

*Sonderdruck aus*

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

## **Mensch und Natur in Westafrika**

Ergebnisse aus dem  
Sonderforschungsbereich 268  
„Kulturentwicklung und Sprach-  
geschichte im Naturraum  
Westafrikanische Savanne“

Herausgegeben von  
Klaus-Dieter Albert, Doris Löhr  
und Katharina Neumann



WILEY-  
VCH

© WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

**DFG**

### 3.5 Aktuelle Landdegradation in der Sahelzone Burkina Faso

Klaus-Dieter Albert \*, Jonas Müller \*\*, Johannes B. Ries \*\*\*  
und Irene Marzolf \*\*\*\*

#### *Zusammenfassung*

Vor dem Hintergrund der aktuellen Auseinandersetzungen zur Landdegradation und Desertifikation als ihrer Sonderform in den semiariden Regionen der Erde wurden in der Sahelzone NE-Burkina Faso Untersuchungen zu gegenwärtigen geomorphologischen Prozessen und zur aktuellen Vegetation durchgeführt. Entlang eines idealtypischen Landschaftstransekts mit den Einheiten Inselberg und Sandrampe, Rumpffläche (Glacis), Altdünenzug sowie Flussniederung und Endsee (mare) wird der aktuelle Zustand von Böden und Vegetation beschrieben sowie die rezente Geomorphodynamik quantitativ erfasst. Die Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchungen, der experimentell erfassten Infiltrationskapazitäten, Oberflächenabflussraten und Bodenerosionsraten sowie die Untersuchungen zur floristischen Struktur der Vegetation, der Artenvergesellschaftung und der Vegetationsdynamik zeichnen in nahezu allen Landschaftseinheiten das Bild einer stark durch Übernutzung (Feldbau und Beweidung) degradierten Landschaft.

Ausgehend vom heutigen Zustand der Landschaft werden zwei Szenarien entwickelt. Zum einen wird die Veränderung der Landschaft unter Beibehaltung der gegenwärtigen Nutzungsintensität skizziert; zum anderen werden die Möglichkeiten einer Landdegradation infolge nachlassenden Nutzungsdrucks und/oder günstigerer Klimabedingungen diskutiert.

---

\* Am Entensee 17, D-60375 Offenbach.

\*\* St. Nikolauser Str. 11, D-79112 Freiburg.

\*\*\* Universität Trier, Fachbereich VI, Geographie/Geowissenschaften,  
Physische Geographie, D-54286 Trier.

\*\*\*\* Institut für Physische Geographie, Senckenberganlage 36, D-60054 Frankfurt.

*Abstract*

Against the background of recent discussions on land degradation and desertification in the semi-arid regions of the world, actual geomorphological processes and present-day vegetation cover were investigated in the Sahel of north-eastern Burkina Faso. Following a transect traversing typical landscape elements which include inselbergs and sandy deposits at their slopes, peneplains (glacis), fixed dunes, river floodplains and endorheic lakes (mares), the present state of soils and vegetation were studied and measurements of actual geomorphodynamics were carried out. The results of pedological investigations, experimental measurements of infiltration capacities, runoff and erosion rates as well as botanical surveys of the vegetation cover, its species socialization and dynamics, combine to characterize a landscape highly degraded by over-exploitation through cultivation and grazing.

Based on today's state of the landscape, two scenarios are developed: The first outlines the landscape change which can be expected to occur with continuously intense land use pressure, the second discusses a possible land regradation which might be associated with decreasing population pressure and/or more favourable climatic conditions.

*Résumé*

Dans le contexte des prises en compte actuelles de la dégradation et de la désertification des régions semi-arides de la terre, des recherches ont été effectuées concernant les processus géomorphologiques actuels et la végétation dans la région du Sahel au nord-est du Burkina Faso. Le long d'un transect du paysage exemplaire dont les unités sont les suivantes: inselberg et dune d'obstacle associée, glacis, cordon dunaire, bas-fonds et mare, l'état actuel des sols et de la végétation est décrit et la géomorphodynamique saisie quantitativement. Dans presque toutes les unités du paysage se dessine l'image de sites fortement dégradés par la surexploitation des sols (agriculture, pâturage), comme le dénoncent les résultats des examens des sols et des capacités d'infiltration, débits de ruissellement et degrés d'érosion des sols saisis expérimentalement, ainsi que les résultats des examens de la structure florale de la végétation, de la structure des groupements et de la dynamique de la végétation.

Deux scénarios se basant sur l'état actuel des paysages sont développés. Le premier esquisse le changement des paysages si le degré d'intensité d'utilisation actuel reste le même; le second discute des possibilités d'une amélioration de l'état des sols suite à la diminution de ce même degré d'intensité d'utilisation et/ou de l'amélioration des conditions climatiques.

*Abstract*

Against the background of recent discussions on land degradation and desertification in the semi-arid regions of the world, actual geomorphological processes and present-day vegetation cover were investigated in the Sahel of north-eastern Burkina Faso. Following a transect traversing typical landscape elements which include inselbergs and sandy deposits at their slopes, peneplains (glacis), fixed dunes, river floodplains and endorheic lakes (mares), the present state of soils and vegetation were studied and measurements of actual geomorphodynamics were carried out. The results of pedological investigations, experimental measurements of infiltration capacities, runoff and erosion rates as well as botanical surveys of the vegetation cover, its species socialization and dynamics, combine to characterize a landscape highly degraded by over-exploitation through cultivation and grazing.

Based on today's state of the landscape, two scenarios are developed: The first outlines the landscape change which can be expected to occur with continuously intense land use pressure, the second discusses a possible land regradation which might be associated with decreasing population pressure and/or more favourable climatic conditions.

*Résumé*

Dans le contexte des prises en compte actuelles de la dégradation et de la désertification des régions semi-arides de la terre, des recherches ont été effectuées concernant les processus géomorphologiques actuels et la végétation dans la région du Sahel au nord-est du Burkina Faso. Le long d'un transect du paysage exemplaire dont les unités sont les suivantes: inselberg et dune d'obstacle associée, glacis, cordon dunaire, bas-fonds et mare, l'état actuel des sols et de la végétation est décrit et la géomorphodynamique saisie quantitativement. Dans presque toutes les unités du paysage se dessine l'image de sites fortement dégradés par la surexploitation des sols (agriculture, pâturage), comme le dénoncent les résultats des examens des sols et des capacités d'infiltration, débits de ruissellement et degrés d'érosion des sols saisis expérimentalement, ainsi que les résultats des examens de la structure florale de la végétation, de la structure des groupements et de la dynamique de la végétation.

Deux scénarios se basant sur l'état actuel des paysages sont développés. Le premier esquisse le changement des paysages si le degré d'intensité d'utilisation actuel reste le même; le second discute des possibilités d'une amélioration de l'état des sols suite à la diminution de ce même degré d'intensité d'utilisation et/ou de l'amélioration des conditions climatiques.

### 3.5.1 Einleitung

#### 3.5.1.1 Landdegradation und Desertifikation als definitorisches Problem

Landdegradation und Desertifikation als ihre Sonderform in ariden und semiariden Regionen zählen zu den der weltweit vordringlichsten ökologischen Problemfeldern. Der Begriff Landdegradation ist allerdings bis heute keineswegs einheitlich definiert. Sein Inhalt wird deshalb zunächst im Spiegel der jüngeren Literatur erläutert.

„Botanists studying woody vegetation will conclude that the (woody) vegetation is degraded and is probably still degrading. Scientists studying the vegetation cover and NPP (net primary production) will conclude that the areas most affected by degradation during the seventies are now recovering. Soil and erosion oriented scientists will focus on the fact that fine particles of the top soil have been lost in parts of the dune-area during the drought, and recovery from this loss will take decades or – more likely – centuries. Thus, apparent disagreement between researchers may often reflect differences in interpretation and use of terms and concepts, rather than different conceptions of reality“ (Rasmussen 1998 S. 57).

Zahlreiche angelsächsische Autoren schränken in jüngerer Zeit Degradation auf Folgen menschlicher Aktivität ein und schließen explizit alle natürlichen Ursachen aus, soweit deren Prozesse nicht durch menschliche Aktivitäten verstärkt werden.

„There is a general agreement concerning two critical aspects of land degradation. First there must be a substantial decrease in the biological productivity of a land system; and, second this decrease is the result of processes resulting from human activities rather than natural events. Thus the result of exogenic forces such as geologic erosion and climatic change, as well as natural catastrophic events, such as earthquakes, volcanic eruptions, and flooding – unless exacerbated by human activities – lie outside the realm of land degradation, even though areas can become less productive biologically due to these natural changes.“ (Johnson und Lewis 1995 S. 2).

Landdegradation wird hier also als Folge eines menschlichen Eingriffes definiert, der zu einer „substantiellen Abnahme“ der „biologischen Produktivität“ eines Raumes führt. Durch diese Eingriffe in den Boden/Vegetations-Komplex besitzt ein von Landdegradation betroffener Raum eine verringerte oder eingeschränkte Funktionalität. Den Menschen steht weniger verwertbare Biomasse zur Verfügung, d. h. der Raum ist weniger nutzbar. Bei dieser Definition ist es notwendig, die verwendeten oder implizit vorausgesetzten Begriffe im Einzelnen zu beleuchten. So ist die biologische Produktivität in vielen Teilen der Erde nicht allein von der Ressource Land oder Boden bestimmt, sondern oft mehr noch von der Verfügbarkeit von Wasser. Landdegradation schließt daher auch alle hydrogeographischen Aspekte mit ein, die besonders in trockenen Regionen limitierend sein können. Die dort vorherrschende Form der Landdegradation, Bodendegradation infolge von Vegetationszerstörung durch Über-

weidung, wird gemeinhin als Desertifikation bezeichnet (Dregne 1976: S. 11 ff., Mensching 1990).

Nimmt z. B. die Verfügbarkeit von Wasser durch zunehmende Trockenheit in einem Raum ab, kann es unter Beibehaltung des Nutzungssystems zu Degradationserscheinungen kommen, die das Nutzungspotenzial dauerhaft einschränken. Der Verlust an Nutzbarkeit oder an Nutzungspotenzial als wesentliches Kriterium des Begriffes Landdegradation kann durch verschiedenste, auch natürliche, Veränderungen hervorgerufen werden. Degradation entsteht aber im Sinne der Definition von Johnson und Lewis (1995: S. 2) erst, wenn durch nicht angepasste Nutzung dieses verminderte Potenzial weiter verringert wird.

### 3.5.1.2 Desertifikation – zwischen Katastrophenszenario und Mythenbildung

Desertifikation als Sonderform von Landdegradation (Mensching 1986) stellt eine besondere Herausforderung dar. Als solche wird sie in der Agenda 21, dem Schlussdokument der Rio-Konferenz 1992, definiert: „Desertification is land degradation in arid, semi-arid and dry-humid areas resulting from climatic variations and human activities“ (UNCED 1992: S. 98). Weltweite Aufmerksamkeit erlangte das Desertifikationsproblem durch die Auswirkungen der großen Dürre in der Sahelzone in den Jahren 1969 bis 1973. Aufgeschreckt durch Medienberichte über kahle Weiden, ausgetrocknete Brunnen, verendete Viehherden und hungernde Menschen wandte sich eine breite Öffentlichkeit dem Problemfeld zu, wodurch der Begriff Sahelzone fernerhin als Synonym für die Umweltkatastrophe schlechthin verstanden wurde. Schon bald aber stellte sich die Frage nach den Ursachen. Einfache Definitionsversuche wie „process of conversion of regions which climatically are not deserts to desert conditions“ oder „the reduction or destruction of the biological potential of the ground which may lead to desert conditions“ (UNCOD 1977) erfassten zwar wesentliche Elemente und Faktoren, konnten aber unter dem Zwang der angestrebten weltweiten Anwendung die Ursachen und Wirkungskomplexe (z. B. Variabilität der Niederschläge in Trockengebieten oder menschlicher Einfluss) nicht scharf genug umreißen und führten in der Folgezeit zu einem teilweise erbittert und polarisierend geführten Streit über die (nicht) betroffenen Regionen, Auslöser und deren Folgewirkungen.

Das folgende Jahrzehnt war geprägt von falschen **Wahrnehmungen** und irrtümlichen Annahmen. Eine Vielzahl neuer Definitionen wurde vorgestellt, die teilweise in entscheidenden Punkten differierten: Während verschiedene Autoren von einer sehr eng gefassten, strikt irreversiblen Veränderung in Richtung wüstenhafter Bedingungen aufgrund zunehmender Aridität ausgehen und Le Houérou (1975) diese Prozesse auf die Wüstenränder mit weniger als 200 mm Niederschlag begrenzt wissen wollte, legte z. B. Dregne (1983: S. 5) den Begriff ohne regionale Einschränkung weiträumig aus, stellt aber den *human impact* als auslösenden Faktor in den Mittelpunkt seiner Überlegungen. Mensching (1986) versuchte mit seiner Formulierung erstmals zu vermitteln und stellte klimatische und menschengemachte Faktoren gleichwertig nebeneinander:

„Aridity combined with high variability of rainfall from year to year and season to season is the mother of desertification. Any excessive form of human impact on a semi-arid ecosystem, however, is its father!“ (Mensingh 1986: S. 3).

Das wohl größte Missverständnis in diesen Zusammenhang ist das des „vorrückenden Wüstenrandes“ (*desert encroachment*). Eine umfassende Diskussion des *desert encroachment* findet sich in einem im Auftrag des UNEP entstandenen Sammelband mit dem Titel „Can desert encroachment be stopped?“ (Rapp et al. 1976). 1975 erreichte die Diskussion mit den von Lamprey (1975) angegebenen Vorrückraten der Wüste im Sudan einen ersten Höhepunkt: Ausgehend von Vegetations- und Klimakarten Ende der 1950er Jahre und der Auswertung von Luftbildern und Feldbeobachtungen aus dem Jahr 1975 errechnete er ein mittleres jährliches Vordringen des Wüstenrandes um 5,5 km. Heelden (1984: S. 53), Olsson (1985: S. 147f.) und Ahlcrona (1988) waren die ersten, die Zweifel an den bis dahin geäußerten Größenordnungen und Entwicklungsgeschwindigkeiten anmeldeten. Sie bewiesen, dass Lamprey die Unterschiede zwischen kurzzeitigen Dürreauswirkungen und Langzeittrends nicht erkannt hatte. Sie fanden im zentralen Sudan eine Reihe von Hinweisen (Veränderungen des Vegetations-Indexes [NDVI], gestützt auf Satellitenbeobachtungen) auf sehr viel langsamer ablaufende Veränderungen als bis dato angenommen. Feldbeobachtungen zeigten, dass die Ausbreitung von *Calotropis procera*, die für Weidetiere ungenießbar ist, zu qualitativen Veränderungen auf Weideflächen führt, ohne dass die Vegetationsbedeckung signifikant abnimmt. Weder wurden deutliche Verschiebungen der Vegetationszonen noch das Aussterben von bestimmten Baumarten festgestellt. Statt dessen konnten in Abhängigkeit von Siedlungs- und Beweidungsdruck deutliche Differenzierungen in siedlungsnahen und -fernen Regionen festgestellt werden.

