ist der Besatz des Oberbodens mit Regenwürmern durch signifikante Unterschiede gekennzeichnet, die auf die klimatisch verursachten wechselnden Lebensbedingungen zurückzuführen sind. So konnten generell im März, d.h. gegen Ende der Trockenzeit keine Lumbriciden in den oberen 25 cm der untersuchten Savannen- und Ackerflächen nachgewiesen werden, da sowohl Trockenheit als auch hohe Temperaturen (z.B.  $31,8^{\circ}\text{C}$  in 10 cm Tiefe) das Leben an der Bodenoberfläche beschränken. Die anözischen Lebensformen der Regenwürmer reagieren auf diesen Wassermangel durch vertikale Wanderung in tiefer gelegene Bodenhorizonte, wo sie in Trockenstarre überdauern (GISI et al. 1997, DUNGER 1983). Im durch hohe Niederschlagsraten gekennzeichneten Monat September wurden dagegen Lumbriciden im Oberboden vorgefunden, und zwar in der extensiv pastoral genutzten Savanne des Aguima-Einzugsgebietes in höherer Anzahl als auf den kultivierten Flächen der drei Ortschaften (Tab. 36). So betrug der Besatz der Makrofaunen-Gruppe in den oberen 25 cm des Savannenbodens in Doguè durchschnittlich 80 Individuen pro  $\text{m}^2$  und liegt somit im Rahmen der von NOOREN et al. (1995) in Böden Côte d'Ivoires ermittelten Anzahl von 12 - 107 Individuen pro  $\text{m}^2$ . In den ackerbaulich genutzten Flächen wurden dagegen nur 25 (Yams), 43 (Mais) bzw. 53

(Baumwolle) Individuen pro m<sup>2</sup> gezählt. Des Weiteren lagen signifikante Unterschiede zwischen dem Lumbricidenbesatz der Ackerflächen von Doguè und Serou bzw. Awanla, nicht jedoch zwischen den in Serou und Awanla gelegenen Feldern vor. Zwischen den Kulturen Baumwolle, Mais und Yams und den Anbausystemen wurden an den drei Versuchsstandorten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Besiedlungsdichte mit Regenwürmern ermittelt. Offensichtlich wirkt sich die anthropogene Nutzung des Bodens negativ auf den Besatz mit Regenwürmern aus, da das Nahrungsangebot durch den Anbau bestimmter Kulturpflanzen verändert wird und Organismen bei Bearbeitungsmaßnahmen vernichtet werden (EDWARDS & BOHLEN 1996, SCHACHTSCHABEL et al. 1998). Die geringe Besatzdichte auf den Untersuchungsflächen in Serou und Awanla ist wahrscheinlich die Folge der jahrzehntelangen ackerbaulichen Nutzung.

Prinzipiell ähnlich war jedoch die vertikale Verteilung der Regenwürmer in den unterschiedlich genutzten Untersuchungsflächen Doguès während der regenreichen Periode (Tab. 36). Sowohl im Savannen- als auch im Ackerboden kamen in den oberen 5 cm signifikant mehr Lumbriciden als in den tiefer gelegenen Bereichen vor. Zum einen beruht das erhöhte Vorkommen nahe der Bodenoberfläche auf der verstärkten Nachlieferung der Streu, d.h. auf der Nahrung der Erstersetzer (GISI et al. 1997). Des weiteren führen wahrscheinlich auch der hohe Schuttanteil und der erhöhte Wassergehalt der über dem tonigen dichten Saprolit liegenden Bodenhorizonte zur Zunahme der Besiedlungsdichte im Oberboden während der regenreichen Periode. In den Böden von Serou und Awanla konnten dagegen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Besatzes verschiedener Bodentiefen mit Regenwürmern ermittelt werden.

Wie die Abundanz so war auch die Biomasse der Regenwürmer, die einen Eindruck von der Leistungsfähigkeit der Organismen-Gruppe vermittelt (GISI et al. 1997), in den Oberböden der Savanne Doguès signifikant größer als in den Ackerflächen. So betrug die Hygromasse der untersuchten Markofauna in den oberen 25 cm der naturnahen Bereiche im Mittel  $44,0 \pm 3,3 \text{ g m}^{-2}$  ( $n = 3$ ), in den kultivierten dagegen nur  $\leq 10 \text{ g m}^{-2}$  ( $n = 9$ ) (Tab. 37). Vergleiche mit dem Frischgewicht von Regenwürmern mitteleuropäischer Böden unter Laubwald von GEISSEN (2000) zeigen, dass die Böden in der Savanne des Aguima-Einzugsgebietes insgesamt durch eine hohe Lumbriciden-Biomasse gekennzeichnet sind, was auf einen hohen Stoffumsatz in den Tropen hinweist. Auffällig ist jedoch, dass trotz der unterschiedlichen Besiedlungsdichte größtenteils nicht signifikante Biomasse-Unterschiede zwischen den Kulturen und in

den untersuchten Bodentiefen ermittelt wurden. Ein Grund ist wahrscheinlich in der großen Anzahl von Organismen mit einer Körperlänge von  $< 5$  cm zu sehen, die in den kultivierten Böden häufig vorkamen, während in den Savannenböden ebenfalls bis zu 10 bzw. 20 cm lange Exemplare gefunden wurden (Abb. A22).

Tab. 36: Abundanz (Mittelwert  $\pm$  Std.abw.) von Lumbriciden im Oberboden von Flächen unterschiedlicher Nutzung (September 2002,  $n =$  jeweils 3 pro Versuchsfeld). Unter der Tab. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet

Ort	Nutzung	Versuchsfeld	Anzahl (Ind. $m^{-2}$ )			Summe 0 - 25 cm
			0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 25 cm	
Doguè	Savanne	M4B	38 $\pm$ 12	28 $\pm$ 9	14 $\pm$ 6	80
	Baumwolle	M2A	23 $\pm$ 19	21 $\pm$ 6	8 $\pm$ 8	52
	Mais	M3B	21 $\pm$ 8	15 $\pm$ 6	7 $\pm$ 6	43
	Yams	M1A	8 $\pm$ 8	8 $\pm$ 7	9 $\pm$ 8	25
Awanla	Baumwolle	M1Aw	0 $\pm$ 0	3 $\pm$ 5	3 $\pm$ 2	6
	Mais	M2Aw	1 $\pm$ 1	0 $\pm$ 0	2 $\pm$ 1	3
	Yams	M3Aw	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 2	1 $\pm$ 2	4
Serou	Baumwolle	M1Se	0 $\pm$ 0	4 $\pm$ 3	1 $\pm$ 1	5
	Mais	M2Se	1 $\pm$ 2	4 $\pm$ 7	0 $\pm$ 0	5
	Yams	M3Se	7 $\pm$ 5	8 $\pm$ 4	1 $\pm$ 2	16

Ort: Doguè > Awanla, Serou (p SIDAK < 0,0170)

Nutzung (Doguè): M4B > M1A (p SIDAK < 0,0127)

Anbausystem (Doguè): M4B > M1A (p SIDAK < 0,0127)

Tiefe (Doguè): 0 - 5 cm > 10 - 25 cm (p SIDAK < 0,0127)

Tab. 37: Biomasse (Mittelwert  $\pm$  Std.abw.) von Lumbriciden verschiedener Bodentiefen in unterschiedlich genutzten Flächen (September 2002,  $n =$  jeweils 3 pro Versuchsfeld). Unter der Tab. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet

Ort	Nutzung	Versuchsfeld	Biomasse (g $m^{-2}$ )			Summe 0 - 25 cm
			0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 25 cm	
Doguè	Savanne	M4B	20,1 $\pm$ 1,2	11,0 $\pm$ 0,9	11,2 $\pm$ 1,2	44,0
	Baumwolle	M2A	3,7 $\pm$ 0,3	1,6 $\pm$ 0,9	0,6 $\pm$ 0,4	5,9
	Mais	M3B	4,3 $\pm$ 3,0	3,0 $\pm$ 2,2	2,8 $\pm$ 0,9	10,2
	Yams	M1A	1,5 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 2,0	4,9 $\pm$ 6,6	8,0

Nutzung: M4B > M4B, M2A, M1A (p SIDAK < 0,0127)

Anbausystem: M4B > M2A+M3B, M1A (p SIDAK < 0,0127)

## Termiten

Termiten der Arten *Macrotermis bellicosus* (Familie Termitidae, Unterfamilie *Macrotermitinae*) und *Trinervitermes cf. geminatus* (Familie *Termitidae*, Unterfamilie *Nasutitermitinae*) sind im Untersuchungsgebiet weit verbreitete Arthropoden. Erstere sind nach RUELLE (1970) typische Bewohner der Savanne West-, Zentral- und Ostafrikas und nehmen nach MARTIUS (2002) eine Schlüsselrolle in den Abbauprozessen tropischer Ökosysteme ein. Auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden keine oberirdischen Termitenbauten vorgefunden, da die Bodenbearbeitung und der Anbau ausgewählter Kulturen die Ausbreitung von Termiten begrenzen (PULLAN 1979) und Bauern die Hügel zur Reduzierung von Fraßschäden gezielt beseitigt haben. Die im NW-Teil des Aguima-Einzugsgebietes durchgeführte Kartierung zeigt jedoch, dass sie normalerweise häufig in der Feuchtsavanne vorkommen (Tab. 38). So wurden auf den Hängen mit den Vegetationsformationen *Savane arborée* und *Savane arbustive* 30,9 *M. bellicosus*-Hügel pro ha kartiert, was nur etwas geringer als die von KORB (1997) in der Busch- und Baumsavanne Côte d'Ivoires ermittelte Dichte von 34,7 Hügeln pro ha ist. In der näheren Umgebung des Inselbergs wurden dagegen 29,7 Hügel pro ha und in den durch *Savane herbeuse* charakterisierten Bas-Fonds nur 3,8 Hügel pro ha erfasst. Letztere bilden vorrangig inselartige Erhebungen von ca.  $8 \pm 4,2$  m Durchmesser (Basis) in den jährlich stark vernässenden Tälern und sind häufig von Bäumen bewachsen. Nach MÄCKEL (1974), der derartige Termitenhügel ebenfalls in Dambos von Sambia fand, sind diese ursprünglich auf terrestrischen Böden entstanden ("pre-dambo features") und aufgrund des bindigen Substrats und der dichten Vegetationsbedeckung von der lateralen und vertikalen Ausdehnung der Täler verschont geblieben. Die ähnliche Dichte der Termitenbauten auf den Ober-, Mittel- und Unterhängen sowie in der Umgebung des Inselbergs, d.h. auf den Acrisols und Plinthosols zeigt, dass Substratschichtung keinen Einfluss auf die Verbreitung der Arthropoden hat. Sowohl die schuttreiche Schicht als auch der tonige und in der Trockenzeit äußerst feste Saprolit bilden für die mit kräftigen Mandibeln versehenen Mundgräber kein Hindernis (GISI et al. 1997). Aus dem Fehlen junger bewohnter Termitenbauten auf den Gleysols der Bas-Fonds wird jedoch der negative Einfluss von Vernässung auf die Ausbreitung der Termiten deutlich.

Tab. 38: Termitenhügel im Aguima-Einzugsgebiet (2002)

Lage	Kartierte Fläche (ha)	Anzahl kartierter Hügel	Dichte (Hügel ha <sup>-1</sup> )	bewohnt (%)	max. Höhe (m)	mittl. Basis-Durchmesser (m)
Ober-, Mittelhang	6,5 + 3,0	303	31,2	12,5	3,4	3,4 ± 2,9
Unterhang	3,0 + 0,4	82	30,5	9,0	4,2	3,8 ± 2,7
Bas-Fonds	2,6	10	3,8	0,0	1,6	8,1 ± 4,2
Inselberg-Pediment	1,7	49	29,7	28,0	2,9	3,7 ± 2,6

Die Termitenhügel des Untersuchungsgebietes unterschieden sich weiterhin hinsichtlich des Alters und der Größe (Tab. 39). Die Kategorisierung der *M. bellicosus*-Hügel nach KORB (1997) zeigt, dass nur insgesamt 12 % aller untersuchten Bauten bewohnt waren, während der größte Teil ausgestorben bzw. von anderen Organismen wie Ameisen, Mäusen oder Schlangen besiedelt wurde. Auffällig ist ebenfalls der hohe Anteil teilweise bzw. vollständig erodierter Bauten auf den Pedimenten des Aguima-Einzugsgebietes. Da die Hügel aus bindigem und mittels körpereigener Substanzen zementierten Material aufgebaut sind (JUNGERIUS et al. 1999) und die Bedeckung der Oberfläche mit Moosen und Algen während der Alterung zunimmt, erstreckt sich der Abbau der Hügel über vergleichsweise große Zeiträume. Auch die Standorte vollständig abgetragener Hügel bleiben noch lange ohne Bewuchs durch höhere Pflanzen (Abb. 58 unten rechts), was nach TANO & LEPAGE (1989) auf die starke Verdichtung des lehmigen Bodens und nach LEE & WOOD (1981) auf toxische Substanzen zurückzuführen ist.

Tab. 39: Alter, Dichte und Zustand von Termitenhügeln verschiedener Kategorien auf den Pedimenten des Aguima-Einzugsgebietes (2002) (Zu Kategorie 6 werden erodierte Termitenhügel von &lt; 1,5 m Höhe zusammengefasst.)

Kategorie	Kriterium	Alter (Jahre)	Anzahl kartierter Hügel	Dichte (Anzahl ha <sup>-1</sup> )	Anteil (%)
bewohnt					
1	< 1,5 m Höhe	< 3	27	2,1	7,0
2	1,5 - 4,0 m Höhe	3 - 8	8	0,6	2,1
3	> 4,0 m Höhe	> 8	10	0,8	2,6
ausgestorben					
4	± intakt	< 2	6	0,5	2,1
5	erodiert	2 - 8	139	10,8	35,9
6	vollständig erodiert	> 8	195	15,1	50,4



bewohnt (Kategorie 1)



ausgestorben, zerfallend (Kategorie 5)



vollständig erodiert (Kategorie 6)

Abb. 58: Verschiedene Stadien der Termitenhügel.

### 6.3.2 Biogene Strukturen

#### Losungsproduktion

Untersuchungen über die Menge und Verteilung von Regenwurmlosung auf der Bodenoberfläche ermöglichen Aussagen über die Aktivität der gangbewohnenden Organismen (DUNGER & FIEDLER 1989). Die am Ende der Trocken- und Regenzeit durchgeführten Zählungen frischer Fäzes (Abb. 59) zeigen eine deutliche Saisonalität der Lumbriciden-Aktivität im Aguima-Einzugsgebiet ( $p < 0,001$ ). So konnte im März generell keine frische Fäzes sondern nur Bruchstücke von im Vorjahr gebildeter Losung auf den Versuchsstandorten nachgewiesen werden. Im September wurde dagegen die Ablage frischer Exkremete auf der Bodenoberfläche festgestellt, was mit den Ergebnissen von EDWARDS & BOHLEN (1996) übereinstimmt und auf der Anwesenheit der Lumbriciden im Oberboden zu diesem Zeitpunkt beruht (vgl. 6.3.1).

Nur auf den Flächen mit Baumwoll- und Yamsanbau in Doguè konnten auch in der niederschlagsreichen Periode keine Exkremete gefunden werden. Es fiel jedoch auf,

dass die Bodenoberfläche am Ende der regenreichen Periode stark verschlämmt war, so dass die frischen, noch nicht getrockneten Exkremeente wahrscheinlich mit dem Oberflächenabfluss abtransportiert worden sind. Die Ergebnisse zeigen eine signifikant unterschiedliche Losungsproduktion zwischen der Savanne im Aguima-Einzugsgebiet (durchschnittlich  $564 \pm 64$  Exkremeente  $m^{-2}$ ) und den Ackerstandorten der drei Ortschaften (größtenteils  $< 100$  Exkremeente  $m^{-2}$ ) ( $p < 0,001$ ) (Tab. 40, Abb. A23). Zwischen den Kulturen wurden in Doguè signifikante Unterschiede auf Feldern mit Mais und Baumwolle bzw. Yams und in Serou auf Flächen mit Yams und Baumwolle bzw. Mais hinsichtlich der Losungsproduktion nachgewiesen ( $p < 0,001$ ).

Weiterhin wird anhand der in Serou und Awanla durchgeführten Zählungen eine zwar nicht signifikante, jedoch tendenziell höhere Aktivität von Regenwürmern auf Feldern mit Yamshügeln sichtbar. Offensichtlich bieten die bis zu 1 m hohen Hügel den Regenwürmern aufgrund der Anhäufung von Bodenmaterial mehr Lebensraum als die flachen Dämme.

Tab. 40: Anzahl (Mittelwert  $\pm$  Std.abw.) der Lumbriciden-Losung auf der Oberfläche von Ah- und Ap-Horizonten von Flächen unterschiedlicher Nutzung (September 2002,  $n =$  jeweils 3 pro Versuchsfeld). Unter der Tab. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet

Ort	Nutzung	Versuchsfeld	Anzahl (Losung $m^{-2}$ )
Doguè	Savanne	M4B	$564 \pm 64$
	Baumwolle	M2A	$0 \pm 0$
	Mais	M3B	$32 \pm 10$
	Yams	M1A	$0 \pm 0$
Awanla	Baumwolle	M1Aw	$17 \pm 8$
	Mais	M2Aw	$19 \pm 6$
	Yams	M3Aw	$52 \pm 8$
Serou	Baumwolle	M1Se	$8 \pm 8$
	Mais	M2Se	$39 \pm 20$
	Yams	M3Se	$164 \pm 7$

Nutzung: Doguè: M4B > M2A, M3B, M1A ( $p$  SIDAK < 0,0025); M3B > M2A, M1A ( $p$  SIDAK < 0,0127)

Serou: M3Se > M1Se, M2Se ( $p$  SIDAK < 0,0170)

Anbausystem: Doguè: M4B > M2A+M3B, M1A ( $p$  SIDAK < 0,0253)

Serou: M3Se > M1Se+M2Se ( $p$  SIDAK < 0,0253)

Insgesamt sind die fehlende Aktivität der Lumbriciden in den trockenen Monaten und die Losungsproduktion in der Regenzeit als weiterer Nachweis für die klimatisch bedingte vertikale Wanderung der Organismen im Verlauf eines Jahres zu sehen. Nach

ROOSE (1976a) stimuliert die Bodenfeuchte die Bildung von Wurmlosung, wodurch der große Einfluss des abiotischen Faktors Wasser auf die Lebensvorgänge im Boden deutlich wird. Aufgrund des Überdauerns in tieferen Bodenbereichen findet in der regenarmen Periode keine Ersetzung der im Laufe der Trockenzeit in großen Mengen angefallenen Streu durch Anneliden statt. Erst mit zunehmender Bodenfeuchte setzt der Abbau der organischen Substanz durch Regenwürmer wieder ein, was die Lösungsproduktion im September belegt. Die Aktivität der Lumbriciden in der feuchten Jahreszeit erklärt ebenfalls die höhere Stabilität der Bodenaggregate, was wiederum den relativ geringen Bodenabtrag durch Oberflächenwasser auf den durch eine hohe Losungsdichte gekennzeichneten Savannenböden bedingt.



Abb. 59: Regenwurmlosung auf der Oberfläche eines Ah-Horizontes unter Savannenvegetation (max. Durchmesser 2 cm, max. Höhe 7 cm) (September 2000).

### Bioporen

Die durch die Tätigkeit von Tieren und Wurzeln entstandenen Bioporen tragen wesentlich zur Verbesserung der Durchlüftung, Infiltration und Strukturbildung im Boden bei (GISI et al. 1997). Sie sind daher von großer Bedeutung für den Luft- und Wasserhaushalt sowie für die Erosionsanfälligkeit des Bodens, indem sie die Bildung von Oberflächenabfluss beeinflussen (MORGAN 1999). Da der Oberboden am Ende der Trockenzeit sehr hart war und die Bioporen beim Abtragen der obersten Schicht größtenteils zerstört oder durch losen Sand verschüttet wurden, konnten keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden. Aus der Untersuchung der Abundanz und Aktivität von Regenwürmern ist jedoch zu schließen, dass zu Beginn des Jahres generell keine neuen Bioporen im Oberboden angelegt werden. Die Zählungen in der Regenzeit zeigen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Porenanzahl auf den Savannen- und Ackerstandorten ( $p < 0,001$ ) (Tab. 41, Abb. A24). So wurden im Oberboden der extensiv weidewirtschaftlich genutzten Fläche mit durchschnittlich  $219 \pm 20$  Poren pro  $m^2$  deutlich mehr Gänge ermittelt als auf den Feldern, wo allgemein  $\leq 60$

Poren pro m<sup>2</sup> vorkamen. Die höhere Porendichte in den Savannenböden lässt auf eine hohe Infiltrationskapazität schließen, was die im Aguima-Einzugsgebiet durchgeführten Infiltrationsmessungen von GIERTZ (2004) belegen (z.B. 442,7 cm d<sup>-1</sup> Doppelringinfiltrometer, Acrisol auf Mittelhang). Auf den Ackerflächen ist die Versickerung des Regenwassers deutlich geringer (z.B. 241,6 cm d<sup>-1</sup> Doppelringinfiltrometer, Maisanbau, Acrisol auf Mittelhang), was als Folge der geringeren Porenanzahl zu werten ist. Das Anbausystem übt offensichtlich keinen Einfluss auf die grabende Aktivität der Regenwürmer aus, da auf den Feldern mit auf Dämmen bzw. Hügeln angebauten Kulturen in Doguè, Serou und Awanla keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden konnten.

Tab. 41: Anzahl (Mittelwert ± Std.abw.) der Bioporen auf der Oberfläche von Ah- und Ap-Horizonten von Flächen unterschiedlicher Nutzung (September 2002, n = jeweils 3 pro Versuchsfeld). Unter der Tab. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet

Ort	Nutzung	Versuchsfeld	Anzahl (Poren m <sup>2</sup> )
Doguè	Savanne	M4B	219 ± 20
	Baumwolle	M2A	5 ± 4
	Mais	M3B	60 ± 16
	Yams	M1A	8 ± 7
Awanla	Baumwolle	M1Aw	22 ± 3
	Mais	M2Aw	32 ± 5
	Yams	M3Aw	28 ± 6
Serou	Baumwolle	M1Se	8 ± 5
	Mais	M2Se	22 ± 11
	Yams	M3Se	74 ± 18

Nutzung: Doguè: M1A > M2A, M3B, M1A; M3B > M2A, M1A (p SIDAK < 0,0025)

Serou: M3Se > M1Se, M2Se (p SIDAK < 0,0170)

Anbausystem: Doguè: M4B > M2A+M3B, M1A (p SIDAK < 0,0025)

Untersuchungen über speziell von Termiten angelegte Bioporen wurden im Aguima-Einzugsgebiet nicht durchgeführt. Jedoch wurden bei der bodenkundlichen Kartierung am Ort verlassener (Profil 30) und vollständig erodierter Termitenbauten (Profil 31) entstandene Böden beschrieben, die durch ein bis in große Tiefen reichendes Netz aus Gängen charakterisiert waren (Abb. 60). Die hohe Anzahl der zu den Makroporen gehörenden Gänge weist auf eine hohe Infiltrationskapazität der tropischen Böden hin, die nach LÉONARD & RAJOT (2001) das 2 bis 3fache der Kapazität von nicht mit Termiten

bewohnten Böden beträgt. Ab einer Dichte von 30 Poren  $\text{m}^{-2}$  wird der Oberflächenabfluss reduziert (LÉONARD & RAJOT 2001), was nach MANDO et al. (1996) ebenfalls auf die Zerstörung der an der Bodenoberfläche gebildeten Krusten durch die Aktivität der Termiten zurückzuführen ist.



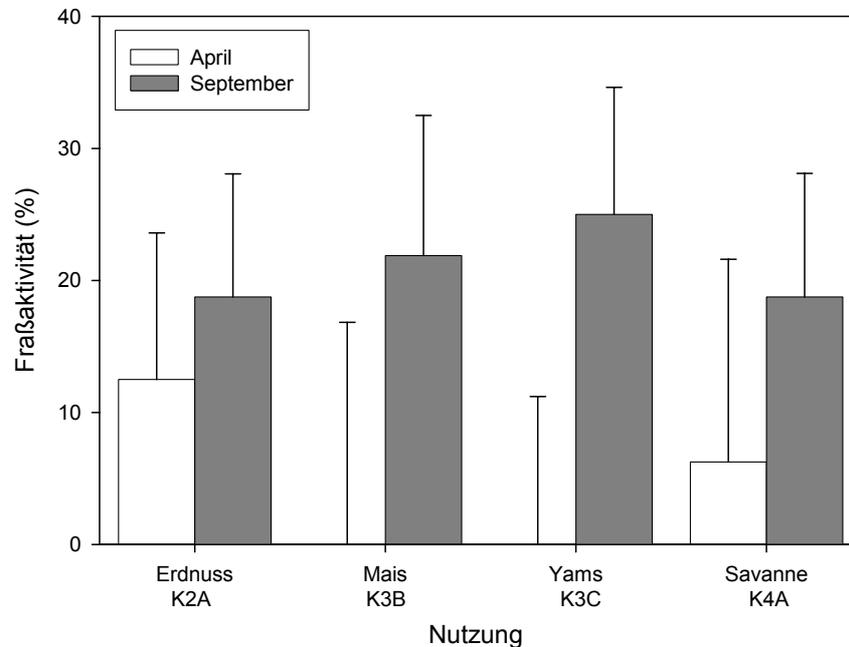
Abb. 60: Profilwand mit frisch von Termiten angelegten Gängen (Profil 31) (Oktober 2001).

### 6.3.3 Ernährungsbiologische Untersuchungen

#### Fraßaktivität

Um den Einfluss des Klimas und des Ackerbaus auf die Bodenorganismen und ihre Aktivität zu erfassen, wurde der Köderstreifen-Test nach VON TÖRNE (1990) auf Flächen unterschiedlicher Nutzung sowohl am Ende der Trockenzeit als auch am Ende der regenreichen Periode im Jahre 2001 durchgeführt. Nach VON TÖRNE (1990) wird dabei vorrangig die Tätigkeit der Mesofauna und bei längerer Versuchsdauer ebenfalls der Einfluss der Mikrofauna erfasst. Unter Fraßaktivität wird hier der Prozentsatz leergefressener Löcher in den Köderstreifen verstanden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Fraßaktivität der Bodenfauna im Oberboden des Mais- und Yamsfeldes sowie in der Savanne in der trockenen und regenreichen Periode signifikant voneinander unterscheiden ( $p < 0,001$ ) (Abb. 61). So war die Umsatzleistung im April mit  $< 12\%$  geringer als im September ( $> 18\%$ ), was mit den in der Amazonasregion ermittelten Ergebnissen von RÖMBKE et al. (2000) übereinstimmt. Die Faktorenanalyse zeigt, dass sowohl die Bodentemperatur als auch die Bodenfeuchtigkeit zu den die Fraßaktivität beeinflussenden Faktoren gehören. So nimmt die Umsatzleistung der Organismen mit steigender Temperatur ab ( $R_s = -0,83^*$ ) und mit zunehmender Feuchtigkeit zu ( $R_s =$

0,9\*). Die geringe Aktivität während der Trockenzeit ist somit auf Wassermangel (< 5 Vol.-%) und hohe Temperaturen (> 35 °C) im Oberboden zurückzuführen, während ausreichende Feuchtigkeit (> 25 Vol.-%) und geringere Temperaturen (< 25 °C) die Umsatzleistung während der regenreichen Monate begünstigen (Abb. A25).



Trocken-, Regenzeit: K3B > K3B, K3C > K3C, K4A > K4A (p SIDAK < 0,0025)  
 Nutzung: Trockenzeit: K2A > K3B, K3C (p SIDAK < 0,0127)  
 Anbausystem: Trockenzeit: K4A > K3C, K2A+K3B > K3C (p SIDAK < 0,0170)

Abb. 61: Fraßaktivität (Median und 95 %-Konfidenzintervall) nach 14tägiger Exposition der Köderstreifen im Oberboden von Flächen unterschiedlicher Nutzung am Ende der Trocken- und Regenzeit 2001 (n jeweils 144 pro Nutzung). Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

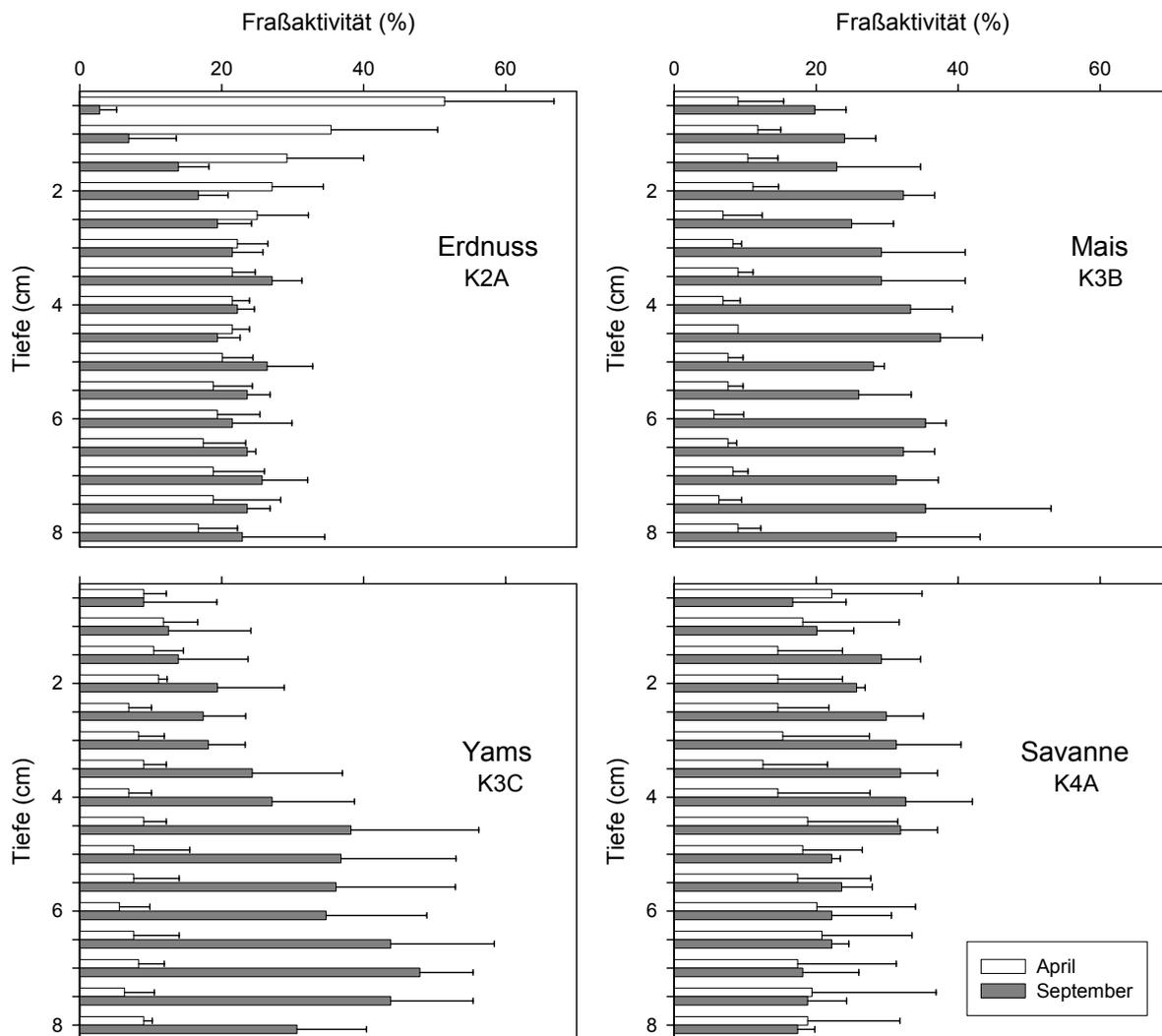
Auf den unterschiedlich genutzten Flächen wurden in Trockenzeit nur z.T. und in der Regenzeit keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Fressaktivität ermittelt. Auffällig ist jedoch, dass die Umsatzleistung am Ende der niederschlagsreichen Periode auf den Feldern höher als in der Savanne war. Offensichtlich förderte die starke Erwärmung der ausreichend mit Wasser versorgten Ackerböden, die infolge der geringeren Vegetationsdichte größer als am Savannenstandort war, die Leistung der Bodenfauna. Unterschiede lagen auch zwischen der Fraßaktivität von Nutzflächen mit verschiedenen Anbausystemen vor. So wurde im September die höchste Fraßaktivität

in den Yamshügeln ermittelt, was wahrscheinlich auf der größeren Wasserspeicherung und den etwas niedrigeren Temperaturen in den vergleichsweise umfangreichen Materialanhäufungen beruht.

Die am Ende der Trocken- und Regenzeit ermittelten Fraßaktivitätsprofile des Savannenstandortes und des Mais- und Yamsfeldes unterschieden sich signifikant voneinander ( $p < 0,001$ ), die Tiefenprofile der mit Erdnüssen bestellten Fläche jedoch nicht. Im April war allgemein eine geringe und konstante bis leicht abnehmende Umsatzleistung der Bodenfauna mit zunehmender Tiefe zu beobachten, was ebenfalls von RÖMBKE et al. (2000) in tropischen Böden des Amazonasgebietes ermittelt wurde. Im September nahm der Fraß dagegen zunächst mit der Tiefe zu und anschließend wieder ab (Abb. 62). Signifikante Unterschiede zwischen der Umsatzleistung in den oberen 2,5 cm und dem bis in 8 cm Bodentiefe folgenden Bereich konnten nur auf dem Erdnuss- und Maisfeld sowohl in der Trocken- als auch in der Regenzeit ermittelt werden ( $p < 0,001$ ). Der im Frühjahr bestimmte stärkere Fraß an der Bodenoberfläche ist vermutlich auf die höhere Besiedlungsdichte mit Organismen der Meso- und Mikrofaunen-Gruppe zurückzuführen, die sich nach den ersten Niederschlägen (01., 15., 24.04.2001) bereits am Ort der Streuakkumulation ausgebreitet haben. In der Regenzeit ist die Umsatzrate im Bereich von 2,5 - 8 cm größer als direkt an der Oberfläche, da hier wahrscheinlich mehr von Lumbriciden in den Boden eingearbeitete und zerkleinerte Streu für den anschließenden Abbau vorlag und die Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen geringer waren. In tieferen Bodenbereichen sind das geringe Porenvolumen und Nahrungsangebot infolge abnehmender Streuzufuhr und Durchwurzelung für den verringerten Besatz mit Organismen und deren Leistung verantwortlich (GISI et al. 1997, SCHACHTSCHABEL et al. 1998).

### **Streuabbau**

Des Weiteren wurde der Einfluss des Klimas und der Bodennutzung auf die Dekomposition organischer Substanzen durch verschiedene Tiergruppen mit Hilfe von Netzbeuteln mit unterschiedlichen Maschenweiten erfasst. So liefert der Streuwiederfund in den grobmaschigen Beuteln (Maschenweite 15 mm) Aussagen über die gemeinsame



Trocken-, Regenzeit: K3B > K3B, K3C > K3C, K4A > K4A (p SIDAK < 0,0025)  
 Nutzung: Trockenzeit: K4A > K2A, K3C; K2A > K3B, K3C; K3B > K3C (p SIDAK < 0,0025)  
 Regenzeit: K2A > K3B, K3C (p SIDAK < 0,0025)  
 Tiefe: Trockenzeit: 0 - 2,5 cm: K4A > K2A; K2A > K3C; K3B > K3C (p SIDAK < 0,0127)  
 Trockenzeit: 2,5 - 8 cm: K4A > K2A, K3B; K2A > K3C; K3B > K3C (p SIDAK < 0,0127)  
 Regenzeit: 0 - 2,5 cm: K4A > K3B, K3C; K2A > K3B, K3C (p SIDAK < 0,0127)  
 Regenzeit: 2,5 - 8 cm: K4A > K3B, K3C; K2A > K3B, K3C (p SIDAK < 0,0127)  
 Tiefe (0 - 2,5 und 2,5 - 8 cm): Trocken-, Regenzeit: K2A, K3B (p SIDAK < 0,0025)

Abb. 62: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (Mittelwert ± Std.abw.) nach 14tägiger Exposition von Köderstreifen im Oberboden von Flächen unterschiedlicher Nutzung am Ende der Trocken- und Regenzeit 2001 (n jeweils 144 pro Nutzung). Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

Abbauleistung der Makro-, Meso- und Mikrofauna, während die Aktivität zunehmend kleinerer Tiergruppen durch die Verwendung von Beuteln mit mittlerer (0,5 mm) bzw. feiner (0,02 mm) Maschenweite bestimmt wird. In der Literatur wird der prozentuale Wiederfund an den Entnahmetermenen, bezogen auf das Ausgangsgewicht, häufig als Abbaurate bezeichnet (GEISSEN 2000). In dieser Arbeit wird stattdessen der Begriff Streuwiederfund zur Beschreibung der Dekomposition verwendet.

Der im Jahre 2001 durchgeführte Versuch zeigt die allgemeine Abnahme des Streuwiederfundes auf allen Untersuchungsflächen im Verlauf der Regenzeit (Abb. 63). Zum Beispiel wurde in den 4 Wochen lang im Boden exponierten grobmaschigen Netzbeuteln noch > 80 % des ursprünglichen Beutelinhalts wiedergefunden, in den nach 24 Wochen entnommenen litter bags dagegen nur noch < 16 %, was den Ergebnissen vergleichbarer Versuche von HJÖFER & LUIZAO (2000) in tropischen Böden Brasiliens entspricht. Zurückzuführen ist die insgesamt steigende Dekomposition im Verlauf der regenreichen Periode auf die verstärkte Ausbreitung und die zunehmende Aktivität der Organismen im Oberboden infolge der günstigeren Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse (vgl. 6.3.1 und 6.3.2). So nimmt z.B. die Zersetzung der Streu mit steigender Temperatur ab (z.B. mittlere Maschenweite  $R_s = -0,19 \text{ ns}$ ), was zur geringen Umsatzleistung während der trockenen heißen Jahreszeit bzw. zur hohen Aktivität während der etwas kühleren Regenzeit führt (Abb. A26).

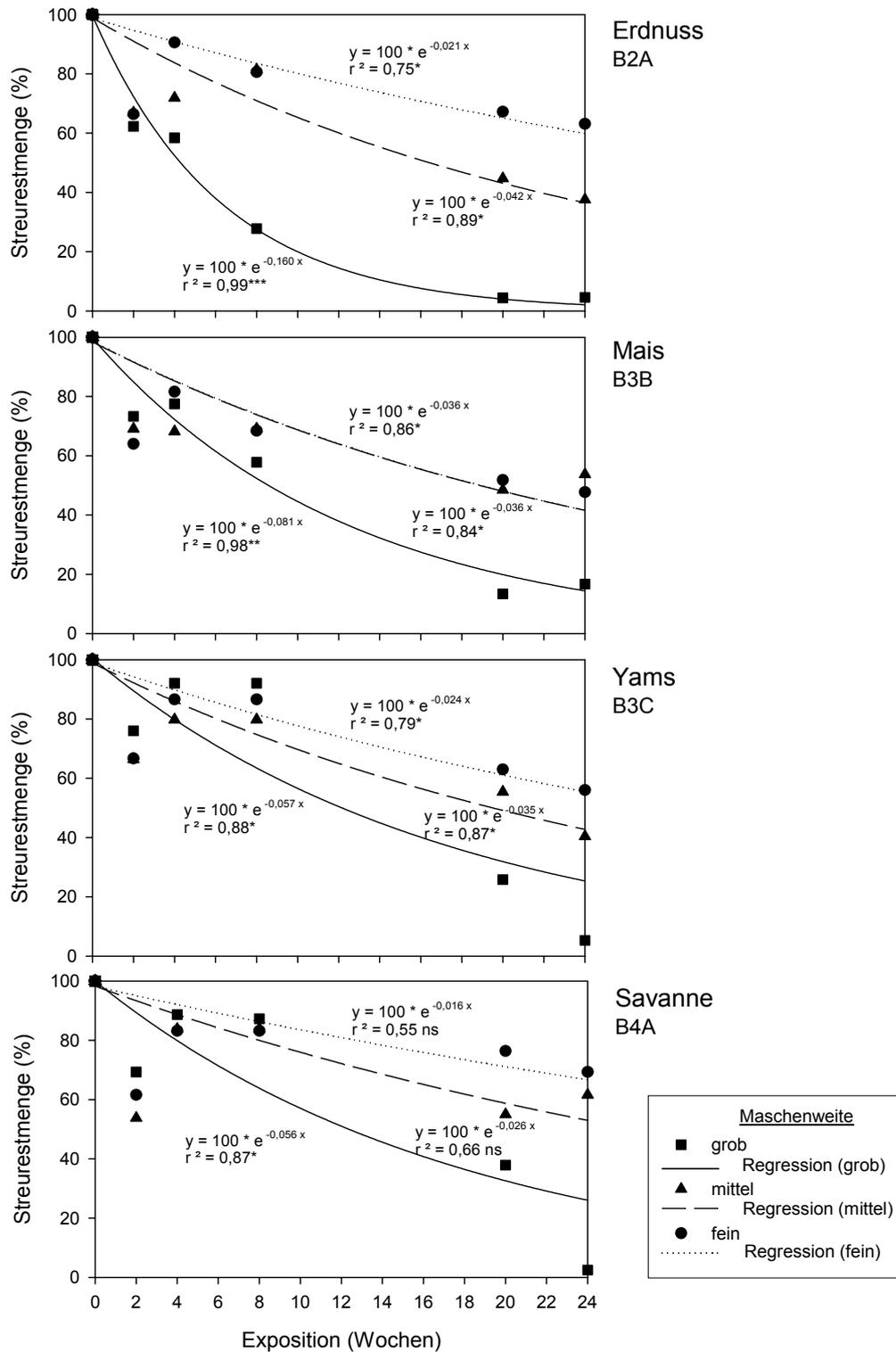
Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass der Streuabbau in den grob-, mittel- und feinmaschigen Netzbeuteln zu Beginn der Regenzeit relativ ähnlich war, sich im Verlauf des Versuchs jedoch zunehmend differenzierte. So war die Abnahme der Streurestmenge in den Beuteln mittlerer und feiner Maschenweite insgesamt geringer als in den grobmaschigen Beuteln, was die signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Netzbeutelarten z.B. am letzten Entnahmeternin belegen ( $p < 0,05$ ) (Abb. 63). Insgesamt wird anhand dieses Versuches die Bedeutung der verschiedenen Bodentiere beim Abbau organischer Substanz in tropischen Böden deutlich. Die Dekomposition der *Anacardium*- und *Vitellaria*- Blätter verläuft unter der Beteiligung von Organismen der Makro-, Meso- und Mikrofaunengruppe relativ schnell, unter Ausschluss der Makrofaunen-Gruppe dagegen wesentlich langsamer. Die Makrofauna wie Lumbriciden und Termiten leisten somit einen wesentlichen Beitrag bei der Zersetzung organischer Substanzen, indem sie die Streu zerkleinern, umwandeln und so für die Mikroorganismen besser zugänglich machen (EDWARDS & BOHLEN 1996, GISI et al. 1997). Ohne die Vorarbeit der Makrofauna ist der mikrobielle Abbau bzw. die gesamte Dekomposition der Streu stark reduziert.

Zwischen den Nutzungen der Versuchsflächen konnten an den verschiedenen Entnahmetermen nur wenig signifikante Unterschiede hinsichtlich der Zersetzung der Streu ermittelt werden. Es fällt jedoch auf, dass der Streuwiederfund in den grobmaschigen Netzbeuteln am Ende der Regenzeit in der extensiv pastoral genutzten Savanne mit 2,5 % geringer als auf den Ackerflächen (4,6 - 16,7 %) war, was wahrscheinlich auf die hohe Anzahl der hier während der regenreichen Phase vorkommenden Regenwürmer zurückzuführen ist (vgl. 6.3.1).

Analysen hinsichtlich der Korrelation zwischen der Verbreitung von Bodentieren sowie ihrer Aktivität und verschiedenen physikalischen und -chemischen Bodeneigenschaften haben signifikante Zusammenhänge zwischen der Besiedlungsdichte und der Bodenreaktion, dem Gehalt an  $C_{org}$ ,  $N_t$ , Ca, Mg, K,  $P_2O_5$ , der BS und  $KAK_{eff}$  sowie dem Schluffgehalt ergeben (Tab. 42). Nach KAINZ et al. (1991) beeinflussen der  $C_{org}$ - und der Schluffgehalt die Regenwurm-Abundanz am meisten, da sie die Hauptnahrung stellen und die Lebensbedingungen wie gute kapillare Wasserleitfähigkeit, Grabbarkeit sowie die Stabilität der Gänge verbessern. Auch zwischen dem Streuabbau und verschiedenen Bodenparametern wie dem pH-Wert und dem Gehalt an  $C_{org}$  und austauschbaren Kationen wurden positive Korrelationen ermittelt, die jedoch nicht signifikant sind.

Tab. 42: Korrelation (Spearman Koeffizient) zwischen Abundanz von Lumbriciden, Streuabbaurate und verschiedenen Bodenparametern

Bodenparameter n	Abundanz 16	Streuabbau 16
<b>Sand (%)</b>	-0,24	0,80
<b>Schluff (%)</b>	0,37**	-0,80
<b>Ton (%)</b>	-0,14	-0,40
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	0,75**	0,80
<b>C<sub>org</sub> (%)</b>	0,64**	0,20
<b>N<sub>t</sub> (%)</b>	0,57**	-0,11
<b>C/N</b>	0,03	0,32
<b>Ca (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,66**	0,20
<b>Mg (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,63**	0,40
<b>K (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>	0,70**	0,20
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ppm)</b>	0,60**	0,80



Kultur: 2 Wochen: B3B > B3C; 8 Wochen: M3B > M4B, B3C (p SIDAK < 0,0127)  
 Anbausystem: B4A > B2A+B3B, B2A+B3B > B3C (p SIDAK < 0,0170)  
 Maschenweite: grob > mittel > fein (p SIDAK < 0,0127)

Abb. 63: Streuwiederfund (Mittelwert) pro Maschenweite und Entnahmeterrin auf unterschiedlich genutzten Flächen im Verlauf der Regenzeit 2001 (n jeweils 9 pro Maschenweite und Entnahmeterrin). Unter der Abb. sind signifikante Unterschiede zwischen den Variablen mit „>“ gekennzeichnet.

Insgesamt werden gut mit organischer Substanz versorgte und nährstoffreiche Böden wie die der Savanne bevorzugt von Regenwürmern besiedelt, während in verarmten Ackerböden vergleichsweise wenig Lumbriciden vorkommen. Die ackerbauliche Nutzung des Bodens führt somit allgemein zur Reduzierung des Besatzes mit Lumbriciden, was als anthropogen bedingte biologische Degradierung zu bezeichnen ist und weitreichende Konsequenzen für den Boden hat. Zum einen führt die Verringerung der Besiedlungsdichte mit Regenwürmern zur Verschlechterung der Bodenstruktur, da die Bildung stabiler Aggregate durch die intensive Verkittung der Bodenbestandteile herabgesetzt ist. Die Verschlämmung der sandigen Böden und die Bildung von Krusten sind weitere Folgen des geringen Zerfallswiderstandes der Aggregate. Zum anderen wird die Infiltrationskapazität des Bodens infolge der reduzierten Anlage von Regenwurmgängen verringert, was wiederum die Bildung von Oberflächenabfluss und den Bodenabtrag begünstigt. Auch die Dekomposition der organischen Substanz wird durch die Verringerung der Lumbriciden negativ beeinflusst, da die Erstzersetzung der Streu, die Voraussetzung für den folgenden mikrobiellen Abbau ist, nur in geringerem Umfang auf den Ackerflächen erfolgt. Somit ist auch die Freisetzung der Nährelemente aus dem Humus herabgesetzt, so dass die biologische Degradierung neben der Erosion nährstoffhaltiger Substrate zur Verringerung der Bodenfruchtbarkeit beiträgt.

#### **6.4 Folgen der Nutzung und On-site Schäden**

Die Intensivierung des Ackerbaus im HVO durch Verkürzung der für die Regeneration des Bodens notwendigen Brachezeiten bei geringen bzw. fehlendem Einsatz von Düngemitteln wird anhand verschiedenartiger Degradierungserscheinungen des Bodens deutlich.

Die Ackerflächen des Aguima-Einzugsgebietes weisen insgesamt eine schlechtere Struktur als die extensiv weidewirtschaftlich genutzten Böden der Savanne auf. So hat die im Jahre 2002 durchgeführte Beobachtung des Mikroreliefs gezeigt, dass die Oberflächenrauigkeit auf den Ackerstandorten im Verlauf der Regenzeit stärker abnahm als das Mikrorelief des Savannenbodens (vgl. 6.2.1). Die Ursache dieser verstärkten Einebnung ist zum einen in der nur mäßigen Stabilität der Bodenaggregate zu sehen, die u.a. auf dem verringerten  $C_{org}$ -Gehalt des Ap-Horizontes ( $1,1 \pm 0,5 \%$ ,  $n = 9$ ) beruht. Auch die regelmäßig durchgeführte Bodenbearbeitung trägt zur mechanischen Zerstörung der Aggregate bei (BARTHÈS et al. 2000) (vgl. 6.2.3). Zum anderen fördert die relativ geringe Vegetationsbedeckung der kultivierten Flächen die Abnahme des Mikroreliefs, da die Bodenoberfläche weniger vor den erosiven

Niederschlägen bzw. die Aggregate weniger vor dem Aufprall der Regentropfen geschützt werden (Abb. A9). Die Folge der geringeren Aggregatstabilität auf den Ackerflächen besteht in der Verstopfung der Bodenporen durch Aggregatbruchstücke bzw. -bestandteile und der anschließenden Ausbildung von Krusten, was wiederum zur Verringerung der Infiltrationskapazität des Bodens, zur Steigerung des Oberflächenabflusses sowie zur Umlagerung bzw. zum Abtrag von Bodenmaterial führt (RICHTER 1998, MORGAN 1999). Letzteres wurde anhand der Erosionsmessungen nachgewiesen, denn mit  $> 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  war der Bodenverlust auf den ackerbaulich genutzten Standorten deutlich größer als auf den extensiv pastoral genutzten Flächen unter Savannenvegetation ( $3,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) (vgl. 6.2.1). Die Verringerung der Aggregatstabilität sowie der Infiltrationskapazität ist ebenfalls eine Folge der verringerten Besiedlungsdichte der Ackerflächen mit Lumbriciden, die allgemein zur Bildung stabiler Bodenaggregate und Poren im Boden beitragen (ROTH & JOSCHKO 1991). Da ihre Verbreitung auf den Nutzflächen aufgrund von mechanischer Bodenbearbeitung und verändertem Nahrungsangebot stark reduziert ist, trägt die biologische Degradierung zur Verstärkung der physikalischen Verschlechterung des Bodens und des Bodenabtrags bei (vgl. 6.3.1).