Es setzt sich vermehrt die Auffassung durch, dass Desertifikation aus einem Bündel von Prozessen besteht, welche einzeln und in Kombination kleinräumig variieren. Aber mehr denn je stehen sich heute Vertreter von Katastrophenszenarios und Skeptiker gegenüber, die auf das weiterhin hohe Gefährdungspotenzial betroffener Flächen oder deren Widerstandsfähigkeit (*resilience*) und auf das traditionelle Wissen der involvierten Bevölkerung verweisen (Mensingh 1990, Ibrahim 1992: S. 72ff., UNCED 1992: S. 98ff., UNEP 1992, WBGU 1996: S. 163ff., Breckle et al. 2001: S. 2ff. versus Critchley et al. 1994: S. 308ff., Dahlberg 1994: S. 39f., Thomas und Middleton 1994, Lykke et al. 1999: S. 59f., Marcussen 1999: S. 94f.). Auch nach Rio de Janeiro (UNCED 1992) konnte kein befriedigender Konsens in der Vielzahl der unterschiedlichen Definitionsansätze erreicht werden (Mainguet und Da Silva 1998: S. 379), und mehr denn je erscheint Desertifikation als normatives Konzept, in welchem Umweltveränderungen je nach Standpunkt, Interesse und Grad der Institutionalisierung des Betrachters unterschiedlich beurteilt werden (Rasmussen 1999).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl unter Wissenschaftlern als auch unter Entwicklungspraktikern weltweit erhebliche Differenzen über das Ausmaß, die Auslöser, deren Zusammenwirken und mögliche Problemlösungsansätze von Desertifikation bestehen. Denn obwohl das Erscheinungsbild und die Auswirkungen allgemein bekannt scheinen, sind quantitativ

ausgerichtete Untersuchungen mit mittel- bis langfristigen Beobachtungsreihen (Monitoring), die eine sichere Beweislage bieten, ausgesprochen selten. Die dazu notwendigen Beobachtungsreihen von ca. 30–40 Jahren mit kombinierter Satelliten- und Luftbilddauswertung in Verbindung mit verlässlichen Feldstudien werden auch in absehbarer Zeit nicht vorliegen. Die Datenbasis bleibt weiterhin auf wenige Fallbeispiele beschränkt, deren Übertragung auf die regionale Maßstabebene ebenso schwierig wie fragwürdig ist. So fehlen historische Umweltdaten (vgl. Pelzer et al., Abschnitt 3.4 in diesem Band) für ein gezieltes groß maßstäbiges Monitoring der Veränderungen. Nur in wenigen Fällen liegen Aufnahmereihen mit hohen Wiederholungsraten vor. Insbesondere für Weideland ist die Datenlage sehr dürftig, Vergleiche sind daher schwierig. Auch für eine Landnutzungsklassifizierung ist die Datengrundlage gerade in den von Desertifikation bedrohten Regionen sehr schlecht. Daher kann das Ausmaß von Wasser- und Winderosion nur mit großer Unsicherheit von Testgebieten auf größere Areale übertragen werden.

Die Regeneration der Vegetationsbedeckung mit hoher Schutzwirkung gegenüber Bodenerosion überrascht und bezeugt die Regradationsfähigkeit von einzelnen, als irreversibel degradiert eingeschätzten Flächen, so z.B. im Niger nach 20 Jahren Dürre (Mainguet 1994). Trotzdem muss die Frage nach einer weitgehenden Regradierung bei nur ausreichend hohen Niederschlagsmengen über mehrere Jahre offen bleiben, da das Ausmaß der Bodenerosion und ihr Einfluss auf eine Regenerationsfähigkeit der Vegetation angesichts der sehr unterschiedlichen anthropogenen wie klimatischen Einflüsse in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Verbreitung nur unzureichend abgeschätzt werden können.

Die Vorstellung vom unerbittlich vorrückenden Sand verstellt den Blick auf die weniger aufdringlichen, komplexeren, teilweise rhythmisch verlaufenden Degradationsprozesse bei zeitweiliger Erholung mit deutlicher Regradierung, die ausgehend von Zentren mit hohem Nutzungsdruck radial angeordnet sind und in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen und dem jeweiligen (Über-)Nutzungsgrad ständiger Veränderung unterworfen sind (Rapp et al. 1976).

Unbeantwortet blieben bis heute auch die Frage der Schadensbewertung und das Problem der Irreversibilität. Mainguet (1994: S. 289) schlägt – ähnlich wie Johnson und Lewis (1995: S. 6) – für den Begriff Landdegradation eine an der Generationenfolge orientierte Zeitspanne als wesentliches Kriterium vor, möchte sie jedoch auf 25 Jahre begrenzt wissen. Sie betont, dass darüber hinaus die Finanzierbarkeit der Regradation in Relation zur Schadensgröße gesehen werden muss, vor allem aber zu den tatsächlichen Möglichkeiten in den betroffenen Ländern. Damit bleibt für die Sahelzone vieles ökonomisch irreversibel, was durchaus technisch reversibel wäre.

### 3.5.1.3 Kriterien für Landdegradation und Messverfahren

#### *Kriterien*

Unsere Kriterien für Landdegradation in der Form von Desertifikation in der Sahelzone sind (1) die standörtlichen Bedingungen, welche zur Oberflächenabflussbildung führen, (2) die Erosionsgefährdung gegenüber Wasser und Wind und (3) der Zustand der Vegetation. Auf diesen Kriterien aufbauend, ergeben sich folgende Untersuchungen, deren Ergebnisse Kriterien für die Bewertung der Degradation sind:

- Erfassung der standörtlichen Infiltrationskapazität als Voraussetzung für die Oberflächenabflussbildung,
- Erfassung der standörtlichen Oberflächenabflussraten und Bodenerosionsraten mittels Niederschlagssimulationen,
- Erfassung der floristischen Struktur der Vegetation und der Vergesellschaftung der Arten sowie der Vegetationsdynamik in Abhängigkeit der Standortfaktoren,
- Untersuchung des Einflusses der aktuellen oder letztmaligen Nutzung, insbesondere der Bodenbearbeitung und Beweidung, auf die genannten Faktoren.

Wir gehen für den Untersuchungsraum in NE-Burkina Faso (Abb. 3.5.1) von folgenden Grundannahmen aus:

- Die Prozesse der aktuellen Geomorphodynamik und der Vegetationssukzession unterliegen aufgrund der hohen Variabilität der Niederschläge großen annuellen und interannuellen Schwankungen. Das natürliche Ökosystem der Sahelzone ist an diese Niederschlagsvariabilität weitgehend angepasst. Durch Eingriffe des Menschen ist diese Stabilität aber soweit geschwächt worden, dass weite Bereiche labil geworden und als degradiert zu bezeichnen sind (Mensing 1990). Von Degradationserscheinungen sind die Vegetationsformationen auf den Altdünen und auf den Glacis am stärksten betroffen.
- Die Vegetation ist durch extensive Beweidung in ihrer Dynamik stark eingeschränkt, Sukzessionsprozesse sind verlangsamt und Spülprozesse sind entsprechend stark. So sind als Folge der Beweidung schon heute vielfältige Vegetationsveränderungen eingetreten, die als Zeichen der Degradation zu sehen sind (Abnahme der Phytodiversität, Verschiebungen im Artenspektrum und den Dominanzverhältnissen einzelner Arten, Verschwinden mehrjähriger Arten hin zu Arten mit kurzem Vegetationszyklus, Zunahme von giftigen oder nicht schmackhaften Arten, siehe z.B. Anhuf et al. 1990, Claude et al. 1991, Kusserow 1994, Lindskog und Tengberg 1994, Ganaba und Guinko 1995, Lykke 1997).
- Die Bodenerosionsprozesse erzeugen unter den herrschenden Klimabedingungen eine irreversible Verminderung der Bodendecke, welche Schädigungen aller Bodenfunktionen nach sich zieht, die in den seltensten Fällen und nur unter hohem technischen Aufwand regradierbar sind.



- Das System Wasserhaushalt wird insbesondere in seiner Funktion als Wasserspeicher in trockenen Jahren unter den permanenten Welkepunkt gedrängt, und die Widerstandskraft der mehrjährigen Vegetation ist gegenüber Störungen in solchen Jahren gering. Ist die Vegetationsdecke aus mehrjährigen Arten verschwunden, ist es sehr schwer, sie wieder zurückzugewinnen. Dem stehen populations- und ausbreitungsbiologische Hindernisse (geringe Samenproduktion, fehlende Ausbreiter von Samen und Früchten) und die Konkurrenzarmut vieler Arten im Wege (Bremen und de Ridder 1991).

#### *Aufnahme- und Messmethoden*

Am Beispiel eines idealtypischen Landschaftsausschnittes mit seiner naturräumlichen Ausstattung und der aktuellen Nutzung erfolgt eine standörtliche Charakterisierung der Sahelzone in NE-Burkina Faso. Darauf aufbauend werden Szenarien der Veränderung zu mehr Degradation bzw. Regradation (mehr Niederschlag und/oder geringere Nutzung) entwickelt.

Der Zustand der Bodendecke wurde durch Bohrungen und Grabungen ermittelt und nach AG Boden (1994) beschrieben. Die Bodentypen wurden nach FAO (1998) benannt. Der Oberflächenabfluss wurde experimentell mit Hilfe einer Kleinberegnungsanlage ermittelt, wobei Niederschlagsintensitäten von 40 mm/h und 30-minütiger Dauer simuliert wurden. Zur Bestimmung der Infiltrationskapazität wurde ein schwimmergeregeltes Einringinfiltrometer benutzt (vgl. Ries et al. 2000). Lineare Erosionsformen wurden mit Hilfe eines großmaßstäbigen Luftbildmonitorings dokumentiert (Marzolf et al. 2002).

Die Erfassung der aktuellen Vegetation erfolgte mit pflanzensoziologischen Aufnahmen, die nach dem von Braun-Blanquet entwickelten Ansatz (Schule Zürich-Montpellier, Dierschke 1994) erstellt und anschließend klassifiziert wurden. Die pflanzensoziologischen Aufnahmen wurden durch weitere vegetationskundliche Untersuchungen ergänzt. Die vollständige Beschreibung der im Folgenden erwähnten Gesellschaften des Gebiets ist von J. Müller in Vorbereitung.

#### 3.5.2 Aktuelle Landdegradation in der Sahelzone von Burkina Faso

Die aktuelle Landdegradation in NE-Burkina Faso (vgl. Abb. 3.5.1) wird entlang eines idealtypischen Landschaftstransekts mit den Landschaftseinheiten Inselberg und Sandrampe, Fußfläche (Glacis), Altdünenlandschaft (Dünenzug), Flussniederung (*bas-fond*) und temporärer See (*mare*) exemplarisch beschrieben. Das Landschaftsprofil in Abb. 3.5.2 stellt die wesentlichen Landschaftseinheiten mit ihrem Relief, dem oberflächennahen Untergrund (Gestein und Böden) und den charakteristischen Vegetationsgesellschaften dar.

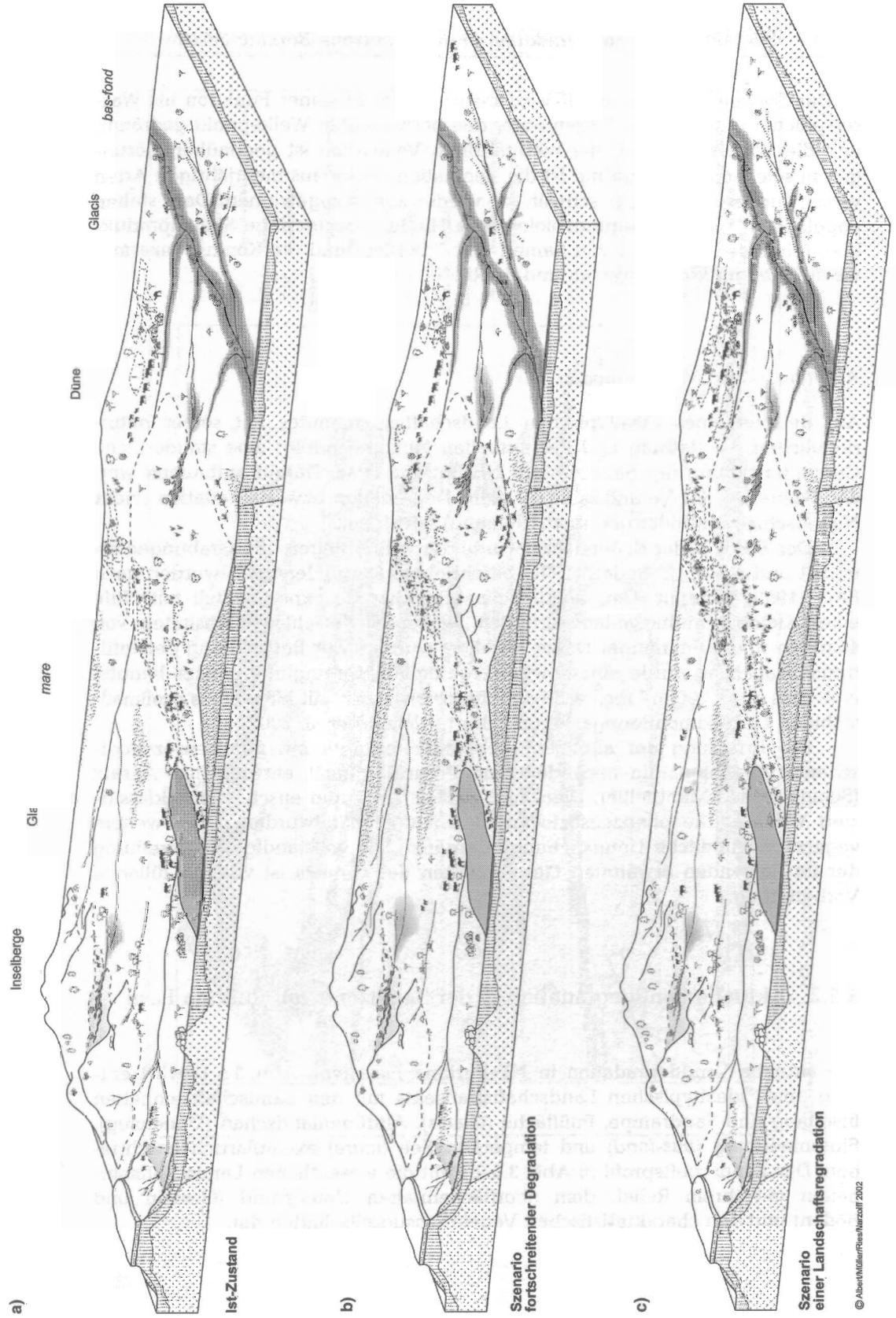


Abbildung 3.5.2: a) Querprofil der charakteristischen Landschaftseinheiten der Sahelzone und der Faktoren Relief und der Faktoren Relief, oberflächennaher Untergrund, Vegetationsgesellschaften, Nutzung und Geomorphodynamik sowie Veränderungen innerhalb der Landschaftseinheiten bei b) zunehmender Degradation und c) zunehmender Regeneration.

## ← Idealtypisches Landschaftstransect des Oudalan (Burkina Faso)

### Oberflächennaher Untergrund

-  verwitterungsresistentes Gestein des kristallinen Sockels (Gabbro, Amphibolit, Quarzit) mit Lithic Leptosols
-  stärker verwittertes und beanspruchtes Gestein des kristallinen Sockels (überwiegend Granit)
-  verwitterungs- und abtragungsresistente Pegmatite (Quarz) mit Leptosols
-  Verwitterungszersatz (Saprolit) des kristallinen Sockels mit Leptosol-Cambisol-Vertisol-Catena auf den Glacis
-  Lateritkruste
-  Hangschutt aus der Abtragung der Inselberghänge und aus der Stufenrückverlegung der Lateritafelberge (Leptosols und Regosols)
-  Pisolithdecke aus der Verwitterung der Lateritkrusten (Leptosols)
-  fluviale und limnische Sedimente der *bas-fonds* und *mares* mit Fluvisols und Vertisols
-  Dünensande mit Luvic Arenosols (verflachter Dünenzug) und Chromic Arenosols bzw. Eutric Regosols (Sekundärdünen)

### Hydrographie

-  Gerinnebett
-  *bas-fond*/rezenter Überschwemmungsbereich
-  *mare* (temporäre Seen in endorheischen Becken)

### Geomorphologie

-  Sandrampe aus pleistozänen Flugsanden
-  Schwemmfächer
-  linearer, stark eingetiefter Gully in sandigem Substrat
-  flächiger, gering eingetiefter Gully in tonig lehmigem Substrat
-  Deflationswanne
-  äolisch aktive Düne
-  Sandfanghügel

### Siedlung/Landwirtschaft

-  Hütte halbnomadischer Viehzüchter
-  Lehmhäuser sesshafter Hirsebauern
-  Hirsefeld (Regenfeldbau)
-  Brache
-  Zebu-Rinder / Kamele
-  Schafe / Ziegen