Seit Beginn der Bodennutzung hat der regelmäßig während der Anbauperiode stattfindende Abtrag zur Veränderung der Bodenart im Ap-Horizont der Ackerflächen geführt. So haben die Analysen der Korngrößenverteilung gezeigt, dass sich die nach intensiven Regenfällen von der Bodenoberfläche erodierten Substrate je nach Standort und Niederschlagsereignis mehr oder weniger stark voneinander und von der Bodenart des jeweiligen Oberbodens unterscheiden. Zum Beispiel betrug der Grobsandanteil im vom Baumwollfeld (P2A) abgetragenen Substrat zwischen 0 und 30,7 %, im Ap-Horizont des Bodens dagegen 9,0 % (Abb. 64, Tab. A18, A20). Auffällig war auch der hohe Anteil von Partikeln der Schluff- und Tonfraktion in den erodierten Substraten, der bei  $> 95$  % der untersuchten Proben ( $n = 85$ ) über dem entsprechenden Gehalt der an den Versuchsstandorten vorliegenden Ap- bzw. Ah-Horizonte lag. Der wiederholte Abtrag derartig zusammengesetzter Sedimente lässt langfristig die Verarmung des Oberbodens an feinkörnigen Materialien bzw. die Anreicherung grobkörniger Partikel erwarten (ROOSE 1977b). Der Vergleich der Korngrößenverteilung im Feinboden aus den oberen 25 cm des Bodens in der Savanne ( $n = 17$ ) mit Proben von langjährig genutzten Ackerflächen in Doguè ( $n = 9$ ) hat jedoch wider Erwarten ergeben, dass im Oberboden der Nutzflächen ein geringerer Sandanteil (5,7 %) und erhöhter Schluff- (4,4 %) sowie Tonanteil (1,3 %) vorliegt (Tab. 43). Die Zunahme des Gehalts feinkörniger

Partikel ist auf die Erosion des sandigen Decksediments und die Durchmischung mit den normalerweise mehrere Dezimeter tiefer liegenden Schichten zurückzuführen, deren Schluff- und Tongehalt aufgrund der Lithologie und der Lessivierung höher ist.

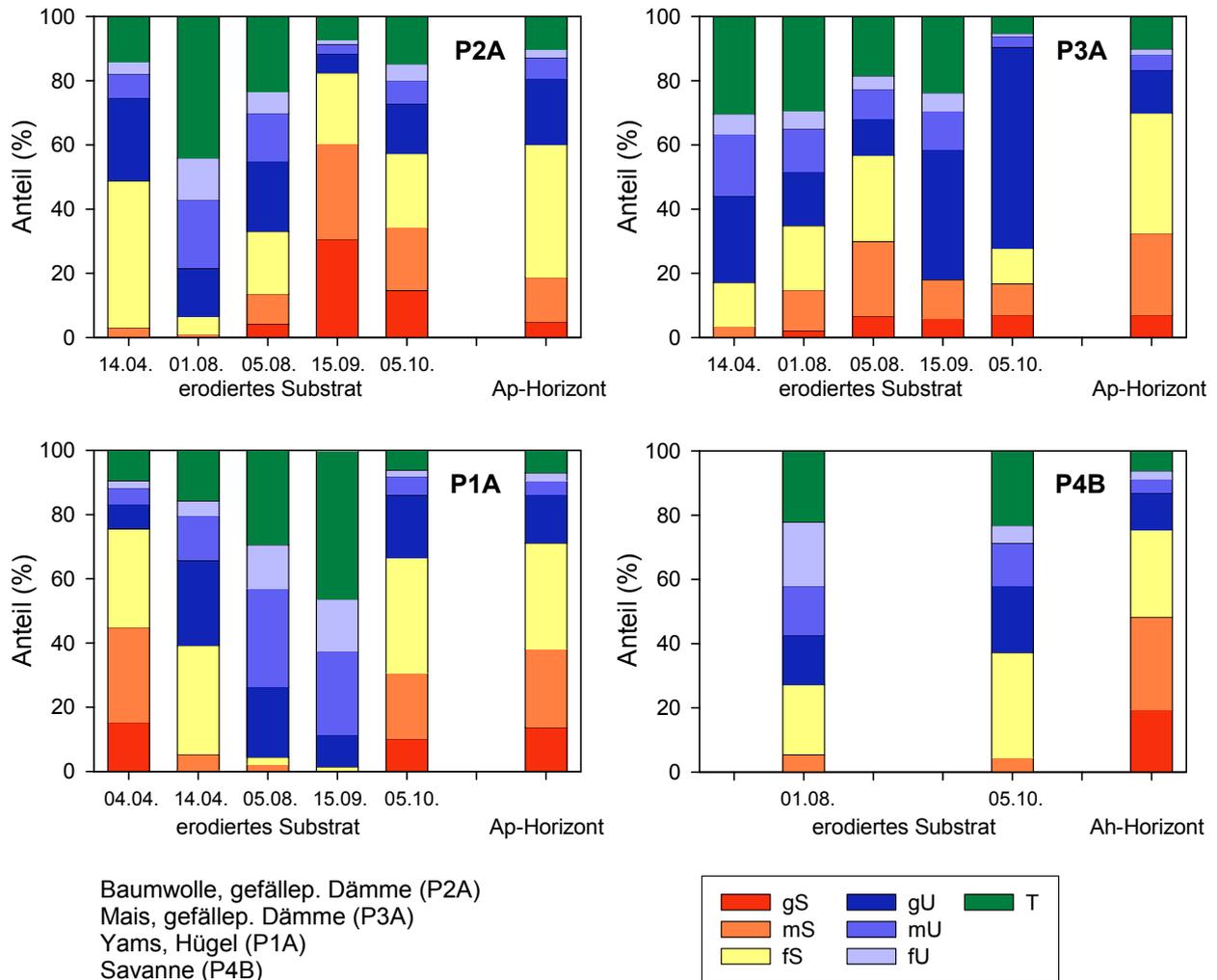


Abb. 64: Korngrößenverteilung von erodierten Substraten und Ap- bzw. Ah-Horizonten der unterschiedlich genutzten Versuchsfelder (Doguè 2002). (Von Versuchsfeld P4B lagen keine ausreichenden Materialmengen für weitere Körnungsanalysen vor, da an diesem Standort generell nur wenig Bodenerosion im Verlauf der Regenzeit stattfand) (Es konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.).

Tab. 43: Korngrößenverteilung (Mittel  $\pm$  Std.abw.) im Ah-Horizont von Savannenböden und Ap-Horizont von Ackerflächen im Aguima-Einzugsgebiet (Es konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.)

Horizont	n	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T
Ah	17	13,3 $\pm$ 5,5	31,7 $\pm$ 4,4	28,5 $\pm$ 4,8	11,8 $\pm$ 1,8	4,7 $\pm$ 0,9	2,2 $\pm$ 0,7	7,8 $\pm$ 1,4
Ap	9	9,9 $\pm$ 5,4	24,4 $\pm$ 7,1	33,4 $\pm$ 6,6	15,6 $\pm$ 3,8	5,4 $\pm$ 1,5	2,0 $\pm$ 0,5	9,2 $\pm$ 2,5

Auch der Grobboden bzw. Pedimentschutt, der im Oberboden der Savanne nicht bzw. in äußerst geringen Mengen vorkam, auf der Oberfläche der landwirtschaftlich genutzten Flächen am Ende der Regenzeit jedoch nicht zu übersehen war, lässt die umfangreiche Abtragung sandiger Substrate erkennen. So wurde im Ap-Horizont von in Dorfnähe liegenden und langjährig intensiv genutzten Ackerflächen ein Bodenskelettanteil von z.T. > 40 % kartiert. SWOBODA (1994) und IGUÉ & YOUSOUF (1995) haben ebenfalls die Anhäufung von Grobboden in der Krume und die Entstehung von Steinpflastern auf der Oberfläche von in Nordbenin gelegenen Ackerflächen beschrieben. Wie bereits in Kapitel 5.2.5 erwähnt, werden derartig schuttreiche Böden in der Sprache der Nagot als *yangari* bezeichnet. Die Existenz dieses Begriffes kann als Hinweis gesehen werden, dass Bodenerosion auf ackerbaulich genutzten Flächen häufig auftritt und den Bauern der Region wohl bekannt ist. Auch in der *World Map of the status of human-induced soil degradation* von OLDEMAN et al. (1991) wird der Verlust des Oberbodens durch Wassererosion als Hauptproblem der Böden Westafrikas angesehen.

Die Mächtigkeit der sandigen Deckschicht beträgt auf den Wasserscheiden, Ober- und Mittelhängen in der Savanne durchschnittlich 30,1 cm (n = 102), auf den kultivierten Flächen dagegen nur 23,9 cm (n = 52) (Tab. 44). In Dorfnähe wurden außerdem Flächen kartiert, auf denen keine sichere Unterscheidung zwischen dem Decksediment und der Schuttschicht mehr möglich war. Seit Beginn der Inkulturnahme des Bodens bei Doguè vor 100 bis 150 Jahren sind insgesamt 6,2 cm des Boden erodiert worden, was einer jährlichen Abtragsrate von 0,04 - 0,06 mm entspricht. Diese Rate ist größer als die von DUNNE et al. (1978 in MORGAN 1999) für humide Gebiete Kenias ermittelten Bodenbildungsrate von 0,01 - 0,02 mm a<sup>-1</sup>. Auch ist der auf den Baumwoll- und Maisfeldern mit gefälleparallel verlaufenden Dämmen und den Yamsfeldern gemessene aktuelle Abtrag größer als die von OYEGUN (1983) bzw. ODEMERHO & AWWUNUDIOLGBA (1993 in MORGAN 1999) für Böden Nigerias ermittelte Bodenverlusttoleranzgrenze von

12,1 bzw. 16,2 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>, woraus langfristig die Reduzierung der Schichtmächtigkeit resultiert. Wird die Überschreitung der Toleranzgrenze durch Beibehaltung der heutigen Anbaumethoden im gleichen Maß fortgesetzt, ist in 400 - 500 Jahren mit dem vollständigen Verlust der sandigen Deckschicht auf den Ober- und Mittelhängen zu rechnen.

Auffällig ist weiterhin die Mächtigkeitsdifferenz des sandigen Hillwash auf den Unterhängen im Aguima-Einzugsgebiet. So ist das Decksediment auf den ackerbaulichen Nutzflächen durchschnittlich 4,1 cm mächtiger als in der Savanne, was die Erosion von Bodensubstraten im oberen und mittleren Bereich und die Akkumulation im unteren Abschnitt der Hänge beweist. Anhand der Vergleiche der Substratmächtigkeiten in den unterschiedlich intensiv genutzten Arealen des Aguima-Einzugsgebietes wird der aktuelle Einfluss des Menschen auf die Sedimentologie des Gebietes deutlich. Die Ausdehnung des Ackerbaus und die damit verbundene Vernichtung natürlicher Savannenvegetation hat zur Verstärkung des Oberflächenabflusses und zur Umverteilung der Pedisedimente d.h. zur Verlagerung des sandigen Decksediments auf die Unterhänge und in die Bas-Fonds und Flüsse sowie zur Freilegung des Pedimentschuttes geführt. Auch FÖLSTER (1964), ROHDENBURG (1969) und ZEESE (1983) beschreiben die rezente, anthropogen verstärkte Abspülung auf den Hängen in verschiedenen Regionen Westafrikas infolge von Ackerbau, Brand und Überweidung.

In der Umgebung von Awanla hatte die Bodenerosion in den 70er Jahren bereits so große Ausmaße erreicht, dass der rötlich gefärbte Unterboden freigelegt und die Region infolge der Farbgebung als *La Zone rouge* bezeichnet wurde. Heute besteht der Ap-Horizont vieler Felder größtenteils aus Pedimentschutt, der am Ende der Regenzeit nahezu geschlossene Lagen auf der Bodenoberfläche bildet. Vereinzelt wurden auch schuttreiche und rot gefärbte lehmige Böden gesehen, die wahrscheinlich durch Vermischung der Schuttschicht mit Teilen des Saprolits entstanden sind.

Tab. 44: Mächtigkeit des Decksediments (Mittelwert ± Std.abw.) in der Savanne und auf Ackerflächen im Aguima-Einzugsgebiet (Es konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.)

Nutzung	Wasserscheide, Ober-, Mittelhang	n	Unterhang	n
Savanne	30,1 ± 20,3	102	36,2 ± 13,6	32
Acker	23,9 ± 13,3	52	40,3 ± 22,8	16

Unter ackerbaulicher Nutzung findet neben der Strukturverschlechterung, dem Bodenabtrag und der biologischen Degradierung ebenfalls eine Verarmung an organischer Substanz und Pflanzennährstoffen statt (vgl. 6.2.4). Langfristig wird der Verlust des humushaltigen und den größten Teil der Nährelemente umfassenden Oberbodens die Reduzierung der Nahrungsmittelproduktion zur Folge haben. Nach LAL (1995) sinkt der Ertrag von auf Alfisols in Nigeria angebautem Maniok um 35,7 bzw. 53,7 %, wenn 10 bzw. 20 cm des nährstoffhaltigen Oberboden erodiert werden. Auch ROOSE & BARTHÈS (2001) weisen auf die Abnahme von Maiserträgen um ein Drittel bzw. die Hälfte bei Reduzierung des Ap-Horizontes im Norden Kameruns gelegener sandiger Alfisols um 5 bzw. 15 cm hin.

## 7 MÖGLICHKEITEN EINER NACHHALTIGEN BODENNUTZUNG

Der Boden ist eine wichtige, bereits seit Jahrtausenden genutzte Lebensgrundlage des Menschen, so dass die Sicherung dieser Ressource für die heutige und künftige Generationen notwendig ist (PRASAD & POWER 1997). Da in Benin die Nutzung des Bodens für die Produktion von Nahrungsmitteln und pflanzlichen Rohstoffen im Vordergrund steht, ist die Praktizierung einer nachhaltigen Landwirtschaft für den Erhalt dieser Ressource sinnvoll. Unter *sustainable agriculture* wird nach der FAO (1989) das erfolgreiche Management der landwirtschaftlichen Ressourcen verstanden, um die sich ändernden Ansprüche des Menschen unter Erhalt bzw. Verbesserung der Qualität der Umwelt und Erhalt der natürlichen Ressourcen zu erfüllen. Nach ESWARAN et al. (1993) umfasst nachhaltige Landwirtschaft in Entwicklungsländern vor allem die Verbesserung der Erträge bzw. des Einkommens der Bauern. Die nachhaltige Nutzung des Bodens schließt somit den Schutz vor Erosion und Degradierung ein, damit die Bodenfruchtbarkeit und Produktivität der ackerbaulich genutzten Felder langfristig erhalten bleibt bzw. verbessert wird.

Der Bodenschutz im HVO ist wie in allen Entwicklungsländern generell nicht mittels kosten- und arbeitsaufwendiger Maßnahmen durchführbar, da nur begrenzt finanzielle Mittel zur Verfügung stehen und der Mechanisierungsgrad sehr gering ist (ROOSE 1976b, SMOLIKOWSKI 1993). Auch stehen den Bauern und Hilfsarbeitern während der Regenperiode nur begrenzt Zeit für die Ausführung weiterer Aufgaben zur Verfügung, da alle Tätigkeiten auf dem Feld von Hand verrichtet werden und sehr zeitaufwendig sind. Auch die Übertragung von in den gemäßigten Breiten entwickelten Bodenschutzmethoden auf tropische Regionen ist erfahrungsgemäß wenig effektiv, da sie nicht an die sozio-ökonomischen und ökologischen Gegebenheiten angepasst sind und häufig auf mangelnde Akzeptanz bei der einheimischen Bevölkerung stoßen (ROOSE 1989). Stattdessen sind Schutzmaßnahmen zu wählen, die an die örtlichen Verhältnisse und das Agrarsystem der Region angepasst und relativ einfach durchzuführen sind. ROOSE (1989), SMOLIKOWSKI (1993) und ROOSE & BARTHÈS (2001) sehen eine Möglichkeit in der Veränderung traditioneller Systeme, während BEETS (1990) auch die Einführung neuer, bisher nicht in dem jeweiligen Land praktizierter Methoden für sinnvoll hält.

Anhand der im Rahmen dieser Arbeit im HVO durchgeführten bodenkundlichen Untersuchungen, der Oberflächenabfluss- und Abtragsmessungen sowie der bodenbiologischen Versuche können verschiedene Möglichkeiten für eine nachhaltige ackerbauliche Bodennutzung und Bodenschutzmaßnahmen abgeleitet werden. Da sich

die Böden in Doguè, Serou und Awanla hinsichtlich der Degradierung unterscheiden (vgl. 6.4), sind die Maßnahmen mit entsprechend unterschiedlicher Intensität in den Ortschaften durchzuführen. Es sollte jedoch auch in Doguè, wo z.B. die chemische Degradierung vergleichsweise gering ist, bereits vorsorglich Bodenschutz betrieben werden, um der weiteren Verschlechterung der Bodenstruktur und -fruchtbarkeit vorzubeugen und die Ressource langfristig zu sichern.

## **7.1 Kulturtechnische Maßnahmen**

### **Parzellierung**

Eine Möglichkeit zur Verringerung des Bodenabtrags besteht in der Reduzierung der Feldgröße und Verkürzung der Hanglänge (MORGAN 1999). So wurden z.B. in Serou mehrere ha große und vorrangig für den Baumwollanbau verwendete Felder gesehen, die sich über große Bereiche eines Hanges erstreckten. In Doguè wurde häufig der nahtlose Übergang zwischen Feldern verschiedener Besitzer bzw. zwischen Ackerflächen und Wegen beobachtet, so dass der Oberflächenabfluss ungehindert abfließen und viel Bodenmaterial von den landwirtschaftlichen Nutzflächen abtransportieren konnte.

### **Begrenzung der Felder**

Durch die Begrenzungen der Nutzflächen mit Erd-, Steinwällen oder Buschreihen kann der oberflächliche Abfluss gebremst und die Bodenerosion vermindert werden. Für die Anlage derartiger Hindernisse könnten die Bauern Steine und verfestigten Pedimentschutt verwenden, die größtenteils in allen Regionen des HVO zur Verfügung stehen. In Awanla wurden ebenfalls isohypsenparallel auf den Feldern verlaufende Steinreihen oder -dämme gesehen, was nach DUGUÉ et al. (1993) und ROOSE (1989) eine traditionelle Bodenschutzmethode in Burkina Faso bzw. Mali darstellt. Auch die Durchführung dieser Methode ist aufgrund der einfachen Konstruktionsweise und des geringen Kostenaufwandes in anderen Bereichen des HVO denkbar. Von der Terrassierung der Hänge sollte nach ROOSE (1976b) in Benin abgesehen werden, da die Anlage sehr aufwendig ist und die Akzeptanz bei der einheimischen Bevölkerung aufgrund der Übernahme dieser Methode aus fernen Ländern vermutlich gering ist.

### **Wegenetz**

Auf gefälleparallel verlaufenden Wegen finden im Verlauf der Regenzeit umfangreiche Erosions- und Akkumulationsprozesse statt, wie die Vermessung von Wegquerschnitten

im Aguima-Einzugsgebiet gezeigt hat (vgl. 6.2.1). Um die Wirkung der Pfade als Leitbahnen für Oberflächenwasser zu reduzieren, sollten Abflussbarrieren in Form von quer zum Hang verlaufenden Steinreihen auf den Wegen installiert werden. Auf diese Weise wird langfristig viel Material im Bereich der Hindernisse angereichert und das Gefälle lokal verringert, wodurch die Bodenerosion sowie die Belastung der Gewässer mit Sedimenten begrenzt wird. Da die Bauern den Weg zu ihren Feldern z.T. mit Fahrrädern zurücklegen und schwere Lasten tragende Frauen die Wege nutzen, dürfen die Barrieren nicht zu massiv gebaut und müssen leicht zu überwinden sein. Es sollte jedoch vermieden werden, dass direkt neben den Pfaden Spuren oder neue Wege durch das Umgehen bzw. Umfahren der Hindernisse entstehen, die den Stau effekt vermindern oder gar aufheben würden.

Bei der Gestaltung eines Wegenetzes ist darauf zu achten, dass die Pfade gefälleparallel und quer zum Hang verlaufen und nicht wie in Doguè sternförmig von der Ortschaft in die Umgebung führen. Zwar sind bei letzteren die zurückzulegenden Strecken zwischen den Feldern und Höfen geringer als bei einem schachbrettartigen Wegenetz, jedoch ist der Abtrag infolge der überall vorliegenden Neigung höher.

## **7.2 Bodenbearbeitung**

### **Bearbeitungsrichtung**

Auf den Ackerflächen sollte der Anbau von in Reihen kultivierten Pflanzen generell auf isohypsenparallel verlaufenden Dämmen erfolgen, da bei letzteren nachweislich deutlich weniger Bodenerosion als bei parallel zum Gefälle angelegten Reihen stattfindet (vgl. 6.2.1) (ROOSE 1976b, AZONTONDE 1993, FAO 1993b, NILL et al. 1996, ROOSE 1996). Obwohl der starke Abfluss und Abtrag bei gefälleparalleler Bodenbearbeitung allgemein bekannt ist, halten einige Bauern nach wie vor an dieser Anbaumethode fest, um einen reibungslosen Ablauf des Oberflächenwassers bei intensiven Niederschlägen zu gewährleisten. Auf Yams- und Maniokfeldern kann Bodenerosion zum einen durch die Anlage niedriger und breiter Hügel mit weniger geneigten Oberflächen reduziert werden. Zum anderen führt das versetzte Anhäufen von Bodenmaterial zur Reduzierung des Oberflächenabflusses, da so die Entstehung linearer zwischen den Hügeln verlaufender Abflussbahnen verhindert wird.

### **Bearbeitungstermin**

Die Saatbettbereitung in Form der Anhäufung von Dämmen sollte nicht wie bisher nach dem ersten Niederschlagsereignis sondern vorher, d.h. in der ersten April-Hälfte

erfolgen. Da die frühzeitige Bearbeitung infolge der Erhöhung der Oberflächenrauigkeit und des Sekundärporenvolumens zur Verbesserung des Wasseraufnahmevermögens des Bodens führt, wird ein größerer Teil der ersten, allgemein sehr umfangreichen Niederschläge infiltriert und der Oberflächenabfluss reduziert (ROOSE 1976b, DUGUÉ et al. 1993, FAO 1993b, MORGAN 1999). Die verstärkte Infiltration hat ebenfalls die Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit zur Folge, die das Pflanzenwachstum nach der mehrere Monate umfassenden Trockenzeit fördert. Somit hat diese normalerweise in semiariden Gebieten Afrikas angewendete Methode des *water harvesting* ebenfalls die schnellere Be-deckung des Bodens durch Vegetation und die weitere Reduzierung des Oberflächenabflusses zur Folge (CRITCHLEY & SIEGERT 1991). Zwar ist die mit Hilfe einer Hacke durchgeführte Bodenbearbeitung am Ende der Trockenzeit körperlich sehr anstrengend, jedoch können die hohen Temperaturen durch Ausführen dieser Tätigkeit in frühen Morgen- oder Abendstunden etwas umgangen werden.

### **Minimale Bodenbearbeitung**

Nach LAL (1977c), BOLI et al. (1993), FAO (1993b), ROOSE (1996) und ROOSE & BARTHÈS (2001) führt minimale, d.h. ausschließlich auf die Bereiche der Pflanzreihen begrenzte Bodenbearbeitung weniger zur Strukturzerstörung im Oberboden und infolgedessen zur Bodenerosion als das Pflügen der gesamten Ackerfläche. Im Aguima-Einzugsgebiet erfolgt die Anlage von Erddämmen durch die Umschichtung des Materials bestehender Reihen in die Rinnen, wodurch die oberen 20 cm des Bodens vollständig umgelagert und die Erntereste bzw. das Unkraut in den Boden eingearbeitet werden (vgl. 6.1.2). Somit entspricht dieser Form der Bodenbearbeitung dem Pflügen. Eine minimale Bodenbearbeitung im Bereich der Pflanzreihen nach ROOSE & BARTHÈS (2001) würde das Wenden des Bodens am Ort der Dämme und das Fortbestehen der vorhandenen Rinnen bedeuten. Da letztere jedoch durch verschlammte und verkrustete Oberflächen gekennzeichnet sind, ist ein Lockerung des Bodens zur Erhöhung der Rauigkeit und Infiltration notwendig (vgl. Abb. 48).

Durch minimale Bodenbearbeitung wird ebenfalls die Mineralisierung der organischen Substanz reduziert, da der Oberboden weniger belüftet wird (FRANKE 1995). Auch der Besatz des Bodens mit Regenwürmern wird durch reduzierte Bodenbearbeitung vergrößert, was wiederum die Bildung von stabilen Aggregaten und Bioporen sowie die Verringerung der Bodenerosion zur Folge hat (ROTH & JOSCHKO 1991, EDWARDS & BOHLEN 1997). Somit sollte auch im HVO die Bodenbearbeitung nach dem Grundsatz *So viel wie nötig, so wenig wie möglich!* erfolgen (FRANKE 1995).

Eine weitere Möglichkeit der minimalen Bodenbearbeitung besteht nach ROOSE (1976b) in der Reduzierung dieser Arbeit auf ein Mindestmaß bei der Einbringung der Saat in den Boden (*no tillage*). Da die Oberfläche der sandigen Böden im Verlauf der Regenzeit stark verschlämmt und verkrustet, ist diese Methode als problematisch zu beurteilen. Die stark verringerte Bodenbearbeitung würde außerdem die Einebnung des Oberbodens im Verlauf weniger Jahre zur Folge haben. Der Anbau von Kulturpflanzen in Flachkultur ist nach KANTON et al. (2000) jedoch weniger ertragreich als der Anbau in Damm- oder Hügelkultur, so dass letzteres traditionsgemäß beibehalten werden sollte.

### **7.3 Pflanzenbauliche Empfehlungen**

#### **Aussaattermin**

Wie die Saatbettbereitung so sollte auch die Aussaat möglichst früh im Jahr erfolgen, damit die Bodenoberfläche schnell von Vegetation bedeckt und vor dem Aufprall der Regentropfen geschützt wird (MORGAN 1999). ROOSE (1976b) schlägt u.a. die Erhöhung der Aussaatstärke für die Entwicklung eines dichten Pflanzenbestandes vor, was jedoch im Hinblick auf die Anschaffungskosten des Saatgutes als problematisch angesehen wird. Viele Bauern verwenden häufig noch einen Teil der Ernte aus dem Vorjahr für die Bestellung der Felder, da ihnen die Mittel für den Erwerb neuen Saatgutes fehlen.

#### **Pflanzdichte, Mischkulturen**

Die Schaffung einer optimalen Pflanzdichte ist unbedingt notwendig für den Schutz des Bodens vor Erosion und die Produktion hoher Erträge (RUTHENBERG 1980, FRANKE 1995). Der Vergleich der Bodenbedeckung in Doguè aus dem Jahre 2002 mit Daten von NILL et al. (1996) zeigt, dass die maximale Bedeckung der Baumwoll- und Maisbestände in Doguè bis zu 42 bzw. 27 % geringer war. Durch die Aussaat in geringeren Abständen innerhalb und zwischen den Reihen könnte die Bodenbedeckung auf den Feldern im Aguima-Einzugsgebiet erhöht und die Bodenerosion verringert werden. Letzteres wird ebenfalls durch den gleichzeitigen Anbau mehrerer Kulturen auf einem Feld, sog. *mixed cropping*, erreicht, wie die im Jahre 2002 durchgeführte Erosionsmessung auf dem mit Mais und Bohnen bestellten Feld in Awanla (F2A) gezeigt hat (vgl. 6.2.1). Da zwischen den Maisreihen zusätzlich Bohnen abgebaut wurden, konnte der Oberflächenabfluss nicht ungehindert abfließen, was die Verringerung des Bodenabtrags zur Folge hatte. Auch ROOSE (1976b), STEINER (1984) und BOLI et al. (1993) sehen in der Aussaat einer weiteren Kultur in den zwischen den Dämmen verlaufenden Rinnen eine effektive Bodenschutzmaßnahme, die in

Entwicklungsländern leicht durchführbar ist. Von AZONTONDE (1993) in Süd-Benin durchgeführte Versuche haben ergeben, dass die Leguminose *Mucuna pruriens variety utilis* sehr gut für den Anbau in Mischkultur geeignet ist, da die schnelle Entwicklung der Pflanze in kurzer Zeit zur Bedeckung der Oberfläche führt und der Boden intensiv durchwurzelt und zusätzlich mit Stickstoff und organischer Substanz angereichert wird. Ertragsmessungen von MULINDABIGWI (2004) zeigen außerdem die Steigerung der Produktion bei gleichzeitigem Anbau von Leguminosen. So wurden in Doguè auf einem ausschließlich mit Mais bestellten Feld durchschnittlich  $0,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  geerntet, beim zusätzlichen Anbau von Erdnüssen dagegen  $1,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

### **Mulchen**

Optimalen Schutz vor dem Splash-Effekt der Regentropfen bietet ebenfalls die Bedeckung des Bodens durch Mulch. Des Weiteren werden die Ausbreitung von Unkräutern begrenzt, die Wasserspeicherung und die Versorgung des Bodens mit Nährstoffen verbessert sowie die Aktivität der Bodenfauna erhöht (FAO 1993b, FRANKE 1995, IZAC 1997, PRASAD & POWER 1997, BOLI & ROOSE 1998, ROOSE & BARTHÈS 2001). Erntereste sollten daher nicht durch Feuer vernichtet oder in den Boden eingearbeitet werden, was in Doguè jedoch regelmäßig zu Beginn der Vegetationsperiode geschieht. Außerdem weiden die Rinder der Peulh nach der Ernte auf den Feldern, so dass die Rückstände ebenfalls durch die Verwendung als Viehfutter für den Boden verloren gehen. Ein weiteres Problem besteht in der Menge der Ernterückstände, die nach AZONTONDE (1993) in Benin durchschnittlich  $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  beträgt, was jedoch für einen wirksamen Bodenschutz nicht ausreicht. Nach ROOSE (1976b) sind dafür  $2 - 5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  notwendig. Neben der Vermeidung von Brand, Einarbeitung und Viehfraß sollte daher zusätzliches Material auf die Böden der Ackerstandorte ausgebracht werden, was z.B. während der Trockenzeit in der Savanne gesammelte Streu von Bäumen sein könnte. Da Laubblätter leicht abbaubar und relativ nährstoffreich sind, wird der Boden außerdem mit Nährelementen angereichert. Des Weiteren wird die Aktivität der Bodenfauna auf den Ackerflächen gefördert (ROOSE & BARTHÈS 2001), was sich wiederum positiv auf die Aggregatstabilität und Infiltrationskapazität der Böden auswirken würde.

### **Agroforstwirtschaft**

Die Erhöhung der Bodenbedeckung könnte ebenfalls durch Stehenlassen einzelner Bäume bei der Überführung von Brachen in Nutzflächen herbeigeführt werden. Nach

ROOSE & BARTHÈS (2001) werden dem Boden dadurch  $0,5 - 3 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  Streu zugeführt, die zum Aufbau einer Mulchschicht beitragen. Der Nachteil dieser Methode, der in der Konkurrenz der Bäume mit den Kulturpflanzen um Licht, Wasser und Nährstoffe besteht, wird langfristig durch die Verringerung des Abtrags, die tiefgründige Durchwurzelung des Bodens und der Lieferung von organischer Substanz ausgeglichen. In Doguè werden immer häufiger Kaschunüsse auf Flächen mit einjährigen Kulturen angepflanzt (vgl. 6.1.2), die sich im Verlauf der Jahre zu großen Bäumen entwickeln und so zum Erosionsschutz und zur Bodenverbesserung beitragen. In Serou und Awanla wurden dagegen kaum Bäume auf Ackerflächen registriert, so dass die Anpflanzung von Holzgewächsen zum Bodenschutz beitragen könnte. Der planmäßig kombinierte Anbau von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und ausdauernden Holzgewächsen, sog. *agroforestry*, ist teilweise traditionell bedingt und wird aufgrund der Vorteile in letzter Zeit wieder verstärkt in tropischen Ländern durchgeführt (BEETS 1990). So haben auch die von BERNARD et al. (1997) in Südbenin durchgeführten Versuche gezeigt, dass Agroforstwirtschaft durch die zusätzliche Bildung von  $0,8 - 3 \text{ t ha}^{-1}$  Trockenmasse Streu zur Vermehrung der organischen Substanz im Boden beiträgt und eine sinnvolle Maßnahme zur Bodenverbesserung darstellt. Auch in Alafiarou bei Parakou wurde der Anbau von Feldkulturen zwischen Reihen aus Holzgewächsen, sog. Alleenanbau, registriert, was ebenfalls in anderen Teilen des HVO sinnvoll wäre. Die Verwendung von verholzten Leguminosen wie *Leucaena leucocephala* fördert zusätzlich die Versorgung des Bodens mit N, was sich ertragsfördernd auf die sandigen Böden auswirken würde.

### Fruchtfolge

In einem low-input Landnutzungssystem ist die Fruchtfolge für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bzw. der organischen Substanz ein wichtiger Faktor (BEETS 1990). Demzufolge ist ein gezieltes *organic matter management* bzw. *soil carbon management* bei der Bewirtschaftung tropischer Böden notwendig (IZAC 1997, ROOSE & BARTHÈS 2001). Im HVO sind Mais, Baumwolle, Yams und Erdnuss häufig angebaute Kulturen (IMPETUS 2001), die dem Boden jedoch insgesamt nur wenig organische Substanz zuführen. Abgesehen von Mais, der  $3-5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  an Rückständen liefert, ist die kleine Menge auf die geringe Bildung von Ernterückständen bei Yams- und Baumwollpflanzen und auf Fraß der Erdnussblätter durch weidende Rinder zurückzuführen (ROOSE 1976b). Da Yams und Mais unverzichtbare Grundnahrungsmittel sind und Leguminosen den Boden zusätzlich mit N anreichern, sollte der Anteil der Baumwolle in der

Fruchtfolge durch die Beschränkung des Anbaus auf ein Jahr begrenzt werden. Zwar führt der reduzierte cash crop-Anbau zu sinkenden Einkommen der Bauern, jedoch wird langfristig der Bodenerosion und -verschlechterung Einhalt geboten. Ein ausgewogener Wechsel von humusmehrenden und -zehrenden Kulturen sowie von Früchten mit günstigen und ungünstigen Vorfruchtwirkungen sollte bei der Gestaltung der Fruchtfolge berücksichtigt werden. Nach SCHMIDT & FREY (1988 in FRANKE 1995) eignet sich die Abfolge Körnerleguminosen-Getreide-Knollenfrüchte-Getreide sehr gut für Savannenstandorte Afrikas, die jedoch nicht mit der in vielen Orten des HVO bestehenden Fruchtfolge übereinstimmt. Die Knollenfrucht Yams sollte aufgrund ihrer hohen Standortansprüche weiterhin zu Beginn der Fruchtfolge angebaut werden, gefolgt von einer humusmehrenden Getreideart wie Mais. Anschließend ist der Anbau einer weiteren abtragenden Frucht wie Baumwolle möglich, deren schlechte Vorfruchtwirkung durch den folgenden Anbau von Leguminosen ausgeglichen wird (FRANKE 1995). Da Maniok als anspruchslose Kulturpflanze auch in trockenen Lagen und auf erschöpften Standorten gedeihen kann, ist deren Anbau am Ende der Fruchtfolge vorzusehen (SWOBODA 1994).

### **Brache**

Obwohl den Bauern die Bedeutung der traditionellen langjährigen Brache für die Regeneration des Bodens allgemein bekannt ist, wurde sie aufgrund des hohen Besiedlungsdrucks in verschiedenen Regionen des HVO z.T. auf die Dauer von 1 Jahr verkürzt. Um dennoch die Bodenfruchtbarkeit bzw. den Gehalt an organischer Substanz zu erhalten, sollten humusmehrende Kulturen auf den nur für kurze Zeit brach liegenden Flächen angebaut werden. Nach AZONTONDE (1993) eignen sich Leguminosen der Gattung *Mucuna* besonders gut als Brachepflanzen, da sie den Boden nicht nur mit organischer Substanz sondern auch mit Stickstoff anreichern. Des weiteren wäre der Anbau von sträucherartigen Leguminosen auf streifenförmigen zwischen den Pflanzreihen gelegenen Brachflächen (*intercropping*) sinnvoll (ROOSE & BARTHÈS 2001).

### **Buschfeuer**

Da häufiges Buschfeuer nachweislich zur Reduzierung des Gehalts an organischer Substanz im Boden führt (BIRD et al. 2000), sollte das Abbrennen von Ernterückständen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen generell unterlassen werden. Aufgrund der Aufklärungsarbeit des Projektes PGTRN/GZT (Programme de Gestion des Terroire et

des Ressources Naturelles der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) verzichten die in Awanla ansässigen Bauern bereits auf das Brennen, was ebenfalls von den Bewohnern Doguès und Serous befolgt werden sollte. Das Unterlassen zu Beginn der Regenzeit würde ebenfalls die Ausbreitung der Organismen an der Bodenoberfläche fördern, was sich wiederum positiv auf die Aggregatstabilität und Infiltration infolge der verstärkten Bildung von Bioporen auswirken würde.

### **Unkrautbekämpfung**

Der Bekämpfung von Unkraut sollte generell große Beachtung geschenkt werden, da es mit den Kulturpflanzen um Wasser und Nährstoffe konkurriert und bei Dominanz zu Ertragseinbußen führt. In Serou kommt z.B. das wurzelparasitäre Unkraut *Striga spec.* auf Maisfeldern vor, das durch eine systematische Fruchtfolgegestaltung bekämpft werden kann (FRANKE 1995). Um der weiteren Ausbreitung von Unkräutern vorzubeugen, sollte die Bekämpfung generell vor der Samenreife erfolgen und nicht wie in Doguè gesehen erst hinterher.

### **Kultur- und Sortenwahl**

Die Züchtung von an den Standort angepassten und ertragreichen Sorten und der kostengünstige Vertrieb von Saatgut ist eine wichtige Maßnahme zur Verbesserung der Erträge (STEINER 1984, BEETS 1990). So wurden z.B. in Doguè Bestände mit Sorghum- und Maispflanzen gesehen, deren Höhe von 1,5 - 4 m variierte. Große Pflanzen liefern zwar aufgrund der hohen Produktion vegetativer Pflanzenmasse eine große Menge an Ernterückständen bzw. organischer Substanz, jedoch ist der Körnerertrag geringer als bei kleineren Pflanzen. Allein durch die positive Massenauslese nach dem Phänotyp könnten Sorten gezüchtet werden, die weniger vegetative Masse und mehr Körner produzieren (KUCKUCK et al. 1985). Der Anbau ertragreicher Hybridsorten ist dagegen weniger für Betriebe mit geringem Einkommen geeignet, da jährlich neues Saatgut bezogen werden muss. Generell sollte die Pflanzenzüchtung und der Vertrieb von Saatgut staatlich gefördert werden, da einzelnen Bauern oftmals das Wissen und die erforderlichen Mittel fehlen.

Auch durch den verstärkten Anbau bisher wenig oder nicht in der Region angepflanzter Kulturen, d.h. durch Diversifizierung, könnte die Produktpalette der Bauern erweitert und das Einkommen erhöht werden. So könnten die Bewohner Doguès wie in Serou Gärten anlegen und Gemüse wie Aubergine, Kohl oder Karotten anbauen und anschließend auf dem einmal wöchentlich stattfindenden Markt oder in benachbarten

Ortschaften verkaufen. Auch die Kultivierung von Trocken- und Nassreis, die im Aguima-Einzugsgebiet bisher nur in geringem Umfang erfolgt, könnte wie in großen Teilen von Côte d'Ivoire (MUND & GRUNERT 1999) ausgeweitet werden.

#### 7.4 Düngung

Durch die Kultivierung des Bodens sowie zunehmend verkürzte Brachezeiten ist der Einsatz von Düngemitteln zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Steigerung der Produktion erforderlich (FRANKE 1995, ESWARAN et al. 1988, IZAC 1997). Die Beschaffung von Dünger stellt jedoch allgemein ein großes Problem der in den Dörfern des HVO lebenden Bauern dar. Zum einen steht den Betrieben aufgrund der traditionellen Ausrichtung auf Pflanzenproduktion kein organischer Dünger in Form von Viehdung zur Verfügung, und zum anderen fehlen allgemein die Mittel für den Erwerb ausreichender Mengen an Mineraldünger.

Eine Möglichkeit besteht in der arbeitsaufwendigen Sammlung von Haushaltsabfällen und Ernterückständen und der Ausbringung dieses Kompostes auf die Ackerflächen, was nach ROOSE & BARTHÈS (2001) lokal zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit beiträgt. Jedoch sind die anfallenden Kompostmengen pro Betrieb oftmals zu gering für eine flächendeckende und ausreichende Düngung, so dass der Boden langfristig an Nährstoffen verarmt. Von der Verwendung menschlicher Fäkalien als organischer Dünger sollte jedoch aus hygienischen Gründen abgesehen werden, obwohl der Nährstoffgehalt des Bodens langfristig stark erhöht wird (Profil 43).

Um die organische Düngung des Bodens zu fördern, ist langfristig die Umstellung der Betriebe auf agro-pastorale Landnutzung, d.h. auf Mischbetriebe mit Pflanzenbau und Viehhaltung, sinnvoll (SWOBODA & STURM 1995). Dass dieses *smallholder mixed farming system* zum Erhalt der Fruchtbarkeit der sandigen allgemein nährstoffarmen Böden im Aguima-Einzugsgebiet geeignet ist, wird anhand der Landnutzung der seit 1996 in Doguè ansässigen Peulh deutlich (vgl. 6.1.3). Ihre Herden umfassen durchschnittlich 89 Rinder, deren Dung gesammelt und gezielt auf den jährlich bestellten Ackerflächen ausgebracht wird. Nach WOTTO (2003) erwirtschaften sie aufgrund dieser Bodenverbesserungsmaßnahme die höchsten Ernteerträge in Doguè. Es handelt sich somit um eine ökologische und nachhaltige Landnutzung, die gut an die tropischen Bedingungen angepasst ist und nach LOHR (1990 in SWOBODA & STURM 1995) als vorbildlich einzustufen ist. Da das Betriebssystem durch die Produktion von pflanzlichen Grundnahrungsmitteln und tierischen Erzeugnissen sowohl subsistenz- als auch marktorientiert ist, führt es ebenfalls zur Erhöhung des Einkommens der Bauern (STURM

1993). So hat z.B. die am südlichen Dorfrand Doguès lebende Peulhfamilie ein aus Deutschland mitgebrachtes Solarpanel (40 W) durch Barzahlung im Jahre 2002 erworben, was als Hinweis auf die Rentabilität des integrierten Systems zu deuten ist. Durch die Erzeugung hoher Erträge und den Verkauf von nicht für den Haushalt benötigter Produkte kann das Einkommen der Bauern vor Ort erhöht und für den Erwerb mineralischer Düngemittel verwendet werden.

Des weiteren zeigen die im Rahmen des Projektes IMPETUS in drei Orten des HVO durchgeführten Düngungsversuche, dass die Erträge von Sorghum durch den Einsatz von organischem und mineralischen Dünger erwartungsgemäß deutlich gesteigert werden können (IMPETUS 2003).

Die Haltung von Rindern ist auch im Hinblick auf die Erleichterung der Bodenbearbeitung sinnvoll, die bisher von den Bauern in gebückter Haltung mit Hilfe einer kurzstieligen Hacke vorgenommen wird. So könnten bei der Saatbettbereitung von Ochsen gezogene Hakenpflüge oder einfache Scharpflüge eingesetzt werden, wodurch die Arbeit weniger kräftezehrend und schneller durchführbar ist. Auch nach KANTON et al. (2000) ist der Einsatz von Ochsen im Ackerbau langfristig ökonomischer und effizienter als die ausschließlich manuell durchgeführte Pflanzenproduktion. Auch hinsichtlich der Versorgung der Bevölkerung mit eiweißreichen Nahrungsmitteln wie Milch, Fleisch und Käse ist die Rinderhaltung von Vorteil, da bisher vorrangig kohlenhydrathaltige Speisen die Grundlage der Ernährung bilden (vgl. 6.1.2).

### **7.5 Schulung der Bauern**

In großen Teilen des HVO werden vorrangig traditionelle Anbaumethoden in der Landwirtschaft angewendet, die jedoch an die sich ändernden demographischen Bedingungen angepasst werden müssen. So kann dem zunehmenden Besiedlungsdruck nicht durch die Ausdehnung der Nutzflächen begegnet werden, was heute noch in Doguè geschieht (BEETS 1990). Stattdessen ist die Intensivierung der Pflanzenproduktion auf den bestehenden Ackerflächen sinnvoll, was für die Bauern die Änderung ihrer bisherigen Vorgehensweise bedeutet. Da letztere von den Vorfahren überliefert wurde, sind Schulungen zur Vermittlung neuer bzw. veränderter Methoden notwendig. Anhand des u.a. in Awanla tätigen Projektes PGTRN/GTZ wird die Vorgehensweise und Effektivität derartiger Veranstaltungen deutlich. So werden regelmäßig Versammlungen, *réunion*, mit den Bewohnern der Dörfer durchgeführt, auf denen z.B. Fruchtfolgen besprochen, Bodenkarten gezeichnet, und mögliche Lösungsansätze für den Erosionsschutz gemeinsam erörtert werden (Abb. 65). Die

Leitung erfolgt durch einheimische Animatoren und wird in der Sprache des jeweiligen Volksstammes durchgeführt, wodurch die Akzeptanz des Projektes erhöht wird. Da diese Mitarbeiter eine Landwirtschaftsschule besucht haben, mit Wissenschaftlern zusammenarbeiten und die Lebens- und Arbeitsumstände der örtlichen Bevölkerung kennen, fungieren sie in vielfacher Hinsicht als Übersetzer, was von Vorteil für den Informationsaustausch zwischen allen Beteiligten und den Erfolg derartiger Projekte ist. Auch der im HVO seit mehreren Jahren praktizierte Baumwollanbau, der die wiederholte termingerechte Applikation von Pestiziden und die Ausbringung von Mineraldünger umfasst, zeigt, dass die Bauern durchaus in der Lage sind, moderne Anbaumethoden auszuüben und bisher fremde Kulturen bzw. cash crops gewinnbringend anzubauen (vgl. 6.1.2).

Abb. 65: Réunion in Awanla mit einem Animator des Projektes PGTRN/GTZ und den Dorfbewohnern zum Thema Aufteilung der im Dorf anfallenden Tätigkeiten (20.04.2003).



Neben Versammlungen werden die Bewohner einer Region ebenfalls durch Radiosendungen oder Wettbewerbe an der Behandlung von die Landwirtschaft betreffende Probleme beteiligt. So werden z.B. Mal- oder Gesangswettbewerbe zum Thema Buschfeuer oder Bodenabtrag veranstaltet, in denen die Menschen zur Darstellung möglicher Gefahren aufgerufen werden. Die Ergebnisse werden im Radio oder in Form von Ausstellungen oder auf Musikkassetten präsentiert, um die Aufmerksamkeit eines großen Teils der Bevölkerung zu erreichen.

Neben den hier aufgeführten vorrangig den Boden betreffenden Maßnahmen sind zusätzlich verschiedenartige Veränderungen innerhalb des Landes notwendig, die vom

Staat gefördert werden müssen (BEETS 1990). Dazu gehören u.a. der Ausbau der Infrastruktur, die Einführung der Flächennutzungsplanung, die Verbesserung der Produktvermarktung, der Aufbau einer rohstoff- und lebensmittelverarbeitenden Industrie sowie umfangreiche Investitionen im Bildungssektor. Auch die Begrenzung des Bevölkerungswachstums und die Regulierung der Besiedlungsdichte sind von großer Notwendigkeit, damit langfristig die Ressource Boden und die Existenzgrundlage der Bewohner Benins gesichert wird (KAYOMBO & MREMA 1998).

## 8 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit werden die im oberen Ouémé-Einzugsgebiet Zentralbenins gelegenen Böden charakterisiert und die Degradierung in dem aktuellen low input-Landnutzungssystem untersucht. Des Weiteren werden verschiedene Möglichkeiten einer nachhaltigen Bodennutzung erörtert, die zur Sicherung der Ressource Boden bzw. der langfristigen Ernährung der Bevölkerung beitragen.

Die bodenkundliche Kartierung hat gezeigt, dass die Böden der flachwelligen Rumpfflächenlandschaft Zentralbenins durch die Schichtung verschiedener Substrate gekennzeichnet sind. Im Unterboden liegt tonreicher Saprolit vor, und bei den Lockersedimenten des Oberbodens handelt es sich um Pedisedimente, d.h. um skelettreichen Pedimentschutt und feinkörniges Hangsediment. Auf den schwach geneigten Hängen hat Lessivierung zur Bildung von *Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions* (CdS) geführt, die nach der WRB als *Endoskeleti-Albic Acrisols* bezeichnet werden. Im Bereich der Unterhänge sind die Böden durch Nassbleichung und Eisenanreicherung gekennzeichnet und werden den *Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés* (CdS) bzw. *Albi-Petric Plinthosols* (WRB) zugeordnet. *Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley* (CdS) bzw. *Orthidystric Gleysols* (WRB) sind dagegen in den während der Regenzeit regelmäßig stark vernässenden Tälern, den Bas-Fonds, entstanden. Am Bergfuß von vereinzelt aus der Landschaft herausragenden Inselbergen liegen *Sols minéraux bruts non climatiques d'érosion Lithosols* (CdS) bzw. *Molli-Lithic Leptosols* (WRB) vor, während in der näheren Umgebung der Berge *Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions* (CdS) bzw. *Rhodic Acrisols* (WRB) entstanden sind.

Nach der Evaluierung der Böden nach LANDON (1984), dem *Fertility Capability Classification System* (FCC) von SANCHEZ et al. (1982) und der *Framework for Land Evaluation* (FAO 1976, 1981) ist die natürliche Fruchtbarkeit der auf den Pedimenten entstandenen Böden allgemein als gering zu bewerten und der Boden nur mäßig für die Pflanzenproduktion geeignet. Sowohl die niedrige Wasserhaltekapazität der sandigen und schuttreichen Oberböden als auch das geringe Bindungsvermögen für Nährstoffe und die kleinen Kalium-Reserven sind Faktoren, die den Pflanzenbau limitieren. Auch die begrenzte Durchwurzelbarkeit der geschichteten Böden, die mittlere Gründigkeit und die starke Vernässung der Bas-Fonds sind als problematisch für den Anbau vieler Kulturen zu sehen. Im Gegensatz dazu eignen sich die Böden der Inselberg-Pedimente und die von Termiten umgearbeiteten Areale gut für den Kulturpflanzenanbau, da sie durch eine größere Austauschkapazität für Nährstoffe, eine bessere

Nährstoffversorgung und eine größere Gründigkeit gekennzeichnet sind. Gegen eine Inkulturnahme spricht jedoch ihre lokale bzw. punktuelle Verbreitung im Untersuchungsgebiet.

Die ackerbauliche Nutzung dieser nur wenig produktiven Böden nach dem traditionellen low-input Landnutzungssystem führt bei Intensivierung langfristig zur Degradierung der Ressource. So haben u.a. während der Regenzeit im Jahre 2002 im Aguima-Einzugsgebiet durchgeführte Erosionsmessungen einen Bodenabtrag von insgesamt  $123,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  von Baumwollfeldern mit gefälleparallel angelegten Dämmen und insgesamt  $41,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  von Flächen mit Yamshügeln ergeben. Als Ursachen wurden die geringe Bodenbedeckung durch die angebauten Kulturen bzw. der geringe Schutz der Bodenoberfläche vor erosiven Niederschlägen und den Abtrag fördernde Anbausysteme aufgeführt.