### Vegetation

-  *Acacia raddiana*-Gesellschaft
-  *Acacia laeta*-Gesellschaft inkl. der *Combretum aculeatum*-Untereinheit
-  *Acacia senegal*
-  *Acacia seyal*-Gesellschaft
-  *Balanites aegyptiaca*
-  *Pterocarpus lucens*-Gesellschaft (Inselberg), *Pterocarpus lucens* als Differenz. Art der *Combretum aculeatum*-Untereinheit der *Acacia laeta*-Ges. (Glacis)
-  *Ptilostigma reticulatum*-Gesellschaft (*mare*, *bas-fond*), *Ptilostigma reticulatum* auf Düne in *Acacia albida*-Kulturbaumparkgesellschaften
-  *Acacia nilotica*-Gesellschaft
-  *Combretum glutinosum*, Dünengesellschaften mit *Combretum glutinosum*
-  *Acacia albida*-Kulturbaumparks
-  Obst- und Gemüsegärten in Dorfnähe (*Hyphaene thebaica*, *Phoenix dactylifera*, *Mangifera indica* etc.)
-  *Diospyros mespiliformis*-Gesellschaft
-  *Adansonia digitata*-Gesellschaft
-  *Anogeissus leiocarpus*, Differentialart der Gesellschaften mit *Ptilostigma reticulatum* (*mare*, *bas-fond*)
-  *Mitragyna inermis*-Gesellschaft
-  Perl-Hirse *Pennisetum americanum*
-  *Feretia apodanthera*, Differentialart der Gesellschaften mit *Ptilostigma reticulatum* (*mare*, *bas-fond*)
-  *Euphorbia balsamifera*-Gesellschaft
-  Gesellschaften mit *Guiera senegalensis* (Inselberg, Düne), *Guiera senegalensis* als Brachezeiger (Düne)
-  stark verbissene *Balanites aegyptiaca*-Kuhbüsche, Übergangsbereich Dünenfuß-Glaci
-  *Leptadenia pyrotechnica*-Gesellschaft
-  *Combretum micranthum*-Gesellschaft
-  *Boscia senegalensis* als Differentialart der *Pterocarpus lucens*-Gesellschaft

### 3.5.2.1 Inselberge mit Sandrampen (Abb. 3.5.3)

Ein typisches Kennzeichen der weit gespannten Rumpfflächenlandschaften Westafrikas sind die Inselberge und Inselbergketten. Mit ihren meist steilen Hängen setzen sie sich deutlich von der Flachlandschaft ab und überragen diese in der Untersuchungsregion NE-Burkina Fasos um bis zu 200 m. Ihnen ist das Fehlen einer tief gründigen Bodendecke gemeinsam, sodass sie ökologisch gesehen sehr arid sind (Poilecot 1999). Daher besitzen die Hänge der Inselberge einen geringen Weidewert, werden aber dennoch extensiv von Schafen und Ziegen beweidet. Außerdem werden die Bäume genutzt, was sich deutlich auf die Zusammensetzung der Gehölzschicht auswirkt. Mit zwei bis sechs Arten pro Aufnahme ist die Gehölzschicht ortsnaher und daher stärker genutzter Inselberge signifikant artenärmer als die ortsferner Inselberge (Wittig et al. 2000). Oft sind die Gehölzbestände an für Inselberge typischen Arten verarmt. Sie sind dann nur noch durch die auf den benachbarten Glacis wachsenden Arten wie *Acacia raddiana* (kennzeichnend für die *Acacia-raddiana*-Gesellschaft) oder durch *Guiera senegalensis* gekennzeichnet und als degradiert zu bezeichnen. Die Gesamtdeckung liegt – soweit überhaupt Gehölze vorhanden sind – nicht über 10%. Die Höhe der Gehölzschicht ist vergleichbar mit der auf den Glacis. Dies gilt insbesondere für ortsnahe Inselberge, für die die Colline de Gagara in der Nähe von Gorom-Gorom als Beispiel dienen soll. Selbst die *Combretum-micranthum*-Gesellschaft, die auf anderen Wuchsorten Deckungswerte bis zu 90% aufweist, erreicht dort bestenfalls 25% und ist neben einer an Arten verarmten Einheit mit *Guiera senegalensis* die einzige dort anzutreffende Gesellschaft. Nach Aussagen der lokalen Bevölkerung war die Colline de Gagara noch bis vor wenigen Dekaden dicht, u. a. mit *Pterocarpus lucens*, bewachsen. Ein solcher Bestand wäre der *Pterocarpus-lucens*-Gesellschaft zuzuordnen, in der weitere charakteristische Arten zu erwarten wären, wie sie heute noch auf ortsfernen Inselbergen, z. B. auf den Collines de Kolél, vorkommen.

Wie die Gehölzschicht ist auch die Krautschicht degradiert. Für diese sind auf Inselbergen normalerweise *Pandiaka heudelotii* und *Aristida funiculata* typisch, dazu kommen Glacis-Arten (*Schoenefeldia gracilis* etc.) und Begleiter. Insgesamt können mindestens sieben Krautschicht-Gesellschaften ausgegliedert werden. Steinige Gebiete der Inselberge tragen nicht mehr als eine schütterere Vegetation (*Tetrapogon cenchriformis*, *Aristida funiculata*, *Schoenefeldia gracilis*). Bei zunehmendem Nutzungsdruck verschwinden zunächst einige mehrjährige Gräser (*Brachiaria lata*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Pennisetum pedicellatum*, *Panicum* sp., *Tetrapogon cenchriformis* etc.), wie das auf vielen ortsnahen Inselbergen schon geschehen ist. Weiten Raum nimmt eine Gesellschaft ein, die u. a. durch *Cleome scaposa* und *Cleome viscosa* gekennzeichnet ist. Typisch für die ortsnahen Inselberge ist weiterhin eine Gesellschaft mit *Urochloa trichopus*, *Borreria chaetocephala*, *Panicum laetum* und *Polygala* sp.; wie auch die Gehölzschicht ist sie floristisch stark von den Glacis her beeinflusst.

Trotz der Degradation der Inselbergvegetation bleiben die Hänge morphologisch weit gehend stabil. Die dichte Bedeckung mit Steinen und Blöcken und

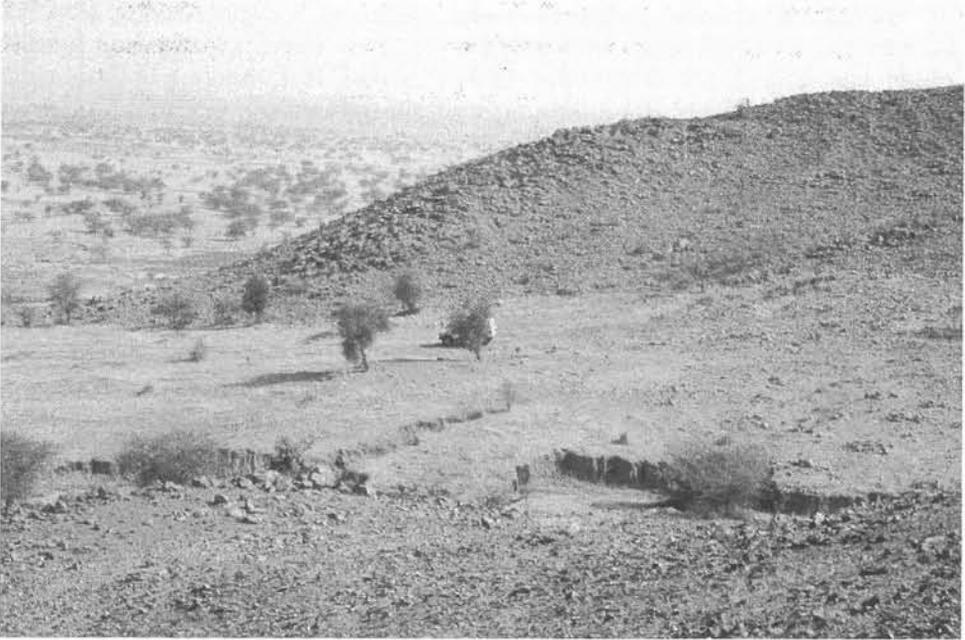


Abbildung 3.5.3: Inselberg aus präkambrischem Quarzit (Colline de Gagara) und spätpleistozäne Sandrampe aus verfestigten äolischen Sanden (Bodentyp: *Luvic-Chromic Arenosol*). Die Sandrampe wird rezent von einem Gully zerschnitten und partiell von Hangschutt des Inselbergs überdeckt (rechte Bildhälfte). Die Vegetation des Inselberges ist extrem degradiert, die Gehölzschicht fehlt fast vollständig. *Pandiaka heudelotii* und *Aristida funiculata* sind typische Arten der schütterten Annuellenflur. Die Sandrampe wird vom Glacis her (Bildhintergrund links) von *Balanites aegyptiaca* und *Acacia raddiana* besiedelt (*Acacia-raddiana*-Gesellschaft).

das anstehende Festgestein reduzieren Verwitterungs- und Abtragungsprozesse ganz erheblich.

Deutlich abweichend ist die Situation in den Hangfußbereichen der Inselberge. Der oberflächennahe Untergrund besteht dort häufig aus äolischen Sedimenten (äolisch: vom Wind transportiert; nach Äolus, gr. Gott des Windes), die ursprünglich als Sandrampen oder Leedünen während der spätpleistozänen Trockenperiode (ca. 20 000–12 000 Jahre vor Heute) akkumuliert wurden. Diese Sedimente sind mit größerem Schutt aus der Hangabtragung des Inselbergs durchsetzt oder überdeckt – vor allem wenn es sich bei den Inselbergen um die weit verbreiteten Tafelberge mit Lateritkrusten handelt, die bei der Verwitterung in runde Pisolithe („Erbsensteine“) zerfallen. Im Vergleich zu den freien äolischen Akkumulationen (vgl. Abschnitt 3.5.2.3 Altdünenlandschaft) sind die äolischen Sedimente der Sandrampen durch intensivere Bodenbildung und damit bessere Nährstoffversorgung gekennzeichnet. Ursache ist das Zuschusswasser von den Inselberghängen und damit einhergehend auch die laterale Tonverlagerung. Mit Tongehalten um 10% und der bis zur Basis durchgehenden Rubefizierung (Hämatitbildung) entspricht das verfestigte feinsandige Se-

diment den mit Ton und Eisenoxiden angereicherten Bodenhorizonten (Bvt-Horizonte) der *Luvic-Chromic Arenosols* der Altdünen (s. u.), allerdings in mächtigerer Ausbildung. Die Oberböden fehlen infolge der jüngeren Erosion meist vollständig. Die leichte Braunfärbung und ein geringfügig erhöhter Gehalt an organischer Substanz in den oberen 20 cm lassen auf eine rezente Bodenbildung schließen. Die unteren 30 cm des sandigen Substrats – über dem Anstehenden – sind infolge des hangparallel fließenden Sickerwassers leicht gebleicht.

Diese sandigen Hangfußbereiche der Inselberge werden intensiver weidewirtschaftlich und feldbaulich genutzt als die Inselberghänge aus Festgestein oder grobem Gesteinsschutt. Vor allem in der Trockenzeit dienen sie als Futterreserve. Soweit diese Bereiche nicht vollständig gehölzfrei sind, ist die Gehölzschicht der Sandrampen stark von den Glacis her beeinflusst. Als dominierende Gehölzart wächst hier *Acacia raddiana*. Hingegen unterscheidet sich die Vegetation der Krautschicht grundsätzlich nicht von der Vegetation auf den Dünen (vgl. Abschnitt 3.5.2.3). Zusätzlich zu einem Grundstock weit verbreiteter Dünenarten (*Alysicarpus ovalifolius*, *Zornia glochidiata*, *Tragus berteronianus*, *Digitaria ciliaris* etc.) besiedeln einige Arten die Sandrampen, die spezifische standörtliche Charakteristika anzeigen. So ist *Pancratium trianthum* als Zwiebelgeophyt in ehemaligen Hirsefeldern oder *Tribulus terrestris* auf Standorten mit hoher Trittbelastung zu finden. *Pandiaka heudelotii* ist eine der wenigen Arten, die vom Inselberg kommend auch die Sandrampen besiedelt.

Die vorwiegend einjährige Vegetation ist lückig ausgebildet, obwohl die günstigen Bodenbedingungen prinzipiell eine dichte Vegetationsbedeckung ermöglichen. Die vegetationslosen Bereiche folgen fluvialerosiven Tiefenlinien. Diese entwässern in zum Teil ausgeprägte Gully-Systeme (Erosionsgräben) auf den Sandrampen. Die Gullys erreichen Breiten von mehreren Metern und sind im hangabwärtigen Abschnitt bis über 3 m in die Sandrampen eingeschnitten. Zahlreiche seitliche Einschnitte, die mehrere Meter in die Sandrampe hineingreifen sowie *piping* (Tunnelerosion) belegen die rezente fluviale Dynamik. In der Tiefenlinie wird vor allem Sand transportiert. Steine der Inselberghänge treten nur vereinzelt auf und werden vermutlich nur über kurze Distanzen verlagert.

Die experimentell ermittelten Oberflächenabflusskoeffizienten auf den Sandrampen liegen mit Werten von 21–60% im Bereich mittel hoch bis sehr hoch (Tab. 3.5.1 und 3.5.2). Berücksichtigt sind die Ergebnisse einer Sandrampe mit verkrusteter Oberfläche über kaum verfestigtem Sand (NdS 19 in Tab. 3.5.1) sowie stark erodierte, vegetationsfreie Sandrampen mit verkrusteten Oberflächen über verfestigtem tonigen Sand (NdS 20) und mit oberflächlicher Anreicherung von Pisolithen bis ca. 75% (NdS 21) (Abb. 3.5.4 a). Letztere erbringen die höchsten Abflusswerte. Die Abflüsse setzen schon um die zweite Minute ein und die Bodenabträge streuen mit 6–164 g/m<sup>2</sup> zwischen den Klassen mittel und sehr hoch (Tab. 3.5.2). Die Existenz der Bodenkrusten erklärt den zügigen Beginn des Oberflächenabflusses und dessen mittlere bis hohe Werte. Die Krusten weichen während der Beregnung auf; die Infiltrationsraten liegen nach 30 Minuten zwischen 67 mm/h und 97 mm/h, (Tab. 3.5.2), wobei

Tabelle 3.5.1: Ergebnisse der Niederschlagssimulationen und der experimentell ermittelten End-Infiltrationsraten nach 30 Minuten in NE-Burkina Faso.

NdS-Nr.	Standort	Bodenart	Runoff-Koeffizient [%]	Bodenabtrag [g/m <sup>2</sup> ]	Beginn Oberflächenabfluss [min]	Vegetationsbedeckung [%]	Steinbedeckung [%]	Hangneigung [°]	Infiltrationsrate [mm/h]
6	Dünenzug (Nordhang)	schwach toniger Sand	55,4	25,74	1'25	1	2	3	64,5
7	Dünenzug (Nordhang)	Sand	0,0	0,00	–	10	0	7	116,3
13	Dünenzug	Sand	0,0	0,00	–	1	0	2,5	116,3
8	verflachte Altdüne (Hirsefeld)	schwach toniger Sand	74,0	107,15	1'30	0	0	–	80,1
14	verflachte Altdüne (Brache)	schwach toniger Sand	88,6	300,06	0'30	1	1	5	72,8
11	Dünenzug (Nordhang Brache)	lehmiger Sand	67,3	16,28	2'00	1	1	3	67,4
12	Dünenzug (Nordhang, Hirsefeld)	schwach toniger Sand	43,9	311,62	2'30	1	0	8	82,3
23	Dünenzug (Nordhang Brache)	schwach toniger Sand	90,9	89,52	2'00	0	3	5	75,3
24	Dünenzug (Nordhang)	Sand	1,5	2,38	24'00	0	2	6	110,1
25	Dünenzug (Nordhang Hirsefeld)	schwach toniger Sand	2,1	6,41	18'00	0	0	3	120
26	Dünenzug (Nordhang Hirsefeld)	lehmiger Sand	88,8	94,51	2'00	0	3	3	56,5

Tabelle 3.5.1 (Fortsetzung).

NdS-Nr.	Standort	Bodenart	Runoff-Koeffizient [%]	Bodenabtrag [g/m <sup>2</sup> ]	Beginn Oberflächenabfluss [min]	Vegetationsbedeckung [%]	Steinbedeckung [%]	Hangneigung [°]	Infiltrationsrate [mm/h]
9	Glacis	Sand	0,0	0,00	–	5	35	6,5	82,3
10	Glacis	lehmiger Sand	94,3	56,22	1'00	0	1	3,5	58,2
15	Glacis	schwach toniger Sand	40,9	16,21	5'50	25	2	3,5	58,2
16	Glacis	sandig-toniger Lehm	79,4	174,53	1'40	3	2	2	30,7
17	Glacis	lehmiger Sand	61,0	34,07	5'00	20	2	2,5	30,7
18	Glacis	stark lehmiger Sand	38,1	19,42	6'05	25	2	6,5	22,3
22	Glacis	sandig-toniger Lehm	100,0	93,63	4'00	0	7	1,5	16,2–26,1
27	Glacis	schwach lehmiger Sand	35,0	21,82	5'10	0	10	7	22,3
19	Sandrampe	Sand	43,0	164,14	1'50	1	3	6	96,5
20	Sandrampe	toniger Sand	21,2	5,93	2'15	0	2	5,5	86,7
21	Sandrampe	schwach toniger Sand	59,8	22,58	2'00	0	75	9	67,4

Tabelle 3.5.2: Klassifizierung der prozessmorphologischen Ergebnisse: Bewertungsschema der Oberflächenabflusskoeffizienten in Prozent und der Bodenabträge in  $\text{g m}^{-2}$  in Anlehnung an Langer (2000: S. 48), bezogen auf die Mikroplot-Fläche von  $0,28 \text{ m}^2$ . Bewertung der Infiltrationsraten nach EPRODESERT-Klassen nach Sauer (2002).

Bewertung	Oberflächenabflusskoeffizient [%]	Bodenabtrag [ $\text{g m}^{-2}$ ]	Infiltrationsrate (Sauer 2001) [ $\text{mm h}^{-1}$ ]	Bewertung	Beginn der Abflusspende [min]
extrem hoch	>75	>150	–	sehr früh	0–1' 30"
sehr hoch	>50–75	>50–150	>40	früh	>1' 30"–3'
hoch	>30–50	>15–50	20–40	mittel	>3'–6'
mittel	>10–30	>5–15	10–20	spät	>6'–10'
gering	>1–10	>0,5–5	5–10	sehr spät	>10'
sehr gering	≤1	≤0,5	<5		

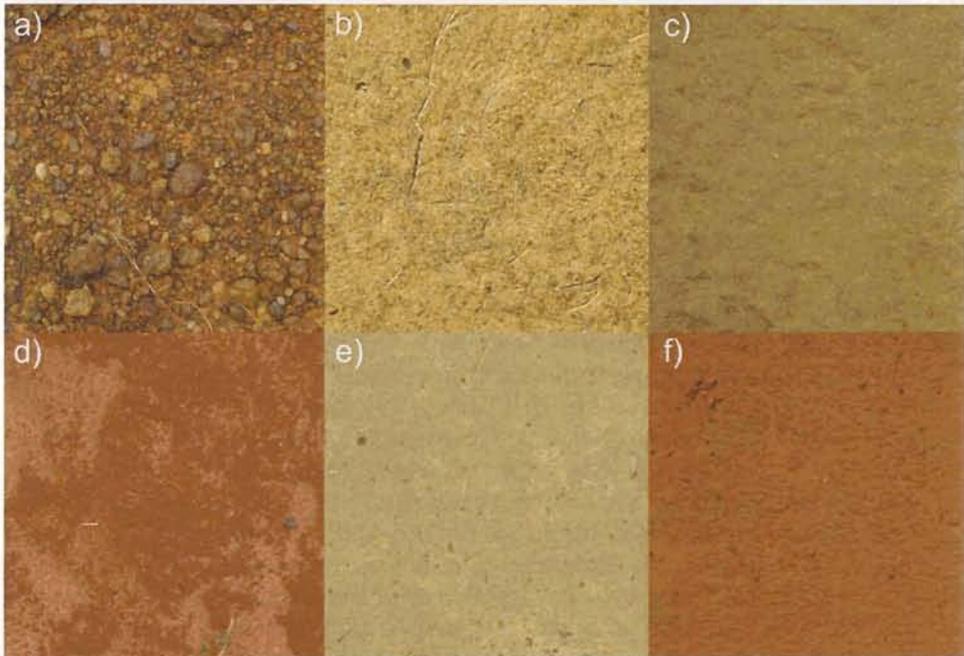


Abbildung 3.5.4: Charakteristische Oberflächentypen sahelischer Landschaftseinheiten. a) Sandrampe mit Pisolithschutt, b) Glacis über grusigem Granitzersatz mit grober Sandbedeckung, c) Glacis aus lehmigem Sand, verkrustet und verschlammte, d) verflachte Altdüne (Hirsefeld) mit gekapptem *Luvic-Chromic Arenosol*, verkrustet, e) Hangfuß am Dünennordhang (Hirsefeld) mit verkrustetem Bodensediment (Kolluvium) aus der Hangabtragung, f) Oberhang-Dünenotop mit wenig resistenter Regenschlag-Kruste aus schwach tonigem Sand. (Die Kantenlänge der Bildausschnitte beträgt 35 cm).

der deutlich geringste Wert unter den Pisolithen zu finden ist. Der Bodenabtrag nimmt mit steigendem Oberflächenabfluss zu, wobei auf dem kaum verfestigten Sand (NdS 19) aufgrund der geringen Krustenresistenz und dem ausreichenden Vorkommen transportierbaren Lockermaterials ein extrem hoher Wert erreicht wird.

### 3.5.2.2 Die Glacis (Abb. 3.5.5)

Trotz des zunächst recht gleichförmigen Erscheinungsbildes der ausgedehnten Flächen (Glacis) sind diese in ihrem pedologischen und sedimentologischen Charakter sehr inhomogen. Mitunter variieren die standörtlichen Bedingungen auf engstem Raum entlang kaum wahrnehmbarer Reliefunterschiede. Ursachen für diese Differenzierung sind das räumliche Muster der Petrographie, die weit verbreiteten und vielgestaltigen paläogeographischen Relikte und Residuen – wie Lateritkrusten und umgelagertes Krustenmaterial als Ausgangsgestein jüngerer Bodenbildung – und die rezenten und subrezenten Transport- und Akkumulationsprozesse.

In den flachen Wasserscheidenbereichen liegt oft residual angereichertes Grobmaterial aus Gesteinsschutt des mitunter anstehenden Festgesteins oder aus Pisolithen eines jüngeren pleistozänen Flächenniveaus (*glacis d'érosion*). Entsprechend sind auf diesen Flächen lediglich skelettreiche Rohböden bzw. Initialböden (*Leptosols*, *Eutric Regosols*) ausgebildet. Die Oberflächen sind oft (v. a. bei Pisolithbedeckung) durch ein residuales Steinpflaster abgedichtet. Verstärkter Oberflächenabfluss aufgrund der verringerten Infiltration ist die Folge. In einiger Entfernung der Wasserscheide wechseln sich steinbedeckte und oberflächlich verkrustete Bereiche mit steinfreien Arealen ab. Hier setzen bereits die für die Glacis typischen Böden aus sandig-tonigem Lehm ein (*Vertic Cambisols*). Obwohl zahlreiche Feinwurzeln in den oberen Bodenhorizonten auf eine gleichmäßige Grasbedeckung hinweisen, sind lediglich die krustenfreien Areale schon bald nach Beginn der Regenzeit vegetationsbedeckt. Die Ursache für das zeitlich versetzte Erscheinen der Vegetation liegt in den infiltrationshemmenden Bodenkrusten. Rietkerk (1998) verweist auf die Entstehung und Persistenz von Mustern aus nackten Oberflächen und Vegetationsflecken infolge von Bodendegradation. Ursache ist die starke Nutzung der Flächen. Außer der intensiven Holznutzung dient die Grasdecke als wichtige Futterquelle während der Regenzeit. Bestimmte Grasarten werden auch als Wildgetreide geerntet. In der Trockenzeit hingegen sind die Flächen abgeweidet und werden nicht weiter genutzt.

Die größte Differenzierung findet sich innerhalb des sich hangabwärts anschließenden Glacis (*glacis de transition*). Auch dort wechseln sich vegetationsbedeckte und vegetationslose Bereiche mosaikartig ab. Zu Beginn der Regenzeit keimen die Samen der einjährigen Pflanzen zunächst in den schwach angedeuteten Tiefenlinien, in denen die Wasserversorgung relativ günstig ist, während die trockeneren und erhöhten Bereiche des Glacis noch vegetationslos sind. Die verkrustete Oberfläche, die deutliche Spuren der Verspülung trägt



Abbildung 3.5.5: Glacis mit typischer *Acacia-raddiana*-Gesellschaft und ungleichmäßig verteilter Krautschichtvegetation. Die vegetationsfreien Flächen im Vordergrund unterliegen rezent der Abspülung (*glacis d'erosion*). Die Streifen dichter Vegetation im Bildhintergrund deuten den Verlauf der flachen Tiefenlinien (*bas-fond*) an. Der Vergleich mit Abb. 3.5.3 verdeutlicht das sich verändernde Landschaftsbild zwischen Regen- und Trockenzeit.

und auf der kantengerundete bis eckige, polierte Quarze liegen, verhindert eine zügige Infiltration und erhöht den Oberflächenabfluss. Dem geringen Gefälle folgend findet hier Durchtransport statt. Dabei kommt es zur Verfüllung kleinerer Unebenheiten und Akkumulation in Senken. In flachen Rillen und Rinnen wird Bodensediment sortiert und oberflächlich verspült. Stellenweise werden entlang größerer Gully-Systeme große Mengen Bodenmaterial erodiert. Auf diesen Flächen dominieren braunerdeartige Böden, häufig mit Vertisolcharakter, aus sandig-tonigem Substrat (*Vertic Cambisols*) sowie degradierte Salzböden (*Sodic Vertisols*). Über dem weit verbreiteten Granit dominieren grusig-sandige *Eutric* und *Chromic Cambisols* und je nach Wasserhaushalt Böden mit *ferric* oder *luvic* Eigenschaften. Über dichtem Untergrund sind die Böden häufig bereits in den oberen Horizonten Stauwasser beeinflusst (*stagnic* Eigenschaften).

Hangabwärts folgen ausgedehntere Akkumulationsbereiche (*glacis d'accumulation*), die häufig ohne sichtbare Reliefmerkmale in die eigentlichen Tiefenlinien (*bas-fond*) übergehen. Der oberflächennahe Untergrund dieser Abschnitte besteht aus feinmaterialreichem Bodensediment – meist tonigem Lehm – aus der Abtragung der höher gelegenen Glacisbereiche (vgl. Abschnitt

3.5.2.4 *Mares und bas-fonds*). Der Vertisolcharakter nimmt in diesen Abschnitten zu. Die Böden quellen und schrumpfen im Jahresverlauf entsprechend dem Bodenfeuchtezustand. Die Flächen sind während der Regenzeit oft überschwemmt und trocknen danach unter der Bildung von tiefen Trockenrissen schnell wieder aus.

Der kleinräumigen Relief- und Bodendifferenzierung auf den Glacis entsprechen meist die Vegetationsmuster. Insgesamt ist die floristische Verarmung der Gehölzbestände auffallend. Die frühere Phytodiversität, die durch ältere Literaturzitate belegt ist (u. a. Roberty 1940, Aubréville 1949, Breman und Cissé 1977), ist heute nur noch selten vorhanden. Hinweise auf eine ehemals dichtere Gehölzschicht liefern abgestorbene Baumwurzeln im Boden. Eine hoch stete, d. h. sehr regelmäßig anzutreffende und für nahezu alle Bereiche der Glacis kennzeichnende Art ist *Acacia raddiana*, die gemeinsam mit dem ebenfalls hoch steten Begleiter *Balanites aegyptiaca* eine verarmte Glacisgesellschaft bildet (*Acacia-raddiana*-Gesellschaft). Sie ist typisch für die degradierten Bereiche der *glacis d'erosion* sowie für die Abtragungsbereiche der *glacis de transition*, soweit diese Bereiche nicht vollständig gehölzfrei sind. Zerstreut wächst auf den mittleren Bereichen der Glacis eine *Acacia-laeta*-Gesellschaft. Innerhalb dieser Gesellschaft gibt es eine schwächer anthropogen überformte Untereinheit mit *Combretum aculeatum*, die die artenreichsten Glacisbestände mit bis zu 13 Arten pro Aufnahme bildet. Hier finden sich als Futter- oder Nutzholzbäume geschätzte Arten (*Combretum aculeatum*, *Pterocarpus lucens*, *Maerua crassifolia* u. a.). Auf den tiefer liegenden Glacisbereichen (*glacis d'accumulation*) wächst die artenarme *Acacia-seyal*-Gesellschaft. Sie kann mit der *Acacia-laeta*-Gesellschaft aufgrund räumlicher Nachbarschaft Übergänge bilden sowie gemeinsam mit der *Acacia-raddiana*-Gesellschaft vorkommen. In der Struktur (Deckungsgrad, Höhe, Schichtung etc.) sind sich alle drei Gesellschaften relativ ähnlich.

Die Krautschichtvegetation ist auf dem Glacis sehr ungleichmäßig verteilt. Eine Reihe von einjährigen Gräsern wie *Dactyloctenium aegyptiacum*, *Panicum laetum* und *Eragrostis pilosa* sowie einige einjährige Kräuter bilden den Grundstock an charakteristischen Glacis-Arten. Gesellen sich keine weiteren Arten hinzu, bilden sie für sich eine artenarme Gesellschaft. Die häufigste und typischste Vegetationseinheit des Glacis ist jedoch eine Gesellschaft, die von *Chloris priurii* und *Schoenefeldia gracilis* angeführt wird. Sie ist je nach Wasserhaushalt und pedologischer Situation floristisch gut entwickelt oder an Arten verarmt. Eine weitere Gesellschaft mit *Cyperus iria*, *Echinochloa colona* etc. wächst in den etwas tiefer liegenden und feuchteren Bereichen (*glacis de transition* und *accumulation*).

Die oben beschriebenen, in ihrer Summe flächenhaft wirkenden Abtragungs- und Transportprozesse dominieren die Geomorphodynamik auf den Glacis. Ausgeprägte linienhafte Erosionsprozesse (Gully-Erosion) sind bei regionaler Betrachtung von nachrangiger Bedeutung. Auf den betroffenen Flächen bewirken sie jedoch ganz gravierende Veränderungen der Landschaft. Ausgehend von den steilen Uferböschungen der Gerinnebetten greifen Gullys durch rückschreitende Erosion in die Flächen hinein. Dabei werden zum Teil beachtliche Mengen Lockermaterial in kurzer Zeit abgetragen (Abb. 3.5.6).



Abbildung 3.5.6: Gully-Erosion mit flächenhafter Dimension auf einem sehr schwach geneigten Glacis in feinkörnigem Substrat (sandig-toniger Lehm). Die Eintiefung variiert zwischen 0,4 und 1,2 m (zum Größenvergleich: PKW-Fahrspuren am vorderen Bildrand links). Die Baumschicht besteht aus der typischen *Acacia-raddiana*-Gesellschaft. Die Bäume werden vor allem von Ziegen beweidet. Die Krautschicht ist zum Zeitpunkt der Aufnahme komplett abgestorben (Trockenzeitaspekt).

Dem differenzierten Muster von Böden, Sedimenten und Oberflächen mit ihren verschiedenen Vegetationsgesellschaften und -dichten entsprechen auch die unterschiedlichen Intensitäten der aktuellen geomorphologischen Prozesse auf Abtrags-, Transport- und Akkumulationsbereichen der Glacis. Die Kennwerte der Infiltrationsraten und der Oberflächenabflussbildung streuen entsprechend weit. Die Oberflächenabflusskoeffizienten liegen zwischen 0% und 100% und mit einem Mittel von 42% im hohen Bereich. Die Bodenabträge variieren von 0–175 g/m<sup>2</sup>, ebenfalls von gering bis sehr hoch und liegen im Mittel sehr hoch. Den geringsten Abfluss und Abtrag erbringen die grobsand- und grusreichen Flächen über Granitzersatz, die bereits stark erodiert sind. Wegen der groben Textur und den zahlreichen Mittel- und Grobporen kann viel Wasser infiltrieren (NdS 9 und NdS 27 in Tab. 3.5.1) (Abb. 3.5.4 b). Die höchsten Werte treten dort auf, wo im Gegensatz zu den erodierten Glacis ausreichend Feinmaterial zum Abtrag zur Verfügung steht (Abb. 3.5.4 c). Betroffen sind die tieferen Bereiche der Glacis (*glacis d'accumulation*) und kolluvial überdeckte Flächen unterhalb der Dünenhänge (NdS 16, 22, 26 in Tab. 3.5.1). Auffällig ist auch die Reduktion von Oberflächenabflussbildung und Bodenabtrag an Standorten mit dichter Vegetationsbedeckung trotz vergleichbarer Reliefposi-

tion und Textur (NdS 15, 17, 18 in Tab. 3.5.1). Die Infiltrationsraten liegen hier nach 30 Minuten mit Werten zwischen 16 mm/h und 67 mm/h vergleichsweise niedrig. Nur auf dem sandigen Glacis (NdS 9 in Tab. 3.5.1) werden mit 82 mm/h höhere Werte erreicht, wie sie eher für die verfestigten Sande der Altdünen und Sandrampen typisch sind.