Nach der USLE von WISCHMEIER & SMITH (1978) sind die Niederschläge im Untersuchungsgebiet von hoher Erosivität (R-Faktor  $748,3 \text{ N h}^{-1} \text{ 1997 - 2002}$ ) und die Ackerböden mäßig erosionsgefährdet. Zwischen dem aktuellen und dem mit Hilfe der empirischen Gleichung bestimmten Bodenabtrag wurden sowohl Unterschiede als auch Ähnlichkeiten ermittelt, jedoch sind für die absolute Vergleichbarkeit Messungen vieler Jahre erforderlich.

Seit Gründung der Siedlung Doguè vor 100 - 150 Jahren hat der langjährige, die Verlusttoleranzgrenze um ein Vielfaches überschreitende Bodenabtrag bereits zur Reduzierung der Mächtigkeit der an der Bodenoberfläche liegenden Substratschicht und zur relativen Anreicherung von Pedimentschutt im Oberboden geführt. Des weiteren hat die ackerbauliche Nutzung des Bodens die Verschlechterung der Bodenstruktur, d.h. die physikalischen Degradierung zur Folge. So haben Untersuchungen zur Aggregatstabilität gezeigt, dass die Aggregate im Oberboden unter Savannenvegetation als stabil zu bewerten sind, die von Ackerflächen dagegen nur als mäßig stabil. Durch den wiederholten Abtrag von Bodenmaterial, die regelmäßig durchgeführten Buschfeuer, das jährliche Ernten und die Verkürzung der Brachezeiten verarmt der Ackerboden langfristig an organischer Substanz und Nährelementen. Beispielsweise wurden im Oberboden der im Aguima-Einzugsgebiet gelegenen extensiv pastoral genutzten Savanne durchschnittlich  $1,3 \% \text{ C}_{\text{org}}$  gemessen, im Ap-Horizont der seit  $> 200$  bzw.  $> 300$  Jahren genutzten Böden in Serou und Awanla nur noch  $< 0,7 \%$ . Somit findet ebenfalls eine chemische Degradierung unter dem Einfluss des Menschen statt. Des weiteren nimmt die Besiedlungsdichte der Oberböden mit Lumbriciden und

deren Aktivität mit der Nutzungsintensität ab, so dass die Böden unter ackerbaulicher Nutzung ebenfalls biologisch degradieren.

Um langfristig die Ressource Boden und damit die Existenzgrundlage der Bewohner Benins trotz zunehmender Besiedlungsdichte zu sichern, ist eine Modifizierung des traditionellen Landnutzungssystems notwendig. Termingerechte Bodenbearbeitung bzw. Aussaat und der Verzicht auf Buschfeuer zwecks Bildung von Mulch sind einige einfache Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenbedeckung und Reduzierung der Erosion. Letztere wird ebenfalls durch höhenlinienparallele Bodenbearbeitung, Parzellierung und Umgrenzung der ackerbaulichen Nutzflächen erreicht. Um der Verarmung an Nährstoffen entgegenzuwirken, ist eine optimale Gestaltung der Fruchtfolge und der Anbau humusmehrender und stickstofffixierender Pflanzen während der Brachezeit sinnvoll. Langfristig ist jedoch die Zufuhr von Düngemitteln für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit nicht zu vermeiden. Da kaum finanzielle Mittel für den Erwerb von Mineraldünger zur Verfügung stehen, sollte verstärkt organischer Dünger in Form von Kompost oder Rinderdung eingesetzt werden. Demzufolge ist die Umstellung der Betriebe auf agro-pastorale Landnutzung, d.h. auf Mischbetriebe mit Pflanzenbau und Viehhaltung, sinnvoll und als Schlüssel für die langfristige Sicherung der Produktivität der allgemein sandigen und nährstoffarmen Böden zu sehen.

## **SUMMARY**

In this work, the soils of the catchment of the Upper Ouémé are characterized and their degradation in the current low input land use system is investigated. Furthermore, different possibilities of a sustainable land use are discussed to achieve the preservation of the resource and the feeding of the population.

The mapping of the soils has shown, that the soils of the undulating pediplain in the centre of Benin are characterized by the layering of different substrates. Clayey saprolite exists at the bottom of the soils, whereas the loose sediments at the top consist of pedisediments, pediment gravel and fine grained substrate. The movement of clay has led to the development of *Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions* (CdS) on the slopes, classified as *Endoskeleti-Albic Acrisols* according to the WRB. The soils at the lower part of the slopes are characterized by wet bleaching and iron accumulation leading to the classification as *Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés* (CdS) or *Albi-Petric Plinthosols* (WRB). *Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley* (CdS) or *Orthidystric Gleysols* (WRB) are developed in the valleys, the bas-fonds, which are flooded during the rainy seasons. At the foot of inselbergs, *Sols*

*minéraux bruts non climatiques d'érosion Lithosols* (CdS) or *Molli-Lithic Leptosols* (WRB) are distributed, whereas *Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions* (CdS) or *Rhodic Acrisols* (WRB) are developed in the surrounding of these mountains. The assessment of the soils according to LANDON (1984), the *Fertility Capability Classification System* (FCC) of SANCHEZ et al. (1982) and the *Framework for Land Evaluation* (FAO 1976, 1981) turned out the low natural fertility of the soils developed on the pediments and the moderate suitability for plant production. The low field capacity of the sandy and gravelly top soils, the low exchange capacity and the low potassium supply are some factors which limit plant production. The low effective soil depth of the layered soils and the water logging of the bas-fonds during the rainy season are also problematic for the cultivation of many crops. In contrast, the soils of the inselberg-pediments and the areas borrowed by termites are more suitable for crop production because of higher exchange capacity, better nutrient supply and higher effective soil depth. However, the local or punctual distribution of these soils in the test site restrict cultivation.

Intensified agricultural use of the low productive soils according to the traditional land use system leads to the degradation of the resource. Erosion measurements in the catchment of the Aguima during the rainy season of the year 2002 have shown 123,8 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> soil loss in a cotton field with rows parallel to hill slope and 41,2 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in a field with yam planted in mounds. Some reasons for the loss are the low protection of the soil surface due to low vegetation cover from erosive rain falls and cultivation methods favouring erosion.

According to the USLE of WISCHMEIER & SMITH (1978), the erosivity of the rain in the test site is high (R-factor 748,3 N h<sup>-1</sup> 1997 - 2002) and the soils of the fields are moderate endangered to erosion. In general, differences and similarities were determined between the measured and the estimated soil loss, but measurements of many years are necessary for absolute comparisons.

Since the foundation of the settlement Doguè 100 - 150 years ago, the annual soil loss which exceeds the tolerable loss multiple times has already led to the reduction of the top substrate layer and to the relative accumulation of pediment gravel at the surface. The agricultural use of the soil also has deteriorated the soil structure. Aggregate stability tests have shown that the aggregates of the top soil in the savanna are stable whereas the aggregates of Ap-horizons are only moderate stable. Soil erosion, bush fire, harvesting and the shortening of the fallow periods also decrease the amount of organic matter and nutrients. For example, the top horizon of the extensive meadows in

the savanna of the Aguima-catchment contains about 1,3 % organic matter, the Ap-horizon of fields near Serou and Awanla, which were founded more than 200 and 300 years ago, only < 0,7 %. So, chemical degradation of the soils also takes place under the influence of the human being. Furthermore, the population density of earthworms and their activity decrease with intensified agriculture, which means the biological degradation of agricultural used fields.

To protect the resource and the existence of the population of Benin, the modification of the traditional land use system is necessary. Seed bed preparation and seeding on schedule as well as renunciation of bush fire to form mulch are simple measures for improving soil cover and reducing soil erosion. The latter also could be reached by working parallel to contour lines, by parcelling the fields and by building erosion fences around them. To avoid chemical soil degradation, an optimal planning of the crop rotation and the cultivation of N-fixing crops during the fallow period would be helpful. But in long term, the use of fertilizer is inevitable for maintaining soil fertility. Because of the lack of financial resources for the purchase of mineral fertilizer, more organic fertilizer like compost or manure from cattle ought to be used. Therefore, the current land use system should be transformed to an agro-pastoral one by changing to mixed farming systems with crop production and livestock owning which is the key to the long-term preservation of the productivity of the sandy and low fertile soils.

## RÉSUMÉ

Ce travail décrit les sols développés dans la Haute Vallée de l'Ouémé au centre du Bénin et étudie leur dégradation dans un système d'exploitation de terrain avec faible input. Au delà, différentes possibilités pour exploiter le sol de façon durable sont discutées pour conserver la ressource et l'alimentation de la population.

La cartographie du sol a montré que les sols dans le pediplain ondulé sont caractérisés par des couches de substrats différents. Dans le sous-sol on trouve la roche complètement altérée, et les substrats meubles à la surface sont composés de pedisédiments, de gravats et de sédiments argilo-sableux. Sur des pentes faiblement penchées, le lessivage a mené au développement des *Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions* (CdS) qui sont nommés *Endoskeleti-Albic Acrisols* selon la WRB. Aux bas des pentes, les sols sont caractérisés par le blanchissement et par une accumulation de fer et sont classifiés *Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés* (CdS) ou *Albi-Petric Plinthosols* (WRB). Des *Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley* (CdS) ou *Orthidystric Gleysols* (WRB) se sont développés dans des vallées, des bas-

fonds, qui inondent pendant la saison des pluies. Au pied des inselbergs, il existe des *Sols minéraux bruts non climatiques d'érosion Lithosols* (CdS) ou *Molli-Lithic Leptosols* (WRB), tandis que des *Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions* (CdS) ou *Rhodic Acrisols* (WRB) sont distribués dans les environs proches.

Selon LANDON (1984), la *Fertility Capability Classification System* (FCC) de SANCHEZ et al. (1982) et la *Framework for Land Evaluation* (FAO 1976, 1981), la fertilité naturelle des sols développés sur des pédiments est faible et leur aptitude pour l'agriculture est modéré. Non seulement la base capacité de l'eau mais aussi la base capacité d'échange et les bases réserves potassiques sont des facteurs qui limitent la production. Le potentiel d'enracinement du sol limité, la faible profondeur et l'humidité des bas-fonds aussi sont difficiles pour la culture de plantes. Par contre, les sols des inselberg-pédiments et les zones bêchés par des termites sont bien faits pour la production à cause d'une capacité d'échange élevé et de plus de réserves d'éléments et d'une profondeur adéquate. Mais la distribution locale ou ponctuelle empêche la culture de ses sols.

L'exploitation agricole intensive sur des sols faiblement fertiles selon le système traditionnel mène à la dégradation de cette ressource. Les mesures d'érosion faites pendant la saison des pluies de l'année 2002 dans le bassin versant de l'Aguima montrent  $123,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  perte de terre sur les champs avec coton planté sur des billons parallèles à la pente et  $41,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  perte de terre sur des champs d'igname cultivé en butes. Les raisons sont la faible couverture de la surface du sol et la faible protection contre des pluies érosives et des systèmes de culture qui favorisent l'érosion.

Selon la USLÉ de WISCHMEIER & SMITH (1978) l'érosivité des pluies dans la région d'étude est forte (R-facteur  $748,3 \text{ N h}^{-1}$  1997 - 2002) et les sols cultivés sont moyennement sensibles à l'érosion. Entre la perte de terre mesurée et estimée il y a des différences, mais aussi des ressemblances, des mesures de quelques années sont donc nécessaires pour une comparaison définitive.

Depuis la formation du village Doguè il y a 100 - 150 années, l'érosion du sol qui a dépassé la limite de perte tolérable plusieurs fois a déjà mené à la réduction de l'épaisseur de la couche du substrat supérieure et à l'accumulation relative de gravats à la surface. L'exploitation du sol résulte aussi dans la détérioration de la structure du sol. L'étude de la stabilité des agrégates a montré que les agrégates du sol dans la savane sont stables, tandis que les agrégates dans les champs sont modérément stables. La perte de terre, les feux de brousse, les récoltes ainsi que la diminution de la jachère mènent à l'appauvrissement du sol en matière organique et en éléments

nutritifs. Par exemple, dans la partie supérieure du sol dans la savane du bassin versant de l'Aguima il y a 1,3 % de matière organique, tandis que dans l'Ap-horizon des champs à Serou et Awanla qui ont été fondés il y a plus que 200 et 300 années seulement < 0,7 %. Sous l'influence de l'homme, la détérioration chimique se passe aussi dans le sol exploité. L'intensification de l'agriculture contribue aussi à la diminution de la densité de la colonisation des verres de terre et de leur activité qui signifie aussi une détérioration biologique.

Pour conserver la ressource sol et la base de l'existence de la population au Bénin, il est nécessaire de modifier le système d'exploitation de la terre. La préparation du sol et les semailles à l'heure et le renoncement du feu du brousse pour la formation du paillage sont des mesures simples pour améliorer la couverture du sol et pour réduire l'érosion. Le labour isohypse, la division des champs aux parcelles et l'installation des clôtures antiérosives sont aussi des méthodes utiles. Pour freiner l'appauvrissement chimique, des rotations optimales et la culture de plantes qui enrichissent le sol avec matière organique et azote sur des jachères sont sensés. Mais à long terme, l'utilisation des engrais est indispensable pour maintenir la fertilité du sol. À cause du manque de moyens financiers pour l'achat de fumure minérale, il est nécessaire d'utiliser du fumier organique comme le composte ou le fumier des bœufs. Donc, la transformation des fermes vers des systèmes mixtes constitué d'une section agriculture et d'une section élevage serait sensé et en général la clé pour conserver la productivité des sols sableux et moins fertiles.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

- AALDERS, H.W. (1975): Projet FAO/PNUD d'étude de l'érosion à Agonkamey, Dahomey. – Rép. Dahomey, Minist. Dev. Rural et Action Coopérative, 6 S.
- AALDERS, H.W. (1977): Une estimation de l'érosivité de la pluie au Bénin. – Project d'Agro-Pédologie 161, 16 S.
- ABEKOE, M.K. & TIESSEN, H. (1998): Phosphorous forms, lateritic nodules and soil properties along a hillslope in northern Ghana. – *Catena* 33: 1-15.
- ADAM, K.S. & BOKO, M. (1983): Le Bénin. – EDICEF, Paris, 98 S.
- ADEGBIDI, H.G. (1985): Etude du facteur érosivité dans l'équation universelle des pertes de terre de Wischmeier et évaluation de l'efficacité de quelques mesures de lutte anti-érosive. – IITA, Ibadan, 168 S.
- AFFATON, P. (1975): Etude géologique et structurale du Nord-Ouest Dahomey, du Nord-Togo et du Sud-Est de la Haute-Volta. – *Trav. des Lab. Sci. de la Terre, St. Jérôme*, 10: 201 S.
- AFFATON, P., LASSERE, J.L., LAWSON, L.T. & VINCENT, P.L. (1978): Note explicative des Cartes Géologiques à 1/200.000 de la République du Togo et de la République du Bénin entre les 9<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> Degrés de Latitude Nord, Feuille Bassari – Djougou, Feuille Parakou - Nikki.– OBEMINES, Cotonou, 57 S.
- AFFATON, P., SOUGY, J. & TROMPETTE, R. (1980): The tectono-stratigraphic relationships between the upper Precambrian and Lower Paleozoic Volta basin and the Pan-African Dahomeyide orogenic belt (West Africa). – *Am. J. Sci.* 280: 224-248.
- AFFATON, P., KRÖBER, A. & SEDDOH, K.F. (2000): Pan-African granulite formation in the Kabye Massif of northern Togo (West Africa): Pb-Pb zircon ages. – *Int. J. Earth Sci.* 88: 778-790.
- AG-BODEN (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden) (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. – Schweizbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 392 S.
- AGOSSOU, V. (1983): Les sols béninois et leur potentialités agricoles. – CENAP, Etude No. 260, Cotonou, 11 S.
- AHN, P.M. (1970): *West African Soils*. – University Press, Oxford, 332 S.
- AHNERT, F. (1996): *Einführung in die Geomorphologie*. – Ulmer-Verlag, Stuttgart, 440 S.
- AICARD, P. & Pougnet R. (1952): Le dahoméen du Dahomey et du Togo français. – XIX<sup>e</sup> Congrès géol. intern., Alger, fasc. 20, 107-113.
- ANDERSON, T.-H. (1991): Bedeutung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154: 409-416.
- AUBERT, G. (1965): Classification des sols. – *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* XXIII: 269-288.

- AUBREVILLE, A. (1949): Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale. – Soc. d'Edit. Geogr. Marit. et Colon.: 1-351.
- AUSWÄRTIGES AMT (2002): Benin auf einen Blick. – Online verfügbar unter: [www.auswaertigesamt.de](http://www.auswaertigesamt.de) 15.08.2003.
- AZONTONDE, A. (1993): Dégradation et restauration des terres de barre au Bénin. – Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XXVIII : 217-226.
- BARTHES, B., AZONTONDE, A., BOLI, B.Z., PRAT C. & ROOSE, E. (2000): Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). – European J. Soil Sci. 51: 485-495.
- BARTHLOTT, W. & POREMBSKI, S. (1998): Diversity and phytogeographical affinities of inselberg vegetation in tropical Africa and Madagascar. – In: HUXLEY, C. R., LOCK, J. M. & CUTLER, D. F. (Ed.): Chorology, Taxonomy and Ecology of the Floras of Africa and Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew., 119-129.
- BECHER, H.H. & KAINZ, M. (1983): Auswirkungen einer langjährigen Stallmistdüngung auf das Bodengefüge im Lößgebiet bei Straubing. – Z. Acker- und Pflanzenbau 152: 152-158.
- BECKMANN, T. (1997): Präparation bodenkundlicher Dünnschliffe für mikromorphologische Untersuchungen. – In: BABEL, U., FISCHER, W.R., KAUPENJOHANN, M. ROTH, K. & STAHR, K. (Hrsg.): Mikromorphologische Methoden in der Bodenkunde, Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 40: 89-103.
- BEETS, W. C. (1990): Raising and Sustaining Productivity of Smallholder Farming Systems in the Tropics. – AgBe Publ., Alkmaar, 738 S.
- BERGSMAN, E. & KWAAD, F.J.P. (1992): Rain erosion hazard evaluated from soil surface features as well as from soil loss. – In: People protecting their land, Proc. 7<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization (ISCO) Conference, Department of Conservation and Land Management, Sydney, Australia: 25-35.
- BERNARD, M., LOSE, S.L. & AGBO, B.P. (1997): Soil fertility management and plant production in Benin: the production of different agroforestry systems compared with traditionally managed and fertilized systems. – In: RENARD, G., NEEF, A., BECKER, K. & VON OPPEN, M.: Soil fertility management in West African land use systems., Proc. Regional Workshop University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, 04.-08.03.1997, Niamey, Niger.
- BESSELES, B. & TROMPETTE, R. (1980): Géologie de l'Afrique, La chaîne panafricaine « zone mobile d'Afrique central (partie sud) et zone mobile soudanaise ». – Éditions B.R.G.M., Orléans, 396 S.
- BIERSCHENK, T. & FORSTER, R. (1987): Die Produktionsrationalität der Agro-Pastoralen Fulbe in Nordbenin. – Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 17: 199-212.

- BIRD, M.I., VEENENDAAL, E.M., MOYO, C., LLOYD, J. & FROST, P. (2000): Effect of fire and soil texture on soil carbon in a sub-humid savanna (Matopos, Zimbabwe). – *Geoderma* 94: 71-90.
- BLUM, W.E.H. (1997): Basic Concepts: Degradation, resilience, and rehabilitation. – In: LAL, R., BLUM, W.E.H., VALENTINE, C. & STEWART, B.A. (1997): *Methods for assessment of soil degradation*. – CRC-Press, New York, 555 S.
- BLUME, H.-P. (1992): *Handbuch des Bodenschutzes*. – Ecomed-Verlag, Landsberg/Lech, 794 S.
- BOLI, B.Z., ROOSE, E., BEP A ZIEM, B., SANON, K. & WAECHTER, F. (1993): Effects des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. – *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, Vol. XXVIII: 309-325.
- BOLI, Z.B. & ROOSE, E. (1998): Degradation of a sandy Alfisol and restoration of its productivity under cotton/maize intensive cropping rotation in the wet savannah of Northern Cameroon. – *Advances on GeoEcology* 31: 395-401.
- BOLLINNE, A. & ROSSEAU, P. (1978): Erodibilité des sols de moyenne et haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte en terre. – *Bull. Soc. Géogr. de Liège* 14: 127-140.
- BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. (1945): Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. – *J. Soil Sci.* 59: 39-45.
- BREMER, H. (1999): *Die Tropen*. – Gebr. Borntraeger, Berlin, 428 S.
- BRIDGES, E.M., BATJES, N.H. & NACHTERGAELE, F.O. (Hrsg.) (1998): *World Reference Base for Soil Resources. Atlas*. – ISSS/ISRIC/FAO, Acco-Verlag, Leuven, 79 S.
- BRÜCKNER (1955): The mantel rock ("Laterite") of the Gold Coast and its origin. – *Geol. Rundsch.* 43: 307-327
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & TURSINA, T. (1985): *Handbook for soil thin section description*. – Waine Research Publications, Wolverhampton, 152 S.
- CABY (1989): The Pan-African belt of West-Africa from the Sahara desert to the Gulf of Benin. – In: SCHAEER, J.P. & PRODGERS, J. (Ed.) (1989): *The anatomy of mountain ranges*. – Princeton University Press, New Jersey, 129-170.
- CENATEL (CENTRE NATIONAL DE TELEDETECTION ET DE SURVEILLANCE DU COUVERT FORESTIER (2002): *Rapport final – base de données géoreferencées sur l'utilisation agricole des terres au Bénin*. – CENATEL, Cotonou, 20 S.
- CHEVALIER, A. (1990): Les zones et les provinces botaniques de l'Afrique occidentale française. – *C.R. Acad. Sci.*: 1205-1208.

- CIA (2003): Benin. Online verfügbar unter: [www.cia.gov/cia/publications/factbook/geos/bn.htm](http://www.cia.gov/cia/publications/factbook/geos/bn.htm). 15.08.2002.
- CHOUBERT, G. & FAURE-MURET, A. (1971): Môle dahoméo-nigérien. – *Science de la Terre* 6: 239-254.
- CPCS (COMMISSION DE PEDOLOGIE ET DE CARTOGRAPHIE DES SOLS) (1967): Classification des Sols. – ENSA, Grignon, 96 S.
- CRITCHLEY, W. & SIEGERT, K. (1991): A Manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. – Online verfügbar unter: [www.fao.org/docrep/U3160E/U3160E00.htm](http://www.fao.org/docrep/U3160E/U3160E00.htm). 31.03.2004.
- DECKERS, J.A., NACHTERGAELE, F.O. & SPAARGARDEN, O.C. (Hrsg.) (1998): World Reference Base for Soil Resources. Introduction. – ISSS/ISRIC/FAO, Acco-Verlag, Leuven, 165 S.
- DEGLA, P. (1998): Agrarverfassung in Süd-Benin: Probleme der Bodenordnung und ihre Auswirkungen auf außerlandwirtschaftliche Erwerbstätigkeit. – Cuvillier-Verlag, Göttingen, 266 S.
- DE HAAN, L.J. (1997) : Agriculteurs et éleveurs au Nord-Bénin. – Karthala-édition, Paris, 217 S.
- DE HEINZELEN, J. (1955): Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sol tropicaux. – *Publ. INEAC, Série Scientif.* 64: 37 S.
- DE VLEESCHAUWER, D. & LAL, R. (1981) : Properties of worm casts under secondary tropical forest regrowth. – *Soil Sci.* 132: 175-181.
- D'HOORE, J.L. (1968): The classification of tropical soils. – In: Moss, R.P. (1968): The soil resources of tropical Africa. – University Press, Cambridge: 7-28.
- DOEVENSPECK, M. (2004) (in Vorber.): Migration in Benin – Sozialgeographische Untersuchungen an einer afrikanischen Frontier. – Diss. Math.-Naturw. Fak., Univ. Bonn.
- DUBROEUCQ, D. (1977a): Note explicative No. 66 (3), Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200.000. Feuille de Save. – ORSTOM, Paris, 45 S.
- DUBROEUCQ, D. (1977b): Note explicative No. 66 (5), Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200.000. Feuille de Parakou. – ORSTOM, Paris, 49 S.
- DUCHAUFOR, P. (1976): Atlas écologique des sols du monde. – Masson, Paris, 178 S.
- DUCHAUFOR, P. (1982): Pedology: pedogenesis and classification. – Allen & Unwin, London, 448 S.

- DUNGER, W. (1983): Tiere im Boden. – Ziemsen-Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 280 S.
- DUNGER, W. & FIEDLER, H.J. (1989): Methoden der Bodenbiologie. – Fischer-Verlag, Stuttgart, 432 S.
- DUGUE, P., ROOSE, E. & RODRIGUEZ, L. (1993): L'aménagement de terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso) – Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXVIII: 385-402.
- DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V.) (1996): Bodenerosion durch Wasser. Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen. – DVWK Merkblätter 239, 56 S.
- EDWARDS, C.A. & BOHLEN, P.J. (1996): Biology and ecology of earthworms. – Chapman & Hall, London, 426 S.
- EKWOANYA, M.A. & OJANUGA, A.G. (2002): Productivity assessment of upland and floodplain soils at Makurdi, Nigeria. – Geoderma 108: 19-29.
- ELWELL, H.A. (1981): A soil loss estimation technique for southern Africa. – In: MORGAN, R.P.C. (Ed.): Soil conservation: problems and prospects. Wiley, Chichester: 281-292.
- EMBRECHTS, J. & DE DAPPER, M. (1987): Morphology and genesis of hillslope pediments in the Febe area (South-Cameroon). – Catena 14: 31-43.
- EMBRECHTS, J. & SYS, C. (1988): Genesis of subsurface horizons of a soil catena in a humid tropical climate (Yaounde, Cameroon). – Catena 15: 53-63.
- ESWARAN, H., ALMARAZ, R., VAN DEN BERG, E. & REICH, P. (1988): An assessment of the soil resources of Africa in relation to productivity. – Geoderma 77: 1-18.
- ESWARAN, H., ALMARAZ, R., REICH, P. & ZDRULI, P. (1988): Soil quality and soil productivity in Africa. – Online verfügbar: [www.nrcs.usda.gov/technical/worldsoils/papers/africa3.html](http://www.nrcs.usda.gov/technical/worldsoils/papers/africa3.html). 15.12.2002
- ESWARAN, H., VIRMANI, S.M. & SPIVEY, L.D. (1993): Sustainable agriculture in developing countries: constraints, challenges, and choices. – Ragland, J. & Lal, R. (Ed.): Technologies for Sustainable Agriculture in the Tropics. – ASA Spec.Publ. 56: 7-24.
- ESWARAN, H., LAL, R. & REICH, P.F. (2001): Land degradation: an overview. – Online verfügbar unter: [www.nrcs.usda.gov/technical/worldsoils/papers/land-degradation-over-view.html](http://www.nrcs.usda.gov/technical/worldsoils/papers/land-degradation-over-view.html) 15.12.2003.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION) (1976, 1981): A framework for land evaluation. – FAO Soil Bulletin 32, FAO, Rom, 72 S.

- FAO (1989): Sustainable agriculture production: For international agricultural research. – Rep. of the Technical Advisory Com. Consultative Group on Int. Agric. Res. (CGIAR), Washington, DC. 37 S.
- FAO (1990): Guidelines for Soil Profile Description. – FAO, Rom, 70 S.
- FAO (1993a): World Soil Resources. An explanatory note on the FAO World Soil Resource Map at 1:25,000,000 scale. – World Soil Resources Reports 66, Rev. 1, FAO, Rom, 64 S.
- FAO (1993b): Soil tillage in Africa: needs and challenges. – FAO Soils Bulletin 69. – Online verfügbar unter: [www.fao.org/docrep/T1696E/T1696E00.htm](http://www.fao.org/docrep/T1696E/T1696E00.htm). 15.12.2003.
- FAO (1994): Trade Yearbook. – FAO, Rom, 267 S.
- FAO (2000): Land resource potential and constraints at regional and country level. – World Soil Resources Reports 90. – Online verfügbar unter: [www.fao.org/agl/agll/docs/wsr.pdf](http://www.fao.org/agl/agll/docs/wsr.pdf) 26.12.2003
- FAO (2002): Quatorzième réunion du Sous-Comité Ouest et Centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. – World Soil Resources Reports 98. – Online verfügbar unter: [www.fao.org/ag/agll/docs/wsrr98f.pdf](http://www.fao.org/ag/agll/docs/wsrr98f.pdf). 05.01.2004.
- FAO (2003): FAO Methodologies on crop water use and crop water productivities. – Online verfügbar unter: [www.fao.org/ag/aglw/cropwater/faometho.htm](http://www.fao.org/ag/aglw/cropwater/faometho.htm). 01.10.2003.
- FAO (2004): Bénin - Economie. Online verfügbar unter: [www.fao.org/giews/french/base-docs/ben/bentoc1f.htm](http://www.fao.org/giews/french/base-docs/ben/bentoc1f.htm). 05.01.2004.
- FAO-EC-ISRIC (2003): World Soil Resource Map at 1:25,000 000 scale. – FAO, Rom.
- FAO-ISRIC-ISSS (1998): World Reference Base for Soil Resources. – World Soil Resources Reports 84, FAO, Rom, 88 S.
- FAO-UNESCO (1971 - 1981): FAO/Unesco Soil Map of the World 1:5,000,000. 10 Vol., 18 maps. – Unesco, Paris.
- FAO-UNESCO (1974): FAO/Unesco Soil Map of the World 1:50,000,000. Vol I. Legend. – Unesco, Paris. 59 S.
- FAO-UNESCO-ISRIC (1988): Revised Legend, FAO-Unesco Soil Map of the World. – World Soil Resources Reports 60, FAO, Rom, 119 S.
- FASS, T. (2004) (in Vorber.): Hydrogeologie im Aguima-Einzugsgebiet in Benin/Westafrika. – Diss. Math.-Naturw. Fak., Univ. Bonn.
- FAURE, P. (1977a): Note explicative No. 66 (4), Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200.000. Feuille de Djougou. – ORSTOM, Paris, 49 S.

- FAURE, P. (1977b): Note explicative No. 66 (6+8), Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200.000. Feuille de Natitingou, Porga. – ORSTOM, Paris, 67 S.
- FAURE, P. & VOLKOFF, B. (1998): Some factors affecting regional differentiation of the soils in the Republic of Benin (West Africa). – *Catena* 32: 281-306.
- FAUST, D. (1987): Traditionelle Bodennutzung in den Monts Kabyè/N-Togo. – *Z. Agrargeographie* 5: 336-351.
- FAUST, D. (1990): Bodenkundliche Untersuchungen an Deckschichten in N-Togo. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 153: 395-401.
- FAUST, D. (1991): Die Böden der Monts Kabyè (N-Togo): Eigenschaften, Genese und Aspekte ihrer agrarischen Nutzung. – *Frankfurter geowiss. Arb. Serie D, Bd. 13*, 174 S.
- FIEDER, H.J. (2001): Böden und Bodenfunktionen. – Expert-Verlag, Renningen, 598 S.
- FITZPATRICK, E.A. (1980): Soils. The formation, classification and distribution. – Longman, London. 353 S.
- FÖLSTER, H. (1964): Die Pedi-Sedimente der südsudanesischen Pediplane, Herkunft und Bodenbildung. – *Pedologie XIV*: 64-84.
- FÖLSTER, H. (1967): The Influence of Stratification and Age of Pedisediments on the Clay Distribution in Ferruginous Tropical Soils. – *Pedologie XVII*: 212-231.
- FÖLSTER, H. (1971): Ferrallitische Böden aus sauren metamorphen Gesteinen in den feuchten und wechselfeuchten Tropen Afrikas. – *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 20, 231 S.
- FÖLSTER, H. (1983): Bodenkunde Westafrika (Nigeria, Kamerun). – Afrika-Kartenwerk, Beih. W4, Gebr. Borntraeger, Berlin, 101 S.
- FOURNIER, F. (1960): Climat et érosion. – Presses Universitaires de France, Paris, 201 S.
- FOURNIER, F. (1967): La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. – *Sols africains* 12 : 5-53.
- FRÄNZLE, O. (1977): Hang- und Flächenbildung in den Tropen unter dem Einfluss der Eisen- und Aluminiumdynamik – *Z. Geomorph. N.F.* 28: 62-80.
- FRANKE, G. (1989): Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. – Thieme-Verlag, Stuttgart, 490 S.
- FRANKE, G. (1995): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Allgemeiner Pflanzenbau – Ulmer-Verlag, Stuttgart, 359 S.

- GAISER, T., GRAEF, F. & CORDEIRO, J.C. (2000): Water retention characteristics of soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. – *Aust. J. Soil Res.* 38: 523-536.
- GALABERT, J. & MILLOGO, E. (1973): Indice d'érosion de la pluie en Haute-Volta. – C.T.F.T., Ouagadougou, 34 S.
- GEISSEN, V. (2000): Reaktion ausgewählter Tiergruppen (Lumbricidae, Annelida; Collembola, Arthropoda) auf Veränderungen der Nähr-, und Schadstoffgehalte von Waldböden nach Kalkung und Düngung. – *Bonner Bodenkundl. Abh.* 31, 381 S.
- GIERTZ, S. (2004) (in Vorber.): Analyse der hydrologischen Prozesse in den sub-humiden Tropen Westafrikas unter besonderer Berücksichtigung der Landnutzung am Beispiel des Aguima-Einzugsgebietes in Benin. – *Diss. Math.-Naturw. Fak., Univ. Bonn.*
- GISI, U., SCHENKER, R., SCHULIN, R., STRADELMANN, F.X. & STICHER, H. (1997): *Bodenökologie.* – Thieme-Verlag, Stuttgart, 351 S.
- GOUDI, A. (1973): *Duricrusts in Tropical and Subtropical Landscapes.* – Clarendon Press, Oxford, 174 S.
- GREENLAND, D.J. & LAL, R. (Ed.) (1977): *Soil conservation and management in the humid tropics.* – Wiley, New York, 283 S.
- GREENLAND, D.J. (Ed.) (1981): *Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics.* – Clarendon Press, Oxford, 446 S.
- GRENZ, M. (1998): Die Bedeutung von Savannenbränden als Landnutzungsfaktor sowie Konsequenzen für ein Brandmanagement im Rahmen der Weidewirtschaft. – In: MEURER, M. (Hrsg.): *Geo- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzone NW-Benins.* – *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie* 1: 194-211.
- GRUNERT, J., MUND, H.-P. & CHRIST, T. (2000): Bas-Fonds, Dambos und Inland Valleys – Vergleich und Systematisierung unterschiedlicher Definitionen von Talböden des tropischen Afrikas. – *Freiburger Geogr. Hefte* 60: 29-43.
- HARRASSOWITZ, H. (1926): Laterit. – *Fortschr. Geol. Paläont.* 4: 253-566.
- HARRISON, J.B. (1934): The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions. – *Imp. Bur. Soil Sci.*, 79 S.
- HARTGE, K.H. & HORN, R. (1989): *Die physikalische Untersuchung von Böden.* – Enke-Verlag, Stuttgart, 175 S.
- HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S. (1990): Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. – *J. Soil Sci.* 41: 73-83.

- HERRMANN, L. (1996): Staubdeposition auf Böden West-Afrikas. Eigenschaften und Herkunftsgebiete der Stäube und ihr Einfluss auf Boden und Standorteigenschaften. – Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 36, 238 S.
- HETTIG, F. (2000): Sozial-, Wirtschaftsstruktur, Wasser-, Abholzungsproblematik, Bodenrecht in Doguè, Benin. Online verfügbar unter: [www.impetus.uni-koeln.de](http://www.impetus.uni-koeln.de). 05.08.2003.
- HINTERMAIER-ERHARD G. & ZECH, W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. – Enke-Verlag, Stuttgart, 338 S.
- HJULSTRÖM, F. (1935): Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. – Bull. of the Geological Institute, University of Uppsala 25: 221-527.
- HÖFER, H. & LUIZAO, F. (2000): Decomposition in litterbags and mini-containers. – In: HÖFER, H., MARTIUS, C., HANAGARTH, W., GARCIA, M., FRANKLIN, E., RÖMBKE, J. & BECK, L. (2000): Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forest and mixed culture system in Amazonia - Final Report 1996-1999. – SHIFT Project ENV 52 des BMBF, 288 S.
- HUDSON, N.W. (1981): Soil conservation. – Cornell Univ., New York, 324 S.
- HUDSON, N.W. (1993): Field measurement of soil erosion and runoff. – FAO Soil Bulletin 68, FAO, Rom, 30 S.
- IGN (INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL) (1955): Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1 : 200 000, Feuille de Bimbereke NC-31-XV, Djougou NC-31-VIII, Natitingou NC-31-XIV, Parakou NC-31-IX, Savé NC-31-III.
- IGN (1978): République Populaire du Bénin, Carte au 1 : 50 000, Feuille de Djougou 2b NC-31-VIII.
- IGUE, A.M. & YOUSOUF, I. (1995): Etude au 1/5000 de l'état de dégradation des sols de la station de recherche sur les cultures vivrières d'Ina. – CENAP, Etude No 317, Cotonou, 62 S.
- IGUÉ, A.M. (2000): The Use of a Soil and Terrain Database for Land Evaluation Procedures – Case Study of Central Benin. – Hohenheimer Bodenkundl. Hefte 58, 235 S.
- IGWE, C.A., AKAMIGBO, F.O.R. & MBAGWU, J.S.C. (1999) : Chemical and mineralogical properties of soils in southeastern Nigeria in relation to aggregate stability. – Geoderma 92: 111-123.
- INRA (INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE) (1995): Référentiel Pédologique. – INRA, Paris, 332 S.
- IMPETUS (Integratives Management Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika) (1999): Band 1. – 08.10.1999. 328 S.
- IMPETUS (2000): Erster Zwischenbericht, Zeitraum 1.5.2000 - 31.12.2000. – 244 S.

- IMPETUS (2001): Zweiter Zwischenbericht, Zeitraum 1.1.2001 - 31.12.2001. – 102 S.
- IMPETUS (2002): Dritter Zwischenbericht, Zeitraum 1.1.2002 - 31.12.2002. – 129 S.
- IMPETUS (2003): Final Report, Period 1.5.2000 - 30.4.2003. – 152 S.
- ISRIC-UNEP-FAO-IUSS (1995): Procedures Manual for Global and National Soils and Databases (SOTER). – Online verfügbar unter [www.fao.org/ag/AGL/agll/soter.htm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soter.htm)
- ISSAKA, R.N., ISHIDA, F., KUBITA, D. & WAKATSUKI, T. (1997): Geographical distribution of selected soil fertility parameters of inland valleys in West Africa. – *Geoderma* 75: 99-116.
- IZAC, A.-M.N. (1997): Developing policies for soil carbon management in tropical regions. – *Geoderma* 79: 261-276.
- JAHN, R., HERRMANN, L. & STAHR, K. (1996): Die Bedeutung äolischer Einträge für Bodenbildung und Standorteigenschaften im circumsaharischen Raum. – *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 3/4: 421-432.
- JONES, M. J. & WILD, A. (1975): Soils in the West African Savanna. – Commonwealth Agricultural Bureau, Techn. Communication 55, 246 S.
- JUNGERIUS, P.D., VAN DEN ANCHER, J.A.M. & MÜCHER, H.J. (1999): The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. – *Catena* 34: 349-363.
- KADEBE, O. & BENJAMINSEN, J.N. (1976): Contribution of organic matter and clay to the CEC of soils in the Savanna zone of Nigeria. – *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 7: 129-144.
- KAINZ, M., AUERSWALD, K. & PHILIPP, C. (1991): Einfluss von Oberbodeneigenschaften auf die Regenwurmabundanz repräsentativer Ackerböden. – *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 66: 527-530.
- KANTON, R.A.L., FRIMPONG, O., TERBOBRI, P. & SADIK, A.S. (2000): Influence of tillage systems and seedbed types on sorghum yields and economics in northern Ghana. – *Soil & Tillage Research* 55: 79-85.
- KAYOMBO, B. & MREMA, G.C. (1998): Soil conservation and sustainability of agricultural systems in Sub-Saharan Africa. – In: LAL, R. (ED.): *Soil quality and agricultural sustainability*. – Sleeping Bear Press, Inc., 177-196.
- KITTRICK, J.A. (1986): *Soil mineral weathering*. – Van Nostrand Reinhold Company, New York, 271 S.

- KNAPP, R. (1973): Die Vegetation von Afrika unter Berücksichtigung von Umwelt, Entwicklung, Wirtschaft, Agrar- und Forstgeographie. – In WALTER, H. (Hrsg.): Vegetationsmonographien der einzelnen Großräume, 3, Fischer-Verlag, Stuttgart, 109 S.
- KOGBLERI, A. & AZONHOUME, A. (1981): Pédogenèse sous climat tropical. – CENAP, Cotonou, 50 S.
- KÖPPEN, W. (1931): Grundriss der Klimakunde. – de Gruyter-Verlag, Berlin, 388 S.
- KORB, J. (1997): Lokale und regionale Verbreitung von *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermitinae): Stochastik oder Deterministik?. – Wissenschaft und Technik Verlag, Berlin, 158 S.
- KUCKUCK, H., KOBABE, G. & WENZEL, G. (1985): Grundzüge der Pflanzenzüchtung. – de Gruyter-Verlag, Berlin, 254 S.
- LAL, R. (1977a): Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility – In: GREENLAND, D.J. & LAL, R. (Ed.): Soil conservation and management in the humid tropics. – Wiley, Chichester, 49-56.
- LAL, R. (1977b): The soil and water conservation problem in Africa: ecological differences and management problems. – In: GREENLAND, D.J. & LAL, R. (Ed.): Soil conservation and management in the humid tropics. – Wiley, Chichester, 143-150.
- LAL, R. (1977c): Soil-conserving versus soil-degrading crops and soil management for Erosion Control. – In: GREENLAND, D.J. & LAL, R. (Ed.): Soil conservation and management in the humid tropics. – Wiley, Chichester, 81-86.
- LAL, R. (1995): Erosion-crop productivity relationships for soils in Africa – Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 661-667.
- LANDON, J.R. (1984): Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. – Booker Agriculture Internat. Ltd., Essex, 191 S.
- LAMPARSKI, F. (1985): Der Einfluss der Regenwürmer auf Waldböden im Südschwarzwald. – Freiburger Bodenk. Abh. 15: 205 S.
- LAUER, W. (1999): Klimatologie. – Westermann-Verlag, Braunschweig, 270 S.
- LAWSON, G.W. (Ed.) (1986): Plant ecology in West Africa. – Wiley Interscience Publication, New York, 357 S.
- LE BARBE, L., ALE, A., MILLET, B., TEXIER, H., BOREL, Y. & GUALDE, R. (1993): Les Ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. – ORSTOM (Hrsg.), Collection Monographies Hydrologiques N° 11, 121 S.
- LE BISSONNAIS, Y. (1996): Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. – European J. Soil Sci. 47: 425-437.

- LEE, K.E. & WOOD, T.G. (1971): *Termites and Soils*. – Academic Press, London, 251 S.
- LÉONARD, J. & RAJOT, J.L. (2001): Influence of termites on runoff and infiltration: quantification and analysis. – *Geoderma* 104: 17-40.
- LEVEQUE, A. (1970): L'origine des concrétions ferrugineuses dans les sols du socle granito-gneissique au Togo. – *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, Vol. VIII: 321-348.
- LITTMANN, T. (1989): Spatial patterns and frequency distribution of late quaternary water budget tendencies in Africa. – *Catena* 16: 163-188.
- MÄCKEL, R. (1974): Dambos: a study in morphodynamic activity on the plateau regions of Zambia. – *Catena* 1: 327-365.
- MÄCKEL, R. (1979): Zur Entstehung und geoökologischen Stellung der Bolis in Sierra Leone/Westafrika. – *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.* 69: 47-71.
- MÄCKEL, R. (1985): Dambos and related landforms in Africa – an example for the ecological approach to tropical geomorphology. – *Z. Geomorph. N.F.* 52: 1-23.
- MAIGNIEN, R. (1966): Review of research on laterites. – UNESCO, 148 S.
- MANDO, A., STROOSNIJDER, L. & BURUSSAARD, L. (1996): Effects of termites on infiltration into drusted soil. – *Geoderma*, 74: 107-113.
- MARTIUS, C. (2002): Termiten als zentrales Faunenelement tropischer Ökosysteme: Diversität, Funktion und Möglichkeiten des Managements. – Habilitationsschrift Landw. Fak., Univ. Bonn, 188 S.
- McFARLANE, M.J. & WHITLOW, R. (1990): Key factors affecting the initiation and progress of gullyng in Dambos in parts of Zimbabwe and Malawi. – *Land Degradation & Rehabilitation* 2: 215-235.
- Mc FARLANE, M.J. (1991): Some sedimentary aspects of lateritic weathering profile development in the major bioclimatic zone of tropical Afrika. – *Journal of African Earth Sciences*, 12: 267-282.
- Mc TAINSH, G.H. & WALKER, P.H. (1982): Nature and distribution of Harmattan dust. – *Z. Geomorph. N.F.* 26: 417-435.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M. (1960): Iron oxide removal from soil and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium-bicarbonate. – *Clays Clay Min.* 7: 317-327.
- MEURER, H. (Hrsg.): *Geo- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzzone NW-Benins*. – *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie*, 279 S.
- MILLINGTON, A.C., HELMISCH, F. & REHBERGEN, G.J. (1985): Inland valley swamps and bolis in Sierra Leone: hydrological and pedological considerations for agricultural development. – *Z. Geomorph. N.F.* 52: 201-222.

- MITSCHE, E. (2001): Die Zerschlümmfestigkeit von Bodenaggregaten und die Bedeutung der Befeuchtungsgeschwindigkeit für die Verschlümmung. – Berichte aus der Agrarwissenschaft, D 26, 146 S.
- MØBERG, J.P. & ESU, I.E. (1991): Characteristics and composition of some savanna soils in Nigeria. – *Geoderma* 48: 113-129.
- MØBERG, J.P., ESU, I.E. & MALGWI, W.B. (1991): Characteristics and constituent composition of Harmattan dust falling in Northern Nigeria. – *Geoderma* 48: 73-81.
- MOHR, E.C.J., VAN BAREN, F.A. & SCHUYLENBORG J. (1972): *Tropical Soils*. – Mouton, Den Haag, 481 S.
- MOLDENHAUER, K.-M. & HEINRICH, J. (1999): Methoden zur Differenzierung von Hillwashsedimenten und Bodenkomplexen aus kristallinen Gesteinen in Westafrika (Benin). – *Zbl. Geol. Paläont.* 5-6: 255-269.
- MOORMANN, F.R. (1981): Representative toposequences of soils in southern Nigeria, and their pedology. – In: GREENLAND, D.J. (Ed.): *Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics*. – Charendon Press, Oxford, 11-29.
- MORGAN, R.P.C. (1988): A critique of methods for measuring soil erosion in the field. – *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 56: 13-18.
- MORGAN, R.P.C. (1999): *Bodenerosion und Bodenerhaltung*. – Enke-Verlag, Stuttgart, 236 S.
- MOSANGO, M. (1991): Contribution à l'étude botanique et biogéologique de l'écosystème forêt en région équatoriale. – *Belg. Journ. Bot.* 124: 176-194.
- MÜLLER-HOHENSTEIN, K. (1981): *Die Landschaftsgürtel der Erde*. – Teubner-Verlag, Stuttgart, 204 S.
- MÜNKNER, H.-H. (HRSG.) (1984): *Entwicklungsrelevante Fragen der Agrarverfassung und des Bodenrechts in Afrika südlich der Sahara*. – Verlag des Inst. für Kooperation in Entwicklungsländern, Marburg/Lahn, 338 S.
- MULINDABIGWI, V. (2004) (in Vorber.): Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. - Diss. Landw. Fak., Univ. Bonn.
- MULINDABIGWI, V., THAMM, H.-P- & JANSSENS, J.M. (2003): Landnutzungssysteme und Emission von Kohlenstoff im Ouémé-Einzugsgebiet in Benin/Westafrika. – Abstract Jahrestagung 2003 der Afrikagruppe deutscher Geowissenschaftler; S. 14.
- MUND, J.-P. & GRUNERT, J. (1999): Agro-ökologische Bedingungen des kleinbäuerlichen Bewässerungsreisbaues in „Bas-Fonds“ im Südwesten der Côte d'Ivoire. – *Zbl. Geol. und Paläont.* 3-4: 123-138.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS (1954). – Munsell Color Company, Baltimore, Maryland.

- MURAWSKI, H. (1992): Geologisches Wörterbuch. – Enke-Verlag, Stuttgart, 252 S.
- NACHTERGAELE, F.O., SPAARGAREN, O., DECKERS, J.A. & AHRENS, B. (2000): New development in soil classification: World Reference Base for Soil Resources. – *Geoderma* 96: 345-357.
- NAHON, D.B. (1986): Evolution of Iron Crusts in Tropical Landscapes. – In: COLMAN, S.M. & DETHIER, D.P. (Ed.) (1986): Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals. Academic Press, London: 169-191.
- NILL, D., SCHWERTMANN, U., SABEL-KOSCHELLA, U., BERNARD, M. & BREUER, S. (1996): Soil Erosion by Water in Africa – Principles, prediction and protection. – *Schriftenreihe der GTZ, Nr. 257, TZ-Verlags-Ges., Roßdorf*, 292 S.
- NOOREN, C.A.M., VAN BREEMEN, N., STOORVOGEL, J.J. & JONGMANS, A.G. (1995): The role of earthworms in the formation of sandy surface soils in a tropical forest in Ivory Coast. – *Geoderma* 65: 135-148.
- NYE, P.H. (1954): Some soil-forming processes in the humid tropics: I. A field study of a catena in the West African forest.– *J. Soil Sci.* 5: 7-21.
- OBEMINES (OFFICE BENINOIS DES MINES) (1978): Cartes Géologiques à 1/200.000 de la République du Togo et de la République du Bénin entre les 9<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> Degrés de Latitude Nord, Feuille Bassari – Djougou, Feuille Parakou – Nikki, Cotonou.
- OBEMINES (1984): Notice Explicative de la Carte Géologique à 1 \ 200 000: Feuille Djougou-Parakou-Nikki. – République Populaire du Bénin, Ministre des Finances et de l'Économie, 39 S.
- OBI, M.E. & SALAKO, F.K., LAL, R. (1989): Relative susceptibility of some southeastern Nigeria soils to erosion. – *Catena* 16: 215-225.
- OELKERS, K.H. (1993). Aufbau und Nutzung des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS – Fachinformationssystem Bodenkunde (FIS Boden) – *Geol. Jb. F* 27: 5-38.
- OLDEMAN, L.R. (1994a): Global assessment of soil degradation. – In: Soil erosion under global change. – Proc. Workshop on erosion and global change, 29.-31.03.1994, Paris, 31-33.
- OLDEMAN, L.R. (1994b): The global extend of soil degradation. – In: GREENLAND, D.J. AND SZABOLCS, I.: Land resilience and sustainable land use. CABI, Wallingford: 99-118.
- OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A. & SOMBROEK, W.G. (1991): World map of the status of huma-induced soil degradation: An Explanatory Note. – ISRIC-UNEP report, Wageningen, 34 S.