### 3.5.2.3 Die Altdünenlandschaft (Abb. 3.5.7)

Das äolisch geprägte Relief der Region besteht überwiegend aus einer nahezu breitenkreisparallelen Abfolge lang gestreckter Dünenzüge, die große Bereiche der Rumpfflächenlandschaft überprägen. Die Ausdehnung der einzelnen Dünenzüge erreicht in ost-westlicher Richtung in der Regel weit über 100 km bei Breiten (N-S) von 2–10 km und maximalen Höhen von 20–40 m über den umgebenden Rumpfflächen (Albert et al. 1997). Morphographisch lässt sich innerhalb eines Dünenzuges eine deutliche Dreiteilung erkennen (Abb. 3.5.8). Der südliche und flächenmäßig größere Bereich ist stark eingeebnet und trägt



Abbildung 3.5.7: Flachwellig reliefiertes Altdünentop mit äolisch reaktivierten Sekundärdünen zu Beginn der sommerlichen Regenzeit. Im Bildhintergrund ist mit *Acacia albida* der typische Vertreter des Kulturbaumparks zu sehen. Viehherden sind durch Beweidung und Trittbelastung (Bildmitte, links) ein wichtiger Standortfaktor auf den Dünen. Die Strauchschicht wird von der *Leptadenia-pyrotechnica*-Gesellschaft eingenommen, in der Krautschicht (vordere Bildhälfte) treiben in diesem siedlungsnahen Dünenbereich einjährige Gräser wie *Cenchrus biflorus* und Fabaceen wie *Alysicarpus ovalifolius* frisch aus.

### 3.5 Aktuelle Landdegradation in der Sahelzone Burkina Faso

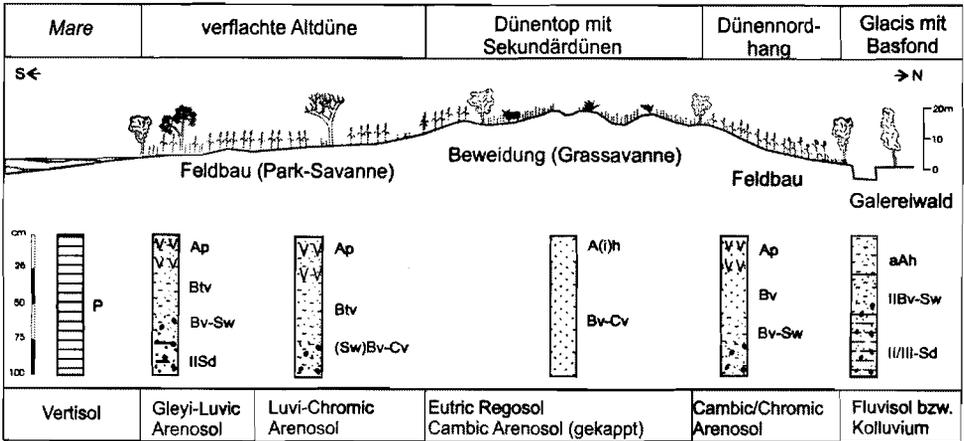


Abbildung 3.5.8: Geofaktoren-Konstellation (Relief, Böden, Nutzung) der typischen Landschaftseinheiten eines Dünenzuges (schematische Darstellung, Albert 2002).

keine äolischen Reliefmerkmale. Der nördliche Teil ragt stärker über die umgebende Landschaft hinaus und ist durch ein ausgeprägtes Sekundärdünenmuster gekennzeichnet. Dessen Relief besteht aus einer Aneinanderreihung von abgerundeten Sekundärdünen, die von meist ovalen Depressionen unterbrochen werden. Dieses Dünentop schließt am Nordrand des Dünenzugs mit einem steileren Hang ab. Stellenweise schließt sich am Fuß des Dünennordhangs eine sandbedeckte Fläche an, die allmählich in die Glacis überleitet. Diesen drei typischen Reliefeinheiten verflachte Altdüne, Dünentop mit Sekundärdünen und Dünennordhang entsprechen charakteristische Bodengesellschaften und daraus abgeleitet die vorherrschende Vegetation und Nutzung (Albert und Küppers 2001). Im Bereich der verflachten Altdünen im Süden der Dünenzüge überwiegen *Luvi-Chromic Arenosols* und *Gleyi-Luvic Arenosols*. Im Bereich des von Sekundärdünen besetzten Dünentop sind auf allen Dünenzügen schwach ausgeprägte und kaum verfestigte *Cambic Arenosols* bis *Chromic Arenosols* typisch, die jedoch häufig stark erodiert sind, so dass initiale *Eutric Regosols* oder äolisch aktive Sande vorliegen. Äolisch aktive Sande auf dem Dünentop treten vor allem dort auf, wo in unmittelbarer Nachbarschaft zum Dünenzug ein *mare* ausgebildet ist. Verstärkte Beweidung und Trittbelastung durch die zu den Wasserstellen ziehenden Herden sind hier für die Degradation verantwortlich. Die nordexponierten Hänge der Dünenzüge sind bezüglich der Bodenverbreitung stärker differenziert. Die Böden der Ober- und Mittelhänge sind vielfach abgetragen. Im Unterhang- und Hangfußbereich dominieren Kolluvien oder *Cambic Arenosols*. Eine ausführliche Darstellung der Bodentypen auf Altdünen liefern Albert und Küppers (2001).

Die Altdünen gehören zu den Landschaftseinheiten, die am intensivsten genutzt werden. Sowohl für den Feldbau als auch für die Weidewirtschaft sind sie von zentraler Bedeutung. Die Vegetation auf den Dünen stellt für die Vieherden des Sahel die wichtigste Futterquelle in der Trockenzeit dar. Außer den

Rändern der *mares* sind die Dünen die Bereiche, die dem höchsten Nutzungsdruck unterliegen (Grouzis 1988). Zugleich blicken sie auf eine lange Siedlungs- und Nutzungsgeschichte zurück (vgl. Vogelsang et al. 1999, Höhn et al., Abschnitt 3.3 in diesem Band).

Die Vegetationsmuster der Dünenzüge spiegeln standörtliche und nutzungsabhängige Muster wider. In siedlungsfernen, relativ wenig beeinflussten Altdünenbereichen kommen gehölzartenreiche Gesellschaften vor, die u. a. durch *Guiera senegalensis*, *Boscia senegalensis* und *Cadaba farinosa* gekennzeichnet sind und Deckungswerte bis zu 65% erreichen. Zunächst sind die *Acacia-laeta*-Gesellschaft, die auch auf den Glacis zu finden ist, und die *Euphorbia-balsamifera*-Gesellschaft, zu nennen. *Pterocarpus lucens* und *Grewia bicolor* kennzeichnen eine Gesellschaft, die floristisch stark an die Gehölzbestände des Tigerbuschs („*brousse tigrée*“, Valentin et al. 1999) erinnert, während eine Gesellschaft mit *Combretum micranthum*, *Anogeissus leiocarpus* und *Acacia ataxacantha* die Tiefenlinien mit besserer Wasserversorgung und zum Teil höherem Tongehalt in den Sanden nachzeichnet und dort kleine Wäldchen bildet. Hingegen unterliegen die Dünenbereiche in Siedlungsnähe und in der Nähe der *mares* einem höheren Nutzungsdruck. Die Degradation der Gehölzschicht ist hier weit fortgeschritten. Solche Bereiche sind durch *Combretum glutinosum* gekennzeichnet. Besonders dort, wo das Dünentop durch rezente äolische Prozesse gekennzeichnet ist, ist die *Leptadenia-pyrotechnica*-Gesellschaft zu finden. Sie ist eine Degradationsgesellschaft und mit ein bis drei Arten pro Aufnahme recht artenarm. Fehlen weitere differenzierende Arten in der Gehölzschicht, kann von einer degradierten und an Arten verarmten Dünen-Gesellschaft mit *Combretum glutinosum* gesprochen werden. Eine zweite, im verflachten Altdünenbereich häufig anzutreffende Einheit ist die ebenfalls struktur- und artenarme *Acacia-raddiana*-Gesellschaft. Die namensgebende Akazie (*Acacia raddiana*) besiedelt von den Glacis her kommend die Düne und ersetzt in dieser Einheit gemeinsam mit anderen Begleitern der Glacis die ausgefallenen Dünenarten. Als weitere typische Gehölzgesellschaft auf den Dünen sind die *Acacia-albida*-Kulturbaumparks auf den feldbaulich genutzten Dünenabschnitten zu nennen (vgl. Höhn et al., Abschnitt 3.3 in diesem Band).

Eine deutliche floristische Trennung der Dünenzüge siedlungsnaher und -ferner Gebiete lässt sich auch in der Krautschicht feststellen. In siedlungsnahen Dünenbereichen ist die Krautschicht mit 6–18 Arten pro Aufnahme im Vergleich zu abgelegeneren Dünengebieten artenarm. Auch wenn zusätzlich verarmte Ausprägungen zu finden sind, ist im Prinzip ein Grundstock an typischen Dünenarten vorhanden. Es dominieren einjährige Gräser und Fabaceen (*Dactyloctenium aegyptiacum*, *Cenchrus biflorus*, *Eragrostis tremula*, *Aristida mutabilis*, *Zornia glochidiata*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Gisekia pharnacioides* u. a.). Je nach Dünenposition verändern sich ihre Deckungsanteile, z. B. nehmen *Chloris prieurii* und *Borreria chaetocephala* in den feuchten Senken, die gleichzeitig einen höheren Ton- und Nährstoffgehalt aufweisen, zu. In stark trittbeeinflussten Bereichen dominiert *Tribulus terrestris*. In der Nähe der *mares* kommen stellenweise regelrechte Lägerfluren mit *Gynandropsis gynandra* und diversen Amaranthaceen vor. Windausgeblasene Bereiche im Dünentop tragen eine deutlich andere

Vegetation u. a. mit *Cyperus conglomeratus* und *Tephrosia purpurea*. Mehrjährige Arten wie *Walteria indica* oder *Aristida sieberana*, die auf abgelegenen Dünen durchaus nicht selten sind, sind verschwunden. Auch das Brachegrass *Andropogon gayanus* fehlt. Durch am Fell oder an den Hufen anhaftende Samen gelangen typische Glacis-Arten mit dem Weidevieh auch auf die Düne (z. B. *Schoenefeldia gracilis*). Arten wie *Tragus racemosus*, *Cenchrus biflorus* oder *Tribulus terrestris* werden ebenfalls leicht durch Weidevieh ausgebreitet. Auf den ausgedehnten Feldflächen der verflachten Altdünenbereiche besteht die Krautschicht aus Ackerwildkrautgesellschaften (Ataholo 2001).

In lockeren Sanden dominiert die äolische Dynamik, vor allem wenn keine Bodenkruste ausgebildet und der Sand nicht durch Bodenbildungen verfestigt ist. Daher sind die kaum verfestigten Sekundärdünen am Top der Dünenzüge am stärksten von rezenten äolischen Prozessen betroffen (vgl. Abb. 3.5.8). Die lückige Vegetation ist dabei kein prinzipielles Hemmnis für äolische Aktivität. Deflation kleinerer Hohlformen – besonders in exponierten Lagen am Top spärlich bewachsener Sekundärdünen – und Akkumulation randlicher Nebkas (durch Vegetation gebundene Dünen) sind auf dem Dünentop in stark beweideten Gebieten zu beobachten. Seltener ist die Reaktivierung ganzer Dünenkörper. Dauerhaft äolisch aktive Dünen in einer Region mit immerhin 400–500 mm Niederschläge pro Jahr sind ein Zeichen fortgeschrittener Degradation. Bekanntestes Beispiel dafür ist der aktive „erg“ von Oursi. Weniger deutlich erkennbar und daher kaum fassbar ist die äolische Dynamik auf den feldbaulich genutzten Altdünenabschnitten. Die Zerstörung schluffiger Aggregate durch windgetriebene, springende Sandkörner oder durch Viehtritt auf den abgeernteten Feldern sind verstärkende Faktoren für die Ausblasung von Ton und Schluff. Insgesamt überwiegt auf den verflachten Altdünenbereichen die Abspülung. Die meist feldbaulich genutzten und steileren Nordhänge der Dünenzüge tragen ebenfalls häufig deutliche Spuren der Abspülung. Der fluvialerosive Formenschatz reicht dabei von schmalen und kurzen Rinnen oder flachen Mulden bis zu ausgeprägten Gully-Systemen (Abb. 3.5.9). Für die Bildung dieser Rinnen sind häufig die Tränkewege der Rinderherden der auslösende Faktor. Die erosiv vertieften Pfade werden aufgrund der erhöhten Verletzungsgefahr nachfolgend von den Herden gemieden. Der Pflanzenbewuchs entwickelt sich entsprechend dichter und hochwüchsiger als auf den benachbarten Hängen, da die Rinne einen gewissen Windschutz bietet und das Mikroklima dort günstiger ist.

Obwohl das Ausmaß linienhafter Erosion in Altdünenlandschaften wegen der hohen Infiltrationskapazität von Sand insgesamt als gering eingeschätzt wird, ist die Gully-Erosion eine häufige Erscheinung in Altdünengebieten. Sie tritt wegen der abflusshemmenden Wirkung der Vegetation vorwiegend bei Starkregenereignissen zu Beginn der Regenzeit auf. Damit es zu oberflächlichem Abfluss kommen kann, muss die Infiltration der sehr durchlässigen Dünensande herabgesetzt sein (s. u.). Häufigste Ursache für die Verminderung der Infiltration ist die Bildung von Regenschlagkrusten durch den *splash* (Regenschlag), vor allem wenn die tonreicheren und leichter verschlämmbaren Bvt-Horizonte der *Luvic-Chromic Arenosols* bereits oberflächlich anstehen, und



Abbildung 3.5.9: Gully-Erosion in pedogenetisch verfestigter und feldbaulich genutzter Altdüne (abgeerntetes Hirsefeld im mittleren Bildhintergrund). *Acacia albida* mit ihrem besonderen Belaubungsrhythmus ist voll beblättert, während die Krautschicht auf der Düne abgetrocknet ist und dem Vieh als Futterreserve während der Trockenzeit zur Verfügung steht.

die Entstehung von Cyanophyceae-Krusten (Blaualgen) (z.B. Dulieu et al. 1977, Talbot und Williams 1978 S. 111). Zusätzlich wird Verschlammung und Krustenbildung durch das vom Regen aus der Atmosphäre gewaschene Feinsediment (Ton und Schluff) begünstigt. Die Folge ist eine Abdichtung der Oberflächen nach dem Abtrocknen. Nachfolgende Niederschläge fließen zunächst ab, bis die Krusten aufgeweicht sind und verstärkt Niederschlagswasser infiltrieren kann. Die experimentell ermittelten Oberflächenabflusskoeffizienten weisen zwar mit Werten zwischen 0% und 91% eine ähnlich hohe Streuung auf wie auf den Glacis, jedoch lässt sich eine klare Zweiteilung ausmachen: Im Bereich des Dünentop findet kein Oberflächenabfluss statt. Obwohl auch hier häufig dünne Bodenkrusten ausgebildet sind (Abb. 3.5.4 f), infiltriert das Niederschlagswasser vollständig. Die geringfügige Verkittung der oberflächlichen Sandkörner wird bereits mit den ersten Regentropfen aufgelöst. Einzig durch den *splash* kommt es zu lateraler Verlagerung der Körner. Die Infiltrationsraten nach 30 Minuten liegen erwartungsgemäß hoch – zwischen 110 mm/h und 120 mm/h. Deutlich abweichend stellt sich die Situation auf den feldbaulich genutzten Arealen und Brachen der verflachten Altdünen und der Nordabdachungen der Dünenzüge dar (Abb. 3.5.4 d und 3.5.4 e). Der Oberflächenabfluss liegt hier zwischen 44% und 91% und fällt in die Klassen hoch bis extrem hoch. Auch der Bodenabtrag verteilt sich mit Werten zwischen 16 g/m<sup>2</sup> und über 300 g/m<sup>2</sup> auf diese Klassen. Der Oberflächenabfluss setzt früh bis sehr früh ein; in einem Fall (NdS 14 in Tab. 3.5.1) bereits nach 30 Sekunden. Die Infiltrationsraten sind geringfügig niedriger und streuen von 56 mm/h bis 113 mm/h. Beachtenswert ist der geringe Zusammenhang zwischen dem Oberflächenabfluss und dem Bodenabtrag. Unabhängig von der Abflussmenge werden auf den feldbaulich genutzten Flächen der verflachten Altdünen die höchsten Bodenabtragsraten erfasst (NdS 12 und 14 in Tab. 3.5.1). Verantwortlich dafür ist die Existenz rezent verspülten oder verwehten Lockermaterials auf der beregneten Fläche, das über der Kruste oder dem stärker konsolidierten Substrat (anstehende Bvt-Horizonte gekappter *Luvic-Chromic Arenosols* oder tonigere Kolluvien) dieser Reliefeinheiten zügig abgetragen werden kann, während auf anderen Standorten Lockermaterial an der Oberfläche fehlt und der Abtrag erst nach dem Aufweichen der Bodenkrusten beginnen kann. Letzteres erklärt den vergleichsweise geringen Abtrag auf den verfestigten äolischen Sanden der Sandrampen (NdS 20 und 21 in Tab. 3.5.1), deren Oberflächen – von Pisolithen abgesehen – vollständig unbedeckt sind.

#### 3.5.2.4 *Mares* und *bas-fonds* (Abb. 3.5.10)

Die temporären Seen (*mares*) in den endorheischen (abflusslosen) Becken sind reine Akkumulationsstandorte. In ihren Einzugsgebieten bilden sie die Haupterosionsbasis der darauf ausgerichteten Glacis. Die lehmig-tonige Fracht der episodisch-periodischen Abflussereignisse bildet ein mehrere Dezimeter bis über 2 m mächtiges Sedimentpaket innerhalb des regelmäßig überschwemmten Bereichs. Kennzeichnend ist die Vertisoldynamik aufgrund der ausgepräg-



Abbildung 3.5.10: Tiefenlinie (*bas-fond*) mit kastenförmig eingeschnittener Rinne und zahlreichen seitlichen Einschnitten. Die Oberschicht des Galeriewaldes (*Piliostigma-reticulatum*-Gesellschaft) wird von *Anogeissus leiocarpus* gebildet, in der unteren Baumschicht wachsen u. a. *Balanites aegyptiaca* und diverse Akazien. Durch die Rückverlegung der Prallhänge stürzen am Rand wachsende Bäume in den Fluss.

ten hygrischen Saisonalität. In den dünenseitigen Randbereichen sind die fluvial-limnischen Feinsedimente stärker mit Sanden aus der Abtragung der Dünenhänge durchmischt.

Die Ränder der *mares* gehören zu den am stärksten genutzten Landschaftseinheiten des Sahel (Grouzis 1988). Sie liefern in der Regenzeit wertvolles Futter und üben eine entsprechende Anziehungskraft auf das Weidevieh aus. Allein am Mare d'Oursi wurden 1972 zu einem Zeitpunkt 10 000 Zeburinder gezählt (Barral 1977). Wenn Wasser vorhanden ist, werden die Ränder der *mares* auch die ganze Trockenzeit hindurch beweidet. Der Beweidungseinfluss auf die Vegetation wird im Vergleich von stärker frequentierten *mares* der Region mit dem abgelegenen Mare Soum deutlich. Während jene an den Rändern oft eine offene Gehölzbedeckung aus *Balanites aegyptiaca* aufweisen oder gehölzfrei sind, besitzt Letzteres eine geschlossene Gehölzschicht im Uferbereich.

Je nach Nutzungsintensität und Lage über der Erosionsbasis finden sich im Uferbereich unterschiedliche Gehölzgesellschaften. Der Seeboden selbst und die am stärksten von der Nutzung betroffenen Abschnitte der Ränder sind gehölzfrei. Bei intensiver Nutzung überwiegen verarmte Gesellschaften, die Differenzialarten (typische Arten) der Glacis (*Acacia raddiana*) und dessen hoch stete Begleiter (*Balanites aegyptiaca*) enthalten. Im Übergang zum

Dünenzug kommen Gesellschaften mit Dünenarten wie *Combretum glutinosum* vor. Weit verbreitet in den höher gelegenen, etwas *mares* fernerer Bereichen und in den tiefer liegenden Bereichen entlang der Zuflüsse von den Glacis her ist die *Acacia-seyal*-Gesellschaft, die hier einen räumlichen Übergang zu den *glacis d'accumulation* bildet. Mit dieser Gesellschaft kann sich die *Acacia-nilotica*-Gesellschaft überlappen. Diese beiden Gesellschaften sind insgesamt artenarm. *Acacia seyal* und *Acacia nilotica* sind typische Arten des eigentlichen Ufersaums. Bei Betrachtung des Gehölzjungwuchses fällt auf, dass Glacis-Arten in zunehmendem Maße die ursprüngliche Gehölzvegetation der *mares* ersetzen. In einigen Bereichen wachsen dichte *Acacia-raddiana*-Gebüsche, die maximal zwei weitere Arten enthalten. Diese Verbuschung mit Glacis-Arten ist ein Beleg fortgeschrittener Degradation. Zum Glacis hin können wenige Exemplare von *Piliostigma reticulatum* wachsen. Auch für diese Orte gilt, dass Gehölze der Glacis die ursprüngliche Gehölzvegetation ersetzen.

Auf Standorten mit hohem Harnsäureeintrag durch Weidevieh und hoher Trittbelastung in der Krautschicht wächst im Randbereich der *mares* die artenarme *Cynodon-dactylon*-Gesellschaft. Selten ist *Cynodon dactylon* die einzige vorkommende Art in dieser Einheit. Eine Reihe weiterer Aufnahmen mit *Scirpus jacobii* und *Eleocharis atropurpurea* bildet die eigentliche Gesellschaft der Ränder der *mares*. Zur Mitte der Becken hin bestimmen blumenbunte Einheiten mit *Neptunia oleracea*, *Melochia corchorifolia*, *Panicum subalbidum* und verschiedenen Seerosen das Bild. Je nach Lage sind diese Gesellschaften bis lang in die Trockenzeit hinein überflutet und einer hohen Trittbelastung durch Weidevieh ausgesetzt. Die *Echinochloa-stagnina*-Gesellschaft ist besonders produktionskräftig, wird aber bei Überweidung durch Ausbildungen mit *Oryza longistaminata* ersetzt.

Das auf die *mares* ausgerichtete Gewässernetz besteht überwiegend aus flachen Tiefenlinien (*bas-fonds*), die während der Regenzeit weitflächig überschwemmt sind. Größere *bas-fonds* besitzen, ebenso wie die wenigen zum Niger fließenden Flüsse der Region, in ihrer Tiefenlinie ein kastenförmiges Gerinnebett. Diese Gerinne sind selten mehr als 2 m eingetieft, erreichen aber talwärts Breiten von 10–100 m. Die nach heftigen Niederschlägen episodisch-periodisch auftretenden Hochwasserereignisse führen eine hohe Sedimentfracht. Die bei dem geringen Gefälle mit dem rapiden Sinken des Wasserspiegels schnell nachlassende Transportkraft resultiert in hohen Sedimentationsraten im Flussbett, was zu einem unausgeglichene Längsprofil führt. Kennzeichnend für diese Dynamik sind die als *marigot* bezeichneten wassergefüllten Abschnitte eines Flussbettes, die von bereits trocken gefallen Strecken unterbrochen werden. Die Tiefenerosion ist reduziert, in den kastenförmigen Gerinnebetten besteht aber eine Tendenz zur Seitenerosion, die wegen der fehlenden oder stark aufgelockerten Ufervegetation kaum gehemmt wird (Abb. 3.5.10). Nach dem Ende des Abflusses bleibt die Suspensionsfracht in den zahlreichen Rinnen und überschwemmten Uferbereichen als Ton- und Schluffhäute zurück, die zu Polygonen aufreißen oder zu „Tontüten“ zusammen rollen. Voraussetzung ist, dass im Liegenden sandiges, also wenig bindiges Substrat dominiert. Im trockenen Zustand wird das Sediment leicht ausgeblasen (Besler 1992 S. 113).

Die Vegetation in den *bas-fonds* ist in Abhängigkeit von Überflutungshöhe und -dauer zoniert sowie struktur- und artenreich. Dadurch hat sie eine wichtige Bedeutung für die lokale Bevölkerung und wird intensiv genutzt (Wittig et al. 2000). Eine für das *bas-fond* typische Gesellschaft ist die *Piligostigma reticulatum*-Gesellschaft mit den kennzeichnenden Arten *Piligostigma reticulatum*, *Anogeissus leiocarpus* und *Feretia apodanthera*. *Anogeissus leiocarpus* bildet eine Oberschicht, die bis zu 23 m Höhe erreichen kann; die Artzahl liegt mit sieben Arten pro Aufnahme eher niedrig. Diese Gesellschaft bildet mit der häufigen *Acacia seyal*-Gesellschaft der Glacis einen breiten Übergang, der sich durch die räumliche Nähe ergibt. Sie enthält aber im Gegensatz zu den Aufnahmen mit *Acacia seyal* am *mare* außerdem weitere Begleiter als Differenzialarten des *bas-fonds* (*Combretum aculeatum*, *Ziziphus mauritiana*). Die *Acacia nilotica*-Gesellschaft ist mit einem breiten Übergang zur *Acacia-seyal*-Gesellschaft ebenfalls vertreten und zeigt die floristische Verwandtschaft zu den Gesellschaften am *mare*. Wie auch auf den Glacis ist die Struktur beider Gesellschaften recht ähnlich. *Bas-fonds* können in seltenen Fällen verarmt an typischen *bas-fond*-Arten sein. Sie bestehen dann aus wenigen Begleitern und Arten des Glacis wie *Acacia raddiana* und *Balanites aegyptiaca*. Entlang der großen Flussläufe und einiger *mares* kommen die *Mitragyna-inermis*- und die *Diospyros-mespiliformis*-Gesellschaften vor.

Unter der Baumschicht aus *Anogeissus leiocarpus*, *Guiera senegalensis* als typischem Begleiter, zum Teil auch von *Piliostigma reticulatum*, ist in der Krautschicht *Echinochloa colona* die Charakterart des *bas-fond*. In den lange überfluteten, gehölzfreien Bereichen im Flussbett wächst dieses Süßgras in einer artenarmen, vom Weidevieh geschätzten Ausbildung (*Echinochloa colona*-Weide). Von den Glacis greift die *Panicum-laetum*-Gesellschaft in das *bas-fond* über, daneben gibt es die eigentliche *bas-fond*-Gesellschaft in diversen Untergruppen: Direkt am Wasserrand wächst eine Gesellschaft mit *Scirpus jacobii* und eine Ufersaumgesellschaft mit *Dicliptera verticillata* sowie eine reine Ausbildung. Fehlen diese Ufersaumgesellschaften, ist dies ein Zeichen hoher Nutzungsintensität.

### 3.5.3 Zukünftige Landschaftsentwicklung in der Sahelzone Burkina Fasos – Diskussion zweier Entwicklungsszenarien

Die Beobachtung der gegenwärtig in der Region ablaufenden geomorphologischen Prozesse und der Tendenzen der Vegetationsentwicklung bilden einen fundierten Ausgangspunkt, um sich die Weiterentwicklung oder die weitere Zerstörung der schon heute unter enormem Nutzungsdruck stehenden Landschaft vorzustellen (siehe Abb. 3.5.2a–c). Ausgehend von der in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten aktuellen Situation werden zwei gegenläufige Szenarien entwickelt, die unter veränderten äußeren Rahmenbedingungen vorstellbar sind oder wahrscheinlich erscheinen. Ihnen liegen die heute zu beobachtenden Phänomene und Prozesse zugrunde.

#### 3.5.3.1 Szenario fortschreitender Degradation

Dieses Szenario geht von einer Ausweitung und Verstärkung der Degradation aus. Ursachen dafür können die folgenden Entwicklungen sein:

- Fortschreibung der gegenwärtigen Situation, d. h. Zunahme des Nutzungsdrucks durch die Ausweitung der feldbaulich genutzten Flächen und die Erhöhung des Viehbestandes infolge der Persistenz gegenwärtiger Wirtschaftsweisen bei einer aktuellen Bevölkerungsentwicklung von +2,6%.
- Rückgang der absoluten Niederschlagsmenge bei gleichzeitiger Zunahme der Niederschlagsvariabilität.

Variablen, deren Änderungen zunächst für alle Landschaftseinheiten gleich sind oder gleichermaßen gelten, sind in diesem Szenario der zunehmenden Degradation:

- die Abnahme der Artenvielfalt, der Strukturdiversität und der Biomasse sowie die Verschiebungen im Artenspektrum und in den Dominanzverhältnissen, wie die Abnahme mehrjähriger und die Zunahme kurzlebiger, giftiger und nicht schmackhafter Arten.
- die allgemeine Ausweitung und Verstärkung der Geomorphodynamik (Erosion durch Wind und Wasser) insbesondere die Verringerung der Infiltrationskapazität und des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, die Zunahme der Oberflächenabflüsse und somit die Zunahme des Bodenabtrags.

Viele dieser Entwicklungen laufen derzeit im Sahel Burkina Fasos ab. Das betrifft insbesondere eine starke Boden- und Vegetationsdegradation weiter Bereiche des Untersuchungsgebiets (vgl. Abschnitt 3.5.1 Einleitung).

#### *Inselberge und Sandrampen*

Auf den ortsnahen Inselbergen ist die ursprüngliche Gehölzvegetation schon heute nur noch in Resten vorhanden; die Bestände sind stark degradiert. Oftmals sind diese Inselberge weit gehend gehölzfrei. In anderen Fällen ist eine Verschiebung des Gehölzartenspektrums hin zu Arten, die ursprünglich typisch für die Glacisflächen waren, schon soweit fortgeschritten, dass eine weitere Verschlechterung nicht möglich erscheint. Dies gilt in gleichem Maße für die Sandrampen der Inselberge. Auch in der Krautschicht sind die meisten der ehemals charakteristischen, oft mehrjährigen Arten schon verschwunden. Häufige und angepasste Arten wie *Boerhavia coccinea*, *Aristida funiculata* oder *Leptadenia hastata* nehmen weiter zu. Es wandern weitere Ruderalarten und Arten der Glacis ein.

Inselberge sind Reliefelemente, die ihr Dasein der hohen Abtragungsresistenz verdanken, sei es, weil sie aus unverwittertem Festgestein bestehen, sei

es, weil ihre Hänge aufgrund einer dichten Bedeckung mit groben Blöcken und Steinen den Saprolith (Verwitterungszeratz) im Liegenden vor Abtragung schützen. Geomorphologische Veränderungen treten an Inselbergen daher nur in geologisch langen Zeiträumen auf. Anders verhält es sich auf den zahlreichen Sandrampen in den Hangfußbereichen der Inselberge: Bei weiter abnehmender Vegetationsbedeckung und/oder zunehmender Niederschlagsvariabilität erhöht sich die Erosionsanfälligkeit der verfestigten Sande. Niederschlag und Zuschusswasser der Inselberghänge können dann nahezu ungehindert erosiv tätig werden. Die Folge ist eine zunehmende und schnellere Zerschneidung der Sandrampen und der beschleunigte Verlust der potenziell feldbaulich nutzbaren *Luvic-Chromic Arenosols*. Auf den benachbarten Glacis werden die Sande in Schwemmfächern abgelagert und von dort äolisch verlagert.

### *Glacis*

Die *Acacia-laeta*- und die *Acacia-seyal*-Gesellschaft dünnen aus, wie dies schon heute in vielen Glacisabschnitten der Fall ist. Die gehölzlosen Freiflächen vergrößern sich, die noch relativ artenreichen Bestände einiger Glacisbereiche verarmen floristisch oder wandeln sich in eine weit gehend monospezifische (einartige) *Acacia-raddiana*-Savanne um, mit durch Verbiss strauchförmig wachsenden Individuen von *Balanites aegyptiaca* („Kuhbüsche“), wie sie heute schon in unmittelbarer Ortsnähe zu finden sind. Dass die Gehölzdeckung allein als Kriterium für Vegetationsdegradation unzureichend ist, zeigt die fortschreitende Verbuschung weiter Glacisbereiche mit *Acacia raddiana*, der *Acacia ehrenbergiana* beigemischt sein kann. Diese Dickichte sind für Mensch und Vieh beinahe undurchdringlich und stellen eine Wertminderung der betroffenen Glacisflächen dar. Die Tendenz zur Artenverarmung und Homogenisierung der Bestände auf wenige, besonders kurzlebige, tritt- und weidefeste Arten wird auch in der Krautschicht zu beobachten sein. Einige wenige Arten wie *Chloris prieurii*, *Schoenefeldia gracilis*, *Borreria chaetocephala*, *Alysicarpus ovalifolius* u. a. dominieren, die vegetationslosen Bereiche erhöhen ihren Flächenanteil.