- ORTHMANN, B. (2004) (in Vorber.): Vegetation analysis of savannas and woodlands and analysis of the impact of selective logging on vegetation dynamics in these systems (Benin, West Africa). – Diss. Institut für Biol., Univ. Rostock.
- OYEGUN, R.O. (1983): Erosion-active surface on a pediment slope. – Trop. Agric. 60,1: 53-55.
- PETTERS, S.W. (1991): Regional Geology of Africa. – Springer-Verlag, Berlin, 722 S.
- PERFECT, E., KAY, B.D., VAN LOON, W.K.P., SHEARD, R.W. & POJASOK, T. (1990): Factors influencing soil structural stability within a growing season. – Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 173-179.
- POREMBSKI, S. & BARTHLOTT, W. (Hrsg.) (2000): Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions. – Springer-Verlag, Berlin, 524 S.
- PRASAD, R. & POWER, J.F. (1997): Soil fertility management for sustainable agriculture. – Lewis Publishers, New York, 356 S.
- PULLAN, R.A. (1967): A morphological classification of lateritic ironstone and ferruginised rocks in Northern Nigeria. – Nigerian Journal of Science 1: 161-174.
- PULLAN, R.A. (1979): Termite hills in Africa: their characteristics and evolution. – Catena 6: 267-291.
- RAUNERT, M. (1985): Bas-fonds et rizicultures en Afrique: approche structurale comparative. – Agronomie Tropicale 40: 181-201.
- REGIONAL SURVEYS OF THE WORLD (2000): Africa South of the Sahara. – Europa-Verlag, London, 185-202.
- REHM, S. & ESPIG, G. (1996): Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen. – Ulmer-Verlag, Stuttgart, 528 S.
- REIFF, K. (1998): Das weidewirtschaftliche Nutzpotalential der Savannen Nordwest-Benins aus floristisch-vegetationskundlicher Sicht. – In: MEURER, M. (Hrsg.): Geo- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzzone NW-Benins. – Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie: 51-86.
- RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. – Wissensch. Buchges., Darmstadt, 264 S.
- RICHTER, D.D. & BABBAR, L.I.: (1991): Soil Diversity in the Tropics . – In: BEGON, M. (Ed.): Advances in Ecological Research 21: 317-389.
- RÖMBKE, J., HANAGARTH, W., HÖFER, H. & MARTIUS, C. (2000): Report Bait-lamina. – In: HÖFER, H., MARTIUS, C., HANAGARTH, W., GARCIA, M., FRANKLIN, E., RÖMBKE, J. & BECK, L.: Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forest and mixed culture system in Amazonia - Final Report 1996-1999, SHIFT Project ENV 52 des BMBF, 288 S.

- ROHDENBURG, H. (1969): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika, besonders aus dem Schichtstufenland Südost-Nigerias. – Göttinger Bodenkundl. Ber. 10: 57-152.
- ROHDENBURG, H. (1970): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätsphasen statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. – Eiszeitalter u. Gegenwart 21, 81-96.
- ROHDENBURG, H. (1971): Einführung in die klimatische Geomorphologie. – Lenz, Giessen, 351 S.
- ROOSE, E. (1976a): Contribution à l'étude de l'influence de la mésofauna sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical. – ORSTOM, Abidjan, 55 S.
- ROOSE, E. (1976b): Le problème de la conservation de l'eau et du sol en République du Bénin. – ORSTOM, Abidjan, 34 S.
- ROOSE, E. (1977a): Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. – In: Soil erosion: prediction and control. Proc. National Conference on Soil Erosion May 24-26, 1976, Purdue University, West Lafayette, SCSA Special Publication, 21: 60-74.
- ROOSE, E. (1977b): Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux issu de granite sous une savane arborée du Plateau Mossi (Haute-Volta), Gonse, campagnes 1968-1974. – ORSTOM, Abidjan, 121 S.
- ROOSE, E. (1977c): Érosion et ruissellement en Afrique de l'ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. – Travaux et Documents de l'ORSTOM, No 78, 108 S.
- ROOSE, E. (1978): Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne, Saria (Haute-Volta): synthèse des campagnes 1971-1974. – ORSTOM, Abidjan, 123 S.
- ROOSE, E. (1989): Diversity of traditional and modern strategy for soil and water conservation. Ecological and ethnical impact in sudano-sahelian areas of Western Africa. – Proc. ISCO Conference, 06.-18.11.1989 Addis Abeba, 19 S.
- ROOSE, E. & SARRAILH, J.-M. (1990): Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. – Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXV: 7-30.
- ROOSE, E. (1996a): Méthodes des mesure des états des surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. – Bulletin Réseau Érosion 16: 1-10.
- ROOSE, E. (1996b): Land husbandry – components and strategy. – FAO Soil Bulletin 70, Online verfügbar unter: [www.fao.org/docrep/T1765E/T1765E00.htm](http://www.fao.org/docrep/T1765E/T1765E00.htm). 12.01.2004.

- ROOSE, E. & BARTHÈS, B. (2001): Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research. – *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 159-170.
- ROTH, C.H. & JOSCHKO, M. (1991): A note on the reduction of runoff from crusted soils by earthworms burrows and artificial channels. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154: 101-105.
- RUELLE, J.E. (1970): A revision of the termites of the genus *Macrotermes* from the Ethiopian Region (Isoptera: Termitidae). – *Bulletin of the British Museum, Entomology*, 24: 365-444.
- RUNGE, J. (1990): Morphogenese und Morphodynamik in Nord-Togo (9° - 11°) unter dem Einfluss spätquartären Klimawandels. – *Göttinger Geogr. Abh.* 90, 103 S.
- RUTHENBERG, H. (1980): *Farming Systems in the Tropics*. – Clarendon Press, Oxford, 109 S.
- RUTHENBERG, H. & ANDREAE, B. (1982): Landwirtschaftliche Betriebssysteme in den Tropen und Subtropen, dargestellt an ausgewählten Beispielen. – In: VON BLANKENBURG, P. (Hrsg.): *Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern*, Band 1: Sozialökonomie der ländlichen Entwicklung: S. 125-173.
- SACHS, L. (1997): *Angewandte Statistik*. – Springer-Verlag, Berlin, 884 S.
- SALAKO, F.K., BABALOLA, O., HAUSER, S. & KANG, B.T. (1999): Soil macroaggregate stability under different fallow management and cropping intensities in southwestern Nigeria. – *Geoderma*, 91: 103-123.
- SANCHEZ, P.A. (1976): *Properties and management of Soils of the Tropics*. – John Wiley & Sons, New York, 618 S.
- SANCHEZ, P.A., COUTO, W. & BUOL, S.W. (1982): *The Fertility Capability Soil Classification System: Interpretation, Application and Modification*. – *Geoderma*, 27: 283-309.
- SANCHEZ, P.A. & IZAC, A.-M. (1995): Soil fertility recapitalization in Africa: a concept paper. – *International Workshop on Soil, Water and Nutrient Management Research: Environmental and Productivity Dimensions*, Feldafing, Germany, 12.06.1995, 8 S.
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., HARTGE, K.H. & SCHWERTMANN, U. (1998): *Scheffer/Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde*. – Enke-Verlag, Stuttgart, 491 S.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. & STAHR, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum*. – Pareys Studentexte 81, Blackwell-Wissenschafts-Verlag, Berlin, 295 S.

- SCHMÜDDERICH, C. (1995): Weideökologische Untersuchungen während der Trockenzeit unter besonderer Berücksichtigung der Gramineen. – In: MEURER, M. (Hrsg.): Geo- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzone NW-Benins. – Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie: 116-133.
- SCHWARZ, T. (1994): Ferricrete formation and relief inversion: an example from Central Sudan. – *Catena* 21: 257-268.
- SCHWERTMANN, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch photochemische Extraktion mit saurer Ammoniumoxalat-Lösung. – *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 105: 194-202.
- SCHWERTMANN, U. (1993): Relations between iron oxides, soil colour, and soil formation. – *Soil Sci. Soc. Am. J.* 31: 51-69.
- SCHWERTMANN, U., VOGEL, W. & KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. – Ulmer-Verlag, Stuttgart, 64 S.
- SCRIVENOR, J.B. (1930): Laterites. – *Geol. Mag.*, 57: 8-24.
- SEKERA, F. & BRUNNER, A. (1943): Beiträge zur Methodik der Gareforschung. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 29: 169-212.
- SEMMELE, A. (1982): Catenen der feuchten Tropen und Fragen ihrer geomorphologischen Deutung. – *Catena* 2: 123-140.
- SEQUI, P. (1978): Soil structure – An outlook. – *Agrochim.* 22: 403-425.
- SKOWRONEK, A. (1983): Traditionelle Bodenklassifikations-Systeme und Probleme der Korrelation. – *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 38: 591-596.
- SMOLIKOWSKI, B. (1993): La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES): une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haïti. – *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, Vol. XXVIII: 229-252.
- SOIL SURVEY STAFF (1975): Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. – Agriculture Handbook No. 436, USDA, Washington, 754 S.
- SOIL SURVEY STAFF (1999): Keys to Soil Taxonomy. – Pocahontas Press, Inc., Blacksburg, 600 S.
- SOMBROEK, W.G. (1966): Amazon Soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. – *Agric. Res. Rep.* 672, PUDOC, Wageningen, 122 S.
- STRASBURGER, E., NOLL, F., SCHNECK, H. & SCHIMPER, A.F.W. (1991): Lehrbuch der Botanik. – Fischer-Verlag, Stuttgart, 1030 S.

- STURM, H.J. (1993): Produktions- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzzone Nordbenins. – Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie, 279 S.
- SWOBODA, J. (1994): Geoökologische Grundlagen der Bodennutzung und deren Auswirkung auf die Bodenerosion im Grundgebirgsbereich Nord-Benins – ein Beitrag zur Landnutzungsplanung. – Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D, Bd. 18, 120 S.
- SWOBODA, J. & STURM, H.-J. (1995): Traditionelle Bodennutzungssysteme und Bodenbewertung bei Ackerbauern und Tierhaltern in Nord-Benin. – Die Erde 126: 53-71.
- STEINER, K.G. (1984): Intercropping in tropical smallholder agriculture with special reference to West Africa. – Schriftenreihe der GTZ, TZ-Verlags-Ges., Roßdorf, 304 S.
- TANO, Y. & LEPAGE, M. (1989): Abundance and distribution of *Macrothermes bellicosus* (Isoptera: Macrotermitinae). – In: VEERESCH, G.K., MALLICK, B. & VIRANKTHAMATH (Hrsg.) – Social Insects and the environment. 685-686.
- THOMAS, M.F. (1994): Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. – Wiley & Sons Ltd., 460 S.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948): An approach towards a rational classification of climate. – Geogr. Review 38: 85-94.
- TISDALL, J.M. & OADES, A.G. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. – J. Soil Sci. 33: 141-163.
- TISDALL, J.M. (1991): Fungal hyphae and structural stability of soil. – Aust. J. Soil Res. 29: 729-743.
- TISCHLER, W. (1990): Ökologie der Lebensräume. – Fischer-Verlag, Stuttgart, 356 S.
- TROLL, C. & PAFFEN, K.-H. (1964): Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. – Erdkunde 18: 5-28.
- TROMPETTE, R. (1979): Les Dahomeyiden au Bénin, Togo et Ghana: une chaîne de collision d'âge pan-africain. – Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys. 21: 339-349.
- USDA (1996): Distribution of Soil order (1:38 000 000). – USDA, NRCS, Washington.
- VAN BREEMEN, N. & BUURMAN, P. (1998): Soil formation. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 377 S.
- VAN CAMPEN, W. (1978): Mesures d'érosion sur un sol ferrugineux tropical, Station Alafiarou, Parakou, Bénin. – CENAP, Etude No 185, Cotonou, 59 S.

- VAN DIEPEN, C.A. (1980): La dégradation des sols en République Populaire du Bénin. – CENAP, Etude No 229, Cotonou, 59 S.
- VAN REEUWIJK, L.P. (1995): Procedures for Soil analysis. – ISRIC, Technical Paper 9, Wageningen, 56 S.
- VAN WAMBEKE, A. (1991): Soils of the tropics: properties and appraisal. – Mc Graw-Hill, Inc., New York, 343 S.
- VIENNOT, M. (1978): Note explicative No. 66 (7), Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200.000. Feuille de Bimbereke. – ORSTOM, 43 S.
- VOGT, J. (1966): Le complexe de la stone-line. – Bull. B.R.G.M., Orléans 4: 3-52 S.
- VOLLMERT P., FINK A.H. & BESLER H. (2004): Ghana dry zone and Dahomey gap: Ursache für eine Niederschlagsanomalie im tropischen Westafrika. – Die Erde, im Druck.
- VON TÖRNE, E. (1990): Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-test. – Pedobiologia 34: 89-101.
- WALTER, H. & BRECKLE, S.-W. (1991): Ökologie der Erde, Spezielle Ökologie der Tropen und Subtropen. – Fischer-Verlag, Stuttgart, 461 S.
- WHITE, F. (1983): The vegetation of Africa. – United Nations (UN), Paris, 356 S.
- WILL, H. (1998): Anwendung von Fernerkundungsdaten im Rahmen der Weidepotentialstudie in NW-Benin. – In: MEURER, M. (Hrsg.): Geo- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzonen NW-Benins. – Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie, 212-237.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. – USDA Agric. Handbook 537, 58 S.
- WOLF, B. (2002): Bodenerosion in Abhängigkeit von der Landnutzung auf ausgewählten Standorten in Benin/Westafrika – Dipl.-Arbeit, Institut für Bodenkunde, Univ. Gießen, 141 S.
- WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION) (1996): Climatological normals (CLINO) for the period 1961-1990. WMO/OMM – No. 847.
- WOTTO, J. (2003): Pratique de l'élevage des bovins au Bénin: son intégration dans la gestion des écosystèmes du terroir de Doguè – Dipl.-Arbeit, Landw. Fak., Univ. Abomey-Calavi, 74 S.
- WUNDERLICH, J. & ADEYE, M.O. (1995): Bénin. – Reihe Verhaltenspapiere, Heft 50, Zentralstelle für Auslandskunde (Hrsg.), Bad Honnef, 66 S.

ZEESE, (1983): Reliefentwicklung in Nordost-Nigeria – Reliefgenerationen oder morphogenetische Sequenzen. – Z. Geomorph. N.P. 48: 225-234.

**10 ANHANG**

	Seite
Abb. A1: Lage der Versuchstandorte mit den Versuchsfeldern bei Doguè	221
Abb. A2: Lage der Versuche an Standort 1 (Eigentümer Ochon)	222
Abb. A3: Lage der Versuchsfelder an Standort 2 (Eigentümer Loukmann)	223
Abb. A4: Lage der Versuchsflächen an Standort 3 (Eigentümer Chabi)	224
Abb. A5: Lage der Versuchsflächen an Standort 4 (Eigentümer Seriki)	225
Abb. A6: Lage der Versuchstandorte in Awanla	226
Abb. A7: Lage der Versuchstandorte in Serou	226
Abb. A8: Typische Böden im Aguima-Einzugsgebiet	227
Abb. A9: Bodenbedeckung verschiedener Kultur- und Savannenflächen im Verlauf der Regenzeit 2002	228
Abb. A10: Oberflächenabfluss (Anteil des Niederschlags) von Flächen unterschiedlicher Nutzung im Verlauf des Jahres 2002	229
Abb. A11: Veränderung der Oberflächenrauigkeit auf Flächen unterschiedlicher Nutzung im Verlauf der Regenzeit 2002	230
Abb. A12: Querschnittsentwicklung eines Trampelpfades im Verlauf der Regenzeit 2002	232
Abb. A13: Querschnittsentwicklung einer LKW-Piste im Verlauf der Regenzeit 2002	233
Abb. A14: Charakteristika verschiedener Niederschlagsarten im HVO (2002)	234
Abb. A15: Ableitung der Erosivität aus der Niederschlagsmenge und der max. 30-Minuten-Intensität nach GALABERT & MILLOGO (1972) und WISCHMEIER & SMITH (1978)	235
Abb. A16: Ableitung der Erosivität aus der Niederschlagsmenge nach ROOSE (1977c) und WISCHMEIER & SMITH (1978)	235
Abb. A17: Erosivität der Niederschläge in verschiedenen Orten des HVO seit 1960	236
Abb. A18: Abnahme der Erodibilität des Bodens mit zunehmendem C <sub>org</sub> -Gehalt	236
Abb. A19: Perkolationsstabilität der Aggregate von Böden verschiedener Geländepositionen in der Trocken- und Regenzeit 2002	237

Abb. A20:	Stabilität der Aggregate von Böden verschiedener Geländepositionen in der Trocken- und Regenzeit 2002 nach LE BISSONNAIS (1996)	237
Abb. A21:	Anteil der Fragmente nach Aggregatzerstörung in der Trocken- und Regenzeit	238
Abb. A22:	Anzahl und Größenverteilung von Lumbriciden im Oberboden des Ah- bzw. Ap-Horizontes unterschiedlich genutzter Flächen in der Regenzeit 2002	238
Abb. A23:	Räumliche Verteilung der Lumbriciden-Losung an der Oberfläche des Ah- bzw. Ap-Horizontes der Untersuchungsflächen (September 2002)	239
Abb. A24:	Räumliche Verteilung von Bioporen an der Oberfläche des Ah- bzw. Ap-Horizontes der Untersuchungsflächen (September 2002)	241
Abb. A25:	Temperatur und Feuchtigkeit in 2 bzw. 10 cm Bodentiefe auf Flächen unterschiedlicher Nutzung in der Trocken- und Regenzeit 2001	243
Abb. A26:	Temperatur in 2 bzw. 10 cm Bodentiefe auf Flächen unterschiedlicher Nutzung an den Entnahmetermenen der Netzbeutel 2001	243
Tab. A1:	Profile im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	244
Tab. A2:	Profile in Awanla und Serou	245
Tab. A3:	Catenen im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	245
Tab. A4:	Catenen in Awanla und Serou	245
Tab. A5:	Messparzellen im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	245
Tab. A6:	Sediment-Fangkästen im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	246
Tab. A7:	Erosionsmessnägeln im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	246
Tab. A8:	Flächen für Erfassung des Mikroreliefs im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	247
Tab. A9:	Sediment-Fangkästen in Awanla und Serou	247
Tab. A10:	Bodenbiologische Versuche im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung	247
Tab. A11:	Bodenbiologische Versuche in Awanla und Serou	248

Tab. A12:	Bewertung von Bodendaten nach LANDON (1984)	248
Tab. A13:	Fertility Capability Classification System (FCC) (SANCHEZ et al. 1982)	249
Tab. A14:	FAO-Framework for Land Evaluation (FAO 1976, 1981)	250
Tab. A15:	Fragenkatalog für Interviews und Feldbegehung mit Bauern	251
Tab. A16:	Klassifikation der K-Faktoren nach BOLLINNE & ROSSEAU (1978)	253
Tab. A17:	Klassifikation der Aggregatstabilität nach LE BISSONNAIS (1996)	253
Tab. A18:	Analysendaten der Bodenprofile	254
Tab. A19:	Messung der Bodenerosion	270
Tab. A20:	Analysendaten der mit dem Oberflächenabfluss erodierten Substrate	279
Tab. A21:	Erosivität der Niederschläge in Doguè 1997 - 2002	283
Tab. A22:	Einteilung der Perioden für verschiedene Kulturen	289
Tab. A23:	Ausgewählte Abtragsmessungen für die Ermittlung des Relativen Bodenabtrags	289
Tab. A24:	Mittlere Jahres-R-Verteilung für die Bestimmung des C-Faktors	290
Tab. A25:	Vergleich der C-Faktoranteile verschiedener Kulturen	291
Tab. A26:	Elementgehalt und pH-Wert der für den Netzbeutel-Test verwendeten organischen Substanz	291
CD-R:	Beschreibung der im HVO untersuchten Böden (SOTER-Format)	

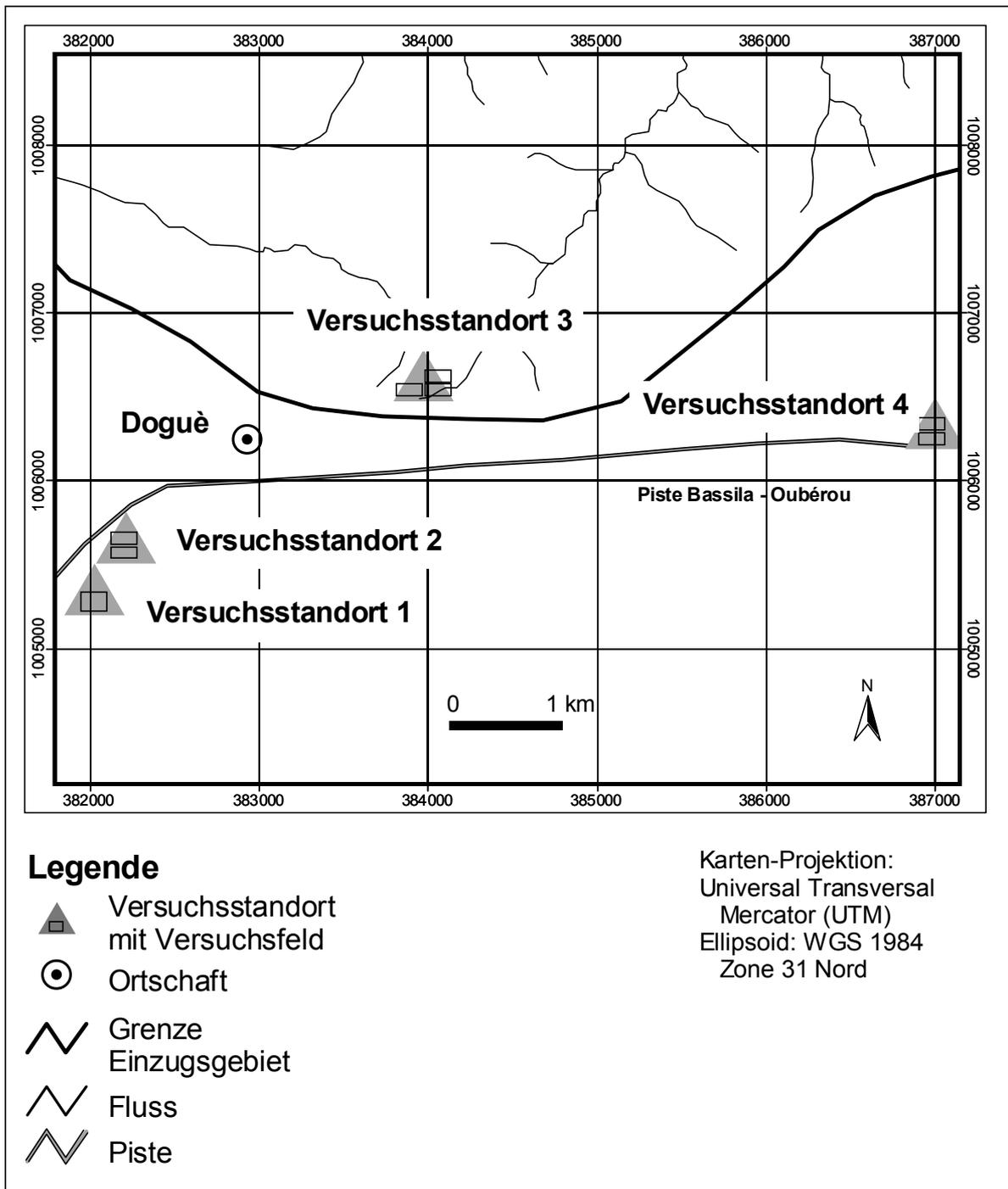


Abb. A1: Lage der Versuchstandorte mit den Versuchsfeldern bei Doguè.

2002

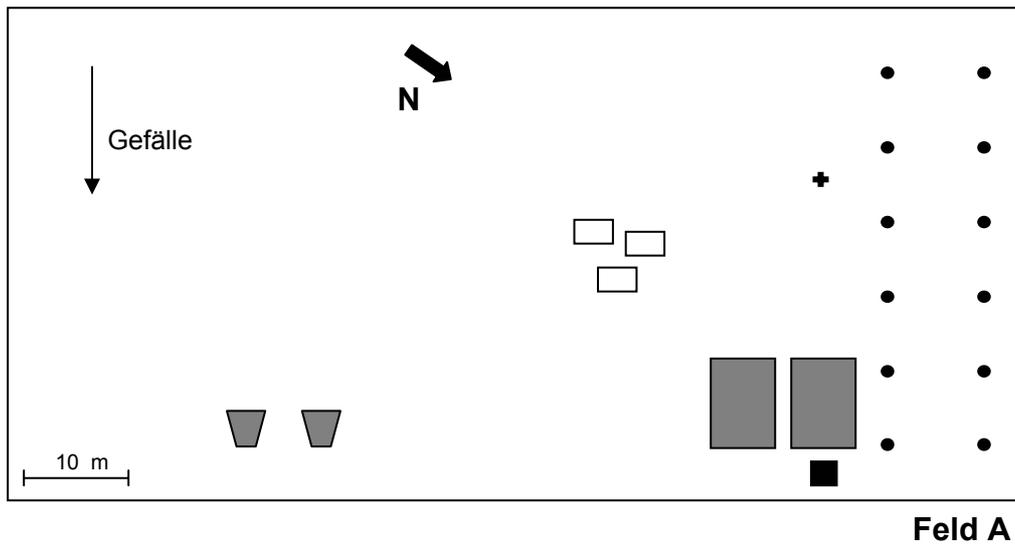
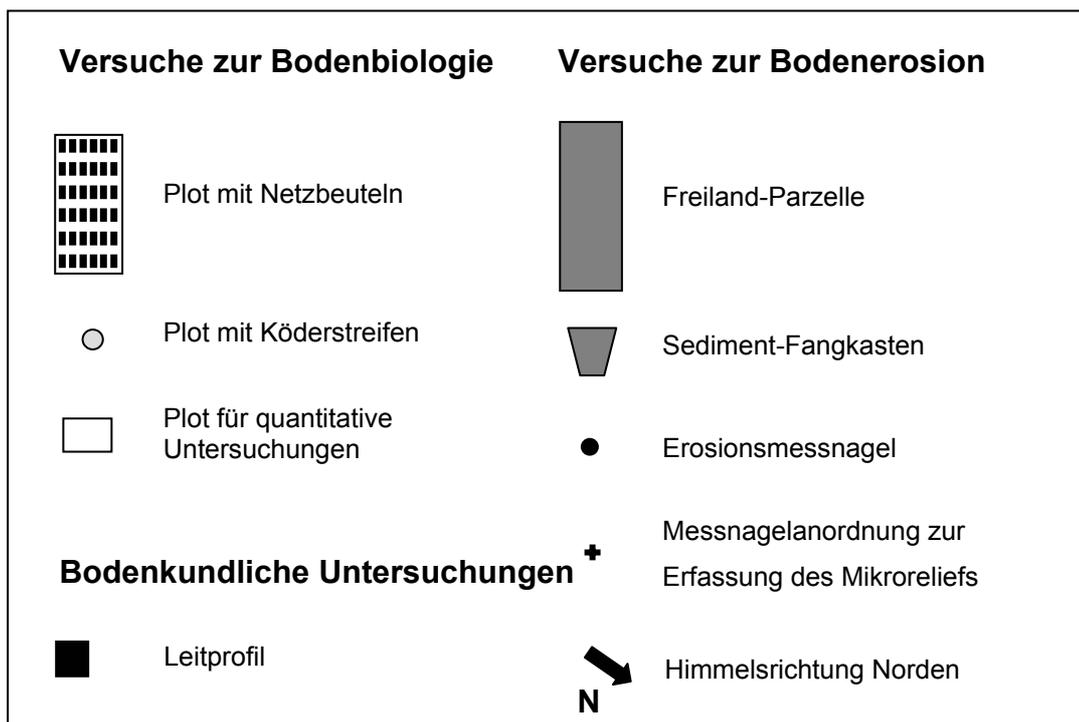
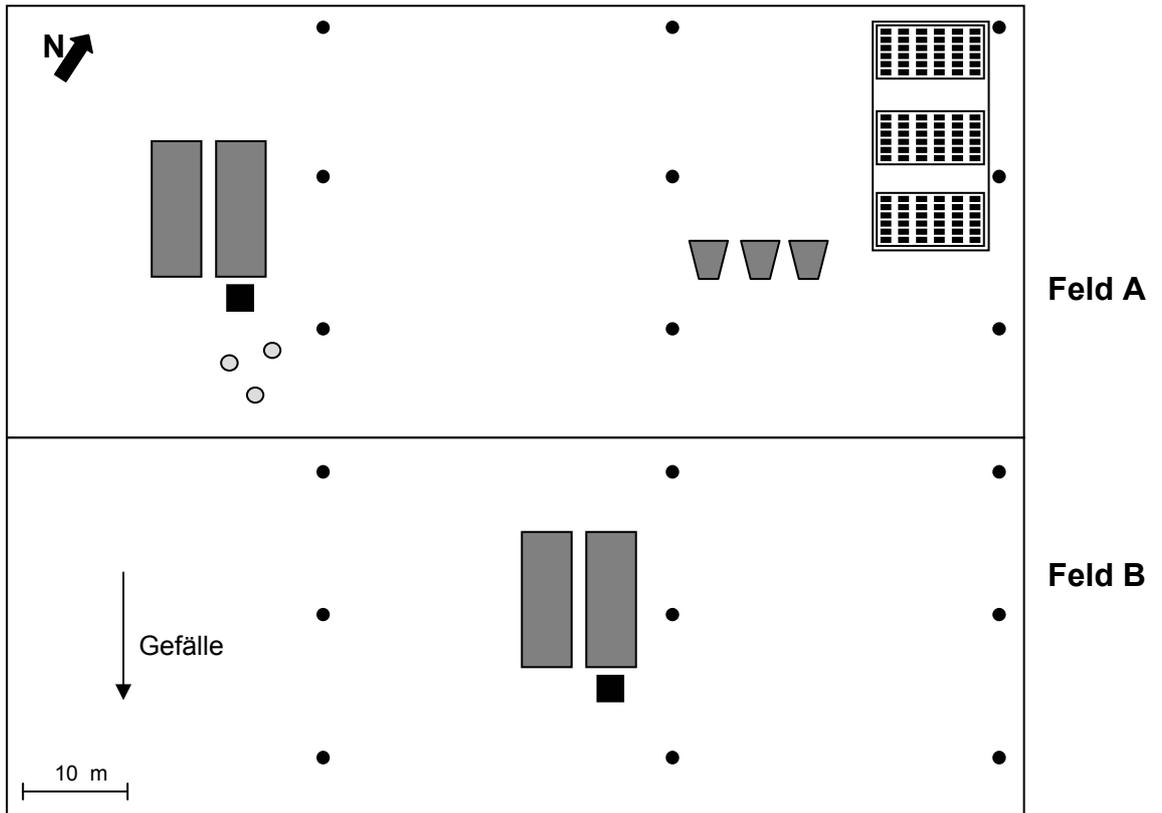


Abb. A2: Lage der Versuche an Standort 1 (Eigentümer Ochon).

**Legende**



2001



2002

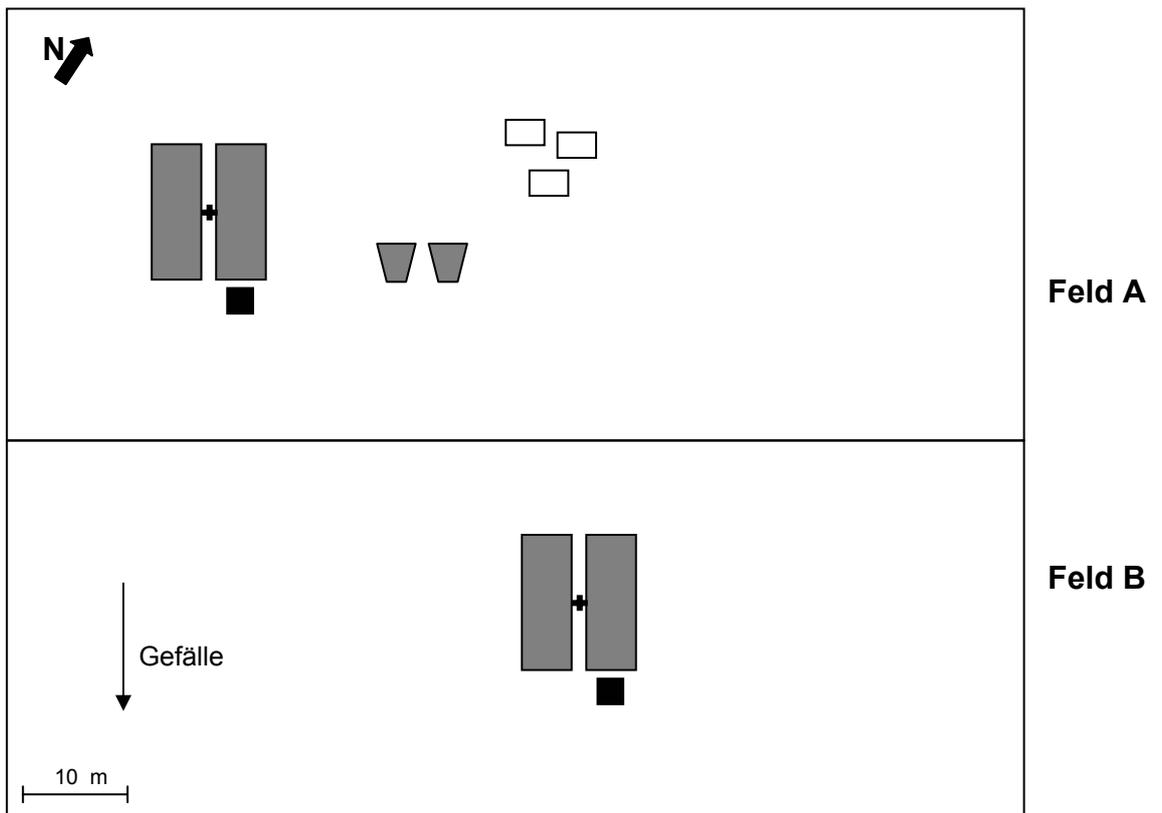
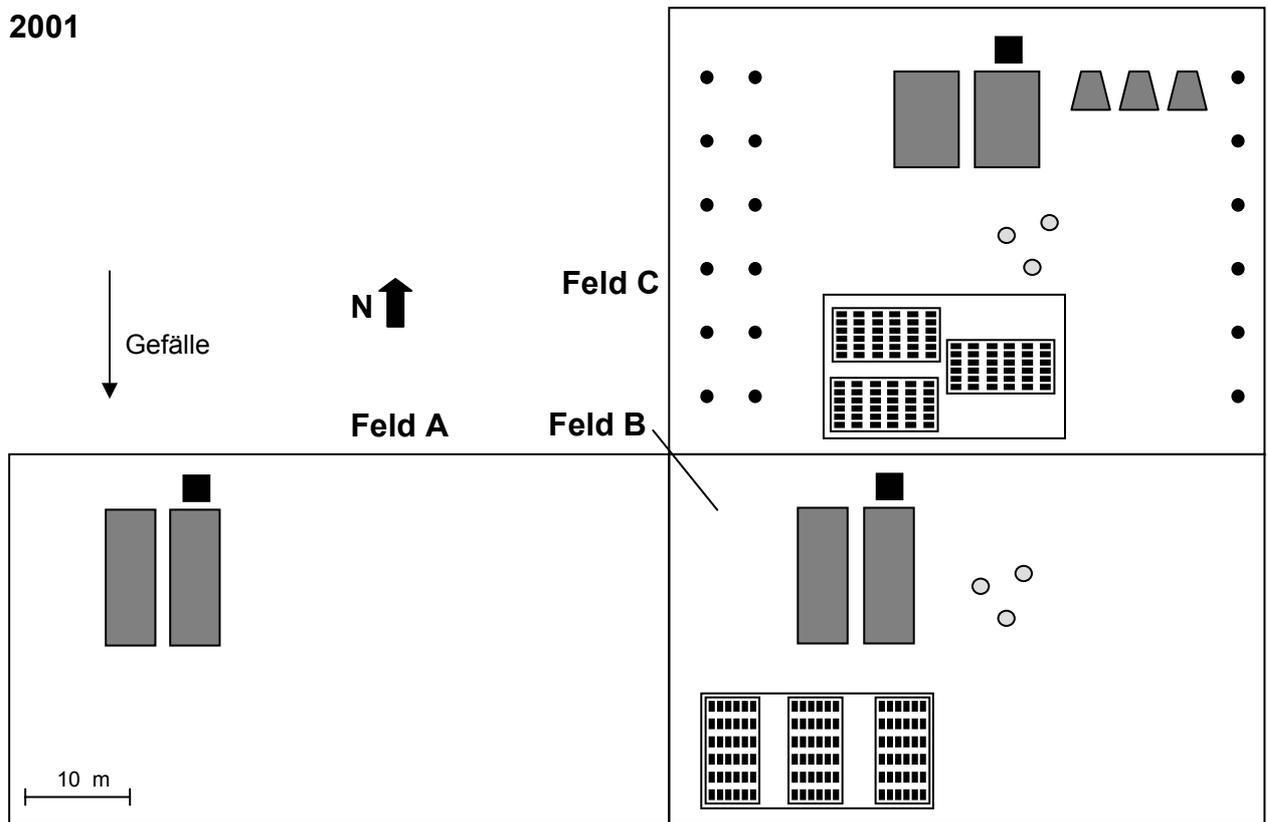


Abb. A3: Lage der Versuchsfelder an Standort 2 (Eigentümer Loukmann).

2001



2002

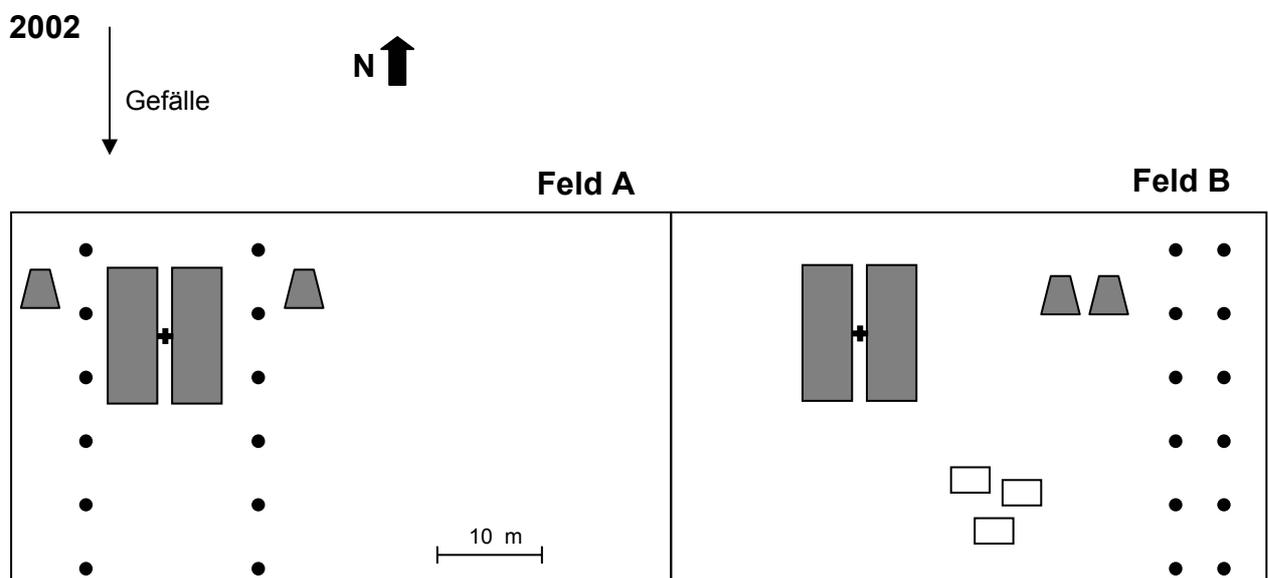
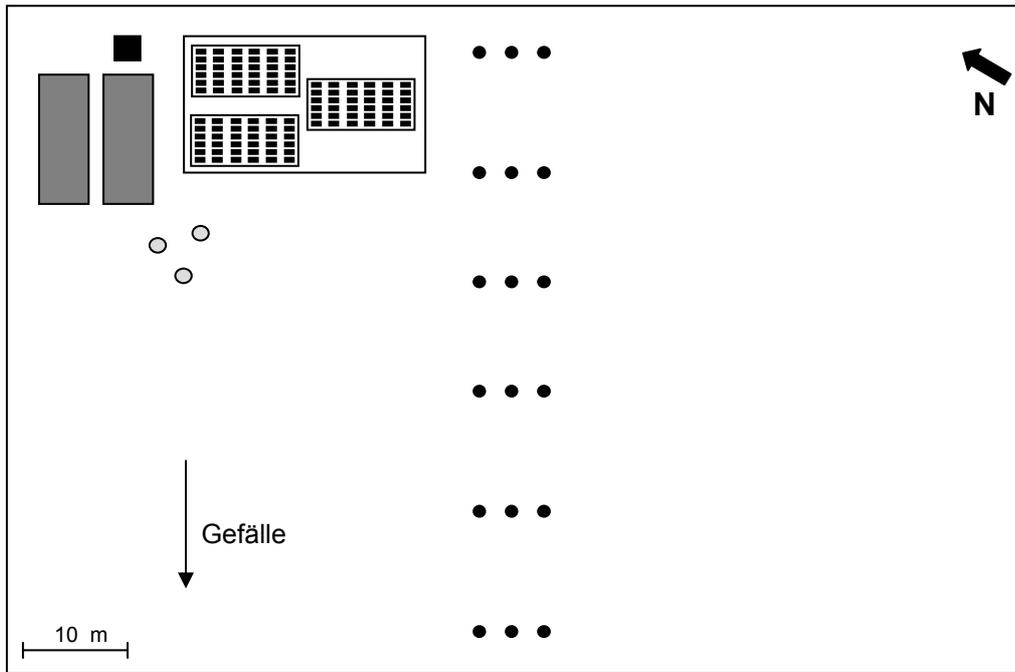


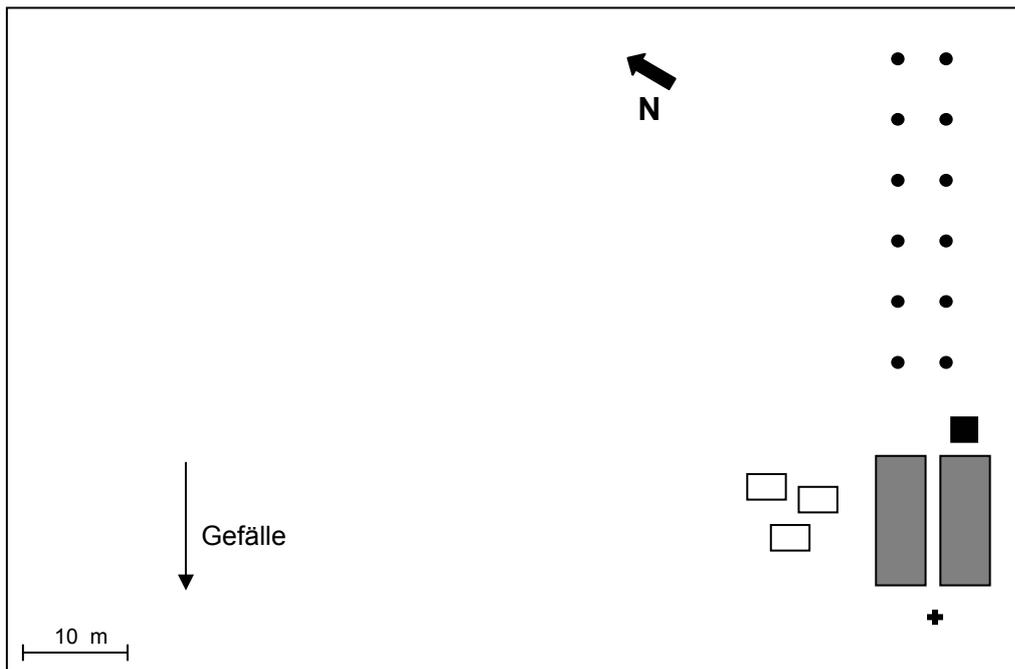
Abb. A4: Lage der Versuchsflächen an Standort 3 (Eigentümer Chabi).  
(Feld C wurde Ende 2001 aufgegeben und 2002 durch Standort 1 ersetzt).

2001



Feld A

2002



Feld B

Abb. A5: Lage der Versuchsflächen an Standort 4 (Eigentümer Seriki).  
(Feld A wurde Ende 2001 aufgegeben und 2002 durch Feld B ersetzt).

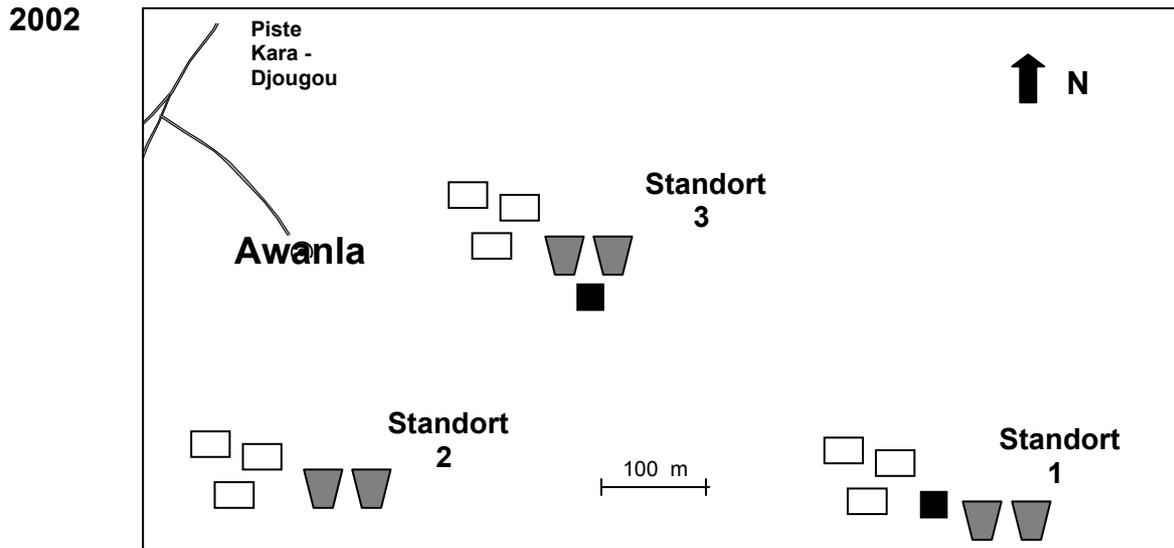


Abb. A6: Lage der Versuchsstandorte bei Awanla.

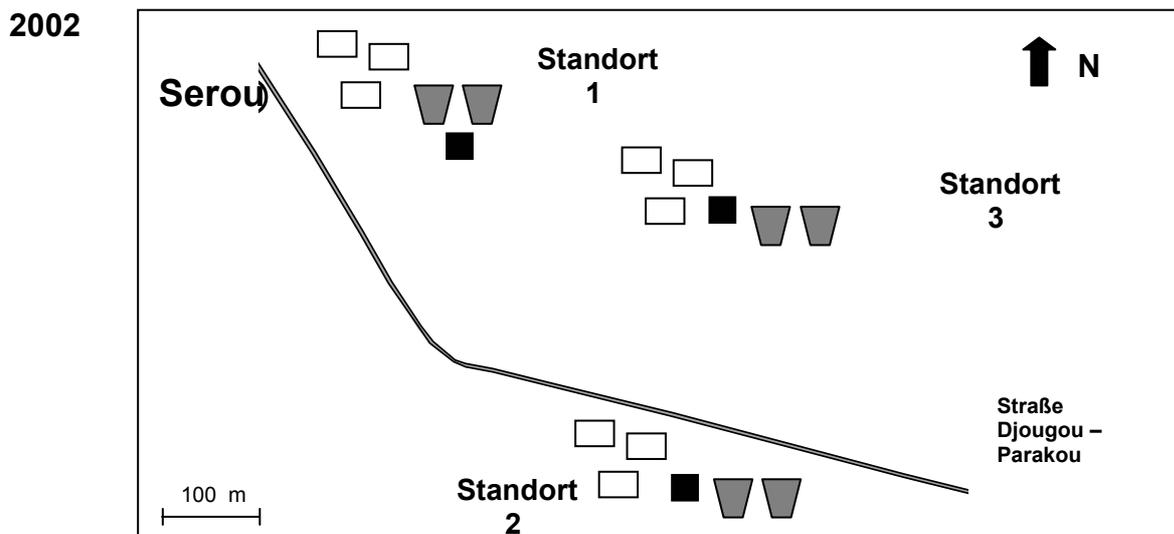


Abb. A7: Lage der Versuchsstandorte bei Serou.



**Mittelhang:**  
Endoskeleti-Albic Acrisol



**Unterhang:**  
Albi-Petric Plinthosol



**Bas-Fonds-Rand:**  
Eutri-Arenic Gleysol



**Bas-Fonds-Zentrum:**  
Orthidystic Gleysol



**Fluviale Tiefenlinie:**  
Orthieutri-Arenic Fluvisol



**Inselberg-Pediment:**  
Rhodic Acrisol

A8: Typische Böden im Aguima-Einzugsgebiet (Benennung nach WRB).

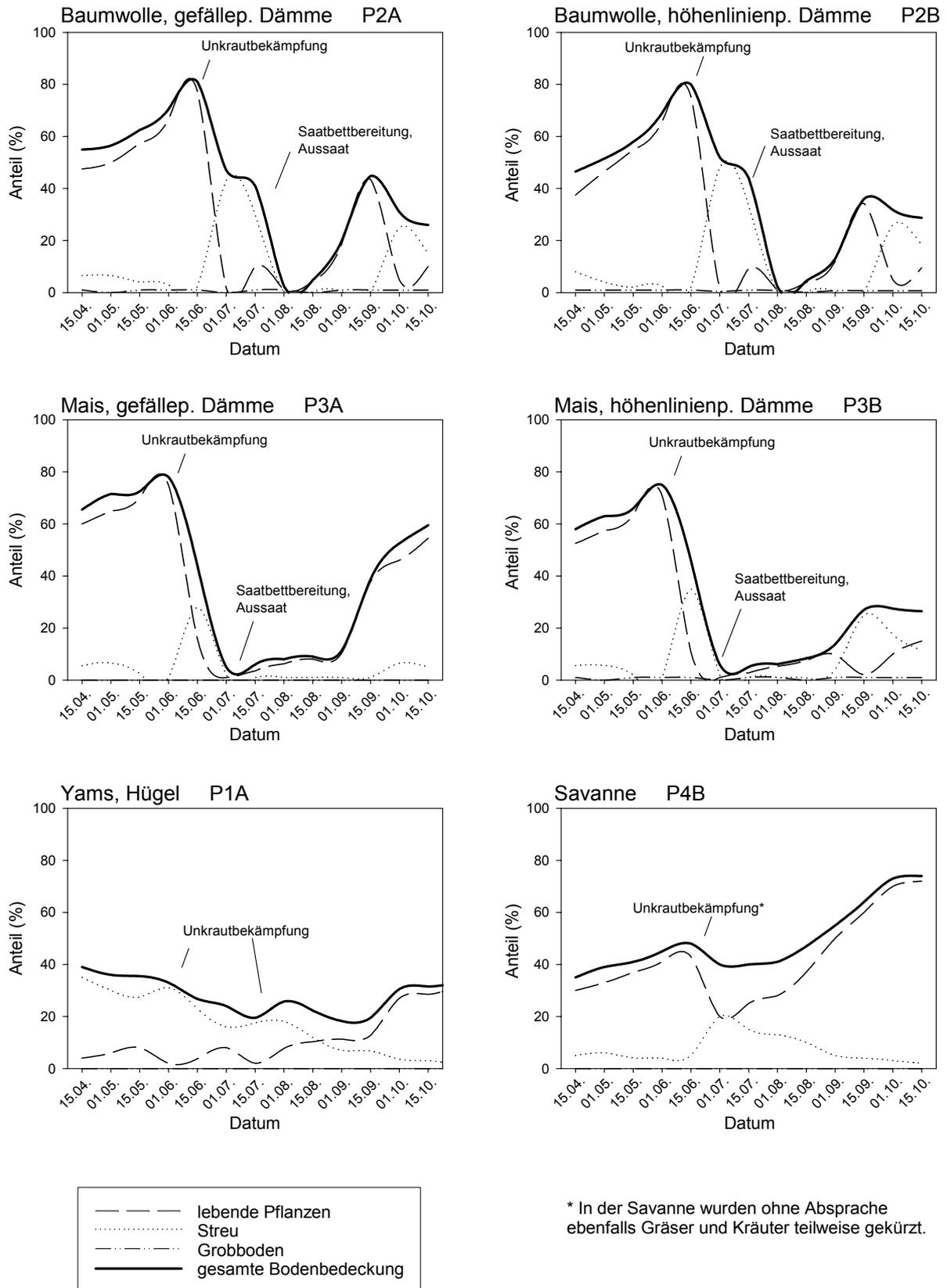


Abb. A9: Bodenbedeckung verschiedener Kultur- und Savannenflächen im Verlauf der Regenzeit 2002.