Für das morphologische Geschehen auf den Glacis bei insgesamt abnehmender Vegetationsbedeckung ist die Zusammensetzung des oberflächennahen Untergrunds der wichtigste Faktor. Auf grobmaterialreichen Glacis nimmt die Tendenz zur Steinpflasterbildung (Serir) nach Abspülung der feineren Korngrößen zu. Die Abdichtung der Oberflächen durch Steinpflaster wie auch durch zunehmende Verschlammung (Bodenkrusten) behindert die Ausbreitung und Wiederansiedlung von Vegetation. In der Folge erhöht sich der Oberflächenabfluss bei Niederschlagsereignissen. Als Folge der verringerten Infiltration verringert sich auch das Wasserangebot für am Wuchsort noch überdauernde Pflanzen.

In den *bas-fond*-nahen Bereichen der *glacis d'accumulation* führt die verstärkte Anlieferung von Feinsediment zu einer Verbesserung der Nährstoffsituation und damit zu einem potenziell besseren Pflanzenwachstum (Lindqvist und Tengberg 1993, Mainguet 1994).

Durch den verstärkten Oberflächenabfluss kommt es in den Vorflutern zu erhöhtem Spitzenabfluss nach Niederschlagsereignissen. Verstärkte Erosion in den Gerinnen ist die Folge. Das gilt auch für kleinere lineare Erosionsformen, etwa die o. g. Gullies, die sich beschleunigt ausweiten.

#### Aldünen

Vollständig gehölzlose Bereiche nehmen zu. Als Gehölzgesellschaften finden sich in erster Linie die *Leptadenia-pyrotechnica*-Gesellschaft und die an Arten verarmte *Acacia-raddiana*-Glacisgesellschaft. Auch *Combretum glutinosum* kann sich nicht mehr verjüngen und stirbt in weiten Dünenabschnitten aus. In der Krautschicht ist eine weitere Verschiebung des Artenspektrums auf kurzlebige und für das Weidevieh nicht schmackhafte Arten zu verzeichnen, die floristische Diversität nimmt auf ca. zehn weit verbreitete Arten ab. Die Deckungswerte erreichen nicht mehr als 40%.

Das endgültige Verschwinden mehrjähriger Gräser auf dem Dünentop, die mit ihrem Wurzelgeflecht den lockeren Sand vor Deflation schützen, verstärkt die äolische Aktivität während der trockenen Jahreszeiten erheblich. Zudem ist bei zunehmendem Nutzungsdruck (Beweidung) oder Trockenstress auch von einer schnelleren Auflichtung der einjährigen Arten auszugehen. Äolische Reaktivierung bislang noch fixierter Altdünen und erneute Dünenbildung betreffen dann weite Bereiche des kaum konsolidierten Dünentop. Wie schnell und in welchem Umfang dies gehen kann, wurde am aktiven „erg“ von Oursi dokumentiert, der zwischen 1955 und 1981 – also während einer Periode mit mehreren Dürren und insgesamt abnehmenden Niederschlägen – von 56 ha auf 446 ha wuchs (Lindqvist und Tengberg 1993).

Von den feldbaulich genutzten Bereichen der Altdünenlandschaft sind bei zunehmender Trockenheit einige nicht mehr für den Anbau geeignet. Besonders betroffen sind davon Felder, die sich in den nördlichen und südlichen Übergängen zum Dünentop befinden. Aufgrund der ungünstigeren Bodenbedingungen erbringen Felder auf diesen Grenzertragsstandorten nicht mehr die erforderlichen Ernten. Auch die für den Hirseanbau sehr geeigneten verflachten Altdünenbereiche am Südrand und die kolluvial überdeckten Hangfußbereiche am Nordrand der Dünenzüge werden bei fortschreitender Degradation negativ beeinflusst: Die nach Oberbodenabtrag anstehenden Bvt-Horizonte der *Luvic-Chromic Arenosols* neigen aufgrund ihrer erhöhten Ton- und Schluffgehalte stark zur Verschlammung und Verkrustung und nachfolgend zu verstärktem Oberflächenabfluss und Bodenabtrag. Der fortschreitende Austrag von nahezu unverwittertem Dünensand aus den steileren Nordhängen der Dünenzüge entlang von Erosionsrinnen führt zur Ausbildung mächtiger Schwemmfächer im Fußbereich und zur Überdeckung der dortigen tonig-sandigen Kolluvien – und damit zur Einschränkung ihrer Nutzbarkeit.

*Mares und bas-fonds*

An den Rändern der *mares* sind zwei Szenarien weiterer Vegetationsdegradation denkbar. Entweder verschwinden die Gehölze vollständig, wie das heute z. B. am Südrand des Mare de Zarmarkoy der Fall ist, oder die Homogenisierung des Gehölzbestands durch Eindringen von Glacis-Arten setzt sich auch in den Bereichen fort, in denen bislang noch *Acacia nilotica* und andere *mare*-typische Gehölze wachsen. Ein heute zu beobachtendes Indiz dafür ist die starke Verjüngung von *Acacia raddiana* in diesen Bereichen. Die Krautschicht fehlt vollständig, wie dies heute am Mare de Fereriwo oder am Mare de Zarmarkoy festzustellen ist. Allenfalls einige Weideunkräuter wie *Ipomoea aquatica* können sich halten.

Aufgrund der erhöhten Abtragungsraten auf den Glacis und den Altdünen ist im Bereich der *mares* als Haupterosionsbasis der endorheischen Becken mit erhöhtem Sedimenteintrag zu rechnen. Das führt zu einer beschleunigten Verlandung der *mares*. Bei insgesamt gleich bleibender Menge des zufließenden Wassers besteht dann langfristig die Tendenz zur Vergrößerung der Seefläche in der Flachlandschaft und damit einhergehend die beschleunigte Verdunstung.

Die Struktur- und Artendiversität der Auenwälder in den *bas-fonds* nimmt ab, typische *bas-fond*-Arten verschwinden zunehmend. Schon heute sind *Adansonia digitata* (Baobab), *Crataeva religiosa* oder *Stereospermum kunthianum* nur noch selten in den sahelischen *bas-fonds* zu finden. Gleichzeitig setzt sich der schon heute zu beobachtende Trend der Einwanderung von Glacis-Arten in die Auenbereiche fort. In der Krautschicht dringt insbesondere *Cassia tora* weiter vor und verdrängt andere Arten. Die an wenigen Stellen eventuell noch vorhandenen Reste der Ufersaumvegetation verschwinden verschwinden.

### 3.5.3.2 Szenario einer Landschaftsregradation

Ungeachtet der sozio-politischen und ökonomischen Hindernisse, die einer nachhaltigen Nutzung der Ressourcen der Sahelzone im Weg stehen und für deren Überwindung sich zurzeit keine Lösungen abzeichnen, wird im Folgenden ein Szenario der Landschaftsregradation entwickelt. Für ein derartiges Szenario wird im Kontrast zu den vorherigen Entwicklungen ausgegangen von

- einer Abnahme des **Nutzungsdrucks** aufgrund der Reduktion der feldbaulich genutzten Flächen oder einer Verlängerung der Brachezeiten und der räumlichen Entzerrung der Viehdichte oder der absoluten Reduktion des Viehbestands in überweideten Gebieten,
- einer Zunahme der absoluten Niederschlagsmenge bei gleichzeitiger Abnahme der Niederschlagsvariabilität.

Grundsätzlich kann man bei einem Schutz vor Übernutzung von folgenden Entwicklungen ausgehen:

- Zunahme der Artenvielfalt; auf sandigen Böden werden zunächst die Gräser gefördert, auf tonigen Böden zuerst die Fabaceen (Grouzis 1988),
- Zunahme der Biomasseproduktion,
- Verdichtung der Baumschicht,
- Räumliche Einengung und Reduktion der Geomorphodynamik,
- Erhöhung der Infiltrationsraten und des pflanzenverfügbaren Bodenwassers,
- Abnahme der Oberflächenabflüsse bei Tendenz zur Konzentration,
- Abnahme des Bodenabtrags.

Die Regeneration erfolgt leichter, wenn der Standort weniger stark degradiert ist. So muss sich auf den vollständig vegetationsfreien und oberflächlich abgedichteten Flächen („*glacis sterilisée*“) erst wieder ein Boden bilden oder es bedarf des mechanischen Aufbrechens der verhärteten Oberflächen. Auf den sandig-tonigen Glacis ist die Regeneration dort gut, wo noch eine Bodendecke vorhanden ist und die Vegetation sich aus Samen verjüngen kann (Toutain et al. 1983). Zu beachten bleibt, dass sehr gute Niederschlagsbedingungen in den 1960er Jahren viele Hirten veranlassten, ihre Herden aufzustocken und mit ihren Tieren in Gebiete zu wandern, die für eine solche Nutzungsintensität nicht geeignet waren. Das ökologische Gleichgewicht wurde dadurch nachhaltig gestört, so dass das Ökosystem in der folgenden Dürreperiode Anfang der 1970er Jahre so stark geschädigt wurde, dass sich Teilbereiche bis heute nicht davon erholen konnten. Im Vordergrund steht daher die grundsätzliche Frage nach der Regenerationsfähigkeit von Geoökosystemen, nach *sensitivity* (Empfindlichkeit), *resilience* (Widerstandskraft) und *resilience limit* (Belastungsgrenze) (Johnson und Lewis 1995). Insbesondere die geringe Bodenneubildungsrate stellt sich hierbei als das entscheidende Hemmnis heraus. Unter den gegebenen Klimabedingungen ist nur über lange Zeiträume von mehreren hundert Jahren von einer ausreichenden Bodenregeneration auszugehen. Für die großflächig verbreiteten reliktschen Böden, die unter klimatisch feuchteren Bedingungen im Holozän und früher entstanden, ist keine Regeneration möglich. Abgespültes Bodenmaterial, bloßgelegte Lateritkrusten und eingeschnittene Gully-Systeme müssen vor dem Hintergrund allgemein anerkannter Reegradationszeiträume von 50 Jahren als weitgehend nicht regradierbar gelten. Hier ist die Belastungsgrenze überschritten (Laszlo 1987) und das System kollabiert.

#### *Inselberge und Sandrampen*

Die Abschätzung der Entwicklung der Gehölzschicht auf den Inselbergen ist weitgehend spekulativ. Zunächst wird die Deckung von Glacis-Arten (*Acacia raddiana* etc.) zunehmen, eventuell können sich in späteren Regenerationsphasen in deren Schutz andere Arten wie *Pterocarpus lucens*, *Commiphora africana*, *Boscia* sp. ansiedeln. Es bleibt offen, ob eine Rückentwicklung zur *Pterocarpus-lucens*-Gesellschaft möglich ist, da kein Keimlingsaufkommen oder Gehölzjungwuchs zu beobachten sind. Auch die Deckung der Krautschicht wird zunehmen. Zusätzlich werden rankende Arten die Krautschicht über-

wuchern, wie das heute auf abgelegenen Inselbergen wie den Collines de Kolél der Fall ist. Es findet eine Verschiebung des Artenspektrums hin zu mehrjährigen Arten und den oben genannten Gräsern (siehe Abschnitt 3.5.2.1) statt.

Für die Inselberge selbst sind prozessmorphologisch keine Änderungen zu erwarten. Allerdings verringert sich bei zunehmender Vegetation, aufgrund steigender Interzeptionsverluste, die potenziell oberflächlich abfließende Wassermenge. Dies wirkt sich auf das Prozessgeschehen auf den sich hangabwärts anschließenden Sandrampen aus. Dort ist von einer langsamen Verringerung der Morphodynamik auf den gekappten *Luvic Arenosols* auszugehen. Die schnelle Oberflächenabflussbildung auf den verfestigten und meistens krustentragenden Oberflächen wird aber erst bei ausreichender Vegetationsbedeckung reduziert werden.

### *Glacis*

Relativ gehölzartenreiche Bestände wie z. B. südlich des Mare d'Oursi bleiben erhalten. Von dort ist eine Wiederbesiedlung und langsame Ausdehnung in andere Gebiete möglich. Die Ausbreitung von *Acacia ehrenbergiana*, die als ursprünglich saharisch-sahelische Art weiter nördlich im malischen Sahel weite Bereiche des Glacis dominiert und bislang aus dem Oudalan nur von einigen wenigen Stellen her bekannt ist – sich hier im Moment aber in stetiger Ausbreitung befindet –, kann gestoppt werden. Die Dominanz von *Acacia raddiana* geht parallel mit der Wiederbesiedlung anderer Arten zurück. Das Gleiche kann für die Krautschicht gesagt werden. Es bilden sich artenreiche Bestände, die in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen hohe Deckungswerte erreichen.

Bei abnehmender Nutzungsintensität ist allgemein von einem Rückgang der morphodynamischen Intensität in Abhängigkeit von der Vegetationssukzession auszugehen. Bei gleich bleibender Nutzungsintensität und zunehmenden Niederschlägen ist dagegen eine Zunahme der Morphodynamik zu erwarten, bis sich dichtere Vegetation etabliert hat. Ausreichende Infiltrationskapazität und im Boden vorhandene Samen vorausgesetzt, wird dies in wenigen Jahren geschehen, sofern die Pflanzen nicht abgefressen werden, bevor sie wieder fruchten können. Die Konzentrationstendenz des Abflusses fördert das Wachstum linearer Erosionsformen. Die Gullies werden daher selbst bei Reduktion des Oberflächenabflusses nicht rasch stabilisiert – eher ist eine Änderung zu mehr gestreckten Formen zu erwarten.

### *Altdünen*

In den heute degradierten Bereichen, in denen *Leptadenia pyrotechnica* dominiert, wird sich zunächst die Deckung dieser Art erhöhen, wie das heutzutage auf den Dünen im malischen Sahel zu beobachten ist. Im Laufe der Zeit werden sich Arten der Gesellschaften mit *Guiera senegalensis* ansiedeln (*Guiera*

*senegalensis*, *Boscia senegalensis*, *Acacia laeta* etc.). Ob und in welchem Zeitraum sich kleine Dünenwäldchen, wie sie heute im Westen und Norden der Region zu finden sind, bilden können, bleibt offen. Dichtstehende Horste mehrjähriger Gräser (z. B. *Aristida sieberana*) bilden die Grundmatrix einer artenreichen Krautschicht, in der die Einjährigen dann nicht mehr die heutige Dominanz besitzen. Dies schützt die Bodenoberfläche auch während der Trockenzeit.

Die lockeren Dünenande werden durch Feuchtigkeit und Vegetation rasch fixiert. Die äolische Aktivität nimmt dann schnell ab. Innerhalb des aktiven „ergs“ von Oursi ist seit ca. 1985 trotz gleich bleibend hohen Beweidungsdrucks, allein durch die Zunahme der Niederschläge, eine deutliche Erholung der Dünenvegetation und eine langsame Restabilisierung der geöffneten Dünenbereiche festzustellen (Rasmussen 1999). Auf den brachgefallenen Hirsefeldern läuft eine Brachensukzession ab, die zunächst abhängig vom vorhandenen Arteninventar ist. Eventuell vorhandene Brachegehölze wie *Piliostigma reticulatum* und *Guiera senegalensis* wachsen auf, die ihrerseits die Standortbedingungen verbessern (Wezel et al. 2000) und zu einer Beschleunigung des Sukzessionsprozesses beitragen. Mehrjährige Brachen tragen wesentlich zur Phytodiversität der Altdünenbereiche bei. Ähnlich den Sandrampen, wird auch auf den verfestigten und krustentragenden *Luvic-Chromic Arenosols* der verflachten Altdünen der Oberflächenabfluss und Bodenabtrag zunächst nur langsam zurückgehen. Auf den Brachen stehen sich zwei gegenläufige Prozesse gegenüber: Verringerung des Abflusses durch Vegetationszunahme der Krautschicht einerseits und Zunahme des Abflusses über abgedichteten Oberflächen wegen der fehlenden Zerstörung der Bodenkrusten durch die Bearbeitung andererseits.

#### *Mares* und *bas-fonds*

Um die Entwicklung der *mares* unter günstigen Rahmenbedingungen abschätzen zu können, ist ein Blick auf das ganz im Westen der Provinz an der Grenze zu Mali gelegene Mare de Soum hilfreich. Dort ist bei entsprechend erniedrigtem Nutzungsdruck um das ganze *mare* herum ein mehr oder weniger geschlossener Gehölzstreifen aus *Acacia nilotica* vorhanden, stellenweise findet sich dichtes Gebüsch aus diversen Akazien und *Guiera senegalensis*. Die Arten der Krautschicht bilden ein artenreiches, mehrschichtiges Uferröhricht, das zur Mitte hin in mehrere Zonen mit jeweils unterschiedlichen, gräserdominierten Gesellschaften aufgeteilt ist. In abgelegenen Bereichen am Südwestrand des Mare d'Oursi finden wir schon heute artenreiche und ausgedehnte Grasfluren mit über 2 m hohen Gräsern (*Panicum subalbidum*, *Brachiaria ramosa*) und hoher Deckung.