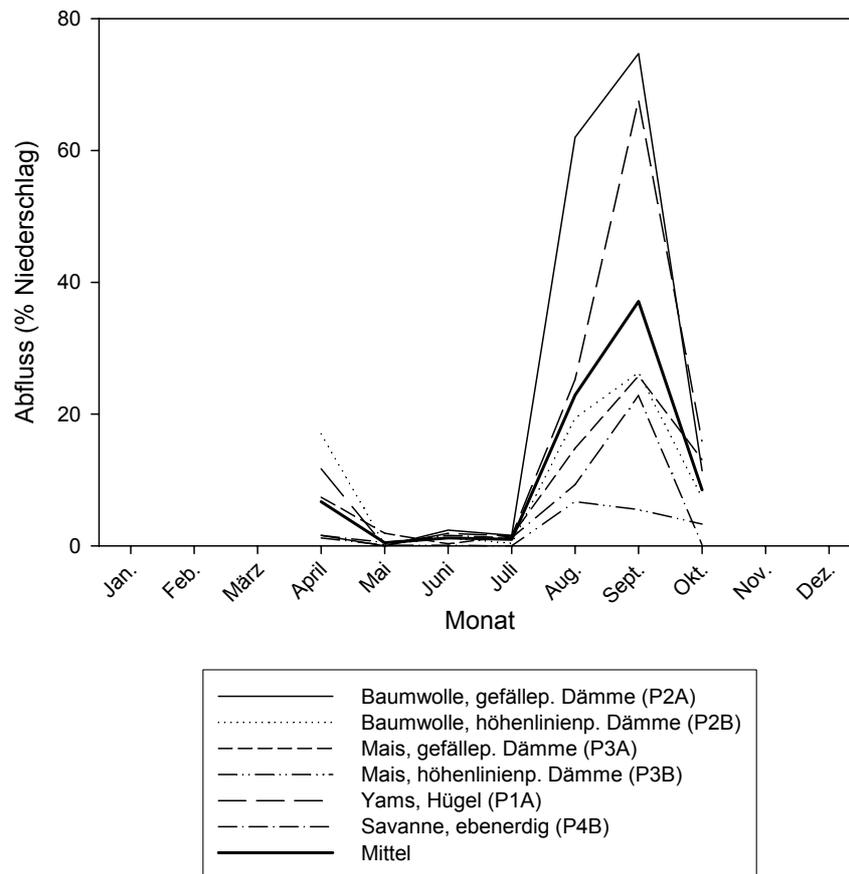
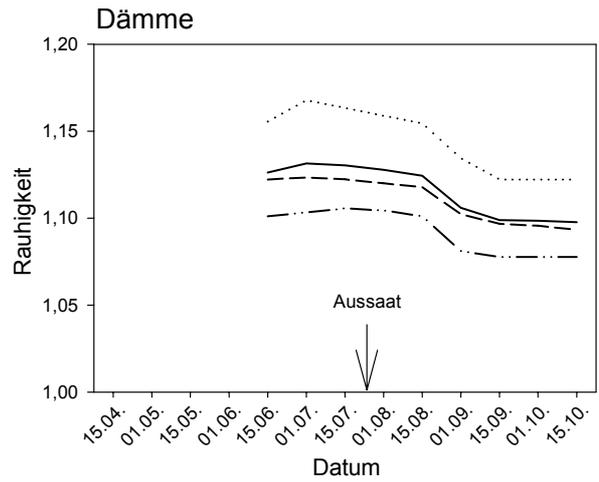
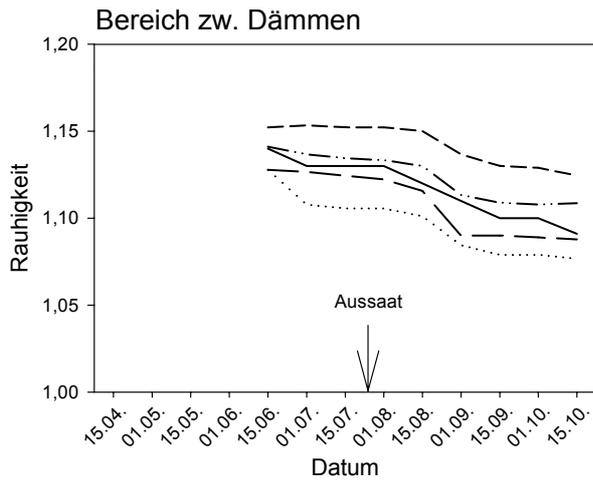
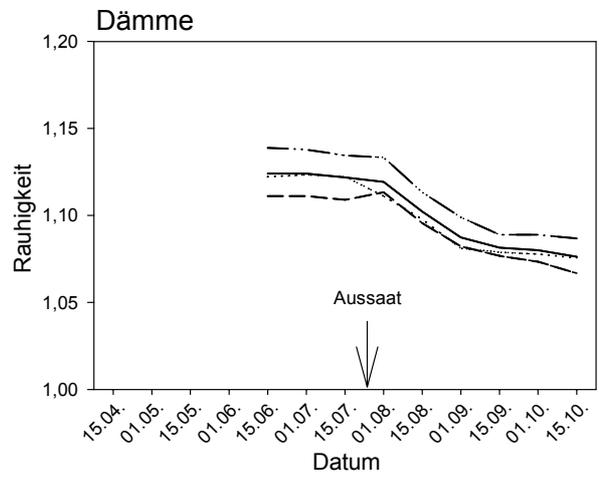
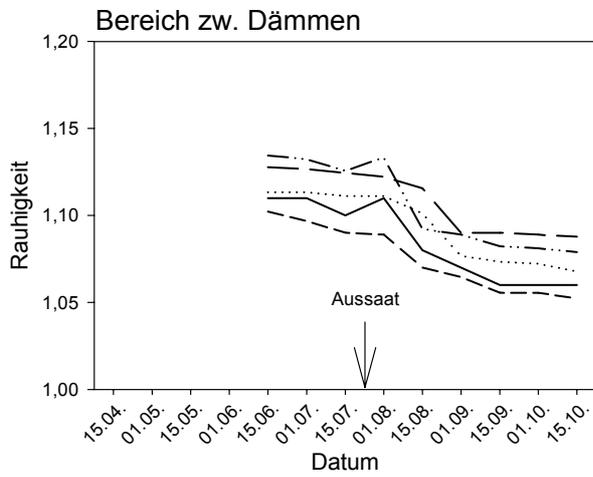


Abb. A10: Oberflächenabfluss (Anteil des Niederschlags) von Flächen unterschiedlicher Nutzung im Verlauf des Jahres 2002 (Doguè).

Baumwolle, gefällep. Dämme R2A



Baumwolle, höhenlinienp. Dämme R2B



Mais, gefällep. Dämme R3A

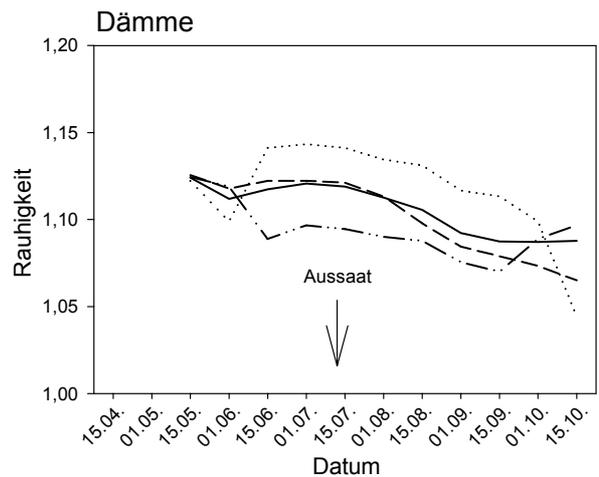
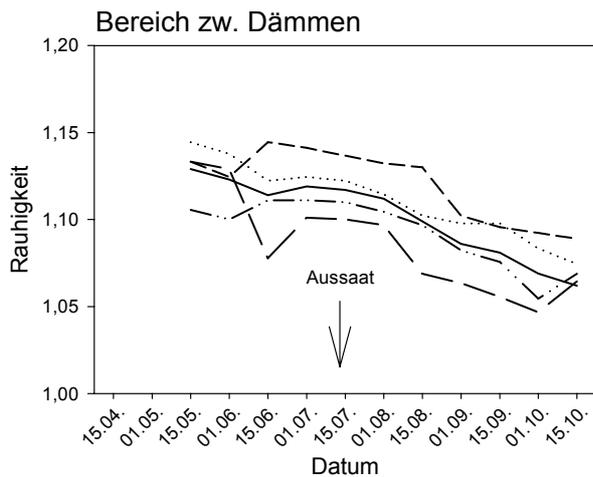
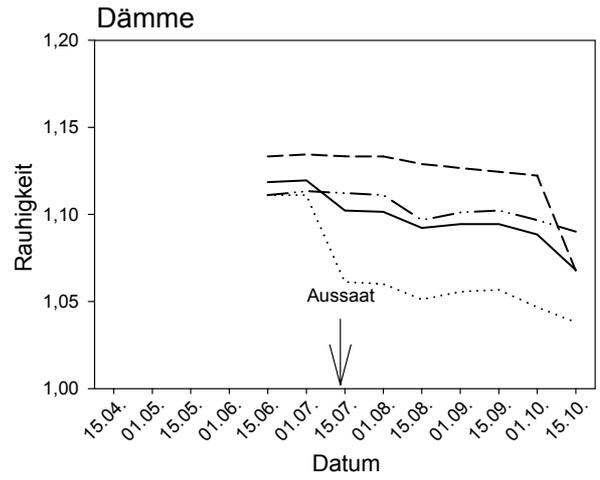
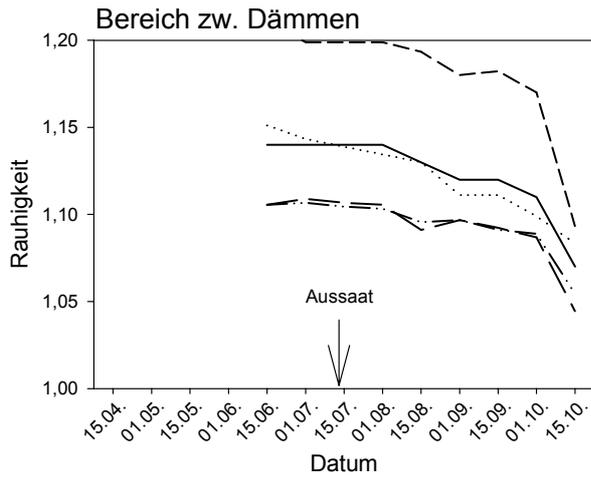
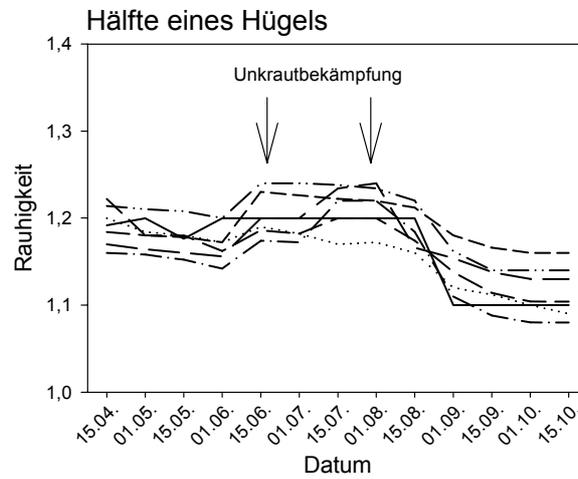


Abb. A11: Veränderung der Oberflächenrauigkeit auf Flächen unterschiedlicher Nutzung im Verlauf der Regenzeit 2002.

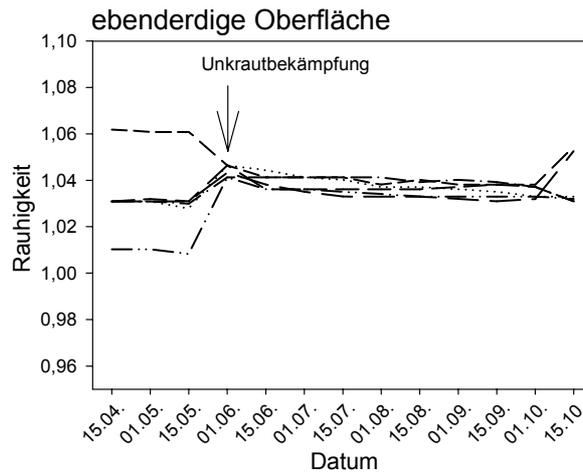
Mais, höhenlinienp. Dämme R3B



Yams R1A



Savanne R4B



— Mittelwert

Abb. A11: Fortsetzung

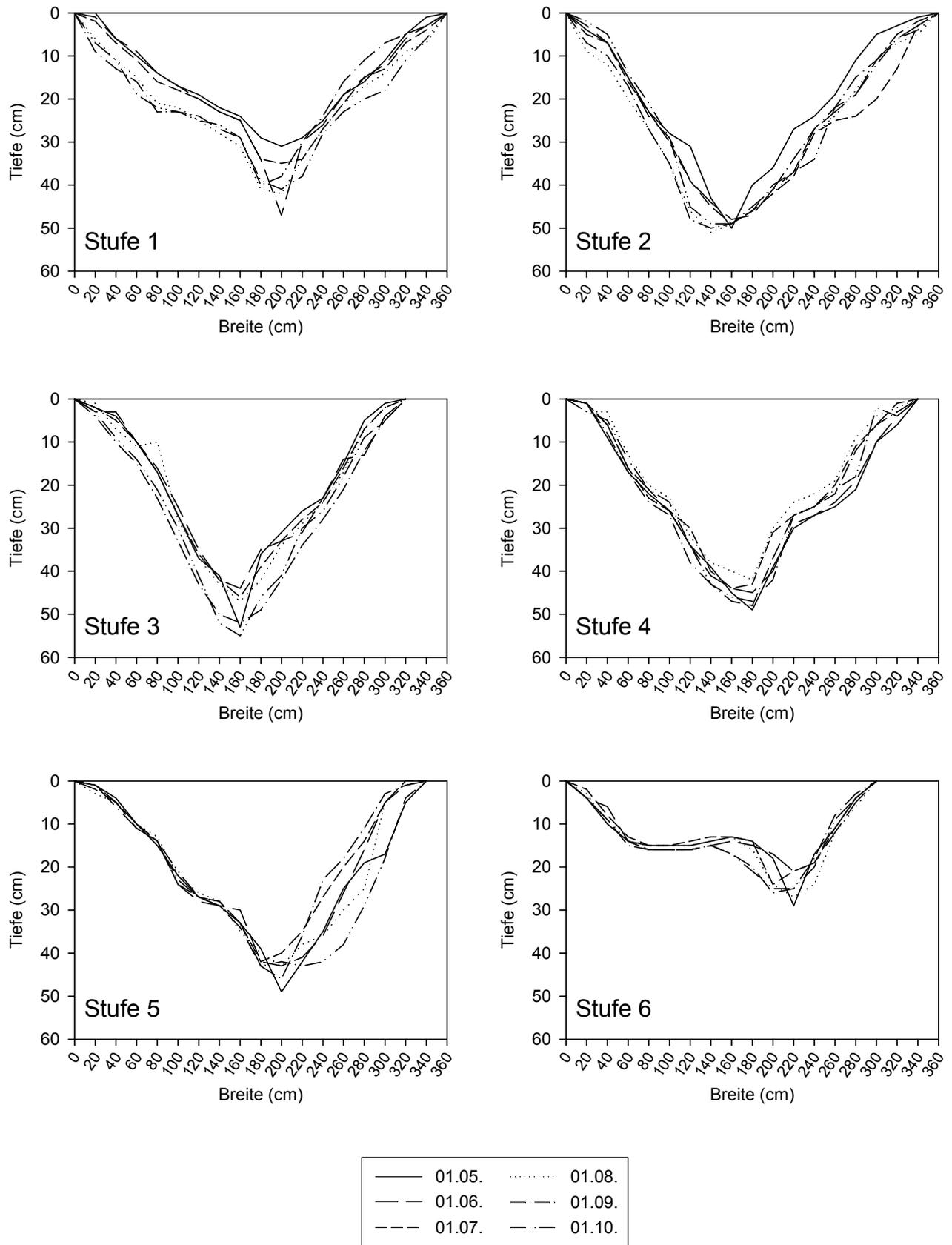


Abb. A12: Querschnittsentwicklung eines Trampelpfades im Verlauf der Regenzeit 2002.

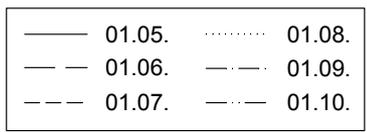
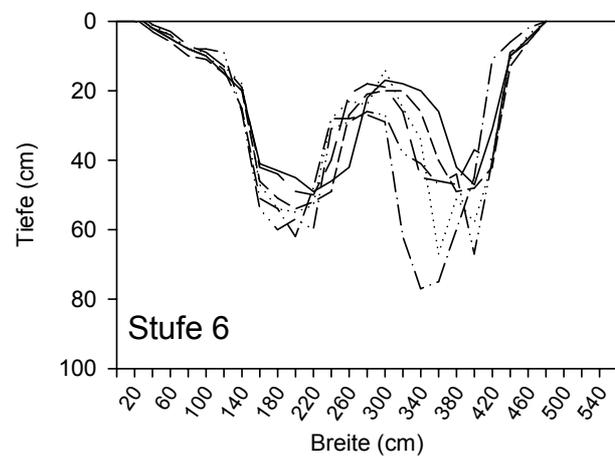
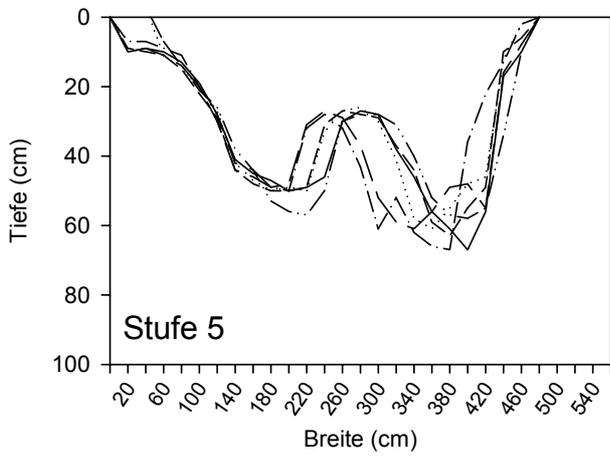
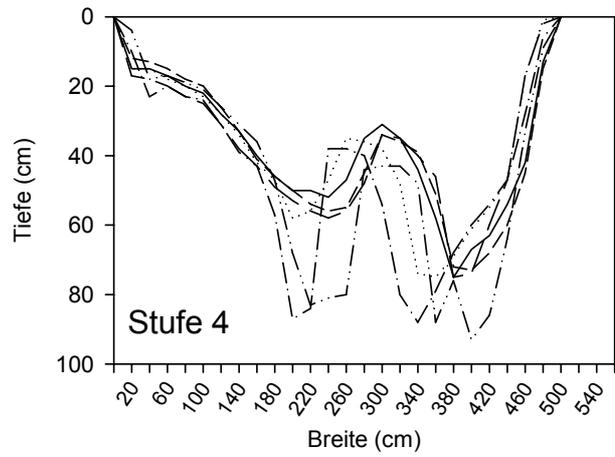
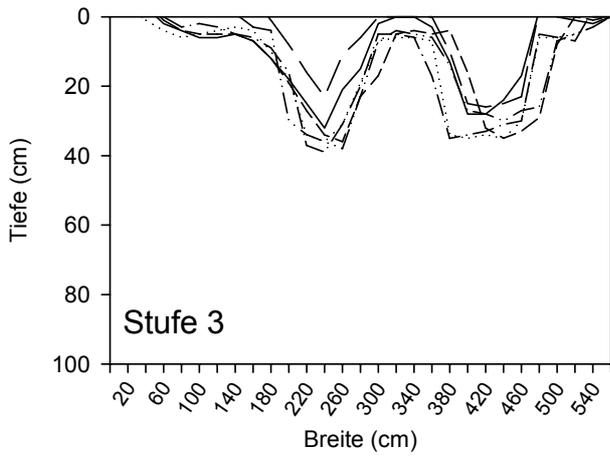
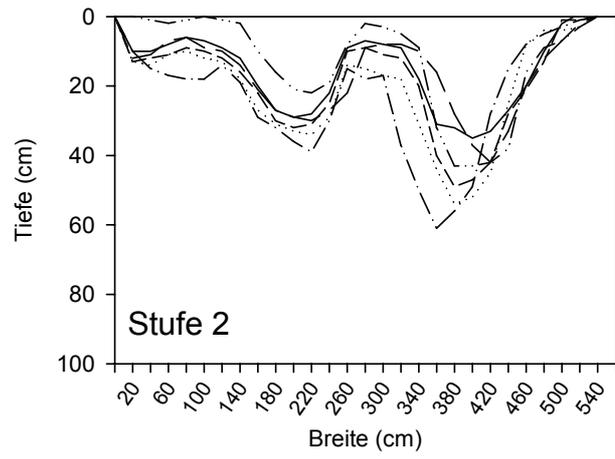
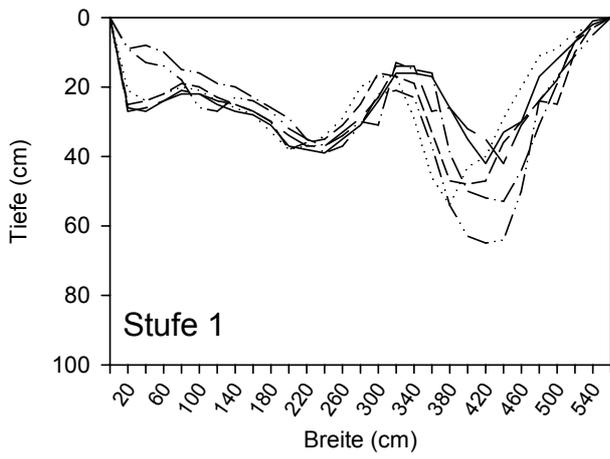
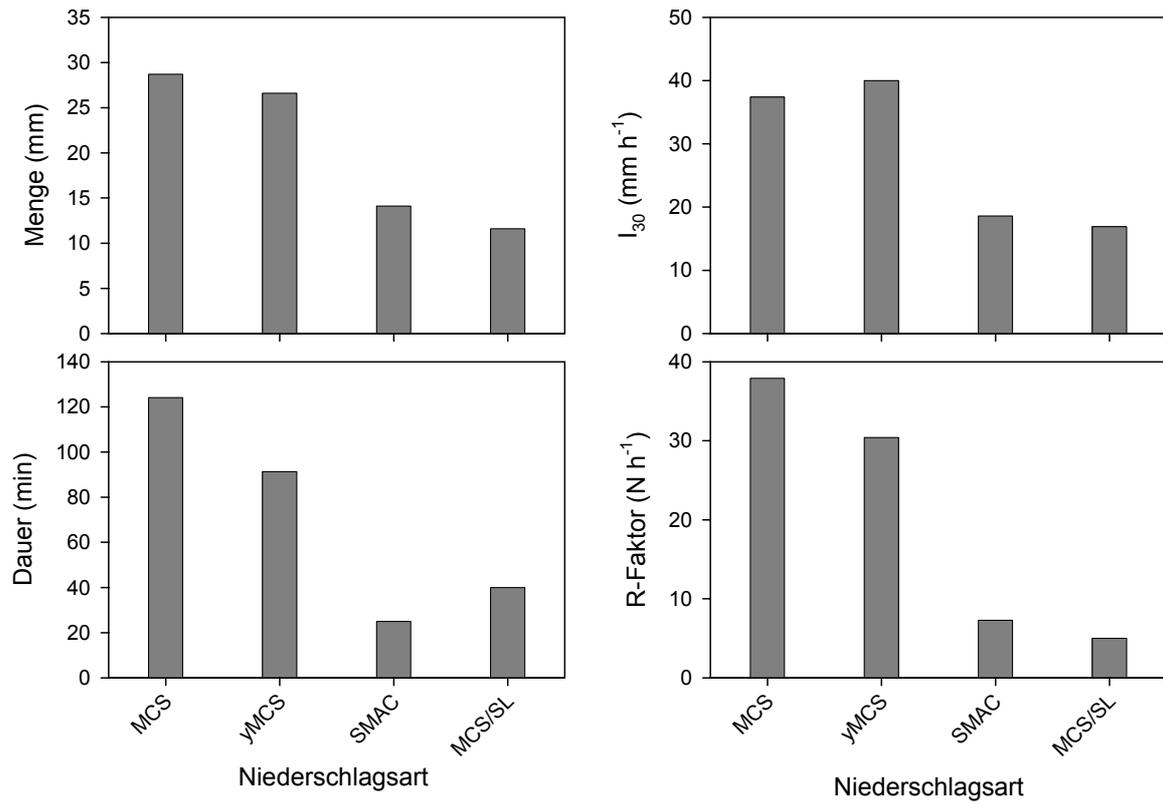


Abb. A13: Querschnittsentwicklung einer LKW-Piste im Verlauf der Regenzeit 2002.



MCS = classical squall system (n = 17)  
yMCS = young classical squall system (n = 8)  
SMAC = small multicell afternoon convection (n = 2)  
MCS/SL = MCS/SL system associated with upperlevel westerlies (n = 4)

Abb. A14: Charakteristika verschiedener Niederschlagsarten im HVO (2002).

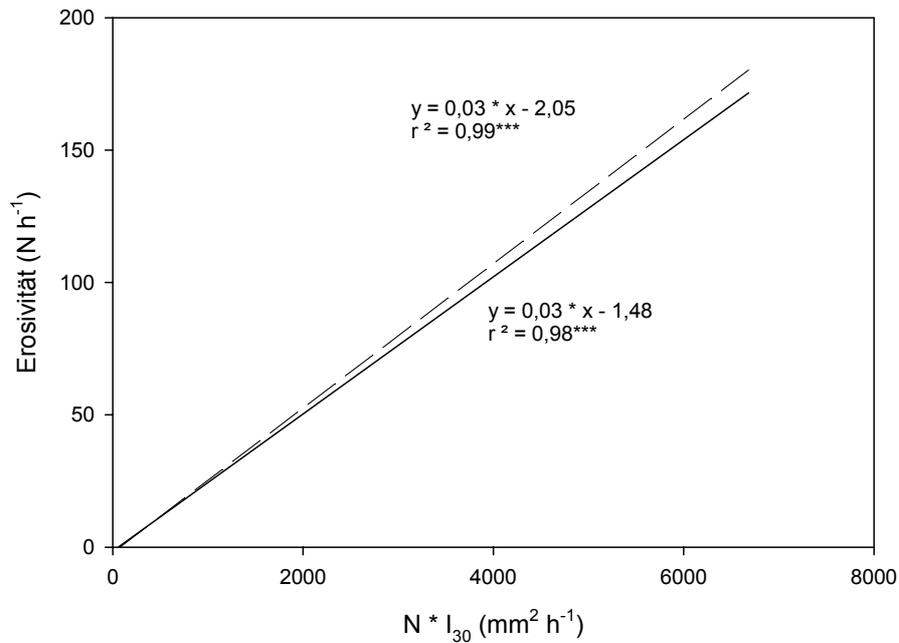


Abb. A15: Ableitung der Erosivität aus der Niederschlagsmenge und der max. 30-Minuten-Intensität nach GALABERT & MILLOGO (1972) (gestrichelte Gerade) und WISCHMEIER & SMITH (1978) (durchgezogene Gerade) (Aguima-Einzugsgebiet 1997 - 2002,  $n = 259$ ).

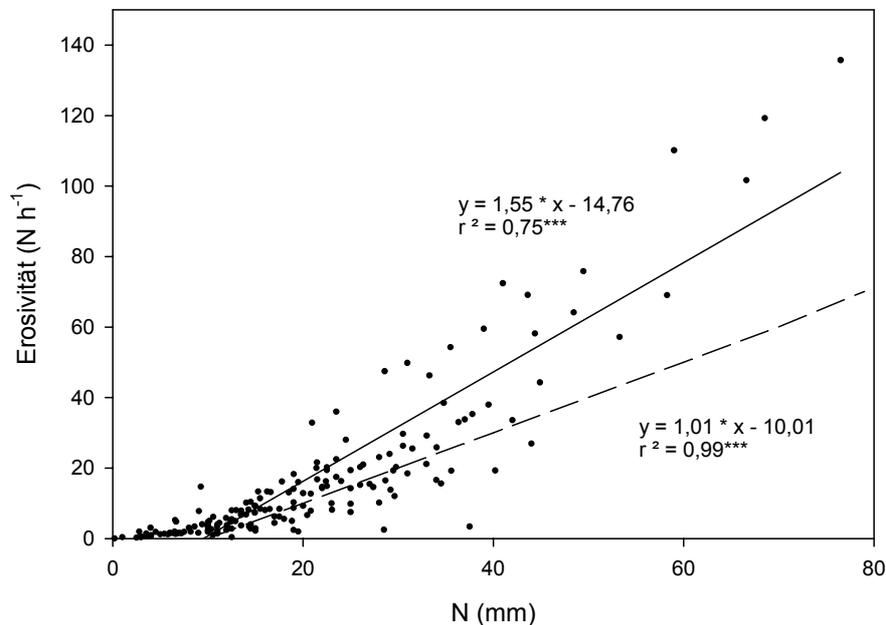


Abb. A16: Ableitung der Erosivität aus der Niederschlagsmenge nach ROOSE (1977c) (gestrichelte Gerade) und WISCHMEIER & SMITH (1978) (durchgezogene Gerade) (Aguima-Einzugsgebiet 1997 - 2002,  $n = 178$ ).

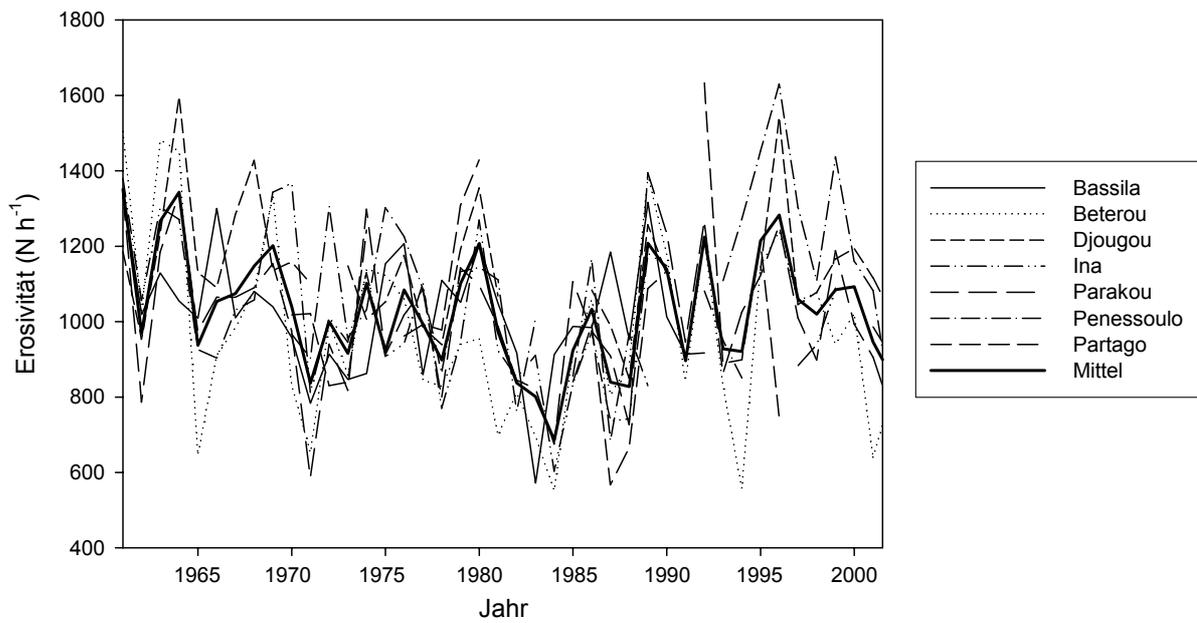
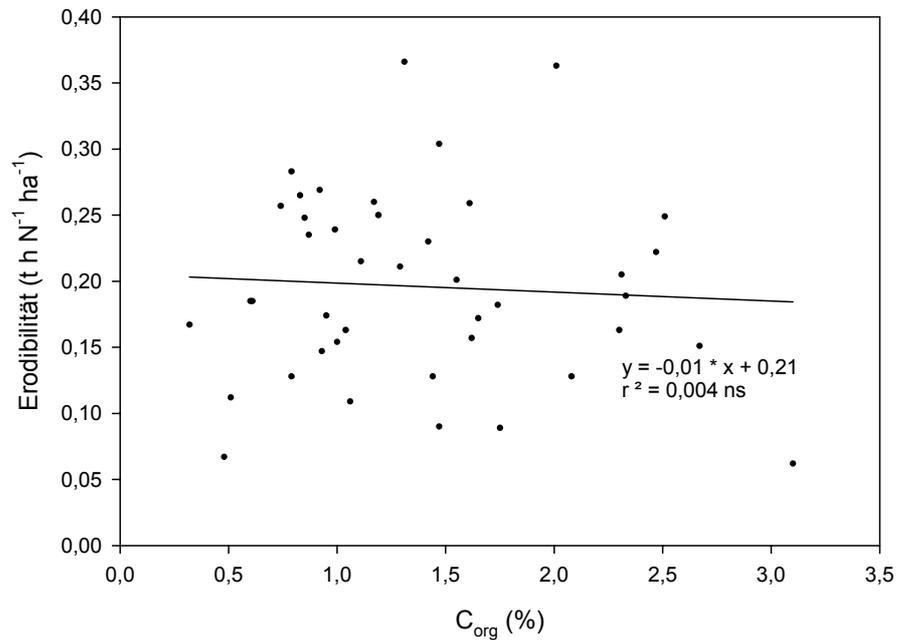


Abb. A17: Erosivität der Niederschläge in verschiedenen Orten des HVO seit 1960.

Abb. A18: Abnahme der Erodibilität des Bodens mit zunehmendem  $C_{\text{org}}$ -Gehalt.

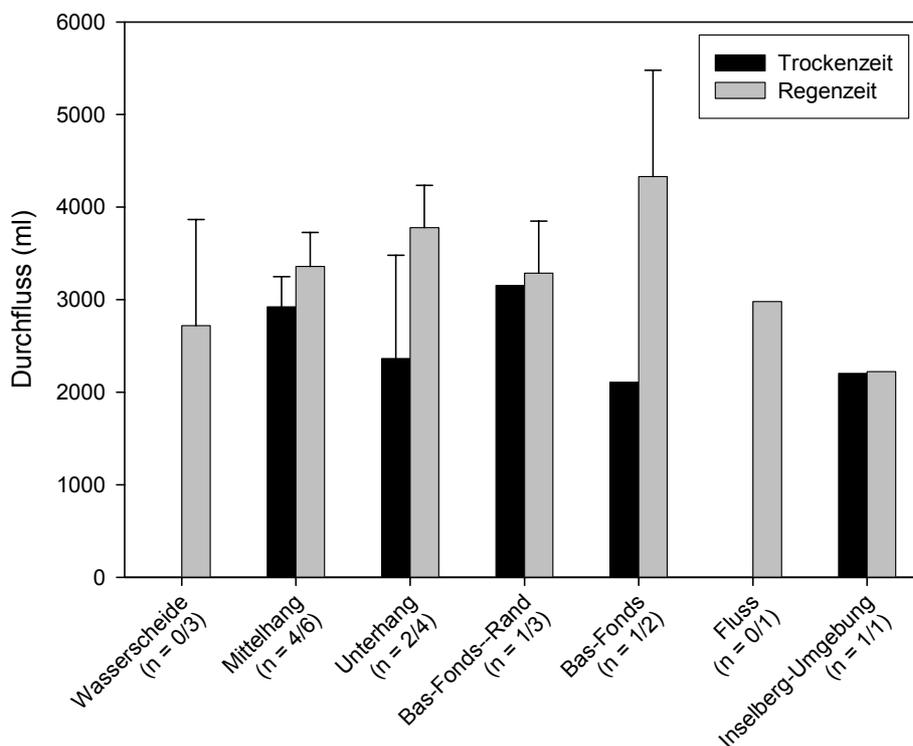


Abb. A19: Perkolationsstabilität der Aggregate von Böden verschiedener Geländepositionen in der Trocken- und Regenzeit 2002.

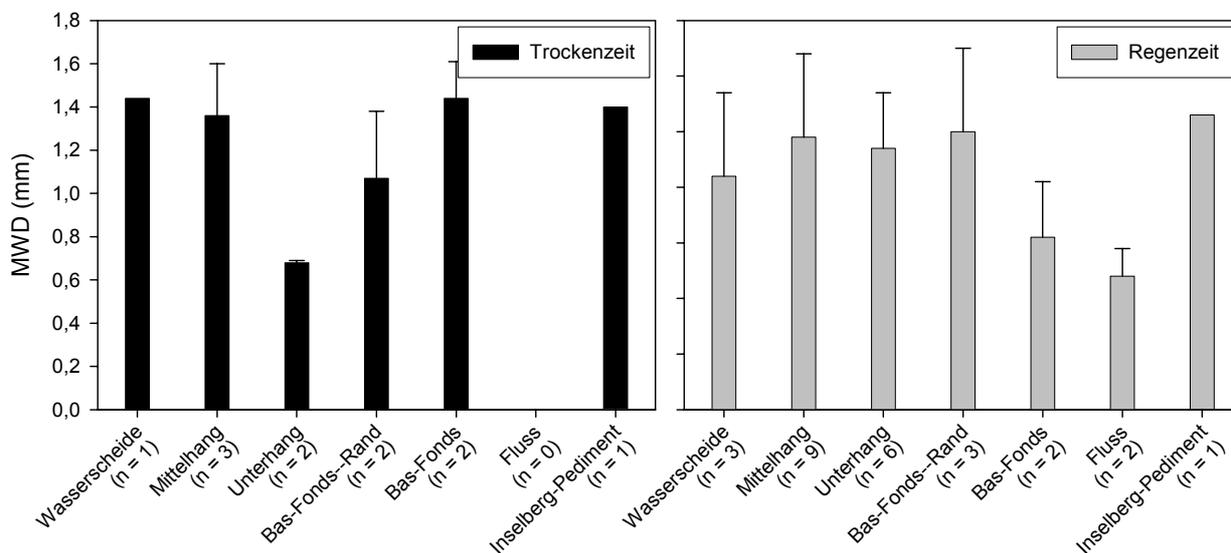


Abb. A20: Stabilität der Aggregate von Böden verschiedener Geländepositionen in der Trocken- und Regenzeit 2002 nach LE BISSONNAIS (1996).

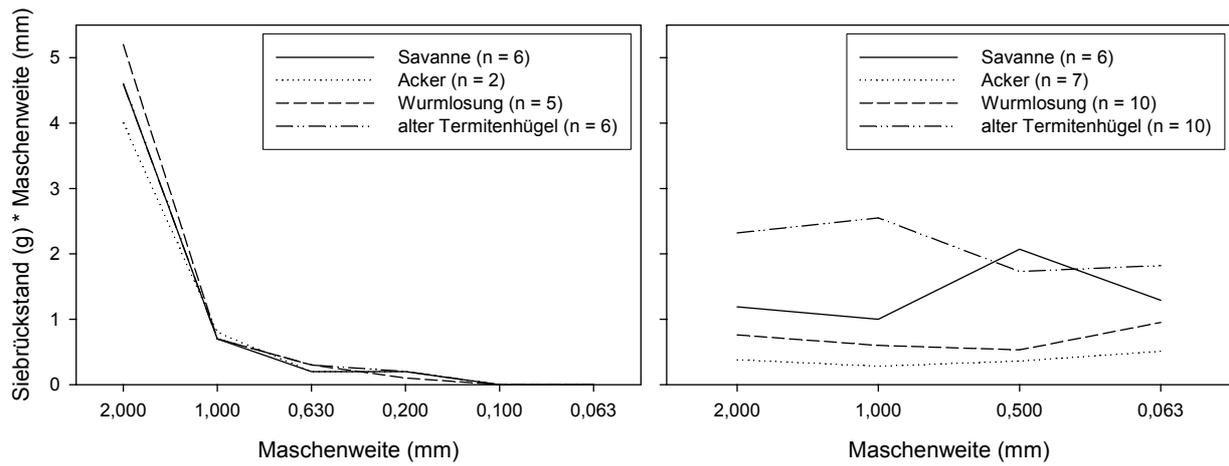


Abb. A21: Anteil der Fragmente nach Aggregatzerstörung in der Trocken- (links) und Regenzeit (rechts).

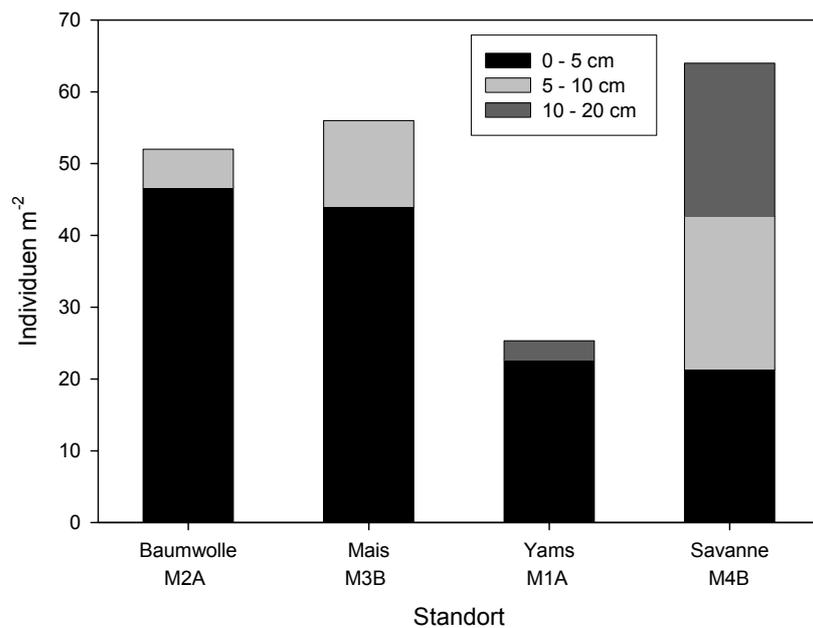


Abb. A22: Anzahl und Größenverteilung von Lumbriciden im Oberboden des Ah- bzw. Ap-Horizontes unterschiedlich genutzter Flächen in der Regenzeit 2002.

**Doguè**Savanne  
(M4B)

5	7	5	6	2
5	5	6	5	6
3	6	5	7	3
6	9	4	3	4
5	4	3	6	5

7	8	8	6	6
6	8	6	6	7
8	6	6	7	4
7	10	5	4	3
8	6	6	6	3

5	4	7	5	7
3	5	4	6	8
6	4	6	7	9
6	6	4	5	7
4	3	6	7	7

Baumwolle  
(M2A)




Mais  
(M3B)


		1	2	

				1
				1
1	2			

Yams  
(M1A)




Abb. A23: Räumliche Verteilung der Lumbriciden-Losung an der Oberfläche des Ah- bzw. Ap-Horizontes der Untersuchungsflächen (September 2002) (Zählrahmen 50 \* 50 cm).

**Serou**

Baumwolle  
(M1Se)

	3			
		1		

	2			


Mais

(M2Se)


		3	1	
		1		
	1		2	
				1

1		2		1
			2	2
	3			
1		2		
	3	1	2	

Yams

(M3Se)

3	2	1	2	
3	1	1	2	3
1	1	2	3	3
		1	3	2
2		3	2	2

1	2	1	1	1
2	2	3	1	2
1	3	2		1
1	2	2	1	1
2	3	2	2	1

2	2	2	1	1
2	3	3	3	1
		2	2	1
	1	3	2	3
	1	2	2	1

**Awanla**

Baumwolle  
(M1Aw)

		2	1	
		1		1

		2		
		2	1	
		1		

		1		
			1	

Mais

(M2Aw)

	1		1	
				1

			1	
	2			1
	1			

			1	
	1			
	1	1		1
				1

Yams

(M3Aw)

1				
	1		1	
			2	
	3	1		
	1			

				1
		1		
	1	2		
	2	1	2	3
	1			

		1	1	
	1	2		
	2		1	2
				1

Abb. A23: Fortsetzung

**Doguè**Savanne  
(M4B)

7	3	1		
4	1	1		4
5	3	4		1
		1	1	5
		2		1

4	3			
4	4	1		3
1		3	2	3
		7		3
		2	2	2

4	2	4		
4	8			3
1			3	
2	2		3	1
5	2	3	6	2

Baumwolle  
(M2A)

	2			
1	1			



Mais  
(M3B)

1				
	1			
			1	

4				
4	2	1		
3	7		2	
	1	1	1	2
4	2	2		1

		1		
	2			
1	1			

Yams  
(M1A)


	1			
		1	1	

	1		2	

Abb. A24: Räumliche Verteilung von Bioporen an der Oberfläche des Ah- bzw. Ap-Horizontes der Untersuchungsflächen (September 2002) (Zählrahmen 50 \* 50 cm).

**Serou**

Baumwolle  
(M1Se)

				2



Mais

(M2Se)


	1	1		
1				
			1	
			1	

	1		1	
			2	

Yams

(M3Se)

1	1	1	1	
	1			
	1	1	1	
1		1		
1		2	1	

		1		
1	1			1
			1	
		1		

1			1	
	1		1	
	1		1	

**Awanla**

Baumwolle  
(M1Aw)

		2		

		1		
			1	

			1	
		1	1	

Mais

(M2Aw)

1				
		2		

				1
			1	
		1		

			1	
		1	2	

Yams

(M3Se)




Abb. A24: Fortsetzung

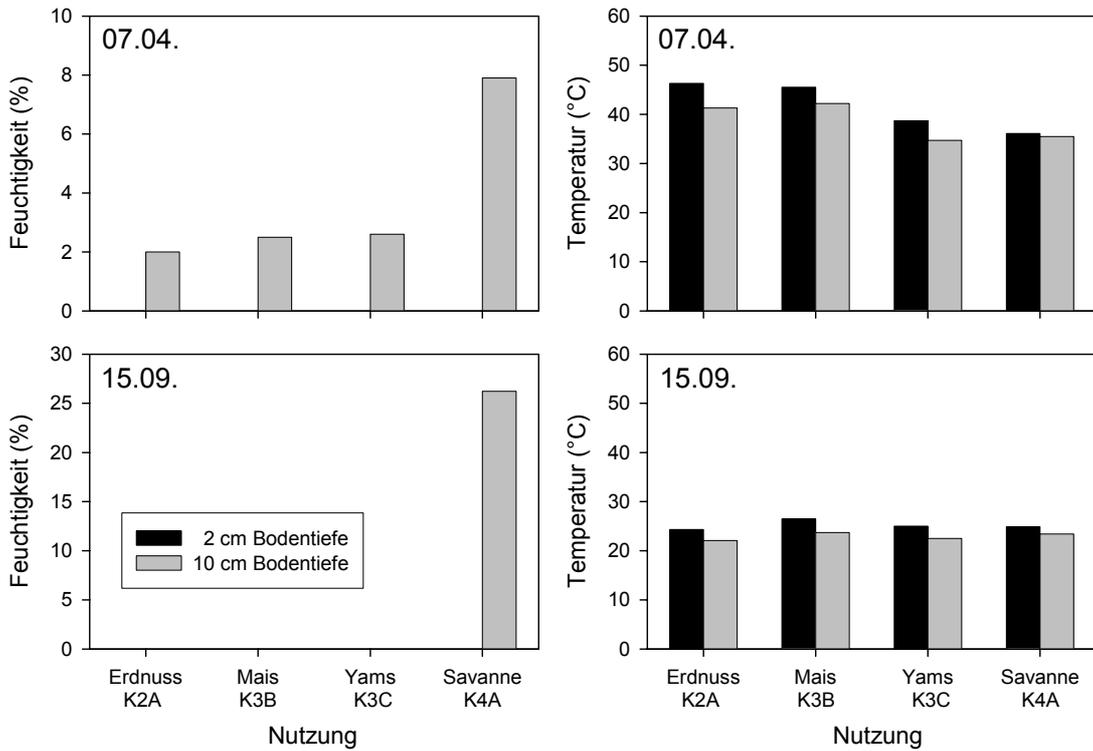


Abb. A25: Temperatur und Feuchtigkeit in 2 bzw. 10 cm Bodentiefe auf Flächen unterschiedlicher Nutzung in der Trocken- und Regenzeit 2001. (Vom 15.09.2001 liegen nur Daten aus der Savanne vor).

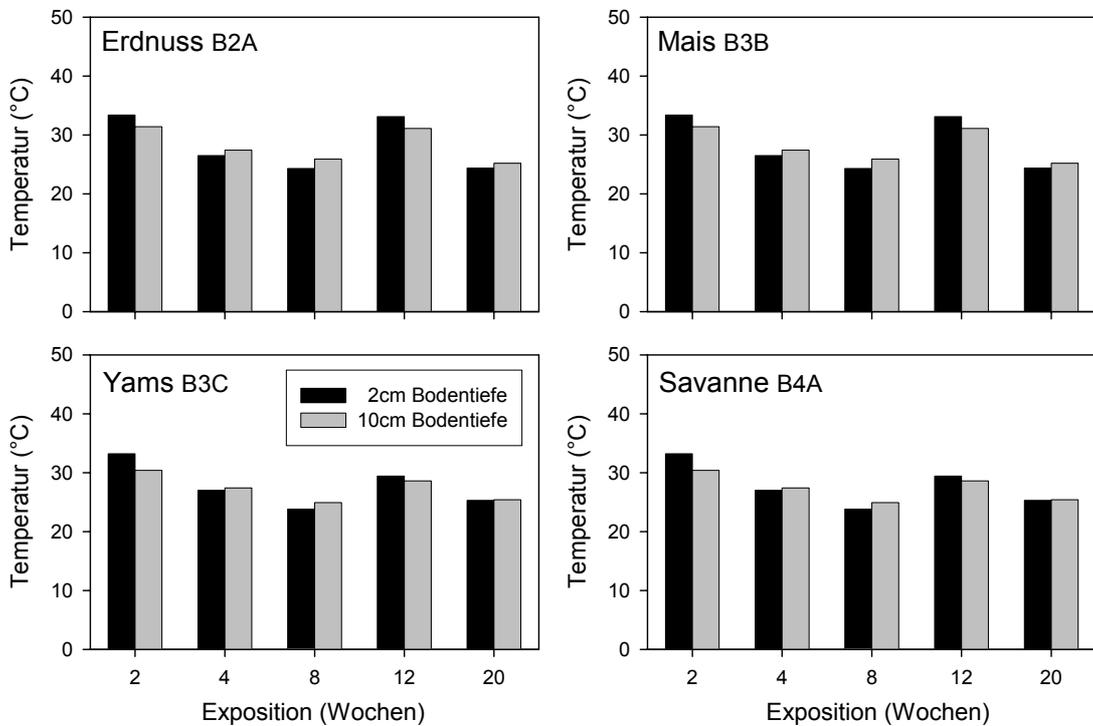


Abb. A26: Temperatur in 2 bzw. 10 cm Bodentiefe auf Flächen unterschiedlicher Nutzung an den Entnahmetermi- nen der Netzbeutel im Jahr 2001. (Die Bodenfeuchtigkeit wurde 2001 nicht erfasst).

Tab. A1: Profile im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung

<b>Profilnummer</b>	<b>Rechtswert</b>	<b>Hochwert</b>	<b>Geländeposition</b>	<b>Nutzung</b>
1	378992	1010836	Kuppe	Savanne
2	379420	1008937	Kuppe	Savanne
3	379710	1008664	Kuppe	Savanne
4	386982	1006337	Oberhang	Savanne
5	380417	1009919	Mittelhang	Savanne
6	380182	1008775	Mittelhang	Savanne
7	380265	1010337	Mittelhang	Savanne
8	379498	1010925	Mittelhang	Savanne
9	380993	1009309	Mittelhang	Savanne
10	381029	1009114	Mittelhang	Savanne
11	379968	1008838	Mittelhang	Savanne
12	380385	1010779	Mittelhang	Savanne
13	380613	1009001	Mittelhang	Savanne
14	380876	1009786	Unterhang	Savanne
15	380274	1009937	Unterhang	Savanne
16	380151	1009321	Unterhang	Savanne
17	380034	1009195	Unterhang	Savanne
18	379591	1010022	Unterhang	Savanne
19	387019	1006565	Bas-Fonds-Rand	Savanne
20	380381	1009265	Bas-Fonds -Rand	Savanne
21	379806	1009685	Bas-Fonds s-Rand	Savanne
22	379254	1010468	Bas-Fonds -Rand	Savanne
23	379976	1009324	Bas-Fonds	Savanne
24	379743	1009103	Bas-Fonds	Savanne
25	380160	1009741	Fluß	Savanne
26	381944	1009930	Fluß	Savanne
27	379698	1009634	Inselberg-Fuß	Savanne
28	379733	1009659	Inselberg-Umgebung	Savanne
29	379653	1009416	Inselberg-Umgebung	Savanne
30	380143	1010289	Termitenhügel	Savanne
31	379904	1008692	ehem. Termitenhügel	Savanne
32	383970	1006268	Oberhang	Acker
33	382207	1005654	Mittelhang	Acker
34	382272	1005631	Mittelhang	Acker
35	383850	1006598	Mittelhang	Acker
36	381998	1005362	Mittelhang	Acker
37	382539	1007692	Mittelhang	Acker
38	383959	1006616	Unterhang	Acker
39	382211	1008912	Unterhang	Acker
40	381672	1010491	Unterhang	Acker
41	383975	1006668	Bas-Fonds-Rand	Acker
42	382881	1006705	Mittelhang	Brache
43	383072	1006447	Oberhang	Dorfrand-Abort

Tab. A2: Profile in Awanla und Serou

Profilnummer	Rechtswert	Hochwert	Geländeposition	Nutzung	Standort
44	324615	1069976	Mittelhang	Acker	Awanla
45	325975	1069490	Mittelhang	Acker	Awanla
46	357964	1068115	Kuppe	Acker	Serou
47	357926	1068890	Unterhang	Acker	Serou
58	358107	1068645	Bas-Fonds-Rand	Acker	Serou
49	358554	1067269	Bas-Fonds-Rand	Acker	Serou
50	357590	1068827	Bas-Fonds-Rand	Forêt sacrée	Serou

Tab. A3: Catenen (erste und letzte Bohrung) im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung

Catena	Erste Bohrung		Letzte Bohrung		Anzahl Bohrungen
	Rechtswert	Hochwert	Rechtswert	Hochwert	
1	380030	1011328	379955	1008548	31
2	380934	1010226	380869	1009130	15
3	379677	1009690	379333	1009926	26
4	379618	1009606	381769	1010163	33
5	379647	1009048	380175	1009413	11
6	381508	1007490	381575	1007574	24
7	382973	1006483	381788	1011060	45
8	383364	1009611	383255	1006409	55
9	386261	1007139	386157	1010027	32

Tab. A4: Catenen (erste und letzte Bohrung) in Awanla und Serou

Catena	Erste Bohrung		Letzte Bohrung		Anzahl Bohrungen
	Rechtswert	Hochwert	Rechtswert	Hochwert	
Awanla	324534	1070106	325888	1069492	16
Serou	357737	1069058	358365	1067955	25

Tab. A5: Messparzellen im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung  
(P = Messparzelle, EZG = Einzugsgebiet)

Bez.	Versuchsstandort	Versuchsfeld	Rechtswert	Hochwert	Größe EZG (m <sup>2</sup> )	Jahr
P2A	2	A	382203	1005654	16	2001
P2B	2	B	382264	1005627	16	
P3A	3	A	383859	1006608	16	
P3B	3	B	383959	1006614	16	
P3C	3	C	383971	1006670	16	
P4A	4	A	387010	1006545	16	

Tab. A5: Fortsetzung

Bez.	Versuchs-standort	Versuchs-feld	Rechtswert	Hochwert	Größe EZG (m <sup>2</sup> )	Jahr
<b>P1A</b>	1	A	382017	1005345	16	2002
<b>P2A</b>	2	A	382203	1005654	16	
<b>P2B</b>	2	B	382264	1005627	16	
<b>P3A</b>	3	A	383859	1006608	16	
<b>P3B</b>	3	B	383959	1006614	16	
<b>P4B</b>	4	B	386985	1006335	16	

Tab. A6: Sediment-Fangkästen im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung  
(F = Sediment-Fangkasten, EZG = Einzugsgebiet)

Bez.	Versuchs-standort	Versuchs-feld	Rechtswert	Hochwert	Größe EZG (m <sup>2</sup> )	Jahr
<b>F2A</b>	2	A	382234	1005673	66	2001
<b>F3C</b>	3	C	383984	1006672	129	
<b>F1A</b>	1	A	382038	1005322	63	2002
<b>F2A</b>	2	A	382234	1005673	33	
<b>F3A</b>	3	A	383590	1006373	95	

Tab. A7: Erosionsmessnägeln im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung  
(N = Messnagel, -1, -2, -3 = Reihen, Rechts- und Hochwert des Reihenanfangs)

Bez.	Versuchs-standort	Versuchs-feld	Wdh.	Rechtswert	Hochwert	Jahr
<b>N2A-1</b>	2	A	1	382187	1005682	2001
<b>N2A-2</b>	2	A	2	382200	1005694	
<b>N2A-3</b>	2	A	3	382211	1005707	
<b>N3C-1</b>	3	C	1	383942	1006614	
<b>N3C-2</b>	3	C	2	383962	1006617	
<b>N3C-3</b>	3	C	3	383980	1006621	
<b>N4A-1</b>	4	A	1	386952	1006461	
<b>N4A-2</b>	4	A	2	386954	1006451	
<b>N4A-3</b>	4	A	3	386963	1006442	
<b>N1A-1</b>	1	A	1	381981	1005347	2002
<b>N1A-2</b>	1	A	2	381981	1005346	
<b>N3A-1</b>	3	A	1	383862	1006607	
<b>N3A-2</b>	3	A	2	383844	1006611	
<b>N3B-1</b>	3	B	1	383977	1006617	
<b>N3B-2</b>	3	B	2	383975	1006620	
<b>N4B-1</b>	4	B	1	386992	1006342	
<b>N4B-2</b>	4	B	2	386989	1006353	

Tab. A8: Flächen für Erfassung des Mikroreliefs im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung (R = Mikrorelief)

Bez.	Versuchsstandort	Versuchsfeld	Rechtswert	Hochwert	Jahr
R1A	1	A	381991	1005347	2002
R2A	2	A	382200	1005663	
R2B	2	B	382260	1005633	
R3A	3	A	383854	1006595	
R3B	3	B	383952	1006610	
R4A	4	A	386982	1006338	

Tab. A9: Sediment-Fangkästen in Awanla und Serou (F = Sediment-Fangkasten, Aw = Awanla, Se = Serou, EZG = Einzugsgebiet).

Bez.	Versuchsstandort	Rechtswert	Hochwert	Größe EZG (m <sup>2</sup> )	Jahr
F1Aw	1	326005	1069482	37	2002
F2Aw	2	323970	1069701	28	
F3Aw	3	324608	1069996	28	
F1Se	1	357920	1068884	199	2002
F2Se	2	358561	1067277	107	
F3Se	3	358110	1068646	157	

Tab. A10: Bodenbiologische Versuche im Aguima-Einzugsgebiet und Umgebung (M = Makrofauna, K = Köderstreifen, B = Netzbeutel)

Bez.	Versuchsstandort	Versuchsfeld	Rechtswert	Hochwert	Jahr
M1A	1	A	382005	1005335	2002
M2A	2	A	382209	1005674	
M3B	3	B	383960	1006601	
M4B	4	B	386994	1006354	
K2A	2	A	382204	1005668	2001
K3B	3	B	383964	1006609	
K3C	3	C	383952	1006659	
K4A	4	A	386976	1006328	
B2A	2	A	382215	1005699	2001
B3B	3	B	383959	1006606	
B3C	3	C	383957	1006651	
B4A	4	A	387012	1006560	

Tab. A11: Bodenbiologische Versuche in Awanla und Serou  
(M = Makrofauna, Aw = Awanla, Se = Serou)

Ort	Bez.	Versuchsstandort	Rechtswert	Hochwert	Jahr
Awanla	M1Aw	1	325887	1069489	2002
	M2Aw	2	324530	1069961	
	M3Aw	3	323879	1069712	
Serou	M1Se	1	357865	1068882	2002
	M2Se	2	358038	1068648	
	M3Se	3	358478	1067274	

Tab. A12: Bewertung von Bodendaten nach LANDON (1984)

Physiologische Gründigkeit (cm)	extrem flach	sehr flach	flach	mittel	tief	sehr tief
	< 10	10 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 150	> 150

Durchwurzelbarkeit	Begrenzung
sehr gut	keine Begrenzung, gute Struktur, 0 – 2 % Grobboden, Lagerungsdichte 1
gut	2 – 15 % Grobboden, Lagerungsdichte 2
mäßig	schlechte Struktur (grob prismatisch, grob blockartig), 14 - 40 % Grobboden, Lagerungsdichte 3, 4
gering	Begrenzung, sehr schlechte Struktur (plattig, sehr grob prismatisch, sehr grob blockartig), 40 - > 80 % Grobboden, Lagerungsdichte 5

LK (Vol.-%)	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
	< 2	2 - < 4	4 - < 12	12 - < 20	> 20

nFKWe (mm)	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
	< 50	50 - 90	90 - 140	140 - 200	> 200

pH (H <sub>2</sub> O)	gering	mittel	hoch	sehr hoch
	< 5,5	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5	> 8,5

	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
KAK <sub>pot</sub> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> Boden)	< 5	5 - 15	15 - 25	25 - 40	> 40
C <sub>org</sub> (%)	< 2	2 - 4	4 - 10	10 - 20	> 20
N <sub>t</sub> (%)	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0

	gering	mittel	hoch
aust. Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 4	4 - 10	> 10
aust. Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 0,5	0,5 - 4	> 4
aust. K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 0,2	0,2 - 0,6	> 0,6
aust. Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	< 1		> 1
verf. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	< 15	15 - 50	> 50
BS (%)	< 20	20 - 60	> 60

Tab. A13: Fertility Capability Classification System (FCC) (SANCHEZ et al. 1982)

<b>Type</b>		
S	sandy topsoil:	LS, S (USDA definition)
L	loamy topsoil:	< 35 % clay, no LS, S
C	clayey topsoil:	> 35 % clay
O	organic soil:	> 30 % O.M. to 50 cm depth
<b>Substrata type</b>		
S	sandy subsoil:	LS, S (USDA definition)
L	loamy subsoil:	< 35 % clay, no LS, S
C	clayey subsoil:	> 35 % clay
R	Rock or hart root-restricting layer	
<b>Modifier</b>		
g	gley	Soil or mottles $\leq 2$ chroma within 60 cm of the soil surface and below all A horizons, or soil saturated with water for > 60 days in most years
d	dry	ustic, aridic or xeric soil moisture regime (subsoil dry > 90 cumulative days per years within 20-60 cm depth)
e	low CEC	Applies only to plow layer or surface 20 cm, whichever is shallower: CEC < 4 meq/100 g soil by $\Sigma$ bases + KCl-extractable Al (effective CEC), or CEC < 7 meq/100 g soil by $\Sigma$ cations at pH 7, or CEC < 10 meq/100 g soil by $\Sigma$ cations + Al + H at pH 8,2
a	Al-toxicity	> 60 % Al-saturation of the effectove CEC within 50 cm of the soil surface, or > 67 % acidity saturation of CEC by $\Sigma$ cations at pH 7 within 50 cm of the soil surface, or > 87 % acidity saturation of CEC by $\Sigma$ cations at pH 8,2 within 50 cm of the soil surface, or pH < 5 in 1:1 H <sub>2</sub> O within 50 cm, except in organic soils where pH must be less than 4,7
h	acid	10-60 % Al-saturation of the effective CEC within 50 cm of the soil surface, or pH in 1:1 H <sub>2</sub> O between 5 and 6
i	high P-fixation by iron	% free Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /% clay > 0,15 and more than 35 % clay, or hues of 7,5 YR or redder and granular structure. This modifier is used only in clay (C) types; it applies only to plow-layer or surface of 20 cm of soil surface, whichever is shallower
x	X-ray amorphous	pH > 10 in 1 N NaF, or positive to field-NaF-Test, or other indirekt evidences of allophone dominance in the clay fraction
v	vertisol	very sticky plastic clay: > 35 % clay and > 50 % of 2:1 expanding clays, or severe topsoil shrinking and swelling
k	low K reserves	< 10 % weatherable minerales in silt and sand fraction within 50 cm of the soil surface, or exchangeable K < 0,2 meq/100 g, or K < 2 % of $\Sigma$ bases; if bases < 10 meq/100 g
b	basic reaction	free CaCO <sub>3</sub> within 50 cm of the soil surface (effervescence with HCl), or pH > 7,3
s	salinity	$\geq 4$ mmhos/cm electrical conductivity or saturated extract at 25° within 1 m of the soil surface
n	natric	$\geq 15$ % N-saturation of CEC within 50 cm of the soil surface
c	cat clay	pH in 1:1 H <sub>2</sub> O < 3,5 after drying and jarosite mottles with heus of 2,5 Y or yellower and chromas 6 or more are present within 60 cm of the soil surface
`	gravel	a prime (') denotes 15-35 % gravel or coarser particles (> 2 mm) by volume to any type or substrata type texture; two prime (``) denotes more than 35 % gravel or coarser particles (> 2 mm) by volume to any type or substrata type texture

Tab. A14: FAO-Framework for Land Evaluation (FAO 1976, 1981)

<b>land suitability order</b>	
S (suitable)	Land on which sustained use of the kind under consideration is expected to yield benefits which justify the inputs, without unacceptable risk of damage to land resources
N (not suitable)	Land which has qualities that appear to preclude sustained use of the kind under consideration
<b>land suitability classes</b>	
S1 (highly suitable)	Land having no significant limitations to sustained application of a given use, or only minor limitations that will not significantly reduce productivity or benefits and will not raise inputs above an acceptable level
S2 (moderately suitable)	Land having limitations which in aggregate are moderately severe for sustained application of a given use; the limitations will reduce productivity or benefits and increase required inputs to the extent that the overall advantage to be gained from the use, although still attractive, will be appreciably inferior to that expected on Class S1 land
S3 (marginally suitable)	Land having limitations which in aggregate are severe for sustained application of a given use and will so reduce productivity or benefits, or increase required inputs, that this expenditure will be only marginally justified
N1 (currently not suitable)	Land having limitations which may be surmountable in time but which cannot be corrected with existing knowledge at currently acceptable cost; the limitations are so severe as to preclude successful sustained use of the land in the given manner
N2 (permanently not suitable)	Land having limitations which appear so severe as to preclude any possibilities of successful sustained use of the land in the given manner
<b>land suitability subclasses</b>	
plant growth	
y crop yield	e resistance to soil erosion
m moisture availability	p pests, diseases related to the land
n nutrient availability	f flooding hazard
o oxygen availability in root zone	t temperature regime
a adequacy of foothold for roots	r radiation energy and photoperiod
c conditions for germination	h climatic hazards affecting plant growth
w workability of the land	a air humidity as affecting plant growth
s salinity or alkalinity	d drying periods for ripening of crops
t soil toxicity	
<b>land suitability units</b>	
<b>conditional suitability</b>	
phrase of order S	

## Tab. A15: Fragenkatalog für Interviews und Feldbegehung mit Bauern

### Questionnaire ménages - Doguè

Nom de l'enquêteur:

Date:

Localité:

Quartier:

Introduction et explication aux personnes interrogées: projet, personnes, travail

#### Section A: Informations démographiques

1. Êtes-vous le chef de ménage ou époux(se) du chef de ménage?
2. Combien de ménages sont dans la concession ?
3. De combien de personnes est composé votre ménage?
4. Combien de femmes et hommes adultes (plus de 18 ans) vivent dans votre ménage ?
5. Combien de garçons et de filles moins de 18 ans vivent dans votre ménage ?
6. De quel clan êtes- vous originaire?

#### Section B: Sources de revenus

7. Comment sont répartis les sources de revenus dans votre ménage ?
8. Combien de femmes de votre ménage travaillent dans les champs
9. Combien d'hommes travaillent dans les champs ?
10. Combien d'enfants travaillent dans les champs ?
11. Combien de personnes (enfants inclus) travaillent dans l'agriculture ?
12. Quelle est la taille moyenne des champs de votre propriété
13. Combien de champs possède votre famille?

#### Section C: Répartition des travaux agricoles

14. Quels travaux dans les champs doivent faire les hommes?
15. Quels travaux doivent faire les femmes sur les champs?
16. Quels travaux doivent faire les enfants sur les champs?
17. Combien d'heures par jour est-ce que les hommes travaillent dans les champs ?
18. Combien d'heures par jour est-ce que les femmes travaillent dans les champs ?
19. Combien d'heures par jour est-ce que les enfants travaillent dans les champs ?

#### Section D: Système d'exploitation et calendrier agricole

20. Qu'est-ce que vous cultivez:
21. Quelle rotation de culture utilisez vous?
22. Quelle culture apporte des rendements convenables chaque année?
23. Sur combien de champs est-ce que vous plantez des cultures commerciales chaque année?
24. Sur combien de champs est- ce que plantez des cultures subsistantielles?
25. Quelle culture demande le plus de travail?
26. Quel travail prend le plus de temps et nécessite le plus de main d 'oeuvre?
27. Quelles mesures phytosanitaires entreprenez- vous pour la protection de vos cultures?
28. Quelles maladies sont particulièrement difficile à combattre?
29. Quels différents outils utilisez-vous ?
30. Est- ce que vous pouvez décrire les différentes marches de travail pour l'une de vos cultures, en commençant avec la préparation des sols jusqu'à la transformation des produits ?

#### Section E: Caractérisation des sols

31. Est- ce que les sols de Doguè se différencient selon couleurs, humidité, profondeur, quantité de pierres ?
32. Sur quel type de sol est-ce vous plantez de préférence:
33. Comment est-ce que vous appelez les différents type de sols en Nagot?
34. Comment est la fertilité du sol à Doguè??

### Section F: Érosion

35. Est- ce que vous avez observé sur vos champs le transport de la terre sur d'autres terres à la suite d'une pluie?
36. A quelle période de l'année sa arrive régulièrement?
37. Sur quels champs est-ce que sa arrive très souvent?
38. Quelles mesures prenez-vous pour éviter cette destruction?
39. Depuis quand est-ce que vous observez ce processus d'érosion sur vos terres?

### Section G : Elevage

40. Combien d'animaux possédez vous et votre famille ?
41. Combien d'animaux est-ce que vous vendez par année ?
42. Comment est-ce que vous gardez vos animaux ?
43. Est- ce que vous utilisez le fumier comme engrais ? Si oui, sur quelles cultures ?
44. Où se trouvent les pâturages ? (A montrer sur la carte dessinée)

### Section I: Répartition des surfaces cultivées

45. Combien de vos champs sont actuellement en friche et combien de champs sont en culture ?
46. Sur combien de champs est-ce que vous cultivez des cultures annuelles et des cultures pluriannuelles ?
47. Pour combien d'années est-ce que vous laissez vos terres en friche ?
48. Combien d'années est-ce que vous cultivez un champs jusqu'à ce qu'il tombe en friche ?
49. Combien de vos champs en friche est-ce que vous cultivez l'anacardia ?
50. Combien de champs est-ce que vous gagnez en plus chaque année en brûlant la brousse ?

### Section J: Commercialisation agricole

51. Quels produits est- ce que vous vendez:
52. La production de quelle culture est la plus rentable?
53. Est- ce que la vente de cultures commerciales (cash crop) a augmenté vos revenus?
54. A qui est-ce que vous vendez vos produits agricoles?
55. Est-ce que vous vendez vos produits directement au marché? Sur quel marché?
56. Quels sont les difficultés de commercialisation de vos produits agricoles?
57. Quels changements seraient nécessaires pour que vous puissiez vendre vos produits aux marchés de la région?

### **Visite de champs**

Nom de l'enquêteur:

Date:

Localité:

Quartier:

1. Culture : monoculture, culture mixte
2. Rotation des cultures: avant, après
3. Préparation du sol: date/période, durée, méthode, main d'ouvre, dépense
4. Semence: date/période, durée, méthode, main d'ouvre, dépense
5. Entretien des champs: date/période, durée, méthode, main d'ouvre, dépense
6. Récolte: date/période, durée, méthode, main d'ouvre, dépense
7. Commercialisation: partenaire, lieu, profit
8. Subsistance: nombre der personne
9. Protection des plantes
10. Maladies des plantes: symptôme
11. Engrais: sorte, quantités
12. Sortes, Variantes: nombre, différences
13. Densités des cultures (2\*2 m)
14. Signes érosifs
15. Problèmes divers

Tab. A16: Klassifikation der K-Faktoren nach BOLLINNE &amp; ROSSEAU (1978)

<b>Érodibilité</b> (t h N <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	<b>Classification</b>
< 0,1	Sols très résistants à l'érosion
0,1 - 0,25	Sols assez résistants à l'érosion
0,25 - 0,35	Sols moyennement sensibles à l'érosion
0,35 - 0,45	Sols assez sensibles à l'érosion
> 0,45	Sols très sensibles à l'érosion

Tab. A17: Klassifikation der Aggregatstabilität nach LE BISSONNAIS (1996)

<b>Class</b>	<b>MWD</b> (value mm <sup>-1</sup> )	<b>Stability</b>	<b>Crustability</b>
1	< 0,4	very unstable	systematic crust formation
2	0,4 - 0,8	unstable	crusting frequent
3	0,8 - 1,3	medium	crusting moderate
4	1,3 - 2,0	stable	crusting rare
5	> 2,0	very stable	no crusting

Tab. A18: Analysendaten der Bodenprofile

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit
			%									%						
1	Ah	25	20,2	32,4	23,3	10,4	4,5	2,7	6,5	SI2	LS							
	E	47	24,6	28,6	19,1	9,6	4,6	2,7	10,8	SI3	LS							
	2Bt	63	22,1	21,1	14,1	8,8	4,9	2,5	26,5	Lts	SCL	35,0						
	2Bsm	65	18,7	19,2	14,7	9,6	5,5	3,7	28,8	Lts	SCL	56,3						
2	Ah	23	19,3	28,5	24,9	12,4	5,6	2,5	6,7	SI2	LS							
	2Bt1	45	16,7	26,8	23,3	10,4	5,1	2,2	15,5	SI4	SL							
	2Bt2	49	14,6	25,3	21,7	11,3	4,8	2,3	20,0	Ls4	SL	56,6						
3	Ah	12	15,3	33,2	27,0	10,1	4,1	2,4	7,9	SI2	LS	3,0						
	E	23	12,1	32,2	29,7	11,9	3,9	2,4	7,8	SI2	LS	11,3						
	2Bt	48	10,0	41,7	23,1	8,1	4,7	1,5	11,0	SI3	LS	82,3						
4	Ah	21	19,5	28,7	27,2	11,5	4,4	2,5	6,2	SI2	LS		70	30				
	E	39	10,1	33,2	28,7	13,3	4,1	1,9	8,8	SI3	LS		75	25				
	2Bt	49	11,1	35,2	21,1	14,3	4,0	1,5	12,8	SI4	SL		80	20				
	3Ct	85	11,1	35,2	21,1	5,6	1,6	5,9	19,6	St3	SL		90	10			Spuren	
5	Ah	24	6,7	27,6	34,3	15,3	5,0	2,0	9,2	SI3	SL		65	35				
	E	46	20,7	32,9	21,2	9,8	3,6	1,6	10,2	SI3	LS		70	30				
	2Bt	63	19,4	29,5	17,3	8,9	3,2	7,5	14,1	SI4	SL	50,0	75	25				Spuren
	3Bt-Ct	86	15,7	20,8	14,2	6,8	5,6	3,5	33,5	Lts	SCL	58,2	75	25			Spuren	Spuren
	4Ct	115	17,7	16,2	11,6	7,2	5,1	8,1	34,1	Lts	SCL	21,5	80	20			Spuren	Spuren
6	Ah	25	21,3	40,6	19,3	10,7	3,1	0,0	4,9	Su2	LS		80	20				Spuren
	Bt 1	49	21,2	36,9	19,7	10,4	2,7	0,5	8,6	SI3	LS		90	10			Spuren	Spuren
	2Bt2-Ct1	76	19,2	23,2	14,1	10,8	2,1	0,1	30,5	Ts4	SCL		95	5			Spuren	Spuren
	2Bt2-Ct2	111	12,2	25,9	13,7	9,7	3,2	0,1	35,3	Ts3	SCL	61,9	95	5			Spuren	Spuren
	3Ct	140	16,6	23,2	13,6	11,0	3,5	2,0	30,1	Lts	SCL	30,0	95	5			Spuren	Spuren
7	Ah	15	6,8	37,0	29,2	13,9	4,4	1,0	7,6	SI2	LS							
	E1	29	13,2	38,6	28,0	9,0	3,8	1,5	5,9	SI2	LS							
	2E2	49	16,6	37,2	22,6	9,5	4,4	1,1	8,6	SI3	LS	68,0						
	3Bt-3Ct	78	19,7	14,2	11,6	12,3	6,2	5,2	30,9	Lt2	SCL							
	4Ct	123	12,5	20,6	17,0	13,2	8,5	5,4	22,8	Ls4	SCL	10,6						

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit
						%												
<b>8</b>	Ah1	8	16,8	32,1	27,0	10,4	3,5	1,6	8,5	SI2	SL		85	15				
	Ah2	32	15,5	33,6	24,0	11,7	2,7	1,4	11,1	SI3	SL		90	10				
	Bt1	66	11,6	19,7	13,6	10,6	3,8	1,1	39,6	Lts	SCL		95	5				Spuren
	2Bt-Ct	80	15,2	19,7	14,2	7,1	3,7	1,7	38,5	Ts3	SC	37,3	95	5				Spuren
	3Ct	160	16,2	22,3	15,7	9,8	5,2	2,3	28,4	SI4	SCL		<5					Spuren
<b>9</b>	Ah1	15	9,8	39,1	24,2	10,4	4,1	2,5	9,8	SI2	LS							
	2Ah2	24	14,9	38,0	23,6	7,2	3,4	2,0	10,9	SI2	LS	46,3						
	2Bt	42	18,6	36,8	18,6	6,6	3,3	2,4	13,7	SI4	LS	72,1						
	3Ct	82	23,6	19,6	8,5	6,7	3,9	3,1	34,6	Ts4	SCL	40,1						
<b>10</b>	Ah1	9	8,3	28,4	34,1	12,8	5,6	2,4	8,3	SI3	SL		95	5			Spuren	Spuren
	Ah2-E	17	14,1	33,3	28,7	10,4	4,0	2,2	7,3	SI2	LS	9,4	90	10			Spuren	Spuren
	2E	25	19,2	31,9	26,8	6,7	4,3	1,7	9,4	SI2	LS	57,9	95	5			Spuren	Spuren
	3Bt-Ct	50	24,0	19,9	8,7	21,0	3,8	2,3	20,3	Ls4	L	61,3	95	5			Spuren	Spuren
	4Ct	140	11,5	18,6	15,1	10,6	10,1	5,5	28,6	Ls4	L	1,2	95	5			Spuren	Spuren
<b>11</b>	Ah1	10	18,4	31,2	26,1	10,7	4,8	2,5	6,4	SI2	LS		65	35				
	Ah2	20	16,2	33,4	25,8	9,9	4,5	2,1	8,0	SI2	LS	3,1	70	30				
	E	30	20,4	34,1	22,4	8,3	4,5	1,8	8,5	SI2	LS	15,1	75	25			Spuren	Spuren
	2Bt2	41	14,2	37,1	19,8	8,8	4,3	2,5	13,2	SI4	SL	68,1	80	20			Spuren	Spuren
	3Bt-Ct	73	25,3	22,3	11,6	8,0	4,0	3,2	25,6	Lts	SCL	8,3	85	15			Spuren	Spuren
	4Ct	140	18,7	15,1	10,6	8,8	5,6	3,6	37,5	Lts	L		85	15			Spuren	Spuren
<b>12</b>	Ah	18	1,6	15,8	31,6	15,5	8,9	4,8	21,8	Ls4	L							
	Bt	37	8,2	16,4	21,0	11,1	7,3	4,7	31,4	Lts	CL							
	2Bt-Ct	78	7,6	12,7	12,7	5,4	6,6	4,3	50,8	TI	C	71,7						
	3Ct	129	9,6	12,1	14,1	7,2	8,9	5,3	42,7	Lts	C	7,2						
<b>13</b>	Ah	16	12,3	28,6	30,1	11,9	5,1	1,8	10,2	SI3	LS	48,9						
	2Bw	22	12,7	29,0	27,9	10,4	4,7	3,0	12,3	SI4	SL	61,3						
	3Bt-Ct1	51	18,9	20,0	16,4	7,3	4,5	2,6	30,4	Ts4	SCL	62,4						
	3Bt-Ct2	73	14,1	13,1	13,1	4,8	5,9	2,6	46,5	Ts2	SC	10,5						
	4Ct	160	11,0	11,5	12,0	6,2	4,8	3,9	50,5	Ts2	SC							

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit	
						%													
14	Ah	25	8,8	28,0	36,8	12,0	4,5	2,2	7,7	SI2	LS	19,2							
	E	41	22,9	27,4	26,4	10,2	3,3	2,2	7,6	SI2	LS	63,0							
	2Bsm	43	17,9	29,1	24,5	7,7	4,3	2,7	13,7	SI4	SL								
15	Ah	7	6,3	24,1	36,7	14,0	6,8	2,7	9,5	SI3	SL								
	E1	23	21,9	38,8	20,9	7,6	3,5	1,7	5,6	SI2	LS								
	E2	48	20,3	37,0	23,8	8,4	4,4	2,1	4,1	Su2	LS								
16	Ah	10	16,9	32,2	27,7	9,3	3,8	2,4	7,5	SI2	LS		70	30	Spuren				
	E1	25	33,7	40,7	15,6	2,9	2,2	1,5	3,4	SI2	LS	17,4	80	20	Spuren				
	2E2	70	31,6	47,2	14,6	2,7	1,1	0,9	2,1	mSgs	S		85	15	Spuren				
17	Ah	10	12,4	33,0	27,3	10,5	5,8	2,7	8,3	SI2	LS		65	35					
	E1	15	23,3	34,9	20,2	15,0	1,7	0,0	4,9	Su2	LS		70	30					
	E2	35	21,2	35,8	19,7	14,0	2,4	0,5	6,5	SI2	LS		80	20					
18	Ah	9	6,6	34,7	28,6	15,2	4,0	2,7	8,1	SI2	LS		75	25	Spuren				Spuren
	E1	28	16,2	40,0	19,7	13,9	1,8	1,1	7,4	SI2	LS		80	20					
	2E2	44	15,7	39,0	22,3	10,0	2,7	1,4	8,9	SI2	LS		80	20					
	2E3	80	24,3	37,5	16,2	7,9	2,7	1,6	9,6	SI2	LS		80	20					
	2Bsm	82	16,1	45,7	22,1	9,7	3,1	1,2	2,3	Su2	LS								
19	Ah	25	8,5	28,6	33,7	11,4	5,5	2,4	9,9	SI3	LS		50	35	15				
	Btg1	40	14,1	28,4	23,9	8,3	3,6	1,9	19,9	St3	SL		70	20	10				Spuren
	Btg2	90	18,8	27,6	16,3	5,3	3,5	1,2	27,2	Ts3	SCL		70	15	15				Spuren
20	Ah	13	30,8	38,4	17,2	7,3	1,7	1,3	3,4	Su2	LS		85	10	5				
	E	35	26,1	43,6	18,8	5,7	1,0	1,0	3,8	mSgs	S		85	10	5				
	Bt	75	27,1	41,1	15,0	6,5	1,4	1,5	7,3	St2	LS		85	10	5				Spuren
	2Bg	130	36,0	39,3	10,8	3,1	1,0	1,2	8,6	St2	LS	7,6	85	10	5				Spuren
21	Ah	22	15,6	38,7	23,6	9,6	3,1	2,0	7,3	SI2	LS		60	40					
	Bt	54	15,6	36,3	24,2	9,6	2,4	1,2	10,7	SI3	LS		60	40					Spuren
	Btc	91	15,2	39,6	19,8	10,0	0,8	1,4	13,2	SI4	SL	28,4	60	40					Spuren
	Btg	125	18,8	35,0	15,7	8,5	0,5	1,4	20,2	St3	SCL		60	40					Spuren

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit
			%									%						
<b>22</b>	Ah1	10	11,0	26,2	33,0	14,5	5,4	2,0	7,8	SI2	LS		60	35	5			
	Ah2	26	25,4	32,5	23,9	10,0	2,9	1,3	4,1	Su2	LS		75	25	Spuren			
	E	55	29,2	40,3	14,6	8,8	2,8	1,5	2,9	Su2	LS		80	20	Spuren			
	Eg	80	33,6	32,6	18,5	7,5	3,5	1,3	3,0	Su2	LS	5,1	80	20	Spuren		Spuren	
	Bg	110	39,3	33,7	16,1	5,8	2,1	0,8	2,2	gSms	S	16,0	80	20	Spuren		Spuren	
<b>23</b>	Ah	26	1,3	5,7	12,4	17,1	15,8	10,1	37,7	Lt3	CL		80	20			Spuren	
	Btg	63	3,6	8,2	11,7	13,1	12,1	8,4	43,0	Ls3	C		80	20			Spuren	
	2Bg	80	15,1	60,2	14,1	4,3	1,7	0,8	4,0	mSgs	S		80	20				
	3Bg	100	14,1	48,3	13,1	3,8	1,6	0,7	18,5	St3	SL		80	20				
<b>24</b>	Ah	23	2,5	6,8	18,2	22,9	19,4	7,0	23,2	Ls2	L							
	2Bg1	40	11,2	22,4	14,7	13,9	9,3	3,2	25,4	Ls4	SCL							
	3Bg2	53	18,7	24,8	12,6	10,3	6,2	3,2	24,3	Ls4	SCL							
	4Bg3	73	10,7	27,4	15,2	11,2	5,3	1,7	28,6	Lts	SCL							
	4Bg4	81	13,2	28,4	14,2	10,4	5,1	1,2	27,5	Lts	SCL							
	4Bg5	95	12,6	32,6	13,6	10,5	4,7	1,1	25,1	Lts	SCL							
<b>25</b>	C	12	4,6	33,6	37,2	10,9	5,3	2,3	6,1	SI2	LS		55	30	15			
	Cg	33	3,1	31,1	40,2	12,0	5,0	2,7	5,9	SI2	LS		55	25	20			
	2Chg1	82	11,6	46,5	34,9	0,0	2,6	0,8	3,6	mSfs	S		45	35	20			
	3Chg2	121	8,0	72,1	19,1	0,5	0,0	0,0	0,2	mS	S		45	35	20			
	4Cr1	160	16,0	57,1	17,5	4,5	1,6	0,9	2,4	mSgs	S		55	30	15			
	5Cr2	170	23,0	44,5	18,0	3,7	2,4	6,2	2,3	Su2	LS		60	25	15			
<b>26</b>	Ah	23	16,2	37,4	22,7	6,8	5,6	3,0	8,3	SI3	SL		80	20	Spuren			
	2Cg	49	16,5	49,1	21,1	4,0	3,1	1,8	4,4	gSms	S		80	20	Spuren			
	2Cr1	92	22,5	57,0	14,0	0,9	1,0	0,8	3,8	mSgs	S		70	30				
	3Cr2	110	12,5	38,0	26,0	1,4	4,8	2,8	14,4	St2	LS		50	40	10			
<b>27</b>	Ah	10	23,6	32,8	14,6	5,1	4,6	2,8	16,5	SI4	SL		45	<b>55</b>			Spuren	Spuren
<b>28</b>	Ah	25	13,9	27,8	21,5	6,8	5,9	3,9	20,2	Ls4	SL		45	55			Spuren	Spuren
	Bt1	50	19,7	24,3	14,7	8,6	3,9	2,6	26,2	Lts	SCL		50	50			Spuren	Spuren
	2Bt2	>50	16,0	17,2	10,3	3,6	4,8	0,9	47,1	Ts2	SC		60	40			Spuren	Spuren

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit	
			%						%										
29	Ah	15	13,4	31,5	24,3	6,3	5,0	3,9	15,6	SI4	SL		45	55		Spuren	Spuren		
	Bt1	29	13,8	27,7	21,5	8,1	3,4	3,0	22,4	St3	SCL		45	55		Spuren	Spuren		
	2 t	75	15,3	16,8	10,2	7,6	3,2	2,5	44,5	Ts3	SC		65	35		Spuren	Spuren		
	3Bt-Ct1	120	11,6	19,1	12,1	11,2	6,1	4,8	35,0	Lts	SCL	22,4	70	30		Spuren	Spuren		
	4Bt-Ct2	180	9,5	16,1	19,6	5,5	6,6	5,2	37,5	Lts	SCL		80	20		Spuren	Spuren		
30	ob. Teil		6,1	23,9	19,4	13,6	4,8	2,3	29,9	Lts	SCL		85	15				Spuren	
	Bw1	55	8,1	23,4	19,3	11,5	5,1	2,6	30,0	Lts	SCL		85	15				Spuren	
	Bw2	165	9,1	25,3	21,3	11,4	4,3	2,4	26,2	Lts	SCL		85	15				Spuren	
31	Ah1	8	17,9	31,6	25,0	11,6	4,8	1,8	7,2	SI2	LS								
	Ah2	24	17,1	29,2	25,2	11,6	4,6	1,8	10,3	SI3	SL								
	2Bt2	42	17,7	24,7	19,2	9,0	4,3	1,4	23,7	St3	SCL								
	3Bt-Ct	125	20,1	18,1	12,6	8,9	4,0	2,8	33,5	Lts	SCL								
32	Ap	25	6,9	23,4	39,9	13,3	5,2	1,7	9,7	SI3	LS		95	5			Spuren	Spuren	
	2Bt	75	6,3	26,4	30,4	13,5	4,3	1,7	17,5	Ls4	SL		95	5			Spuren	Spuren	
	3Ct	100	11,6	10,3	14,1	9,0	4,3	3,0	47,7	TI	SC		95	5			Spuren	Spuren	
33	Ap	15	4,9	13,9	41,3	20,8	6,3	2,7	10,2	SI3	SL		65	35			Spuren	Spuren	
	2E	28	15,8	35,6	25,2	10,6	3,2	1,1	8,6	SI3	LS		70	30			Spuren	Spuren	
	2Bt	48	10,4	32,1	23,5	12,4	4,0	2,1	15,6	SI4	SL		70	30			Spuren	Spuren	
	3Ct	100	39,2	19,1	10,3	8,5	3,3	1,8	17,8	St3	SL		95	5			Spuren	Spuren	
34	Ap	16	9,0	21,9	31,2	21,9	5,1	1,9	9,0	SI3	SL		70	30			Spuren	Spuren	
	2E	40	16,9	22,4	26,7	16,6	4,4	1,6	11,4	SI3	SL		70	30			Spuren	Spuren	
	2Bt	65	9,6	24,4	27,2	16,8	4,8	1,9	15,3	SI4	SL		80	20			Spuren	Spuren	
	3Ct	100	11,3	15,8	13,6	8,8	5,4	3,6	41,5	Lts	SC		85	15			Spuren	Spuren	
35	Ap	23	7,1	25,4	37,4	13,5	4,8	1,7	10,0	SI3	SL		85	15				Spuren	
	2Bt	35	8,3	23,5	31,8	13,0	4,4	1,6	17,3	Ls4	SL		90	10				Spuren	
	3 Ct	75	8,1	17,6	24,9	14,2	5,2	1,4	28,5	Lts	SCL		90	10				Spuren	
36	Ap	15	13,7	24,4	33,0	15,2	4,3	2,4	6,9	SI2	LS		75	25					
	2 Bt 1	42	11,6	24,2	32,3	14,8	4,7	2,0	10,4	SI3	SL		75	25					
	2 Bt 2	56	7,6	24,7	31,3	17,0	5,2	1,5	12,6	SI4	SL		75	25					

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit
						%												
37	Ap	6	1,1	17,9	39,5	16,6	7,8	2,5	14,7	SI4	SL							
	2E	19	11,2	31,6	28,5	9,5	4,6	2,1	12,5	SI4	LS							
	2Bt	27	13,6	26,2	23,2	-14,6	31,7	2,2	17,7	Ls4	SL							
	3Bt-Ct	61	14,2	17,2	16,2	9,4	4,9	2,3	35,7	Lts	CL							
	4Ct	71	12,1	14,1	15,1	6,0	5,2	3,8	43,7	Lts	CL							
38	Ap	11	16,0	24,3	30,2	15,4	4,7	1,7	7,7	SI2	LS		75	25			Spuren	Spuren
	Bw	33	15,7	26,0	29,8	13,4	4,4	1,7	9,1	SI3	LS		85	15				
	2Bsm	60	14,4	27,5	25,7	13,7	5,8	2,5	10,5	SI3	SL		90	10			Spuren	Spuren
39	Ap	18	17,0	39,1	24,2	9,7	3,1	1,1	6,0	SI2	LS							
	2Bw	35	15,1	38,2	25,1	10,2	3,5	1,1	6,9	SI2	LS							
	2Bt	63	15,1	27,2	16,1	8,0	3,3	1,3	29,0	Ts4	SCL							
40	Ap	5	13,3	29,7	24,1	14,4	7,5	2,5	8,5	SI3	SL							
	2Ah 2	11	12,1	33,8	24,2	10,7	6,8	2,6	9,7	SI3	SL							
	2Bw	42	15,1	35,3	19,7	10,8	5,7	2,2	11,2	SI3	SL							
41	Ah	15	12,4	32,4	30,9	10,2	4,5	2,0	7,5	SI2	LS		70	30			Spuren	Spuren
	Bg1	31	12,8	33,4	29,9	9,3	4,7	2,0	7,9	SI2	LS		70	30				
	Bg2	80	14,5	32,6	24,8	10,1	4,6	2,8	10,6	SI3	SL		75	25			Spuren	Spuren
		100	14,4	27,5	25,7	13,7	5,8	2,5	10,5	SI3	SL		90	10			Spuren	Spuren
42	Ah	9	13,9	26,3	29,4	12,0	4,3	1,6	12,5	SI4	SL		85	15			Spuren	Spuren
	Bt	41	13,6	23,2	27,3	9,1	4,5	2,8	19,4	Ls4	SL		85	15			Spuren	Spuren
	2Bt-Ct	73	11,6	17,7	17,7	9,9	4,3	3,0	35,7	Lts	SCL		90	10			Spuren	Spuren
	3Ct	125	11,1	14,6	16,1	8,5	6,8	5,0	38,0	Lts	CL		90	10			Spuren	Spuren
43	Ah	8	10,6	21,1	28,0	9,4	5,1	3,5	22,3	Ls4	SCL							
	Bt	29	8,8	20,1	27,8	6,2	5,6	4,0	27,6	Lts	SCL							
	2Bt-Ct	42	9,6	11,1	21,7	20,4	4,1	3,3	29,7	Lts	CL							
	3Ct	160	11,6	11,6	20,1	9,4	8,5	4,6	34,3	Lts	SCL							

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	%			T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit	
						gU	mU	fU											
44	Ap	10	14,7	45,5	27,8	6,1	1,9	0,6	3,4	mSgs	S		40	60				Spuren	
	2Bt	27	12,7	40,5	26,3	6,9	2,9	1,3	9,5	SI2	LS		40	60				Spuren	
	3Bt-Cw	42	18,1	35,6	19,6	7,0	4,4	2,2	13,1	SI3	LS		50	50				Spuren	
	4Cw1	51	20,5	38,1	19,0	7,7	4,5	1,8	8,4	SI3	LS		50	50				Spuren	
	4Cw2	64	20,0	36,1	20,5	10,7	4,9	1,7	6,1	SI2	LS		60	40				Spuren	
	4Cw3	79	18,0	37,6	19,0	11,2	5,4	1,9	6,9	SI2	LS		55	45				Spuren	
45	Ap	15	7,6	33,8	30,8	16,0	1,8	0,9	9,0	SI3	LS		90	10				Spuren	Spuren
	2Bt1	34	5,5	24,7	19,7	13,6	2,8	2,0	31,8	Lts	SCL		90	10				Spuren	Spuren
	2Bt2	63	5,5	22,1	16,6	11,5	4,2	2,5	37,6	Lts	SCL		90	10				Spuren	Spuren
	3Bw3	69	13,6	18,1	13,6	12,0	4,8	3,4	34,5	Lts	SCL		90	10				Spuren	Spuren
	3Bt4	105	14,6	16,1	17,1	6,3	6,7	4,9	34,3	Lts	SCL		90	10				Spuren	Spuren
	4Ct	120	18,6	17,1	15,1	8,9	6,7	4,9	28,8	Ls4	SCL		90	10				Spuren	Spuren
46	Ap	20	12,7	24,9	34,1	11,3	3,8	2,0	11,1	SI3	LS		100					Spuren	Spuren
	2 Bt 1	50	26,2	22,7	18,6	10,3	4,8	2,2	15,1	SI4	SL		100					Spuren	Spuren
	2 Bt 2	75	32,1	19,6	13,6	3,5	6,6	3,6	21,1	St3	SL		100					Spuren	Spuren
	3 Ct 1	145	18,5	11,5	15,0	7,5	7,1	5,4	34,9	Lts	SCL		100					Spuren	Spuren
	3 Ct 2	230	15,5	11,0	10,0	9,5	9,0	4,8	40,1	Lts	CL		100					Spuren	Spuren
47	Ap1	4	24,5	28,1	21,4	9,2	5,1	1,7	10,1	SI3	LS		100						Spuren
	Ap2	9	35,3	29,7	17,1	6,4	2,2	0,1	9,2	St2	S		100						Spuren
	Bt1	22	27,9	24,4	18,3	8,9	4,6	1,5	14,4	SI4	LS		100						Spuren
	2Bt2	30	15,2	20,8	18,3	18,5	4,6	1,2	21,5	Ls4	SCL		100						Spuren
	2Bt3	38	14,7	17,2	16,2	9,6	3,8	2,7	35,8	Lts	SCL		100						Spuren
48	Ap1	14	16,1	40,8	23,7	8,1	4,0	0,6	6,7	SI2	S		100						Spuren
	Ap2	25	10,6	34,7	25,7	17,0	3,8	0,6	7,7	SI2	LS		100						Spuren
	2Bt1	35	15,1	35,7	16,1	8,6	5,6	0,1	18,8	St3	SL		100						Spuren
	2Bt2	76	10,1	20,6	10,6	9,5	2,8	1,5	45,0	Ts2	SC		100						Spuren
	2Bg1	102	9,5	21,1	11,0	15,0	1,2	2,4	39,9	Lts	SCL		100						Spuren
	3Bg2	111	17,5	24,0	13,0	7,1	8,3	3,6	26,4	SI4	SL		100						Spuren

Tab. A18: Fortsetzung

Profil	Horizont	Unter- grenze cm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Boden- art 1	Soil texture 2	Grob- boden %	Kaolinit	Illit	Smectit	Gibbsit	Hämatit	Goethit
						%										%		
<b>49</b>	Ap	25	11,6	26,3	34,4	13,5	5,0	1,4	7,7	SI2	LS		100					Spuren
	Bt1	39	17,1	23,1	21,6	10,8	5,0	1,5	20,9	Ls4	SL		100					Spuren
	Bt2	62	16,1	17,6	18,1	13,1	5,6	2,7	26,9	Lts	SCL		100					Spuren
	2Bg1	86	16,6	14,6	17,1	12,1	6,6	2,8	30,3	Lts	SCL		100					Spuren
	2Bg2	105	15,1	13,1	16,1	12,5	7,1	3,5	32,7	Lts	SCL		100					Spuren
	2Bg3	110	14,6	12,0	14,6	14,6	7,3	4,1	32,9	Lts	SCL		100					Spuren
<b>50</b>	Ah	9	14,0	32,2	21,3	10,3	6,2	2,3	13,6	SI3	SL		>95	Spuren	Spuren			Spuren
	Bw1	16	14,3	30,5	21,9	10,5	6,3	1,4	15,1	SI4	SL		>95	Spuren	Spuren			Spuren
	2Bw2	34	14,6	34,8	23,2	9,6	6,1	1,5	10,2	SI3	LS		>95	Spuren	Spuren			Spuren
	2Bw3	51	19,1	32,6	21,6	10,7	5,2	2,3	8,5	SI3	LS		100					Spuren
	2Bg	53	28,1	28,1	16,1	9,4	4,8	1,8	11,7	SI3	LS		100					Spuren

<sup>1</sup> Bodenkundliche Kartieranleitung, <sup>2</sup> World Reference Base

(Die Bestimmung des Grobbodenanteils und der Tonminerale wurde nur an ausgewählten Profilen bzw. Horizonten vorgenommen.)