Die nachlassende Bodenerosion auf den Glacis und Altdünen verringert den Sedimenteintrag in die *mares*. Vor allem in den dünenseitigen Randbereichen wird die äolische und fluviale Zufuhr von Sand zurückgehen. Die Vertisoldynamik der Tone wird durch Quellung und Schrumpfung – Rückgang des

Viehtritts vorausgesetzt – zur Ausbildung eines Gilgai-Reliefs (wellige Erhebungen in der Größenordnung weniger Dezimeter) innerhalb der *mares* führen, wie es heute nur noch in wenig genutzten Mare de Soum vorkommt.

In den Auenbereichen wird die Oberschicht aus *Anogeissus leiocarpus* gebildet (Guinko 1984). Weitere Differenzialarten der *bas-fonds* sind vorhanden. Die Auenwälder festigen ihre Stellung als arten- und strukturreichste Vegetationsformation des Sahel. Unbedingte Voraussetzung hierfür ist allerdings der Rückgang der Beweidungsintensität, da sonst der aufkommende Jungwuchs abgefressen wird. Über die Ausbreitungsstrategien der Krautschichtarten ist nichts bekannt. So ist es nicht geklärt, ob sich die durch die heutige Degradation verschwundenen Arten z.B. im Ufersaumbereich wieder ansiedeln werden.

Die erhöhte Retention von Niederschlagswasser auf den Flächen wird die Tendenz zu Spitzenabflüssen in den Gerinnen verringern. Dies führt zu einem gleichmäßigeren Durchflussgang nach den Niederschlagsereignissen. Durch den Rückgang der Hochwasserspitzen verringert sich die Ausdehnung der kurzfristig überschwemmten Flächen in den *bas-fonds*. In diesen Bereichen wird die Aufhöhung durch Hochflutlehm zurückgehen. In den Gerinnebetten selbst wird die Seitenerosion infolge der dichteren Ufervegetation reduziert. Der Rückgang der Suspensionsfracht verringert die Schleppkraft an der Sohle und damit den Geschiebetransport. Damit lässt auch die Tendenz zur Breitenverzweigung nach.

### 3.5.4 Fazit

Die aktuelle Landdegradation ist eines der vordringlichsten Probleme im Sahel von Burkina Faso. Die dargestellten Analysen von Relief, Boden, Geomorphodynamik und Vegetation zeigen innerhalb des Wirkungsgefüges Degradation die vielschichtigen Verbindungen zwischen diesen Geofaktoren sowie zum Klima und zur Landnutzung. Wegen der prinzipiell ähnlichen Bedingungen lassen sich die in NE-Burkina Faso gewonnenen Erkenntnisse auf andere vergleichbare Landschaftsräume der afrikanischen Sahelzone übertragen.

Die aktuelle Situation ist als kritisch zu bezeichnen, ähnelt sie doch in vielen Fällen schon heute dem Zustand des Szenarios einer weiter fortschreitenden Degradation, zumal es im Moment keine Anzeichen dafür gibt, dass die für eine Besserung der Situation notwendigen Voraussetzungen, insbesondere eine Änderung der sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen, in näherer Zukunft erreicht werden könnten. Tradierte Nutzungssysteme scheinen nicht mehr geeignet, die Lebensgrundlagen der gesamten Bevölkerung in diesem Naturraum langfristig und dauerhaft zu sichern. So ist zur Überwindung der großen ökologischen Probleme, der diese Region ausgesetzt ist, die Entwicklung neuer Strategien notwendig.

Literatur

- AG Boden (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. – 4. Aufl., 392 S. Hannover (E. Schweizerbart).
- Ahlcrona, E. (1988): *The Impact of Climate and Man on Land Transformation in Central Sudan. Applications of Remote Sensing*. – Meddelanden Avhandlingar 103. 140 S.
- Albert, K.-D., Andres, W. und Lang, A. (1997): *Palaeodunes in NE Burkina Faso; pedo- and morphogenesis in a chronological framework provided by luminescence dating*. – *Z. Geomorph. NF* 41, 167–182.
- Albert, K.-D. und Küppers, K. (2001): *Böden und Vegetation der sahelischen Altdünenlandschaft in NE-Burkina Faso*. – *Berichte des Sonderforschungsbereichs* 268, 17, 161–191.
- Albert, K.-D. (2002): *Die Altdünenlandschaft im Sahel NE-Burkina Faso – Geomorphogenese und Geomorphodynamik einer semiariden Kulturlandschaft*. 246 S. u. Anhang. *Disseration am Fachbereich Geowissenschaft/Geographie der J.W. Goethe-Universität Frankfurt am Main*.
- Anhuf, D., Grunert, J. und Koch, E. (1990): *Veränderungen der realen Bodenbedeckung im Sahel der Republik Niger (Regionen Tahoua und Niamey) zwischen 1955 und 1975*. – *Erdkunde* 44, 195–209.
- Ataholo, M. (2001): *Pflanzensoziologische Untersuchungen der Segetalvegetation in der Sudanzone Westafrikas*. – 195 S. *Dissertation J.W. Goethe-Universität Frankfurt a. Main*.
- Aubréville, A. (1949): *Climats, forets et désertification de l'Afrique tropicale*. – 351 S. Paris (Société d'éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales).
- Barral, H. (1977): *Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral*. – *Travaux et documents de l'ORSTOM* 77. 119 S. Paris (ORSTOM).
- Besler, H. (1992): *Geomorphologie der ariden Gebiete*. – 189 S. Darmstadt (Wiss. Buchges.).
- Breckle, S.-W., Veste, M. und Wucherer, W. (Hg.) (2001): *Sustainable Land Use in Deserts*. – 450 S. Berlin et al. (Springer).
- Breman, H. und Cissé, A.M. (1977): *Dynamics of Sahelian Pastures in Relation to Drought and Grazing*. – *Oecologia* 28, 301–315.
- Breman, H. und de Ridder, N. (1991): *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. – 485 S. Paris/Wageningen (éditions Karthala).
- Claude, J., Grouzis, M. und Milleville, P. (1991): *Un espace sahélien. La Mare d'Oursi. Burkina Faso*. – 241 S. Paris (Éditions de l'ORSTOM).
- Critchley, W. R. S., Reij, C., Willcocks, T. J. (1994): *Indigenous soil and water conservation: a review of the state of knowledge and prospects for building on traditions*. – *Land Degradation and Rehabilitation* 5, 293–314.
- Dahlberg, A. (1994): *Contesting Views and Changing Paradigms. The Land Degradation Debate in Southern Africa*. – 59 S. Uppsala.
- Dierschke, H. (1994): *Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden*. – 683 S. Stuttgart (Ulmer).
- Dregne, H.E. (1976): *Desertification: Symptom of a crisis*. – in: Paylore, P. und Haney, H.A. Jr. (Hg.) *Desertification: Process, Problems, Perspectives*. *Arid/Semi-Arid Natural Resources Program, University of Arizona*, 11–24 Tucson.
- Dregne, H.E. (1983): *Desertification of Arid Lands*. – *Advances in desert and arid land technology and development* 3. 242 S. Chur et al.
- Dulieu, D., Gaston, A. und Darley, J. (1977): *La dégradation des pâturages de la région de N'Djamena (Rép. Du Tchad) en relation avec la présence de cyanophycées psammophiles: étude préliminaire*. – *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 30, 181–190.
- FAO (1998): *The digital soil map of the world and derived soil properties (DSMW)*. – *Land and Water Digital Media Series, 1: CD-ROM, Version 3.5, Nov. 1995 (=FAO/UNESCO Soil Map of the World, 1:5 000 000)*.

- Ganaba, S. und Guinko, S. (1995): Etat actuel et dynamique du peuplement ligneux de la région de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). Zustand und Dynamik des Gehölzbestandes in der Umgebung des Mare d'Oursi (Burkina Faso). – *Etudes flor. veg. Burkina Faso* 2, 3–14.
- Grouzis, M. (1988): Structure, productivité et dynamique des systemes ecologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Collection Etudes et Theses. – 336 S. Paris (Éditions de l'ORSTOM).
- Guinko, S. (1984): La végétation de la Haute-Volta. – 394 S. Thèse de doctorat, Université Bordeaux III, Bordeaux.
- Heelden, U. (1984): Droughts Impact Monitoring. A Remote Sensing Study of Desertification in Kordofan, Sudan.–Rapporter och Notiser, Lunds Universitets Naturgeografiska Institution 61. 61 S. Lund.
- Ibrahim, F. (1992): Gründe des Scheiterns der bisherigen Strategien zur Bekämpfung der Desertifikation in der Sahelzone. Landschaftsökologische Entwicklungsstrategien für Drittweltländer als methodisches Problem. – *Geomethodica* 17, 71–93.
- Johnson, D. L. und Lewis, L. A. (1995): Land Degradation: Creation and Destruction. – 335 S. Cambridge/Oxford.
- Kußerow, H. (1994): Quantitative und qualitative Erfassung von Vegetationsänderungen. Ein Beispiel aus dem Südsahel Malis. – *Die Erde* 125, 35–56.
- Lamprey, H.F. (1975): Report on the desert encroachment reconnaissance in Northern Sudan. 21st Oct.–10th Nov., 16 S. Paris/Nairobi (UNESCO, UNEP).
- Langer, M. (2000): Oberflächenabfluß und Bodenabtrag auf Brachflächen in Aragón/Spain – Statistische Auswertung von 111 Niederschlagssimulationen zur Erfassung der Bodenerosion. – 149 S. Diplomarbeit Institut für Physische Geographie, J. W. Goethe-Universität Frankfurt a. Main.
- Laszlo, E. (1987): Evolution – die neue Synthese. Wege in die Zukunft. – The Club of Rome Information Series. Contributions to the Understanding of the World Problematique 3 (aus dem Englischen übersetzt von Heinrich Jelinek). 219 S. Wien.
- Le Houérou, H.N. (1975): Science power and desertization. – Meeting on desertisation, 22–28 September, Cambridge University. – 26 S. Cambridge (Department of Geography).
- Lindskog, P. und Tengberg, A. (1994): Land Degradation, Natural Resources and Local Knowledge in the Sahel Zone of Burkina Faso. – *GeoJournal* 33, 365–375.
- Lindqvist, S. und Tengberg, A. (1993): New evidence of desertification from case studies in northern Burkina Faso. – *Geogr. Ann.* 75 A, 127–135.
- Lykke, A.M. (1997): Reflections on Vegetation Management of Sub-humid Savannas. – *SEREIN Occasional Papers* 5, 47–69.
- Lykke, A.M., Fog, B. und Madsen, J. E. (1999): Woody vegetation changes in the Sahel of Burkina Faso assessed by means of local knowledge, aerial photos, and botanical investigations. – *Geografisk Tidsskrift, Danish J. of Geography, Special Issue* 2, 57–68.
- Mainguet, M. (1994): Desertification – Natural Background and Human Mismanagement. – 314 S. Berlin, Heidelberg (Springer).
- Mainguet, M. und Da Silva, G.G. (1998): Desertification and drylands development. What can be done? – *Land Degradation and Development* 9, 375–382.
- Marcussen, H.S. (1999): Environmental paradigms, knowledge systems and policy. The case of Burkina Faso.–*Geografisk Tidsskrift, Danish J. of Geography, Special Issue* 2, 93–104.
- Marzolf, I., Albert, K.D. und Ries, J.B. (2002): Großmaßstäbiges Luftbildmonitoring in Trockenräumen der Erde – Gully-Erosion in der Sahelzone. – in: Junge, A. (Hg.) *Geowissenschaften in Frankfurt. Kleine Senckenbergische Reihe* 43. – 65–73, Frankfurt a. Main.
- Mensching, H.G. (1986): Desertification in Europe? A critical comment with examples from Mediterranean Europe. – in: Fantechi, R. und Margaris, N. S. (Hg.) *Desertification in Europe. Proceedings of the Information Symposium in the EEC Programme on Climatology, Greece* 15–18 April 1984. – 3–8, Dordrecht et al.

- Mensingh, H.G. (1990): Desertifikation. Ein weltweites Problem der ökologischen Verwüstung in den Trockengebieten der Erde. –170 S. Darmstadt (Wiss. Buchges.).
- Olsson, L. (1985): An Integrated Study of Desertification. Applications of Remote Sensing, GIS and Spatial Models in Semiarid Sudan. – Lund Studies in Geography C, General and Mathematical Geography 13. 173 S. Lund.
- Poilecot, P. (1999): Les Poaceae du Niger. Description – Illustration, Ecologie – Utilisations. Boissiera 56. 766 S. Genève (Conservatoire et Jardin botanique de la Villa de Genève, UICN, CIRAD).
- Rapp, A., Le Houérou, H.N. und Lundholm, B. (Hg.) (1976): Can desert encroachment be stopped? A study with emphasis in Africa. – Ecological Bulletins 24. 241 S. Stockholm.
- Rasmussen, K. (1998): Land Degradation? – SEREIN Occ. paper 6, 49–59, Kopenhagen.
- Rasmussen, K. (1999): Land degradation in the Sahel-Sudan: the conceptual basis. – Geografisk Tidsskrift Special Issue 2, 151–159.
- Reenberg, A., Nielsen, T.L. und Rasmussen, K. (1998): Field expansion and reallocation in the Sahel, land use pattern dynamics in a fluctuating biophysical and socio-economic environment. – Global Environmental Change 8, 309–327.
- Ries, J.B., Langer, M. und Rehberg, C. (2000): Experimental investigations on water and wind erosion on abandoned fields and arable land in the Central Ebro Basin, Aragón/Spain. – Z. Geomorph. N F, Suppl. 121, 91–108.
- Rietkerk, M. (1998): Catastrophic vegetation dynamics and soil degradation in semi-arid grazing systems. Tropical Resource Management Papers 20. 155 S. Wageningen (University and Research Centre).
- Roberty, G. (1940): Contribution a l'étude phytogéographique de l'Afrique occidentale française. – Candollea 8, 83–150.
- Sauer, T. (2002): Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt auf Brachflächen in Aragón. – 175 S. Diplomarbeit Institut für Physische Geographie, J. W. Goethe-Universität Frankfurt a. Main.
- Talbot, M.R. und Williams, M.A.J. (1978): Erosion of fixed dunes in the Sahel, Central Niger. – Earth Surface Processes 3, 107–113.
- Thomas, D.S.G. und Middleton, N.J. (1994): Desertification – Exploding the Myth. – 194 S. Chichester et al.
- Toutain, B., Bortoli, L., Dulieu, D., Forgiarini, G., Menaut, J.C. und Piot, J. (1983): Espèces ligneuses et herbacées dans les écosystèmes pâturés sahéliens de Haute-Volta. Synthèse des Résultats du Programme. – 124 S. Maisons-Alfort (ORSTOM; IEMVT).
- UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) (1992): Agenda 21 – Programme of Action for Sustainable Development, Rio Declaration on Environment and Development, Statement of Forest Principles. – The final text of agreements negotiated by Governments at the UNCED, 3–14 June 1992. 294 S. Rio de Janeiro.
- UNCOD (United Nations Conference on Desertification) (1977): Desertification – Its Causes and Consequences.–United Nations Conference on Desertification, Nairobi, 29 August to 9 September 1977. 448 S. Oxford et al.
- UNEP (United Nations Environmental Programme) (1992): World Atlas of Desertification. – 69 S. London et al.
- Valentin, C., d'Herbès, J. M. und Poesen, J. (1999): Soil and water components of banded vegetation patterns. – Catena 37, 1–24.
- Vogelsang, R., Albert, K.-D. und Kahlheber, S. (1999): Le sable savant: Les cordons dunaires sahéliens au Burkina Faso comme archive archéologique et paléocéologique du holocène. – Sahara 11, 51–68.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1996): Welt im Wandel. Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme. Jahresgutachten 1995.–247 S. Berlin, Heidelberg.

- Wezel, A., Rajot, J.-L., Herbrig, C. (2000): Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. – *J. of Arid Environments* 44, 383–398.
- Wittig, R., Hahn-Hadjali, K., Krohmer, J. und Müller, J. (2000): Nutzung, Degradation und Regeneration von Flora und Vegetation in westafrikanischen Savannenlandschaften. – *Ber. d. Rhein. Tüxen Ges.* 12, 263–281.