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
1	Ah	0,6	0,01	47	6,0	2,2	0,6	0,1	0,01	0,000	64,6	3,6	4,4	35,6		8,0	0,03	0,48	0,06
	E	0,2	0,00	0	6,7	0,6	0,6	0,1	0,01	0,000	51,7	2,1	2,7	17,5		3,0	0,04	0,73	0,05
	2Bt	0,3	0,02	14	6,7	0,8	1,3	0,2	0,01	0,000	47,0	3,9	5,0	14,9		1,7	0,05	1,62	0,03
	2Bsm	0,5	0,02	23	6,7	0,8	1,5	0,3	0,01	0,000	45,2	4,3	5,6	13,2		1,1	0,06	2,56	0,02
2	Ah	0,8	0,05	16	6,5	2,6	1,0	0,1	0,01	0,002	70,9	5,0	5,4	36,1	2,3	11,5	0,07	0,50	0,13
	2Bt1	0,6	0,02	25	6,0	1,2	0,6	0,1	0,01	0,071	52,4	2,7	3,6	9,7	3,9	3,6	0,06	0,82	0,08
	2Bt2	0,5	0,05	10	5,6	1,3	0,7	0,1	0,01	0,093	51,6	3,1	4,2	12,2	4,6	4,1	0,07	1,08	0,06
3	Ah	1,0	0,05	18	6,6	2,1	0,7	0,1	0,01	0,003	64,4	3,8	4,5	13,1		8,8	0,03	0,55	0,05
	E	0,3	0,02	14	6,6	0,8	0,5	0,1	0,01	0,002	64,2	2,0	2,1	12,0		4,4	0,02	0,47	0,05
	2Bt	0,2	0,01	15	6,7	0,6	0,5	0,1	0,01	0,007	53,8	2,0	2,4	15,1		3,8	0,05	0,97	0,05
4	Ah	1,3	0,08	16	7,0	4,0	1,1	0,3	0,00	0,011	88,5	6,9	6,1	26,5		27,7	0,09	0,43	0,21
	E	0,3	0,03	11	6,8	1,0	0,7	0,2	0,00	0,063	64,8	2,9	3,0	21,0		3,3	0,08	0,56	0,15
	2Bt	0,3	0,03	11	6,6	1,1	0,6	0,3	0,01	0,081	68,3	3,0	2,9	14,7		3,2	0,09	0,75	0,12
	3Ct	0,2	0,03	10	6,8	1,5	0,7	0,5	0,02	0,094	65,0	4,1	4,3	17,5		1,7	0,57	2,25	0,25
5	Ah	1,2	0,06	19	6,7	4,0	1,2	0,2	0,02	0,004	74,9	6,7	7,1	33,0		14,0	0,04	0,47	0,08
	E	0,6	0,02	30	6,9	0,6	0,7	0,1	0,02	0,004	57,3	2,3	2,5	5,3		3,5	0,03	0,56	0,05
	2Bt	0,9	0,03	30	6,7	0,8	1,0	0,2	0,02	0,003	52,6	3,2	3,8	4,1		3,2	0,05	1,40	0,04
	3Bt-Ct	0,6	0,03	19	6,9	1,2	1,4	0,5	0,04	0,003	48,9	5,0	6,4	12,3		2,1	0,08	2,91	0,03
	4Ct	0,6	0,03	23	6,9	1,4	1,1	0,6	0,01	0,005	55,2	4,9	5,8	10,9		1,6	0,05	2,56	0,02
6	Ah	0,8	0,03	29	6,7	1,7	0,6	0,1	0,02	0,000	62,1	3,0	3,8	20,7		6,5	0,02	0,42	0,06
	Bt 1	0,6	0,00	0	6,6	0,6	0,4	0,2	0,01	0,000	53,0	1,8	2,3	4,1		3,7	0,03	0,61	0,05
	2Bt2-Ct1	0,5	0,04	13	6,5	1,5	1,3	0,2	0,02	0,000	44,7	4,6	6,8	16,7		2,7	0,06	1,39	0,04
	2Bt2-Ct2	0,7	0,03	22	6,6	1,6	1,4	0,4	0,04	0,000	57,4	5,3	6,0	10,0		1,7	0,06	2,00	0,03
	3Ct	0,3	0,02	19	6,4	1,9	1,0	0,3	0,05	0,000	58,0	4,7	5,7	15,2		3,3	0,06	2,68	0,02
7	Ah	2,1	0,11	18	6,6	5,2	1,3	0,2	0,01	0,005	74,4	8,3	9,1	23,5		8,6	0,04	0,53	0,07
	E1	0,8	0,02	37	7,1	0,7	0,6	0,1	0,01	0,002	55,6	2,3	2,7	0,0		3,3	0,02	0,61	0,04
	2E2	0,2	0,02	13	7,2	0,4	0,8	0,2	0,01	0,000	52,9	2,3	2,6	20,2		3,2	0,04	1,01	0,04
	3Bt-3Ct	0,6	0,02	26	6,0	1,1	0,7	0,4	0,01	0,000	39,8	3,4	5,7	11,9		1,0	0,05	3,66	0,01
	4Ct	0,1	0,01	9	5,6	0,8	0,5	0,3	0,01	0,000	27,1	2,3	5,8	23,4		0,6	0,03	2,95	0,01

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
8	Ah1	1,0	0,06	17	6,7	2,2	1,0	0,1	0,01	0,026	66,1	4,4	5,0	19,6	10,4	0,03	0,36	0,10	
	Ah2	0,8	0,03	28	6,5	1,1	0,6	0,1	0,01	0,003	41,7	2,4	4,2	11,3	5,2	0,03	0,61	0,06	
	Bt1	0,4	0,04	12	5,8	1,1	1,0	0,1	0,01	0,044	37,3	3,5	6,2	11,7	3,3	0,05	1,73	0,03	
	2Bt-Ct	0,6	0,04	16	5,9	1,3	1,2	0,2	0,01	0,004	42,8	4,0	6,2	10,7	3,0	0,04	2,27	0,02	
	3Ct	0,7	0,02	29	6,2	1,4	1,0	0,2	0,04	0,003	48,9	3,8	5,3	10,5	1,7	0,04	2,99	0,01	
9	Ah1	1,4	0,09	16	6,6	3,3	3,1	0,2	0,01	0,003	82,5	9,9	8,0	29,8	15,7	0,05	0,48	0,10	
	2Ah2	1,3	0,10	12	6,8	0,7	0,8	0,1	0,00	0,024	51,1	2,5	3,1	0,0	5,7	0,04	0,66	0,07	
	2Bt	0,4	0,03	14	6,6	0,4	0,6	0,1	0,01	0,004	47,1	2,0	2,6	9,9	4,2	0,04	0,93	0,04	
	3Ct	0,3	0,03	11	6,4	1,0	1,1	0,3	0,01	0,000	47,8	3,7	4,9	11,2	0,9	0,06	3,28	0,02	
10	Ah1	1,7	0,09	19	6,5	3,5	1,8	0,2	0,01	0,000	75,6	7,6	7,4	19,0	17,6	0,03	0,56	0,05	
	Ah2-E	0,4	0,03	12	6,8	0,6	0,7	0,2	0,01	0,000	59,1	2,4	2,5	16,4	4,2	0,03	0,59	0,05	
	2E	0,6	0,02	29	6,8	0,3	0,6	0,2	0,01	0,000	48,1	2,0	2,4	0,0	3,0	0,03	0,63	0,05	
	3Bt-Ct	1,0	0,06	17	6,6	0,4	0,7	0,4	0,06	0,000	46,3	2,8	3,4	0,0	3,6	0,04	1,37	0,03	
	4Ct	0,2	0,02	9	6,6	1,0	0,8	0,3	0,01	0,000	46,0	3,2	4,6	13,9	0,5	0,03	2,61	0,01	
11	Ah1	1,1	0,05	23	6,6	2,4	0,6	0,1	0,03	0,000	72,9	3,9	4,3	7,2	1,6	29,6	0,04	0,53	0,07
	Ah2	0,6	0,02	29	6,7	0,9	0,4	0,1	0,02	0,002	65,9	2,0	2,2	0,0	1,5	5,9	0,03	0,52	0,06
	E	0,9	0,02	52	6,8	0,7	0,3	0,1	0,02	0,002	50,9	1,6	2,3	0,0	3,9	3,9	0,03	0,53	0,06
	2Bt2	0,8	0,03	28	6,7	1,0	0,3	0,2	0,02	0,002	47,9	2,0	3,1	0,0	6,3	2,8	0,04	1,20	0,04
	3Bt-Ct	0,6	0,02	30	6,8	1,3	0,7	0,3	0,02	0,001	46,8	3,4	5,1	11,8	8,3	0,09	0,07	3,32	0,02
	4Ct	0,4	0,01	32	6,6	1,3	1,5	0,2	0,02	0,001	65,0	4,8	4,7	8,5	9,9	0,09	0,04	2,91	0,01
12	Ah	2,5	0,12	20	6,7	5,7	3,1	0,4	0,01	0,002	63,8	12,7	14,4	26,6	5,9	0,15	1,71	0,09	
	Bt	1,1	0,08	14	6,2	2,8	1,5	0,2	0,01	0,006	46,8	6,2	9,6	18,2	1,6	0,23	2,22	0,10	
	2Bt-Ct	0,7	0,06	12	6,5	2,8	1,6	0,3	0,01	0,005	44,4	6,7	10,7	16,2	0,9	0,18	3,14	0,06	
	3Ct	0,5	0,03	16	6,6	2,9	1,6	0,2	0,01	0,003	60,7	6,7	7,9	14,4	0,0	0,13	4,24	0,03	
13	Ah	1,0	0,07	14	6,4	3,3	0,9	0,1	0,01	0,001	71,4	5,3	6,0	22,8	8,3	0,05	0,83	0,06	
	2Bw	0,8	0,05	16	6,6	0,9	0,6	0,1	0,00	0,002	26,5	2,4	6,3	28,6	4,6	0,06	1,12	0,05	
	3Bt-Ct1	1,2	0,04	31	6,2	0,9	0,5	0,3	0,01	0,078	25,7	2,5	6,5	8,0	2,4	0,08	1,73	0,04	
	3Bt-Ct2	0,3	0,02	11	6,1	1,4	0,8	0,3	0,01	0,002	36,2	3,6	6,8	12,7	1,3	0,06	3,45	0,02	
	4Ct	0,2	0,02	12	6,1	1,5	1,1	0,2	0,01	0,001	39,4	4,1	7,1	12,8	1,4	0,05	3,81	0,01	

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>o</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>D</sub>
14	Ah	1,7	0,07	26	6,7	3,2	3,6	0,2	0,01	0,002	86,2	10,8	8,1	26,3	2,6	22,6	0,03	0,38	0,09
	E	0,8	0,03	30	6,1	0,2	0,4	0,1	0,01	0,086	32,5	1,4	2,3	0,0	4,4	4,4	0,03	0,55	0,05
	2Bsm	1,1	0,03	34	6,4	0,4	0,6	0,2	0,01	0,007	34,0	2,0	3,6	0,0	4,6	4,0	0,04	1,65	0,02
15	Ah	2,3	0,12	19	6,6	6,8	1,3	0,2	0,01	0,004	74,6	9,8	11,1	32,2		23,2	0,04	0,37	0,11
	E1	1,0	0,05	22	6,9	1,7	0,5	0,2	0,01	0,002	56,6	3,1	4,3	14,3		5,4	0,03	0,27	0,10
	E2	0,7	0,02	32	6,9	0,5	0,3	0,1	0,01	0,000	43,4	1,3	2,1	0,0		2,9	0,01	0,30	0,04
16	Ah	1,8	0,08	23	6,7	4,3	1,5	0,1	0,02	0,000	70,9	7,6	8,4	30,5		23,5	0,05	0,28	0,18
	E1	1,3	0,09	14	6,8	3,4	1,5	0,2	0,02	0,000	77,5	6,8	6,6	33,4		20,9	0,06	0,13	0,45
	2E2	0,3	0,02	14	6,9	0,8	0,4	0,1	0,02	0,000	69,0	1,9	2,0	21,9		7,2	0,03	0,04	0,64
	2Bsm	0,2	0,00	0,0	6,6	0,3	0,1	0,1	0,04	0,001	69,1	0,6	0,6			4,2	0,01	0,04	0,20
17	Ah	1,5	0,08	19	6,9	3,6	2,2	0,2	0,02	0,000	76,3	8,3	7,8	31,5		25,5	0,05	0,35	0,14
	E1	0,6	0,04	15	7,0	1,7	1,1	0,1	0,03	0,000	71,1	4,3	4,2	44,4		16,0	0,04	0,35	0,10
	E2	0,4	0,01	36	6,9	0,7	0,5	0,1	0,02	0,000	61,3	1,9	2,1	8,8		2,5	0,04	0,44	0,08
18	Ah	1,1	0,05	21	6,5	3,6	1,3	0,2	0,02	0,000	73,2	6,5	6,9	39,9		20,9	0,06	0,45	0,12
	E1	0,6	0,01	51	6,5	1,6	0,3	0,1	0,02	0,000	61,5	2,5	3,4	18,7		5,2	0,06	0,44	0,13
	2E2	0,6	0,03	19	5,8	0,9	0,3	0,0	0,02	0,073	16,8	1,6	7,2	56,2		4,9	0,07	0,57	0,12
	2E3	0,7	0,02	30	6,1	0,8	0,2	0,0	0,02	0,008	50,2	1,4	2,2	0,0		1,9	0,06	0,66	0,09
	2Bsm	0,2	0,00	0	6,5	0,2	0,1	0,0	0,02	0,001	54,6	0,4	0,2	0,0		2,6	0,02	0,13	0,11
19	Ah	1,4	0,09	16	6,7	6,2	1,8	0,2	0,00	0,000	94,2	10,3	8,8	38,5	13,2	11,0	1,09	0,31	3,52
	Btg1	0,3	0,03	9	6,3	2,7	1,3	0,3	0,16	0,001	76,7	6,2	5,8	24,9	9,9	4,4	0,67	0,70	0,96
	Btg2	0,3	0,04	7	6,5	3,6	2,1	0,3	0,02	0,000	81,7	8,4	7,3	23,8	12,4	4,9	0,59	1,07	0,56
20	Ah	0,5	0,04	13	7,1	2,4	0,3	0,1	0,00	0,000	81,5	3,2	3,4	50,7	3,2	14,0	0,16	0,17	0,92
	E	0,7	0,04	17	6,6	1,2	0,3	0,1	0,01	0,000	59,8	2,0	2,7	8,7	2,5	7,1	0,02	0,16	0,14
	Bt	0,1	0,01	14	6,3	0,8	0,1	0,2	0,06	0,005	56,6	1,5	2,0	21,4	2,2	4,2	0,03	0,30	0,10
	2Bg	0,4	0,00	0	6,3	0,5	0,3	0,1	0,01	0,000	46,1	1,2	1,8	6,6	3,5	3,1	0,02	0,29	0,05
21	Ah	0,3	0,00	0	6,2	0,7	0,8	0,2	0,02	0,000	49,7	2,6	3,4	30,9		5,2	0,05	0,32	0,16
	Bt	0,4	0,02	25	6,3	0,7	0,4	0,2	0,02	0,000	56,7	1,9	2,3	7,4		3,1	0,05	0,48	0,11
	Btc	0,7	0,01	74	6,1	0,8	0,4	0,2	0,02	0,000	44,8	2,0	3,1	5,0		2,8	0,13	0,91	0,14
	Btg	0,8	0,01	79	6,4	1,1	0,0	0,0	0,00	0,001	30,7	0,0	3,5	4,2		1,6	0,04	0,97	0,04

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
22	Ah1	2,3	0,12	19	6,5	6,1	1,8	0,2	0,03	0,001	76,5	10,2	10,6	32,0		9,1	0,04	0,12	0,31
	Ah2	0,8	0,03	31	6,5	1,2	0,2	0,1	0,02	0,000	60,2	1,8	2,5	0,0		4,0	0,03	0,06	0,44
	E	0,3	0,00	0	6,4	0,4	0,1	0,0	0,03	0,000	94,1	0,8	0,5	0,0		4,2	0,01	0,04	0,26
	Eg	0,1	0,00	0	7,2	0,3	0,1	0,0	0,01	0,024	43,1	0,6	1,0	17,1		2,8	0,01	0,13	0,08
	Bg	0,3	0,00	0	6,8	0,2	0,1	0,0	0,01	0,000	36,5	0,4	0,8			1,7	0,01	0,12	0,10
23	Ah	1,6	0,11	14	6,0	5,3	1,9	0,3	0,10	0,010	57,6	10,1	13,4	20,7		3,2	0,51	1,94	0,26
	Btg	1,0	0,07	13	5,8	3,6	1,6	0,2	0,03	0,130	52,7	7,3	10,3	16,3		1,6	0,03	39,7	0,00
	2Bg	0,2	0,02	13	6,3	0,4	0,2	0,0	0,01	0,020	43,4	0,8	1,3	16,3		4,1	0,06	0,14	0,41
	3Bg	0,3	0,03	10	6,3	2,0	1,0	0,1	0,03	0,050	74,3	4,3	4,2	17,7		4,7	0,17	0,37	0,46
24	Ah	2,0	0,12	16	5,6	2,0	1,0	0,3	0,05	0,741	32,0	5,4	10,3	14,3	8,1	7,6	0,13	0,16	0,79
	2Bg1	0,8	0,05	17	5,4	0,6	0,6	0,3	0,05	1,378	20,9	3,7	7,0	16,0	7,0	7,5	0,09	0,27	0,35
	3Bg2	0,5	0,04	14	5,6	0,9	0,9	0,2	0,04	0,598	33,0	3,8	6,2	17,6	8,7	5,5	0,03	0,26	0,12
	4Bg3	0,7	0,04	18	5,8	1,2	1,3	0,2	0,04	0,504	45,8	4,7	5,9	11,8	5,4	4,1	0,02	0,40	0,05
	4Bg4	0,7	0,06	12	5,5	1,3	1,4	0,2	0,05	0,342	45,0	5,0	6,7	15,0	5,0	3,9	0,01	0,39	0,03
	4Bg5	0,2	0,02	13	5,9	1,3	1,3	0,2	0,04	0,323	43,8	4,6	6,3	22,3	4,2	3,5	0,02	0,54	0,03
25	C	0,9	0,04	22	7,1	4,0	0,9	0,2	0,00	0,083	91,5	6,3	5,6	38,5	10,2	24,2	0,17	0,20	0,85
	Cg	0,9	0,00	0	7,0	1,7	0,9	0,1	0,01	0,083	70,1	3,7	3,7	10,4	2,4	2,4	0,15	0,16	0,91
	2Chg1	2,7	0,06	47	6,7	0,9	0,4	0,0	0,00	0,101	72,0	2,0	2,0	0,0	3,2	3,0	0,01	0,03	0,36
	3Chg2	2,8	0,08	36	7,0	0,3	0,1	0,0	0,00	0,000	57,0	0,6	0,9	0,0	0,7	5,2	0,00	0,01	0,17
	4Cr1	0,1	0,00	0	6,7	0,7	0,2	0,0	0,00	0,000	75,1	1,2	1,3	37,8	0,7	2,0	0,00	0,03	0,12
	5Cr2	0,0	0,00	0	6,9	1,5	0,6	0,1	0,02	0,088	76,9	3,0	2,9	122,9	3,2	3,9	0,01	0,03	0,28
26	Ah	0,5	0,04	14	6,6	1,6	0,4	0,1	0,04	0,093	62,6	2,8	3,4	19,9		13,8	0,02	0,03	0,82
	2Cg	0,1	0,00	0	7,1	0,6	0,1	0,1	0,01	0,095	65,1	1,0	1,2	16,4		8,9	0,00	0,01	0,45
	2Cr1	0,0	0,00	0	6,8	0,1	0,0	0,0	0,01	0,090	43,5	0,3	0,3	5,9		2,2	0,00	0,00	0,94
	3Cr2	0,1	0,00	0	7,2	3,7	1,1	0,1	0,11	0,012	88,4	6,4	5,7	38,0		13,7	0,01	0,01	0,37
27	Ah	3,1	0,19	16	6,5	11,0	2,8	0,6	0,04	0,000	86,4	18,1	40,0	177,1		31,0	0,04	0,14	0,27
28	Ah	2,3	0,14	17	6,8	10,1	2,5	0,7	0,09	0,000	67,6	16,7	30,0	108,7		7,2	0,03	0,17	0,18
	Bt1	0,6	0,04	14	6,6	3,6	1,7	0,4	0,04	0,000	22,7	7,8	19,8	67,8		4,2	0,04	0,21	0,18
	2Bt2	0,5	0,05	10	6,7	3,9	1,6	0,7	0,14	0,000	15,9	8,8	25,0	49,3		2,6	0,04	0,32	0,12

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
29	Ah	1,6	0,09	18	6,6	3,9	2,0	0,4	0,02	0,000	58,3	8,7	10,8	33,2	25,2	19,5	0,09	0,86	0,10
	Bt1	1,2	0,06	20	5,7	1,6	1,0	0,1	0,03	0,766	33,6	4,8	8,3	17,8	11,6	5,5	0,10	1,18	0,09
	2 t	0,9	0,06	15	5,6	2,6	1,8	0,2	0,06	0,272	46,1	7,0	10,1	15,6	16,8	3,3	0,12	1,97	0,06
	3Bt-Ct1	0,4	0,04	9	6,0	2,6	1,4	0,2	0,05	0,000	49,7	6,0	8,6	20,8	6,1	1,9	0,08	2,02	0,04
	4Bt-Ct2	0,3	0,04	7	6,3	3,4	1,7	0,3	0,05	0,000	62,7	7,4	8,7	20,7	10,0	1,6	0,08	2,13	0,04
30	ob. Teil	0,9	0,07	12	8,0	6,3	1,8	1,1	0,00	0,000	100,0	12,1	8,4	17,1		23,1	0,05	1,22	0,04
	Bw1	0,8	0,09	10	8,0	5,9	2,3	1,1	0,01	0,000	100,0	12,8	7,6	15,6		10,7	0,05	1,28	0,04
	Bw2	0,7	0,04	18	8,1	3,1	1,8	1,0	0,01	0,000	100,0	8,7	5,6	12,3		4,9	0,07	1,07	0,07
31	Ah1	1,0	0,05	20	6,4	2,0	0,6	0,1	0,00	0,000	96,6	3,5	2,7	0,0		4,6	0,04	0,46	0,09
	Ah2	0,4	0,02	18	6,2	0,8	0,4	0,1	0,00	0,100	45,4	2,0	3,0	14,6		2,8	0,04	0,68	0,06
	2Bt2	0,5	0,02	28	6,1	0,9	0,6	0,2	0,01	0,061	51,5	2,6	3,2	6,5		2,2	0,06	1,35	0,04
	3Bt-Ct	0,3	0,02	13	6,1	1,1	1,0	0,2	0,01	0,002	65,8	3,5	3,5	7,9		0,9	0,06	1,98	0,03
32	Ap	0,8	0,05	15	6,3	2,7	1,3	0,1	0,00	0,000	83,1	5,6	5,0	22,9	8,5	4,0	0,48	0,60	0,79
	2Bt	0,2	0,02	11	5,8	0,6	0,5	0,1	0,02	0,007	35,6	1,9	3,4	14,9	7,9	3,1	0,70	1,18	0,59
	3Ct	0,3	0,03	8	5,5	1,3	0,7	0,1	0,00	0,012	38,0	2,9	5,5	9,7	7,3	2,1	0,92	3,25	0,28
33	Ap	1,3	0,09	15	6,2	5,2	1,3	0,2	0,00	0,000	94,3	8,2	7,1	24,9	9,8	17,7	0,57	0,68	0,84
	2E	0,8	0,06	13	6,3	3,0	0,8	0,1	0,00	0,000	90,6	4,8	4,3	19,0	6,3	8,3	0,51	0,76	0,67
	2Bt	0,5	0,04	10	5,6	1,1	0,4	0,1	0,00	0,018	38,5	2,0	3,9	15,1	4,0	4,3	0,69	1,35	0,51
	3Ct	0,3	0,02	10	5,9	1,6	0,5	0,1	0,00	0,000	27,6	2,6	7,6	37,7	3,6	0,0	0,88	5,27	0,17
34	Ap	1,5	0,10	14	6,2	4,7	1,2	0,2	0,00	0,000	97,1	7,6	6,3	13,4	10,8	11,6	0,56	0,66	0,85
	2E	0,4	0,04	10	6,1	1,3	0,5	0,1	0,00	0,000	62,1	2,5	3,0	15,8	4,2	1,7	0,54	0,79	0,69
	2Bt	0,4	0,04	10	5,6	1,8	0,6	0,1	0,01	0,002	67,4	3,2	3,7	14,1	5,0	1,6	0,72	1,17	0,62
	3Ct	0,3	0,04	8	6,1	4,5	1,1	0,3	0,01	0,000	56,8	7,5	10,6	22,6	9,9	0,0	1,18	4,60	0,26
35	Ap	0,9	0,06	14	6,4	3,7	1,4	0,2	0,00	0,000	91,5	6,8	5,8	27,2	10,3	5,5	0,59	0,49	1,20
	2Bt	0,5	0,04	13	5,5	1,0	0,3	0,1	0,00	0,033	30,8	1,8	4,6	16,0	5,3	3,8	0,86	0,85	1,01
	3 Ct	0,4	0,04	10	5,6	1,6	0,5	0,1	0,00	0,029	39,8	2,8	5,6	14,9	5,5	3,3	0,82	1,13	0,73
36	Ap	0,8	0,06	14	6,9	3,1	1,1	0,2	0,00	0,000	80,0	5,6	5,4	36,6		8,0	0,06	0,29	0,20
	2 Bt 1	0,5	0,04	11	5,7	0,6	0,2	0,1	0,00	0,471	28,1	1,7	3,2	15,4		5,4	0,13	0,43	0,29
	2 Bt 2	0,5	0,04	11	6,1	1,0	0,3	0,1	0,02	0,092	35,0	1,9	4,1	19,2		6,0	0,07	0,93	0,08

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
37	Ap	2,5	0,16	15	6,8	4,8	2,0	0,2	0,01	0,003	71,9	9,4	9,9	7,6	6,3	0,07	1,04	0,07	
	2E	0,9	0,03	29	6,7	1,2	0,8	0,1	0,00	0,004	57,6	3,1	3,7	4,9	3,1	0,05	1,23	0,04	
	2Bt	0,4	0,04	11	6,4	0,4	0,7	0,1	0,00	0,070	40,2	2,1	3,1	9,2	2,8	0,06	1,97	0,03	
	3Bt-Ct	0,7	0,04	17	6,0	0,9	0,4	0,2	0,00	0,288	30,9	2,4	5,0	7,5	1,6	0,06	3,33	0,02	
	4Ct	0,3	0,03	9	6,1	1,4	0,6	0,4	0,01	0,011	38,0	3,4	6,3	12,2	1,1	0,06	4,01	0,01	
38	Ap	0,7	0,06	13	6,5	3,0	0,6	0,1	0,00	0,000	85,3	4,4	4,3	22,6	7,2	18,5	0,43	0,39	1,11
	Bw	0,5	0,04	12	5,9	0,9	0,4	0,1	0,00	0,006	67,6	1,8	3,3	18,9	7,3	4,6	0,59	0,47	1,27
	2Bsm	0,4	0,01	51	5,8	0,8	0,2	0,1	0,00	0,002	51,4	1,5	4,2	25,7	7,7	1,9	0,73	3,50	0,21
39	Ap	1,4	0,05	25	6,8	2,2	1,6	0,1	0,00	0,003	79,8	5,6	4,9	3,0	5,0	0,02	0,26	0,09	
	2Bw	0,2	0,02	11	6,8	0,3	0,5	0,1	0,00	0,002	61,3	1,5	1,4	10,2	3,6	0,02	0,33	0,07	
	2Bt	0,3	0,03	11	6,1	1,0	0,6	0,7	0,01	0,103	49,9	3,8	4,7	12,5	3,3	0,04	0,91	0,05	
40	Ap	1,2	0,06	20	6,6	2,8	1,1	0,1	0,00	0,003	69,9	5,2	5,8	18,9	15,1	0,06	0,43	0,14	
	2Ah 2	0,5	0,04	13	6,5	1,2	0,5	0,1	0,00	0,004	55,3	2,5	3,3	15,5	6,9	0,07	0,57	0,12	
	2Bw	0,5	0,02	23	6,4	1,2	0,2	0,1	0,01	0,082	42,6	1,8	3,4	15,1	2,8	0,07	0,68	0,10	
41	Ah	0,6	0,05	13	6,4	1,8	0,7	0,1	0,00	0,000	89,4	3,4	4,1	27,0	7,6	10,0	0,58	0,31	1,86
	Bg1	0,3	0,02	12	5,7	0,4	0,1	0,1	0,00	0,015	90,5	0,8	2,5	20,0	5,2	4,9	0,14	0,17	0,86
	Bg2	0,1	0,00	0	5,3	0,6	0,2	0,1	0,00	0,006	75,2	1,2	2,4	18,8	5,1	0,8	0,01	0,71	0,01
42	Ah	1,5	0,09	17	7,3	4,5	1,1	0,2	0,01	0,003	98,5	7,2	6,0	4,4	86,6	0,07	0,94	0,08	
	Bt	0,5	0,05	10	7,0	3,0	0,5	0,1	0,01	0,003	80,8	4,2	4,4	14,2	5,2	0,08	1,43	0,05	
	2Bt-Ct	0,6	0,04	16	7,3	2,5	0,8	0,1	0,01	0,003	57,7	4,3	5,9	10,6	2,5	0,08	2,74	0,03	
	3Ct	0,3	0,03	9	6,2	2,0	1,0	0,1	0,01	0,003	54,7	4,3	5,8	12,7	1,7	0,06	3,73	0,02	
43	Ah	2,7	0,26	10	7,2	9,0	1,9	0,3	0,08	0,005	78,5	13,7	14,5	23,1	20,4	0,07	1,21	0,06	
	Bt	1,5	0,17	9	7,2	6,4	1,0	0,2	0,02	0,002	90,8	8,7	8,3	11,5	9,3	0,07	1,42	0,05	
	2Bt-Ct	0,6	0,06	9	7,5	3,7	0,5	0,1	0,01	0,003	80,8	4,8	5,2	10,9	5,0	0,08	2,24	0,04	
	3Ct	0,3	0,03	8	7,4	2,3	1,4	0,2	0,01	0,007	86,5	5,7	4,6	10,8	4,4	0,05	4,54	0,01	

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>pot</sub>	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>	
								cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T						
44	Ap	0,6	0,05	11	5,9	1,0	0,3	0,1	0,00	0,039	53,4	1,7	2,6	17,2	6,3	0,02	0,21	0,11		
	2Bt	0,6	0,06	10	5,8	1,3	0,3	0,1	0,00	0,076	43,8	2,2	3,9	19,3	2,5	0,04	0,41	0,10		
	3Bt-Cw	0,2	0,02	10	5,8	1,4	0,4	0,1	0,01	0,122	34,7	2,4	5,3	34,3	0,9	0,04	1,62	0,03		
	4Cw1	0,1	0,01	10	6,2	1,6	0,4	0,1	0,02	0,110	44,6	2,7	4,7	50,4	5,3	0,02	0,71	0,03		
	4Cw2	0,1	0,01	9	6,2	1,6	0,4	0,1	0,02	0,098	45,1	2,7	4,7	73,0	4,2	0,02	0,65	0,03		
	4Cw3	0,1	0,01	10	6,3	1,7	0,5	0,1	0,02	0,087	47,2	2,9	4,8	66,0	3,5	0,02	0,70	0,03		
45	Ap	0,5	0,03	17	5,8	0,9	0,4	0,1	0,00	0,000	38,0	1,8	3,5	19,0	5,2	0,04	1,27	0,04		
	2Bt1	0,4	0,03	15	5,6	1,5	0,1	0,1	0,00	0,000	31,2	1,8	5,3	12,4	0,0	0,10	2,85	0,04		
	2Bt2	0,3	0,02	15	5,6	1,8	0,1	0,1	0,00	0,000	32,5	2,2	6,2	13,3	0,0	0,11	3,18	0,03		
	3Bw3	0,3	0,02	15	5,8	2,1	0,1	0,1	0,00	0,000	35,6	2,5	6,4	15,5	0,0	0,12	3,19	0,04		
	3Bt4	0,2	0,02	13	6,0	2,2	0,1	0,0	0,00	0,000	32,8	2,6	7,3	18,9	0,0	0,12	4,16	0,03		
	4Ct	0,2	0,01	16	6,2	2,1	0,1	0,0	0,00	0,000	37,8	2,4	5,9	18,7	0,0	0,08	4,76	0,02		
46	Ap	0,9	0,05	17	6,2	2,5	0,6	0,1	0,00	0,029	44,4	3,9	7,1	36,1	6,4	0,06	2,89	0,02		
	2 Bt 1	0,4	0,03	17	6,1	1,4	0,6	0,0	0,00	0,000	28,1	2,6	7,1	36,9	1,9	0,11	3,58	0,03		
	2 Bt 2	0,2	0,01	24	6,1	1,4	0,7	0,1	0,00	0,066	32,4	3,2	7,1	30,9	1,3	0,06	4,96	0,01		
	3 Ct 1	0,1	0,01	17	5,7	1,7	0,7	0,1	0,00	0,038	33,9	3,3	7,3	19,8	0,3	0,03	4,51	0,01		
	3 Ct 2	0,1	0,00	20	5,5	1,4	0,5	0,1	0,00	0,041	25,4	2,5	7,4	17,9	0,3	0,04	6,53	0,01		
47	Ap1	1,0	0,06	17	6,0	2,6	0,7	0,1	0,00	0,011	55,0	4,2	6,2	26,4	26,9	0,04	0,97	0,05		
	Ap2	0,4	0,02	22	6,1	1,1	0,4	0,1	0,00	0,015	41,3	2,0	3,7	24,6	4,8	0,03	0,95	0,03		
	Bt1	0,8	0,05	16	5,8	2,2	0,6	0,1	0,00	0,021	48,0	3,5	6,0	21,3	4,8	0,06	1,15	0,06		
	2Bt2	0,7	0,05	14	5,7	1,9	0,7	0,1	0,00	0,100	35,0	3,4	7,5	22,7	3,2	0,10	1,47	0,06		
	2Bt3	0,6	0,05	13	5,5	1,7	0,5	0,1	0,00	0,173	30,7	3,0	7,4	14,9	1,6	0,08	2,58	0,03		
48	Ap1	0,4	0,03	16	5,9	1,0	0,4	0,1	0,00	0,091	53,3	1,9	2,6	16,8	3,2	0,02	0,42	0,04		
	Ap2	0,3	0,01	19	5,8	0,6	0,3	0,0	0,00	0,083	35,2	1,3	2,5	20,0	1,9	0,02	0,44	0,04		
	2Bt1	0,3	0,02	15	5,4	0,8	0,4	0,1	0,00	0,152	29,8	1,8	4,2	16,2	1,6	0,05	0,85	0,06		
	2Bt2	0,3	0,02	11	5,4	1,2	0,7	0,1	0,00	0,556	22,0	3,2	8,7	17,2	0,6	0,05	2,02	0,03		
	2Bg1	0,2	0,02	13	5,5	0,9	0,5	0,1	0,00	0,556	18,6	2,5	7,6	17,2	0,3	0,03	1,92	0,02		
	3Bg2	0,1	0,01	18	5,5	1,0	0,4	0,1	0,00	0,204	20,6	2,1	7,0	24,9	0,0	0,04	3,48	0,01		

Tab. A18: Fortsetzung

Pr.	Horizont	C <sub>org</sub> %	N <sub>t</sub> %	C/N	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Na	Al	BS %	KAK <sub>eff</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> B	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> T	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Fe <sub>O</sub> %	Fe <sub>D</sub> %	Fe <sub>O</sub> /Fe <sub>D</sub>
49	Ap	0,6	0,04	14	5,8	1,4	0,3	0,0	0,00	0,000	35,6	2,2	5,0	39,4	4,8	0,03	0,66	0,05	
	Bt1	0,3	0,02	18	5,4	0,9	0,3	0,0	0,00	0,117	28,1	1,7	4,3	15,9	1,6	0,06	1,16	0,05	
	Bt2	0,2	0,01	19	5,5	1,0	0,2	0,0	0,00	0,089	24,6	1,6	5,2	16,5	1,1	0,10	1,51	0,07	
	2Bg1	0,2	0,01	18	5,5	1,3	0,4	0,1	0,00	0,037	27,6	2,2	6,3	18,3	1,4	0,09	1,42	0,06	
	2Bg2	0,2	0,01	14	5,4	1,4	0,5	0,0	0,00	0,037	28,5	2,5	6,8	18,7	0,3	0,06	1,68	0,04	
	2Bg3	0,2	0,01	18	5,5	1,7	0,6	0,0	0,00	0,011	31,2	2,9	7,3	20,6	0,6	0,09	2,07	0,04	
50	Ah	1,9	0,19	10	7,1	10,5	0,9	0,3	0,00	0,004	88,8	12,9	13,2	48,8	8,0	0,02	0,49	0,05	
	Bw1	0,9	0,10	9	7,0	5,5	0,8	0,2	0,00	0,040	87,3	7,5	7,4	28,6	4,1	0,02	0,59	0,04	
	2Bw2	0,5	0,04	10	7,1	2,1	0,3	0,1	0,00	0,003	67,1	2,9	3,7	21,2	2,5	0,02	0,48	0,04	
	2Bw3	0,2	0,01	14	7,1	1,2	0,2	0,1	0,00	0,010	55,8	1,8	2,7	23,4	2,0	0,02	0,49	0,04	
	2Bg	0,2	0,01	18	7,2	1,7	0,3	0,1	0,00	0,047	55,7	2,5	3,8	25,4	2,5	0,07	1,56	0,05	

cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> B = cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Boden, cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> T = cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Ton

(Die Bestimmung des K<sub>2</sub>O-Gehalts wurde nur an ausgewählten Profilen bzw. Horizonten vorgenommen.)

Tab. A19: Messung der Bodenerosion

Messparzellen: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag 2001, Doguè

Datum	Erdnuss <b>P2A</b> l ha <sup>-1</sup>	Erdnuss <b>P2A</b> kg ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P2B</b> l ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P2B</b> kg ha <sup>-1</sup>	Baumwolle <b>P3A</b> l ha <sup>-1</sup>	Baumwolle <b>P3A</b> kg ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P3B</b> l ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P3B</b> kg ha <sup>-1</sup>	Yams <b>P3C</b> l ha <sup>-1</sup>	Yams <b>P3C</b> kg ha <sup>-1</sup>	Savanne <b>P4A</b> l ha <sup>-1</sup>	Savanne <b>P4A</b> kg ha <sup>-1</sup>
01.04.01	1,6	25,6	3,0									
02.04.01	0,6	0,0	3,1						0,8	65,5		
06.04.01	0,1	0,1										
16.04.01	0,6	7,9	4,1	16,9			2,5	14,8	1,3	17,1	0,4	30,1
19.04.01	0,2		0,1	0,0			0,1	0,0	0,0	0,0		
25.04.01	2,1	13,7	2,9	18,4	5,0	28,9	4,4	41,4	7,0	69,3	7,4	35,9
02.05.01	3,9	14,8	6,9	21,5	5,8	10,7	3,5	12,0	7,5	99,9	49,1	928,8
12.05.01	0,7	24,0	17,2	128,1	3,0	20,9	5,7	101,0	16,6	1790,8	10,0	628,3
01.06.01	10,6	18,6	36,3	19,6			34,4	896,4	101,6	8726,9	123,8	2426,6
05.06.01	1,6	8,0	2,9	16,6	12,5	28,6	2,2	9,2	19,5	293,6	6,9	4,3
12.06.01	12,2	25,0	36,6	11,2	15,3	3,7	9,5	0,4	12,8	2209,5	13,0	2,3
18.06.01	7,8	7,9	17,8	34,4	19,8	16,4	5,0	7,5	17,5	265,6	20,3	6,4
25.06.01	15,6	4,0	46,6	56,6	31,1	12,8	18,1	3,8	38,4	58,8	13,1	2,6
28.06.01	21,1	13,6	58,0	24,3	14,1	10,6	15,8	1,1	35,6	112,1	2,1	0,6
01.07.01	4,9	0,8	2,5	1,6	4,3	1,6	2,2	1,4	17,3	206,4	1,6	0,3
25.07.01	40,2	17,7	15,3	52,3	16,5	68,5	15,3	83,3	84,1	1503,6	18,8	5,0
01.08.01	10,3	6,9	7,2	4,2	9,4	0,8	2,5	1,4	17,3	193,7	5,5	1,5
10.08.01	58,6	340,1	63,6	352,5	104,7	673,4	31,6	247,1	144,4	24454,2	58,4	325,4
20.08.01	29,1	15,1	21,9	79,9	34,1	462,4	3,8	63,4				
11.09.01	5,6	13,7	9,7	17,3	48,8	878,4	12,8	45,3				
14.09.01	6,4	3,9	21,6	20,8	54,4	383,8						
19.09.01	7,0	5,4	8,0	0,7	15,5	26,2	10,9	1,5				
22.09.01	14,7	11,5	23,9	21,5	46,6	62,1	28,3	54,5				
26.09.01	40,0	25,1	66,4	144,9	78,8	174,3	21,3	18,0				
28.09.01	40,2	105,1	87,0	782,1	123,8	559,8	45,2	105,7				
04.10.01	7,5	1,0	7,8	2,3	16,3	5,9	4,1	2,0				
08.10.01	17,2	2,5	13,0	1,0	26,3	3,8	5,4	0,8				

Tab. A19: Fortsetzung

Sediment-Fangkästen: Bodenabtrag 2001, Doguè (jeweils Mittel von 3 Wiederholungen)

Datum	Erdnuss <b>F2A</b> kg ha <sup>-1</sup>	Yams <b>F3C</b> kg ha <sup>-1</sup>
16.04.01	0,4	3,2
25.04.01	8,3	4,1
02.05.01	13,4	0,8
12.05.01	20,3	5,4
01.06.01	108,2	14,3
05.06.01	18,2	1,5
12.06.01	10,2	2,8
18.06.01	13,4	4,6
25.06.01	10,1	7,3
28.06.01	10,7	8,4
01.07.01	3,9	1,9
25.07.01	7,2	6,7
01.08.01	4,5	3,8
10.08.01	13,6	12,1
20.08.01	1,7	11,6
11.09.01	31,5	20,9
14.09.01	10,8	14,0
19.09.01	19,3	18,1
22.09.01	6,4	12,5
26.09.01	28,7	4,3
28.09.01	57,5	69,4
08.10.01	34,1	18,3

Tab. A19: Fortsetzung

Erosionsmessnägel: Vertikale Veränderung der Bodenoberfläche 2001, Doguè (jeweils Mittel von 3 Wiederholungen)

Datum	Mais <b>N1</b> Nagel 1	Mais <b>N1</b> Nagel 2	Mais <b>N1</b> Nagel 3	Mais <b>N1</b> Nagel 4	Mais <b>N1</b> Nagel 5	Mais <b>N1</b> Nagel 6
01.06.01	-0,5	-2,0	-0,5	-0,5	0,7	-0,2
18.06.01	-0,7	-2,3	-0,7	-0,2	0,2	-0,2
01.07.01	-0,9	-2,3	-0,8	-0,1	0,3	-0,3
25.07.01	-1,0	-2,3	-0,3	-0,4	0,2	-0,5
16.08.01	-1,4	-1,4	-1,2	0,0	-0,8	-1,1

Datum	Yams <b>N2</b> Nagel 1	Yams <b>N2</b> Nagel 2	Yams <b>N2</b> Nagel 3	Yams <b>N2</b> Nagel 4	Yams <b>N2</b> Nagel 5
01.06.01	0,5	1,5	0,8	0,5	-2,0
18.06.01	0,0	0,5	0,3	0,5	-2,0
01.07.01	0,3	1,0	-0,3	0,3	-2,0
25.07.01	0,0	0,5	0,2	0,2	-2,5
16.08.01	0,2	1,5	-0,7	-1,2	-2,1

Datum	Savanne <b>N3</b> Nagel 1	Savanne <b>N3</b> Nagel 2	Savanne <b>N3</b> Nagel 3	Savanne <b>N3</b> Nagel 4	Savanne <b>N3</b> Nagel 5	Savanne <b>N3</b> Nagel 6
01.06.01	1,3	1,3	0,0	1,8	0,8	1,2
18.06.01	1,3	1,3	0,3	2,2	0,8	1,2
01.07.01	1,4	1,5	1,2	2,1	0,8	1,0
25.07.01	1,3	1,0	0,3	1,9	0,6	1,0
16.08.01	1,8	1,5	1,0	2,1	1,2	1,4

Tab. A19: Fortsetzung

Messparzellen: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag 2002, Doguè

Datum	Baumwolle P2A 1000 l ha <sup>-1</sup>	Baumwolle P2A kg ha <sup>-1</sup>	Baumwolle P2B 1000 l ha <sup>-1</sup>	Baumwolle P2B kg ha <sup>-1</sup>	Mais P3A 1000 l ha <sup>-1</sup>	Mais P3A kg ha <sup>-1</sup>	Mais P3B 1000 l ha <sup>-1</sup>	Mais P3B kg ha <sup>-1</sup>	Yams P1A 1000 l ha <sup>-1</sup>	Yams P1A kg ha <sup>-1</sup>	Savanne P4B 1000 l ha <sup>-1</sup>	Savanne P4B kg ha <sup>-1</sup>
04.04.02	7,2	23,7	92,8	3157,2	0,0	0,0	9,4	29,3	1,4	26,9	1,7	8,0
14.04.02	21,3	396,5	111,6	2704,7	76,3	3074,0	1,4	1,2	104,7	2845,2	8,9	25,8
18.04.02	4,4	3,6	61,1	58,2	42,0	138,6	8,0	2,7	77,8	741,9	14,8	52,1
02.05.02	2,8	5,3	7,7	8,4	0,2	0,0	0,0	0,0	4,8	17,8	0,0	0,0
27.05.02			2,8		12,0	135,0	1,9	1,3	0,0	0,0	3,0	2,4
02.06.02	3,3	2,1	2,6	0,4	1,1	9,0	0,2	0,0	0,2	0,5	0,2	0,0
07.06.02	0,8	5,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,5	35,7	0,0	0,0
13.06.02	6,4	7,4	0,0	0,0	0,7	0,0	0,2	0,0	0,6	10,0	1,9	21,5
19.06.02	0,6	7,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	1,6	3,1	0,2	0,0
24.06.02	0,9	5,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	82,4	0,4	0,0
26.06.02	5,6	186,5	6,3	50,4	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	21,1	9,5	23,2
03.07.02	5,0	14,9	0,8	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	3,0	3,6	1,7	7,9
06.07.02	2,7	8,0	1,8	8,8	3,7	0,0	0,0	0,0	3,1	34,3	1,4	3,1
11.07.02	3,1	1,2	1,4	2,3	1,6	0,0	0,2	0,0	3,5	4,0	1,0	0,9
16.07.02	2,3	47,8	0,2	0,0	8,1	1232,2	0,0	0,0	2,3	61,9	2,7	6,3
18.07.02	2,0	0,7	0,0	0,0	1,1	20,4	0,1	0,0	2,7	1,7	4,7	2,3
01.08.02	105,6	2365,4	30,0	102,7	40,9	3783,5	5,8	1,7	39,1	170,2	7,4	48,2
04.08.02	89,6	24359,9	27,3	842,1	38,0	37730,2	9,2	449,6	36,7	594,6	9,4	20,4
05.08.02	104,8	20261,6	31,0	911,2	43,7	83929,8	14,7	571,7	53,1	494,2	13,1	17,5
09.08.02	28,3	135,5	1,9	3,7	13,1	101,0	0,3	0,1	1,7	13,9	0,3	0,0
12.08.02	24,9	235,0	2,6	4,1	14,0	115,6	0,0	0,0	1,4	2,2	2,5	2,4
14.08.02	173,8	6936,5	107,1	650,9	104,1	5166,8	39,1	88,6	139,4	4778,6	6,3	127,3
17.08.02	166,6	10371,1	44,1		0,0	0,0	0,0	0,0	119,4	503,7	55,0	299,9
18.08.02	146,3	12251,1	34,1	112,2	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	50,6	85,0	694,5
21.08.02	120,0	10202,3	27,8	83,0	20,6	250,1	33,1	28,8	51,3	658,3		
24.08.02	145,0	9229,8	63,8	55,2	50,0	0,0	50,0	33,8	23,4	18,8	16,3	96,7
02.09.02	148,1	4523,9	21,9	219,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	172,7		
03.09.02	6,6	2,1	0,2	0,0	0,5		0,0	0,0			3,1	5,5
06.09.02	153,8	7759,7	53,8	397,0	106,7	2883,4			138,1	1937,2	127,5	2043,1
13.09.02	166,6	6777,7	103,1	338,5	20,0	94,1	0,0	0,0	175,6	9025,5	12,5	38,9
14.09.02	133,5	1767,6	51,7	40,0	15,6	430,1	31,9	26,1	65,0	406,9	31,9	281,3
15.09.02	159,8	3673,3	68,8	61,2	60,0	3529,7	30,0	91,2	131,3	357,4	77,2	44,4

Tab. A19: Fortsetzung

Messparzellen: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag 2002, Doguè

Datum	Baumwolle <b>P2A</b> 1000 l ha <sup>-1</sup>	Baumwolle <b>P2A</b> kg ha <sup>-1</sup>	Baumwolle <b>P2B</b> 1000 l ha <sup>-1</sup>	Baumwolle <b>P2B</b> kg ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P3A</b> 1000 l ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P3A</b> kg ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P3B</b> 1000 l ha <sup>-1</sup>	Mais <b>P3B</b> kg ha <sup>-1</sup>	Yams <b>P1A</b> 1000 l ha <sup>-1</sup>	Yams <b>P1A</b> kg ha <sup>-1</sup>	Savanne <b>P4B</b> 1000 l ha <sup>-1</sup>	Savanne <b>P4B</b> kg ha <sup>-1</sup>
18.09.02	44,3	163,4	4,2	43,8	9,2	28,6	0,0	0,0	53,1	2001,4		
19.09.02	133,9	597,5	9,3	60,9	26,6	319,0	6,9	11,8	98,4	896,6	0,6	0,1
22.09.02	43,4	53,8	1,4	0,7	19,1	287,5	6,9	18,8	37,5	23,0	10,6	22,2
24.09.02	0,4	0,0	0,3	0,0	5,8		0,0	0,0	0,2	0,0	0,8	0,4
26.09.02	3,9	15,7	6,3	18,9	20,9	59,2	2,0	5,1	66,9	635,8	0,0	0,0
30.09.03	1,3	1,0	0,1	0,0	8,4	60,3	0,0	0,0	1,9	2,2	0,0	0,0
02.10.02	33,8	165,3	11,9	131,8	2,5	4,2	0,0	0,0	35,9	201,9	0,0	0,0
05.10.02	86,6	1414,6	70,6	2480,8	120,6	47718,3	38,3	5997,5	143,4	14556,2	3,1	16,9
06.10.02	10,9	12,3	1,9	15,1	23,4	353,0	0,0	0,0	5,3	5,2	1,3	1,4
18.10.02	0,9	0,5	0,0	0,0	0,0	66,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0

Tab. A19: Fortsetzung

Sediment-Fangkästen: Bodenabtrag 2002, Doguè (jeweils Mittel von 2 Wiederholungen)

Datum	Baumwolle F2A kg ha <sup>-1</sup>	Mais F3A kg ha <sup>-1</sup>	Mais F3B kg ha <sup>-1</sup>	Yams F1A kg ha <sup>-1</sup>
04.04.02	11,1			45,1
14.04.02	13,8			67,0
18.04.02	4,3			42,1
02.05.02	3,3			33,1
27.05.02	2,3			
02.06.02	0,0			
07.06.02	0,5			
13.06.02	0,0			10,6
19.06.02	0,0			19,2
24.06.02				15,2
26.06.02	0,0			30,1
03.07.02	0,0			15,1
06.07.02	0,0			21,6
11.07.02	0,0			15,5
16.07.02	0,0			12,0
18.07.02	0,0			15,8
01.08.02	47,9	10,1	5,9	54,6
04.08.02	44,8	17,0	7,8	33,4
05.08.02	30,7	11,0	9,8	40,5
09.08.02	9,2	7,0	6,5	14,6
12.08.02	4,5	2,4	3,4	18,3
14.08.02	23,0	3,8	3,8	79,8
17.08.02	29,3	3,7	3,7	45,1

Datum	Baumwolle F2A kg ha <sup>-1</sup>	Mais F3A kg ha <sup>-1</sup>	Mais F3B kg ha <sup>-1</sup>	Yams F1A kg ha <sup>-1</sup>
18.08.02	18,0	2,7	5,0	29,7
21.08.02	38,9	1,6	2,4	43,0
24.08.02	9,0	1,3	3,0	23,6
02.09.02	18,0	0,0	0,0	32,0
03.09.02	5,8	0,0	8,1	20,8
06.09.02	29,6	6,1	3,3	150,8
13.09.02	13,3	4,4	0,9	114,4
14.09.02	13,1	2,5	0,5	41,4
15.09.02	13,6	10,3		113,5
18.09.02	6,5	2,9		75,0
19.09.02	6,5	3,5	0,4	147,0
22.09.02	3,2	3,8	1,6	56,5
24.09.02	3,7	1,1	1,2	49,2
26.09.02	2,6	1,1	0,8	37,1
30.09.03	0,5	1,1		24,1
02.10.02	3,5	1,2	0,2	40,4
05.10.02	2,1	1,4	0,7	16,5
06.10.02	6,7	4,8	0,7	12,1
09.10.02	57,7	2,0	0,3	21,0
10.10.02				13,8
11.10.02				
18.10.02	0,0	0,0	0,0	21,2

Tab. A19: Fortsetzung

Sediment-Fangkästen: Bodenabtrag 2002, Awanla (jeweils Mittel von 2 Wiederholungen)

Datum	Baumwolle F1Aw kg ha <sup>-1</sup>	Mais F2Aw kg ha <sup>-1</sup>	Yams F3Aw kg ha <sup>-1</sup>
06.05.02			477,5
12.05.02			194,3
13.05.02			113,9
21.06.02			88,0
24.06.02			71,9
26.06.02			32,5
27.06.02			101,5
06.07.02	67,2	58,0	12,3
06.08.02	57,6	49,5	69,8
10.08.02	54,8	0,0	121,1
12.08.02	53,7	5,5	31,5
14.08.02	76,9	0,0	102,7
19.08.02	35,7	0,0	0,0
21.08.02	44,3	24,5	1072,9
22.08.02	0,0	0,0	12,1
23.08.02	0,0	0,0	163,7
29.08.02	0,0	0,0	105,6
02.09.02	58,8	11,5	113,5
04.09.02	0,0	0,0	54,6

Datum	Baumwolle F1Aw kg ha <sup>-1</sup>	Mais F2Aw kg ha <sup>-1</sup>	Yams F3Aw kg ha <sup>-1</sup>
06.09.02	30,5	0,0	56,4
13.09.02	10,1	0,0	83,4
14.09.02	44,5	0,0	238,2
15.09.02	63,9	6,5	188,6
19.09.02	51,5	0,0	31,9
20.09.02	21,5	0,0	0,0
22.09.02	17,5	0,0	58,0
24.09.02	20,4	26,9	68,0
28.09.02	20,2		43,7
30.09.02	50,0		58,5
01.10.02	53,1		246,8
02.10.02	31,1		235,7
04.10.02	34,4		62,8
05.10.02	56,1		18,6
06.10.02	50,8		93,2
08.10.02	21,2		27,5
13.10.02	53,7		23,2
19.10.02	17,2		26,3

Tab. A19: Fortsetzung

Sediment-Fangkästen: Bodenabtrag 2002, Serou (jeweils Mittel von 2 Wiederholungen)

Datum	Baumwolle F1Se kg ha <sup>-1</sup>	Mais F2Se kg ha <sup>-1</sup>	Yams F3Se kg ha <sup>-1</sup>
02.05.02			0,0
06.05.02			45,8
08.05.02			0,0
13.05.02			29,7
14.05.02			34,9
19.05.02			0,0
24.05.02			0,0
27.05.02			0,0
28.05.02			0,0
01.06.02			0,0
07.06.02			0,0
12.06.02			0,0
18.06.02			0,0
19.06.02			97,8
24.06.02			30,3
26.06.02			39,5
02.07.02			0,0
03.07.02			44,5
05.07.02			0,0
06.07.02			0,0
09.07.02			40,9
12.07.02			0,0
16.07.02			0,0
17.07.02			0,0
20.07.02			0,0
21.07.02			0,0
27.07.02			51,2
29.07.02			0,0
30.07.02			0,0
01.08.02	0,0		0,0

Datum	Baumwolle F1Se kg ha <sup>-1</sup>	Mais F2Se kg ha <sup>-1</sup>	Yams F3Se kg ha <sup>-1</sup>
03.08.02	0,0		0,0
06.08.02	35,5		27,8
07.08.02	0,0		0,0
10.08.02	44,7		17,6
12.08.02	0,0		0,0
13.08.02	0,0		0,0
14.08.02	31,7		0,0
18.08.02	90,6	38,8	36,4
21.08.02	0,0	0,0	0,0
24.08.02	18,2	16,6	0,0
26.08.02	27,6	33,3	33,6
29.08.02	21,8	8,1	0,0
02.09.02	12,4	12,8	15,8
04.09.02	50,7	24,5	15,0
06.09.02	34,4	25,6	21,6
08.09.02	0,0	0,0	0,0
13.09.02	38,4	30,7	25,2
14.09.02	41,5	16,8	27,7
15.09.02	25,1	13,0	13,0
18.09.02	4,5	0,0	0,0
20.09.02	0,0	0,0	0,0
22.09.02	0,0	0,0	0,0
25.09.02	0,0	0,0	0,0
28.09.02	0,0	0,0	0,0
30.09.02	11,7	9,2	23,2
01.10.02	17,7	8,4	19,2
04.10.02	0,0	0,0	0,0
06.10.02	17,0	22,6	39,5
08.10.02	3,0	0,0	0,0
09.10.02	0,0	0,0	0,0

Tab. A19: Fortsetzung

Erosionsmessnägel: Vertikale Veränderung der Bodenoberfläche 2002, Doguè (jeweils Mittel von 2 Wiederholungen)

Datum	Mais N3A Nagel 1 <sup>1</sup>	Mais N3A Nagel 2 <sup>1</sup>	Mais N3A Nagel 3 <sup>1</sup>	Mais N3A Nagel 4 <sup>1</sup>	Mais N3A Nagel 5 <sup>1</sup>	Mais N3A Nagel 6 <sup>1</sup>
15.07.02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01.08.02	0,4	0,0	-0,1	0,1	0,3	0,0
15.08.02	1,4	1,1	0,4	-0,1	1,5	0,7
01.09.02	1,7	0,9	0,1	0,2	1,9	0,8
15.09.02	2,0	1,0	0,0	0,2	2,0	1,2
01.10.02	1,9	1,1	0,1	0,0	2,3	1,0
15.10.02	2,0	2,1	0,2	-0,1	2,4	0,9

Mais N3B Nagel 1 <sup>1</sup>	Mais N3B Nagel 2 <sup>2</sup>	Mais N3B Nagel 3 <sup>1</sup>	Mais N3B Nagel 4 <sup>1</sup>	Mais N3B Nagel 5 <sup>2</sup>	Mais N3B Nagel 6 <sup>1</sup>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,3	-0,3	2,2	-0,6	1,3	-0,5
2,6	-0,4	3,0	-2,2	2,4	-1,7
2,7	-1,1	3,1	-2,6	2,4	-2,7
3,0	-1,7	3,4	-2,9	2,6	-3,0
3,9	-2,0	4,0	-3,3	3,2	-3,2
4,0	-2,4	4,0	-3,5	3,4	-3,3

Datum	Yams N1A Nagel 1 <sup>3</sup>	Yams N1A Nagel 2 <sup>3</sup>	Yams N1A Nagel 3 <sup>3</sup>	Yams N1A Nagel 4 <sup>3</sup>	Yams N1A Nagel 5 <sup>3</sup>	Yams N1A Nagel 6 <sup>3</sup>
15.03.02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01.04.02	0,4	-0,1	-0,5	-0,1	-0,5	-1,2
15.04.02	0,6	0,0	-0,3	0,7	-0,3	-1,1
01.05.02	0,6	0,4	-0,8	0,6	-0,5	-1,1
15.05.02	1,5	0,3	-0,1	0,9	-1,0	0,4
01.06.02	1,5	0,4	-0,4	1,0	-0,9	0,5
15.06.02	0,8	1,3	-0,6	3,0	-0,5	0,3
01.07.02	1,4	1,9	-0,4	3,6	-0,2	0,8
15.07.02	1,6	2,1	-0,1	4,2	0,4	0,3
01.08.02	2,1	2,6	0,2	4,6	0,7	0,4
15.08.02	2,5	4,6	0,6	4,9	1,1	1,5
01.09.02	2,5	6,1	1,1	5,1	0,9	2,4
15.09.02	3,2	7,4	2,3	5,9	1,3	2,8
01.10.02	3,3	7,5	3,1	6,1	1,5	3,0
15.10.02	3,4	7,5	3,5	6,2	1,9	2,7

Savanne N4B Nagel 1 <sup>1</sup>	Savanne N4B Nagel 2 <sup>2</sup>	Savanne N4B Nagel 3 <sup>1</sup>	Savanne N4B Nagel 4 <sup>1</sup>	Savanne N4B Nagel 5 <sup>2</sup>	Savanne N4B Nagel 6 <sup>1</sup>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,2	0,5	0,9	0,8	1,2	1,0
0,1	0,5	0,9	0,9	1,1	1,0
0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,7
0,8	0,7	0,9	0,4	0,6	0,7
0,7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,9
0,7	0,6	0,5	0,3	0,4	0,9
0,7	0,6	0,4	0,3	0,4	0,9
0,9	-0,7	2,0	0,3	0,5	0,9
0,9	-0,7	2,0	0,3	0,5	0,9
0,9	1,2	1,0	1,9	1,5	1,2
0,9	1,3	0,9	2,0	1,8	1,1
0,9	1,3	0,9	2,0	1,9	0,8

<sup>1</sup> zwischen Dämmen, <sup>2</sup> auf Dämmen, <sup>3</sup> zwischen Hügeln

Tab. A20: Analysendaten der mit dem Oberflächenabfluss erodierten Substrate

Messparzellen, Doguè 2002

Parzelle	Datum	gS	mS	fS	gU %	mU	fU	T	C %	N %	Ca	Mg cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	K cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Na	Al	P ppm
P1A	14.04.02	15,3	29,6	30,6	7,8	5,0	2,2	9,5	1,0	0,07						
	01.08.02	0,5	4,8	33,9	26,5	14,0	4,5	15,7	2,8	0,15						
	05.08.02	0,0	2,2	2,2	22,0	30,6	13,6	29,5	5,3	0,40						
	15.09.02	0,0	0,0	1,4	10,0	26,1	16,1	46,4	3,7	0,23						
	05.10.02	10,2	20,5	35,9	19,5	5,8	1,9	6,2	5,6	0,42						
P2A	14.04.02	0,0	3,1	45,7	25,9	7,4	3,8	14,0	1,2	0,07						
	01.08.02	0,0	1,1	5,5	15,0	21,4	12,9	44,1	1,9	0,12						
	05.08.02	4,2	9,4	19,4	22,0	14,9	6,7	23,4	4,3	0,30						
	15.09.02	30,7	29,7	22,0	6,0	2,9	1,5	7,3	2,2	0,14						
	05.10.02	14,6	19,8	22,9	15,5	7,3	5,1	15,0	1,1	0,07						
P2B	04.04.02	36,4	31,8	10,8	4,4	5,0	2,5	9,3	1,9	0,13						
	14.04.02	0,5	12,0	47,5	13,5	7,7	3,9	15,0	1,2	0,08						
	01.08.02	1,3	0,0	1,3	3,1	19,4	16,3	58,6	2,1	0,13						
	05.08.02	21,2	32,3	21,2	7,8	3,9	2,9	10,7	5,2	0,37						
	05.10.02	8,2	22,0	29,2	14,9	8,7	3,3	13,7	0,5	0,04						
P3A	14.04.02	0,0	3,6	13,5	27,0	19,3	6,2	30,3	1,2	0,09						
	01.08.02	2,1	12,7	20,0	17,0	13,3	5,5	29,4	3,8	0,24						
	05.08.02	6,7	23,2	26,8	11,5	9,2	4,1	18,5	2,6	0,18						
	15.09.02	6,0	12,0	0,0	40,6	12,0	5,6	23,9	1,5	0,09						
	05.10.02	7,1	9,6	11,1	62,6	3,4	0,9	5,3	4,5	0,26						
P3B	05.08.02	16,3	25,4	23,9	15,4	6,3	3,0	9,8	0,6	0,05						
	05.10.02	15,7	42,0	25,8	8,8	2,0	0,7	5,1	0,8	0,07						
P4B	01.08.02	0,0	5,4	21,8	15,5	15,3	19,9	22,1	0,6	0,05						
	05.10.02	0,0	4,5	32,7	20,9	13,2	5,5	23,1	7,6	0,65						

Tab. A20: Fortsetzung  
Sediment-Fangkasten, Doguè 2002

Fang- kasten	Datum	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	C	N	Ca	Mg	K	Na	Al	P
F1A	04.04.02	15,8	31,1	32,1	9,7	4,1	1,2	6,2	0,9	0,06	2,71	0,22	1,63	0,00	6,3	0,9
	14.04.02	7,2	13,3	35,4	28,2	3,6	2,3	10,0	1,3	0,09	4,20	0,47	2,60	0,07	10,8	1,3
	01.08.02	21,5	25,1	29,2	7,7	4,9	3,5	8,1	1,2	0,08	5,16	0,42	3,40	0,00	7,1	1,2
	05.08.02	7,7	13,9	29,8	23,9	8,9	2,4	13,5	2,4	0,08						
	15.09.02	11,9	17,0	32,5	23,0	5,7	1,7	8,2	1,5	0,09	9,27	0,40	2,67	0,01	6,6	1,5
	05.10.02	19,1	26,8	30,9	9,8	3,6	1,8	7,9	1,5	0,10	9,53	0,30	2,59	0,01	5,1	1,5
F2A	04.04.02	9,0	21,4	22,8	14,0	10,1	4,2	18,4	1,8	0,12	7,86	0,88	4,09	0,15		1,8
	14.04.02	1,7	4,4	10,5	23,0	21,6	8,5	30,3	4,9	0,33						
	01.08.02	3,9	5,6	11,2	21,2	19,3	9,1	29,6	5,5	0,35	14,45	1,56	7,94	0,01	19,0	5,5
	05.08.02	2,2	3,8	6,5	25,3	23,8	8,4	30,1	4,0	0,27	15,37	1,19	7,93	0,00	11,6	4,0
	15.09.02	2,2	2,8	7,8	21,3	25,3	8,3	32,2	5,3	0,36	4,66	0,67	2,19	0,00	16,5	5,3
F3A	01.08.02	14,4	39,1	31,4	5,5	1,9	1,0	6,7	1,4	0,10	4,22	0,26	1,57	0,01	12,0	1,4
	05.08.02	15,4	30,8	27,7	9,0	6,4	1,1	9,6	1,3	0,09	13,91	1,08	7,54	0,03	11,5	1,3
	15.09.02	6,2	29,0	39,3	10,9	4,5	2,1	8,1	1,7	0,13						

Tab. A20: Fortsetzung  
Sediment-Fangkasten, Awanla 2002

Fang- kasten	Datum	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	C	N	Ca	Mg	K	Na	Al	P
F1Aw	06.07.02	8,8	49,2	18,6	8,4	3,1	1,3	10,6	1,7	0,11	4,20	0,23	1,21	0,01	11,0	1,7
	14.08.02	8,7	38,0	23,1	14,3	3,1	1,5	11,2	1,3	0,09						
	21.08.02	11,3	47,2	16,4	8,9	4,0	1,5	10,6	1,3	0,09						
	02.09.02	9,7	46,4	20,4	6,3	2,6	1,8	12,8	1,0	0,09						
	15.09.02	3,1	22,5	27,7	22,8	5,9	1,9	16,1	2,2	0,15	7,93	0,42	2,37	0,03	7,9	2,2
	24.09.02	33,3	32,8	11,3	11,0	3,8	1,7	6,2	1,2	0,10						
	02.10.02	6,2	26,5	26,5	20,5	4,2	1,8	14,4	1,8	0,13	7,06	0,53	2,39	0,09	10,3	1,8
	06.10.02	4,3	17,9	11,4	14,9	10,7	5,2	35,5	4,0	0,30						
F2Aw	06.07.02	15,3	51,1	18,9	6,7	1,8	1,1	5,0	1,1	0,09	7,16	0,30	1,01	0,02	4,9	1,1
	21.08.02	13,6	46,0	15,7	8,0	5,3	2,6	8,8	2,2	0,17						
	02.09.02	15,9	53,5	17,5	7,1	1,1	0,8	4,1	1,4	0,11						
	15.09.02	10,9	42,7	17,7	9,4	4,8	2,7	11,7	2,0	0,14	4,32	0,40	0,98	0,02	4,5	2,0
	02.10.02	10,2	46,2	23,4	12,2	2,1	1,0	4,8	0,8	0,07	4,20	0,23	1,21	0,01	10,1	0,8
F3Aw	06.05.02	6,8	30,0	23,7	16,3	8,3	2,7	12,3	2,5	0,20						
	24.06.02	19,3	49,2	22,3	6,5	0,7	0,2	1,8	0,7	0,06						
	06.07.02	8,0	26,2	20,9	15,7	8,9	4,9	15,3	3,3	0,25	15,22	0,73	3,77	0,01	11,3	3,3
	14.08.02	16,0	42,9	21,7	9,3	2,5	1,8	5,8	1,6	0,13						
	21.08.02	12,2	27,7	20,7	17,0	7,7	2,7	12,1	3,0	0,22						
	02.09.02	26,9	47,2	15,2	5,3	1,9	0,6	3,0	0,7	0,06						
	15.09.02	16,9	49,7	18,0	5,6	3,4	1,0	5,4	2,7	0,19	8,04	0,33	1,62	0,00	8,2	2,7
	24.09.02	12,9	46,5	21,2	8,3	2,0	0,5	8,6	1,6	0,10						
	02.10.02	19,6	34,4	15,9	13,1	5,5	2,3	9,2	2,8	0,22	11,51	0,55	2,80	0,05	13,2	2,8
	06.10.02	25,8	41,2	12,9	8,7	3,0	1,6	6,8	1,5	0,13						
23.10.02	29,1	39,9	11,2	10,6	2,0	1,5	5,6	1,1	0,09							

Tab. A20: Fortsetzung  
Sediment-Fangkasten, Serou 2002

Fang- kasten	Datum	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	C	N	Ca	Mg	K	Na	Al	P
F1Se	18.08.02	16,1	46,6	19,8	6,1	3,3	1,2	6,9	1,4	0,09	4,52	0,22	1,16	0,00	7,2	1,4
	26.08.02	19,2	23,6	10,7	14,2	11,0	3,8	17,5	2,5	0,18						
	04.09.02	9,5	13,3	20,5	29,3	9,9	3,0	14,5	2,1	0,12						
	13.09.02	16,6	14,9	17,5	21,4	9,5	2,7	17,4	3,3	0,21	14,91	0,69	4,10	0,03	15,5	3,3
	01.10.02	35,0	36,1	11,9	10,5	1,9	0,3	4,3	0,5	0,04						
	06.10.02	26,5	32,7	23,2	0,8	9,1	1,0	6,7	0,9	0,07	3,46	0,21	0,93	0,01	8,3	0,9
F2Se	18.08.02	13,7	31,4	26,8	15,2	4,3	2,7	6,0	0,6	0,04	2,54	0,12	0,64	0,01	4,2	0,6
	26.08.02	5,3	19,4	17,9	16,1	16,4	14,7	10,2	2,4	0,18						
	04.09.02	10,5	26,7	26,2	16,2	6,5	6,4	7,6	2,2	0,15						
	13.09.02	5,5	15,5	12,1	19,0	16,6	6,4	24,9	4,7	0,32	15,78	0,85	3,97	0,05	10,5	4,7
	01.10.02	8,8	16,6	9,8	23,3	15,0	6,7	19,7	4,7	0,31						
	06.10.02	3,7	9,1	7,2	16,6	24,9	9,2	29,2	5,1	0,38	24,14	0,98	5,16	0,03	4,2	5,1
F3Se	06.05.02	7,3	29,0	16,7	13,6	15,7	3,1	14,6	2,0	0,12	9,11	0,32	2,63	0,16	7,9	2,0
	14.05.02	12,7	37,2	13,7	6,4	9,4	4,6	15,9	2,0	0,13						
	19.06.02	19,7	46,7	19,0	6,9	2,6	0,6	4,5	0,5	0,04						
	26.06.02	15,5	23,2	10,4	11,8	18,7	6,3	14,1	1,0	0,08						
	09.07.02	16,6	32,8	8,0	10,4	11,1	4,9	16,2	2,1	0,14						
	27.07.02	28,6	40,0	16,9	5,9	2,2	1,3	5,1	0,6	0,05						
	06.08.02	32,5	38,8	14,1	4,3	2,5	2,0	5,9	0,9	0,08						
	18.08.02	15,2	40,7	21,3	7,4	5,3	1,5	8,6	0,8	0,06	3,99	0,19	1,13	0,01	3,6	0,8
	04.09.02	17,3	41,8	16,8	6,4	6,3	2,2	9,2	0,9	0,07						
	13.09.02	22,1	37,5	11,3	7,2	7,9	2,3	11,8	1,3	0,08	11,84	0,52	2,08	0,13	27,7	1,3
	01.10.02	15,9	35,3	14,2	17,7	6,1	1,9	8,9	1,2	0,08						
	06.10.02	15,3	34,7	15,3	17,7	5,3	2,0	9,7	1,0	0,08	5,80	0,30	1,61	0,02	3,9	1,0

(Die Bestimmung der bodenchemischen Parameter wurde nur an Substraten vorgenommen, von denen ausreichend Material zur Verfügung stand.)

Tab. A21: Erosivität der Niederschläge in Doguè 1997 - 2002 (nur erosive Ereignisse aufgeführt)

1997	Datum	N (mm)	E <sub>i</sub> (kJ m <sup>-2</sup> )	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	R <sub>i</sub> (N h <sup>-1</sup> )
	22.04.97	20,0	0,4	21,0	7,8
	29.04.97	11,5	0,2	9,0	1,8
	01.05.97	16,0	0,3	19,0	5,6
	02.05.97	10,5	0,2	9,0	1,4
	04.05.97	10,5	0,2	5,0	0,9
	05.05.97	23,5	0,5	44,0	22,7
	06.05.97	26,0	0,6	42,0	24,0
	07.05.97	15,0	0,3	23,0	6,3
	07.05.97	9,0	0,2	18,0	3,7
	08.05.97	6,5	0,2	13,0	2,0
	02.06.97	8,0	0,2	16,0	3,1
	11.06.97	11,0	0,2	19,0	4,0
	16.06.97	26,0	0,5	38,0	20,3
	19.06.97	20,0	0,4	33,0	12,9
	23.06.97	25,0	0,5	16,0	7,5
	28.06.97	3,5	0,1	7,0	0,6
	11.07.97	19,0	0,4	26,0	10,3
	14.07.97	5,0	0,1	10,0	1,2
	15.07.97	12,5	0,3	21,0	5,5
	23.07.97	10,0	0,2	20,0	4,6
	24.07.97	19,0	0,3	7,0	2,4
	30.07.97	23,5	0,5	35,0	17,5
	12.08.97	10,0	0,2	16,0	3,4
	14.08.97	15,5	0,3	25,0	8,4
	17.08.97	59,0	1,4	79,0	110,1
	19.08.97	19,5	0,3	6,0	2,0
	28.08.97	18,0	0,3	17,0	5,5
	07.09.97	44,0	1,0	28,0	26,9
	08.09.97	4,0	0,1	8,0	0,7
	08.09.97	17,5	0,3	19,0	6,2
	16.09.97	22,0	0,5	29,0	14,7
	18.09.97	34,5	0,6	26,0	15,6
	19.09.97	22,5	0,5	41,0	19,4
	20.09.97	10,0	0,2	18,0	3,4
	25.09.97	25,0	0,5	28,0	14,3
	04.10.97	12,5	0,2	17,0	4,1
	06.10.97	19,0	0,4	31,0	12,4
	14.10.97	11,5	0,2	19,0	3,7
	18.10.97	11,0	0,2	15,0	3,5
	19.10.97	11,5	0,2	10,0	2,0
	22.10.97	19,5	0,3	27,0	9,3
	24.10.97	15,0	0,3	27,0	8,5
	08.11.97	6,5	0,1	13,0	1,8
<b>Niederschlag (gesamt): 906,0 mm</b>					
<b>Niederschlag (erosiv): 739,0 mm</b>					
<b>R-Faktor: 446,2 N h<sup>-1</sup></b>					

Tab. A21:  
Fort-  
setzung

1998

Datum	N (mm)	E <sub>i</sub> (kJ m <sup>-2</sup> )	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	R <sub>i</sub> (N h <sup>-1</sup> )
31.01.98	39,2	1,0	41,0	41,9
11.02.98	9,9	0,2	19,1	4,5
10.04.98	42,1	1,0	26,9	27,3
26.04.98	25,4	0,7	46,5	31,8
01.05.98	8,9	0,2	16,2	3,2
05.05.98	20,9	0,6	46,5	26,2
10.05.98	11,1	0,3	33,5	9,6
15.05.98	1,9	0,0	19,5	0,9
18.05.98	11,6	0,2	9,2	2,2
21.05.98	9,6	0,2	16,3	3,7
22.05.98	16,9	0,3	8,2	2,6
31.05.98	5,9	0,1	12,1	1,8
01.06.98	68,5	1,7	69,3	119,2
02.06.98	11,0	0,2	9,2	1,7
04.06.98	3,6	0,1	13,8	1,1
04.06.98	14,3	0,3	12,4	3,4
08.06.98	36,3	0,9	37,1	33,0
12.06.98	16,2	0,4	31,4	13,3
14.06.98	15,0	0,4	25,1	9,2
20.06.98	20,4	0,4	17,1	6,7
28.06.98	29,8	0,6	31,7	20,3
30.06.98	15,3	0,4	33,2	13,3
02.07.98	11,0	0,2	15,2	3,5
04.07.98	21,5	0,6	39,2	21,6
05.07.98	16,6	0,4	31,4	13,2
06.07.98	21,4	0,5	36,8	20,0
11.07.98	19,0	0,5	35,4	18,3
13.07.98	33,0	0,7	29,3	21,1
15.07.98	10,4	0,2	12,8	2,7
17.07.98	29,6	0,6	19,6	12,0
12.08.98	17,5	0,4	20,2	8,4
13.08.98	12,9	0,3	17,9	5,0
14.08.98	58,3	1,4	49,7	69,0
17.08.98	28,6	0,8	57,2	47,5
18.08.98	34,0	0,8	33,9	25,9
22.08.98	44,4	1,1	54,8	58,2
29.08.98	15,0	0,4	26,1	9,3
31.08.98	27,0	0,6	26,4	15,5
01.09.98	53,3	1,2	46,2	57,2
05.09.98	28,7	0,7	25,2	16,5
10.09.98	49,5	1,3	58,8	75,8
14.09.98	14,9	0,3	21,3	7,3
16.09.98	48,5	1,2	52,3	64,1
20.09.98	14,0	0,4	28,0	10,2
22.09.98	17,8	0,5	34,9	16,2
26.09.98	14,3	0,3	23,7	8,3
28.09.98	11,9	0,3	20,5	5,8
07.10.98	16,2	0,4	32,0	14,0
08.10.98	12,2	0,3	21,8	6,3
10.10.98	8,3	0,2	16,5	3,5
10.10.98	14,0	0,3	26,1	9,0
11.10.98	17,8	0,4	18,1	6,7
15.10.98	8,6	0,2	17,2	4,1
17.10.98	8,7	0,2	17,5	3,7
18.10.98	12,3	0,3	11,8	3,4
<b>Niederschlag (gesamt): 1330,0 mm</b>				
<b>Niederschlag (erosiv): 1209,6 mm</b>				
<b>R-Faktor: 1075,0 N h<sup>-1</sup></b>				

Tab. A21: Fortsetzung

1999

Datum	N (mm)	E <sub>i</sub> (kJ m <sup>-2</sup> )	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	R <sub>i</sub> (N h <sup>-1</sup> )
15.02.99	30,3	0,6	24,4	15,8
04.03.99	8,2	0,1	12,2	1,1
10.03.99	32,9	0,4	26,7	10,4
15.03.99	18,5	0,2	17,6	3,8
31.03.99	14,1	0,2	9,3	1,5
06.04.99	37,9	0,9	24,4	20,8
15.04.99	6,7	0,1	12,4	1,8
30.04.99	16,1	0,4	47,4	21,0
01.05.99	7,3	0,1	10,4	1,5
09.05.99	11,6	0,1	6,3	0,3
13.05.99	27,7	0,6	39,0	25,1
04.06.99	10,6	0,2	6,4	1,0
09.06.99	15,5	0,4	29,5	11,4
18.06.09	33,3	0,9	53,7	46,3
24.06.99	37,5	0,6	5,3	3,4
03.07.99	3,0	0,1	147,5	13,4
08.07.99	9,1	0,2	37,0	7,8
09.07.99	3,5	0,1	17,6	1,5
11.07.99	31,0	0,7	26,2	18,4
12.07.99	10,1	0,2	20,2	5,0
14.07.99	23,0	0,5	20,3	10,0
15.07.99	44,9	1,1	40,8	44,3
19.07.99	23,0	0,5	17,3	8,2
13.08.99	31,0	0,8	58,7	49,8
16.08.99	26,3	0,6	32,8	21,0
17.08.99	6,8	0,1	10,5	1,5
18.08.99	21,0	0,6	58,7	32,8
18.08.99	4,0	0,1	12,4	0,9
19.08.99	9,2	0,3	57,8	14,7
20.08.99	35,6	0,7	25,6	19,2
20.08.99	22,4	0,5	30,5	16,3
25.08.99	2,8	0,1	29,4	2,0
25.08.99	27,4	0,6	24,5	14,6
27.08.99	5,4	0,1	11,5	1,4
29.08.99	31,5	0,8	32,4	25,5
30.08.99	6,7	0,2	29,0	4,8
02.09.99	10,6	0,3	23,5	6,1
22.09.99	6,5	0,2	31,2	5,2
24.09.99	4,0	0,1	30,6	3,1
25.09.99	18,8	0,4	13,1	5,0
27.09.99	13,0	0,3	24,8	8,0
29.09.99	12,0	0,2	9,9	2,4
01.10.99	58,2	1,6	96,6	156,4
04.10.99	24,0	0,6	34,1	19,0
09.10.99	22,1	0,5	36,9	19,9
12.10.99	23,0	0,6	35,2	19,6
<b>Niederschlag (gesamt): 966,5 mm</b>				
<b>Niederschlag (erosiv): 878,1 mm</b>				
<b>R-Faktor: 723,2 N h<sup>-1</sup></b>				

Tab. A21: Fortsetzung

2000

Datum	N (mm)	E <sub>i</sub> (kJ m <sup>-2</sup> )	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	R <sub>i</sub> (N h <sup>-1</sup> )
04.06.00	19,5	0,5	33,6	16,0
05.06.00	28,5	0,2	13,9	2,5
22.06.00	34,0	0,6	29,5	16,6
28.06.00	15,0	0,3	7,8	2,2
01.07.00	18,5	0,4	30,7	13,1
04.07.00	22,0	0,5	29,0	14,3
05.07.00	1,0	0,0	18,9	0,4
12.07.00	23,5	0,9	40,7	36,0
17.07.00	16,0	0,4	22,9	8,1
19.07.00	11,0	0,1	11,1	1,4
27.07.00	76,5	5,0	62,6	135,7
28.07.00	3,0	0,1	11,6	0,6
28.07.00	3,0	0,0	11,4	0,5
30.07.00	29,1	0,7	33,7	24,0
31.07.00	40,2	0,7	25,8	19,3
07.08.00	16,5	0,4	22,8	8,4
11.08.00	9,0	0,2	10,0	1,6
12.08.00	19,0	0,4	21,1	8,7
17.08.00	13,5	0,3	21,9	6,7
25.08.00	12,5	0,3	18,0	5,0
05.09.00	28,0	0,7	35,1	23,1
05.09.00	25,0	0,7	26,4	19,4
08.09.00	37,0	0,9	38,9	33,8
10.09.00	7,5	0,2	12,0	1,9
12.09.00	25,0	0,5	20,4	9,9
13.09.00	13,5	0,3	14,2	3,7
15.09.00	22,5	0,5	27,8	14,9
16.09.00	26,0	0,6	26,4	15,2
23.09.00	24,5	0,6	44,1	28,0
27.09.00	4,5	0,1	18,0	1,9
07.10.00	29,5	0,5	30,1	14,1
08.10.00	9,0	0,2	16,3	2,7
15.10.00	3,0	0,1	10,1	0,6
<b>Niederschlag (gesamt): 781,5 mm</b>				
<b>Niederschlag (erosiv): 666,3 mm</b>				
<b>R-Faktor: 490,3 N h<sup>-1</sup></b>				

Tab. A21: Fortsetzung

2001

Datum	N (mm)	E <sub>i</sub> (kJ m <sup>-2</sup> )	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	R <sub>i</sub> (N h <sup>-1</sup> )
01.04.01	38,0	0,9	35,0	32,7
01.04.01	17,0	0,4	27,0	10,7
15.04.01	11,5	0,3	22,0	5,7
24.04.01	8,0	0,2	15,0	2,6
24.04.01	14,5	0,3	23,0	6,6
29.04.01	22,0	0,4	32,0	13,8
06.05.01	23,0	0,4	20,0	8,1
27.05.01	21,0	0,6	42,0	24,3
29.05.01	56,0	1,2	78,0	97,1
01.06.01	10,0	0,2	11,0	1,9
05.06.01	19,0	0,4	33,0	14,1
08.06.01	15,0	0,3	11,0	2,9
10.06.01	33,0	0,6	47,0	29,2
18.06.01	28,0	0,5	19,0	10,2
24.06.01	41,0	1,1	68,0	72,4
26.06.01	22,5	0,5	42,0	20,2
01.07.01	2,5	0,1	5,0	0,3
04.07.01	10,0	0,2	13,0	2,4
11.07.01	12,5	0,2	13,0	2,8
22.07.01	35,5	0,8	64,0	54,3
29.07.01	13,5	0,3	26,0	7,9
03.08.01	6,0	0,1	12,0	1,5
04.08.01	39,5	0,9	43,0	38,0
07.08.01	21,5	0,4	38,0	16,8
08.08.01	17,0	0,4	18,0	6,3
09.08.01	14,0	0,3	24,0	6,8
11.08.01	10,0	0,2	18,0	4,0
12.08.01	29,5	0,6	30,0	19,3
18.08.01	23,5	0,6	39,0	22,5
21.08.01	14,5	0,4	29,0	10,4
24.08.01	42,0	0,9	39,0	33,6
25.08.01	7,0	0,1	11,0	1,6
27.08.01	12,5	0,4	1,0	0,4
27.08.01	14,5	0,3	15,0	4,0
02.09.01	67,5	1,8	99,0	182,3
03.09.01	39,0	0,9	65,0	59,5
04.09.01	13,5	0,3	25,0	7,1
08.09.01	30,5	0,7	37,0	26,3
12.09.01	30,5	0,6	48,0	29,7
18.09.01	6,0	0,1	12,0	1,6
18.09.01	14,5	0,3	11,0	2,8
21.09.01	24,0	0,5	35,0	16,3
24.09.01	6,5	0,2	13,0	2,0
26.09.01	12,5	0,3	25,0	8,0
13.10.01	20,0	0,5	34,0	16,3
<b>Niederschlag (gesamt): 1100,5 mm</b>				
<b>Niederschlag (erosiv): 969,5 mm</b>				
<b>R-Faktor: 907,6 N h<sup>-1</sup></b>				

Tab. A21: Fortsetzung

2002

Datum	N (mm)	E <sub>i</sub> (kJ m <sup>-2</sup> )	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	R <sub>i</sub> (N h <sup>-1</sup> )
08.03.02	41,0	1,1	61,6	67,2
09.03.02	24,6	0,5	28,0	15,3
28.03.02	17,8	0,4	17,6	6,3
04.04.02	62,6	1,7	61,2	101,4
13.04.02	53,4	1,4	69,6	99,6
17.04.02	32,0	0,8	47,6	38,0
30.04.02	9,6	0,2	19,2	4,3
04.05.02	8,8	0,2	15,2	2,9
26.05.02	27,4	0,7	47,6	33,2
06.06.02	11,0	0,2	10,4	2,3
10.06.02	5,8	0,1	10,4	1,2
13.06.02	20,0	0,4	22,4	9,3
18.02.06	12,0	0,3	14,8	3,8
27.06.02	6,6	0,1	10,0	1,3
06.07.02	6,4	0,1	11,6	1,5
09.07.02	0,2	0,0	0,2	0,0
09.07.02	12,4	0,3	18,0	5,0
11.07.02	8,6	0,2	16,8	3,4
12.07.02	8,2	0,2	12,0	2,0
17.07.02	29,2	0,6	23,6	13,8
20.07.02	9,4	0,2	18,4	4,1
01.08.02	43,6	1,2	60,0	69,1
05.08.02	34,8	0,8	45,6	38,5
05.08.02	66,6	1,6	62,4	101,6
10.08.02	11,2	0,2	18,4	4,5
21.08.02	12,4	0,3	18,0	4,7
13.09.02	20,8	0,5	26,4	12,7
15.09.02	37,8	0,9	41,2	35,3
18.09.02	17,0	0,3	13,6	4,4
19.09.02	20,8	0,4	18,0	7,9
24.09.02	7,2	0,1	10,4	1,5
04.10.02	77,2	2,0	69,6	139,5
05.10.02	8,6	0,2	16,8	3,4
09.10.02	6,2	0,1	12,0	1,7
18.10.02	12,2	0,3	11,6	3,1
<b>Niederschlag (gesamt): 916,0 mm</b>				
<b>Niederschlag (erosiv): 783,4 mm</b>				
<b>R-Faktor: 847,4 N h<sup>-1</sup></b>				

Tab. A22: Einteilung der Perioden für verschiedene Kulturen

Kultur	Periode					
	1	2	3	4	5	6
	BB - SB	SB - 10% BB	10 - 50% BB	50 - 75% BB	75% BB - E	E - BB
Yams	15.08.-15.12	15.12.-15.04.	15.04.-01.07.	01.07.-31.07.	31.07.-31.08.	31.08.-30.04.
Mais*	01.06.-01.07.	01.07.-15.07.	15.07.-15.08.	15.08.-15.09.	15.09.-31.10.	31.10.-15.02.
Baumwolle	15.04.-15.06.	15.06.-15.07.	15.07.-15.08.	15.08.-15.10.	15.10.-30.11.	30.11.-15.04.
Erdnuss	01.04.-30.06.	30.06.-15.07.	15.07.-31.07.	31.07.-15.08.	15.08.-31.10.	31.10.-15.02.

BB = Bodenbearbeitung, SB = Saatbettbereitung, E = Ernte

\* späte Mais-Sorte

Tab. A23: Ausgewählte Abtragsmessungen für die Ermittlung des Relativen Bodenabtrags

Kultur	Periode	Abtrag (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )
<b>Yams</b> (P1A, Wdh 1+2, 2002)	BB-SB	0,00
	SB-10%	2,87
	10-50%	0,87
	50-75%	0,11
	75%-E	7,46
	E-BB	29,87
<b>Mais</b> (P3A, Wdh 1+2, 2002)	BB-SB	0,00
	SB-10%	0,00
	10-50%	1,11
	50-75%	0,12
	75%-E	3,03
	E-BB	0,00

Kultur	Periode	Abtrag (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )
<b>Baumwolle</b> (P2A, Wdh 1, 2002)	BB-SB	8,40
	SB-10%	0,10
	10-50%	0,01
	50-75%	2,80
	75%-E	4,50
	E-BB	0,00
<b>Erdnuss</b> (P2A, Wdh 1+2, 2001)	SB-10%	5,7
	10-50%	0,0
	50-75%	0,0
	75%-E	1,7
	E-BB	0,4
	BB-SB	5,7

Tab. A24: Mittlere Jahres-R-Verteilung (Summenprozent) für die Bestimmung des C-Faktors (ermittelt aus Niederschlagsdaten von 1997 - 2002)

Tag	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1	0	0	0	10,5	39,2	43,6	45,8	57,7	75,3	82,6	100,0	100,0
2	0	0	0	10,5	39,2	43,6	45,8	57,7	75,3	82,6	100,0	100,0
3	0	0	0	10,5	39,2	43,6	46,0	57,7	75,3	82,6	100,0	100,0
4	0	0	0	22,4	39,5	43,6	46,0	57,7	75,3	99,0	100,0	100,0
5	0	0	0	22,4	39,5	43,6	46,0	74,2	75,3	99,4	100,0	100,0
6	0	0	0	22,4	39,5	43,9	46,2	74,2	75,3	99,4	100,0	100,0
7	0	0	0	22,4	39,5	43,9	46,2	74,2	75,3	99,4	100,0	100,0
8	0	0	7,9	22,4	39,5	43,9	46,2	74,2	75,3	99,4	100,0	100,0
9	0	0	9,7	22,4	39,5	43,9	46,8	74,2	75,3	99,6	100,0	100,0
10	0	0	9,7	22,4	39,5	44,1	46,8	74,2	75,3	99,6	100,0	100,0
11	0	0	9,7	22,4	39,5	44,1	47,2	74,7	75,3	99,6	100,0	100,0
12	0	0	9,7	22,4	39,5	44,1	47,4	74,7	75,3	99,6	100,0	100,0
13	0	0	9,7	34,2	39,7	45,1	47,4	74,7	76,8	99,6	100,0	100,0
14	0	0	9,7	34,2	39,7	45,1	47,4	74,7	76,8	99,6	100,0	100,0
15	0	0	9,7	34,2	39,7	45,1	47,4	74,7	80,9	99,6	100,0	100,0
16	0	0	9,7	34,2	39,7	45,1	47,4	74,7	80,9	99,6	100,0	100,0
17	0	0	9,7	38,7	39,7	45,1	49,0	74,7	80,9	99,6	100,0	100,0
18	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,0	74,7	81,5	100,0	100,0	100,0
19	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,0	74,7	82,4	100,0	100,0	100,0
20	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,5	74,7	82,4	100,0	100,0	100,0
21	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,5	75,3	82,4	100,0	100,0	100,0
22	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,5	75,3	82,4	100,0	100,0	100,0
23	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,5	75,3	82,4	100,0	100,0	100,0
24	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
25	0	0	9,7	38,7	39,7	45,6	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
26	0	0	9,7	38,7	43,6	45,6	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
27	0	0	9,7	38,7	43,6	45,8	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
28	0	0	10,5	38,7	43,6	45,8	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
29	0	0	10,5	38,7	43,6	45,8	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
30	0	0	10,5	39,2	43,6	45,8	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0
31	0	0	10,5	39,2	43,6	45,8	49,5	75,3	82,6	100,0	100,0	100,0

Tab. A25: Vergleich der C-Faktoranteile verschiedener Kulturen (Monokulturen)

Kultur	Anbau	C-Faktor- anteil	C-Faktoranteil (ROOSE 1977c) Mittel, Min.-Max.	C-Faktoranteil (NILL et al. 1996) Mittel, Min.-Max.	C-Faktoranteil (VAN CAMPEN 1987)
Yams	Erdhügel, Savannenvegetation verbrannt	0,43	0,2-0,8	0,23 0,16-0,80	-
Mais	gefällep. Dämme, Ernterückstände verbrannt	0,18	0,4-0,9	0,39 0,16-0,82	-
Baumwolle	gefällep. Dämme, Ernterückstände verbrannt	0,38	0,4-0,7	0,29	1,4
Erdnuss	gefällep. Dämme, Ernterückstände verbrannt	0,23	0,4-0,8	0,34 0,21-0,59	0,76

Tab. A26: Elementgehalt und pH-Wert der für die Netzbeutel-Tests verwendeten organischen Substanzen

Parameter	Versuch 2001	
	Laubblatt <i>Anacardium spec.</i>	Laubblatt <i>Vitellaria spec.</i>
<b>C<sub>org</sub></b> (%)	46,6	45,9
<b>N<sub>t</sub></b> (%)	1,6	1,5
<b>C/N</b>	29,1	30,6
<b>pH</b> (H <sub>2</sub> O)	5,6	6,5
<b>Ca</b> (%)	0,49	1,44
<b>Mg</b> (%)	0,29	0,55
<b>K</b> (%)	1,02	1,27
<b>Na</b> (%)	0,01	0,01
<b>P</b> (%)	0,06	0,22
<b>Fe</b> (ppm)	261,6	106,2
<b>Al</b> (ppm)	311,8	120,3
<b>Mn</b> (ppm)	321,6	48,0
<b>Zn</b> (ppm)	21,4	17,2
<b>Cd</b> (ppm)	0,02	0,02
<b>Pb</b> (ppm)	0,50	0,50

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Ich habe die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form keinem anderen Prüfungsausschuss vorgelegt.

Bonn, 01.07 2004

Birte Junge

## **Danksagung**

Herrn Prof. Dr. A. Skowronek danke ich sehr herzlich für die wissenschaftliche Betreuung des bodenkundlichen Themas im Rahmen des Projektes IMPETUS. Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr. M. Janssens und Frau Prof. Dr. V. Geissen für die Erstellung der Gutachten. Weiterhin möchte ich PD Dr. J. Botschek danken, der mir viele Anregungen für die Feldversuche gab. Auch bei PD Dr. G. Welp möchte ich mich für die Unterstützung bei Fragen zu bodenchemischen Themen sehr bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. P. Speth der Universität zu Köln und Prof. Dr. B. Diekkrüger von der Universität Bonn, die als Sprecher bzw. Stellvertretender Sprecher das Forschungsprojekt IMPETUS initiiert und geleitet haben. Auch sei Dr. M. Christoph, dem Geschäftsführer von IMPETUS, und allen Mitarbeitern bzw. Kollegen des Projektes an dieser Stelle herzlich für die Zusammenarbeit und die Bereitstellung von Daten gedankt. Betonen möchte ich hier die absolut gut funktionierende Teamarbeit mit Dr. H. Bormann, S. Giertz, T. Fass, V. Mulindabigwi und B. Orthmann und mich für die gemeinsamen erlebnisreichen Aufenthalte in der Savanne Benins bedanken. Auch bei Dr. E. van den Akker, der Projekt-Koordinatorin in Benin, möchte ich mich für die nie endende Hilfsbereitschaft besonders bedanken.

Ein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern des Instituts für Bodenkunde für die Durchführung der laboranalytischen Untersuchungen und der Unterstützung bei Fragen der EDV. Auch bei K. Schmelmer, B. Wolf und den Studentischen Hilfskräften M. Arenz, H. Leroy, J. Roden und S. Wagner möchte ich mich für die tatkräftige Unterstützung herzlich bedanken.

Aufgrund der arbeitsintensiven und unter den gegebenen Klimabedingungen sehr anstrengenden bodenkundlichen Tätigkeiten und der zeitaufwendigen Erosionsmessungen in Benin war ich auf die Mithilfe vieler ortsansässiger Bauern und Helfer angewiesen, ohne die viele Arbeiten kaum möglich gewesen wären. Somit möchte ich mich sehr herzlich für die Zusammenarbeit bei Eziquier, Boniface, Mohammed, Emanuel, Ephraim, Yaya, Lamidi, Francois, Illasou, Simon, Abu, Lolo, Prudence, Juillette, Elias, Nourou, Koulé, Adamo, Assibo, Bilon, Rabiou, Pascal, René, Garni, Gaston, Latif, Salami, Kassim und Fatao aus Doguè, Dramane und Adamou aus Serou, Simon und Albert aus Awanla sowie Mohammed aus Parakou bedanken.

Zu Dank verpflichtet fühle ich mich ebenfalls Herrn Prof. Dr. P. Omodeo von der Universität Siena, Italien, für die taxonomische Bestimmung der Lumbriciden und Frau

Dr. J. Korb von der Universität Regensburg für die Ermittlung der Termitenspezies. Auch Herrn E. Roose vom Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Montpellier/Frankreich danke ich für das informative Gespräch und das Überlassen wichtiger Literatur. Auch möchte ich mich beim Institut für Pflanzenbau für die Bereitstellung der Perkolationsanlage und beim Mineralogischen Institut der Universität Bonn für die Nutzung des Polarisationsmikroskops bedanken.

Ein besonderer Dank gilt ebenfalls K. Unger für die tatkräftige Unterstützung vieler Arbeiten am Institut für Bodenkunde, B. Chafik für die nette Zusammenarbeit und A. Fenner für die vielen abwechslungsreichen Abende während meines Aufenthaltes in Bonn.

Für die Unterstützung u.a. bei der statistischen Datenauswertung möchte ich mich vor allem bei S. Thyen und für das Korrekturlesen dieser Arbeit bei U. Haschen, H. Hobbensiefken und C. Schlüter bedanken.

Zum Schluss sei noch den Mitarbeitern A. E. Ahouansou und Dr. R. Schneider vom Projekt Alpha et Oméga Environnement, Programme Gestion des Terroirs et des Ressources Naturelles (ONG  $\alpha&\Omega$  PGTRN/GTZ), Ouaké/Benin, und Dr. A. M. Igué vom Centre National pour l'Agropédologie (CENAP), Cotonou/Benin, für die Zusammenarbeit gedankt, die mir einen sehr informativen Einblick in die bodenkundliche und landwirtschaftliche Wissenschaft und Bildungsarbeit vor Ort gewährt haben.