

Multifaktorielle Erfassung von Degradationsprozessen im semi-ariden Niger

J. Wahr¹ und G. Vahlkampf², F. Graef³, K. Stahr⁴

Institut für Bodenkunde und Standortlehre (310), Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart

¹⁾ jens.wahr@student.uni-tuebingen.de
²⁾ guenter.vahlkampf@student.uni-tuebingen.de
³⁾ graef@uni-hohenheim.de
⁴⁾ kstahr@uni-hohenheim.de

Abstract

Mit einem multifaktoriellen Ansatz wurden verschiedene Degradationsprozesse auf unterschiedlichen räumlichen wie zeitlichen Ebenen erfaßt. Geländemethoden kombiniert mit Methoden der Fernerkundung und der empirischen Sozialforschung geben einen umfangreichen Einblick in die ablaufenden Prozesse. So ergab die ¹³⁷Cs-gestützte Erosions- und Akkumulationsmodellierung über im Transekt liegende Profilgruben und Mikroreliefmessungen hohe Erosions- und Akkumulationsbeträge, welche in den letzten vier Jahrzehnten zugenommen haben. Eine multitemporale Luftbildauswertung und die Befragung von Bauern entlang eines Transekts belegt den zunehmenden Nutzungsdruck. Die zunehmende Ausweitung ackerbaulich genutzter Flächen auf marginale Standorte in den Fußflächen und die damit verbundene Degradation der Vegetation führt zu einer starken Zunahme von Erosion und Oberflächenverkrustung und einer irreversiblen Degradation des Standorts.

Keywords: Degradation, Fernerkundung, Niger, Sahel

1. Einleitung

In der Sahelzone liegen durch die Besonderheiten von Klima, Relief, Böden, Vegetation und anthropogenen Einfluß labile Agrarökosysteme vor. An die Stelle traditioneller Bewirtschaftungsarten tritt zunehmend die Übernutzung landwirtschaftlicher Flächen. Die Folge davon sind vielfältige Degradationsprozesse.

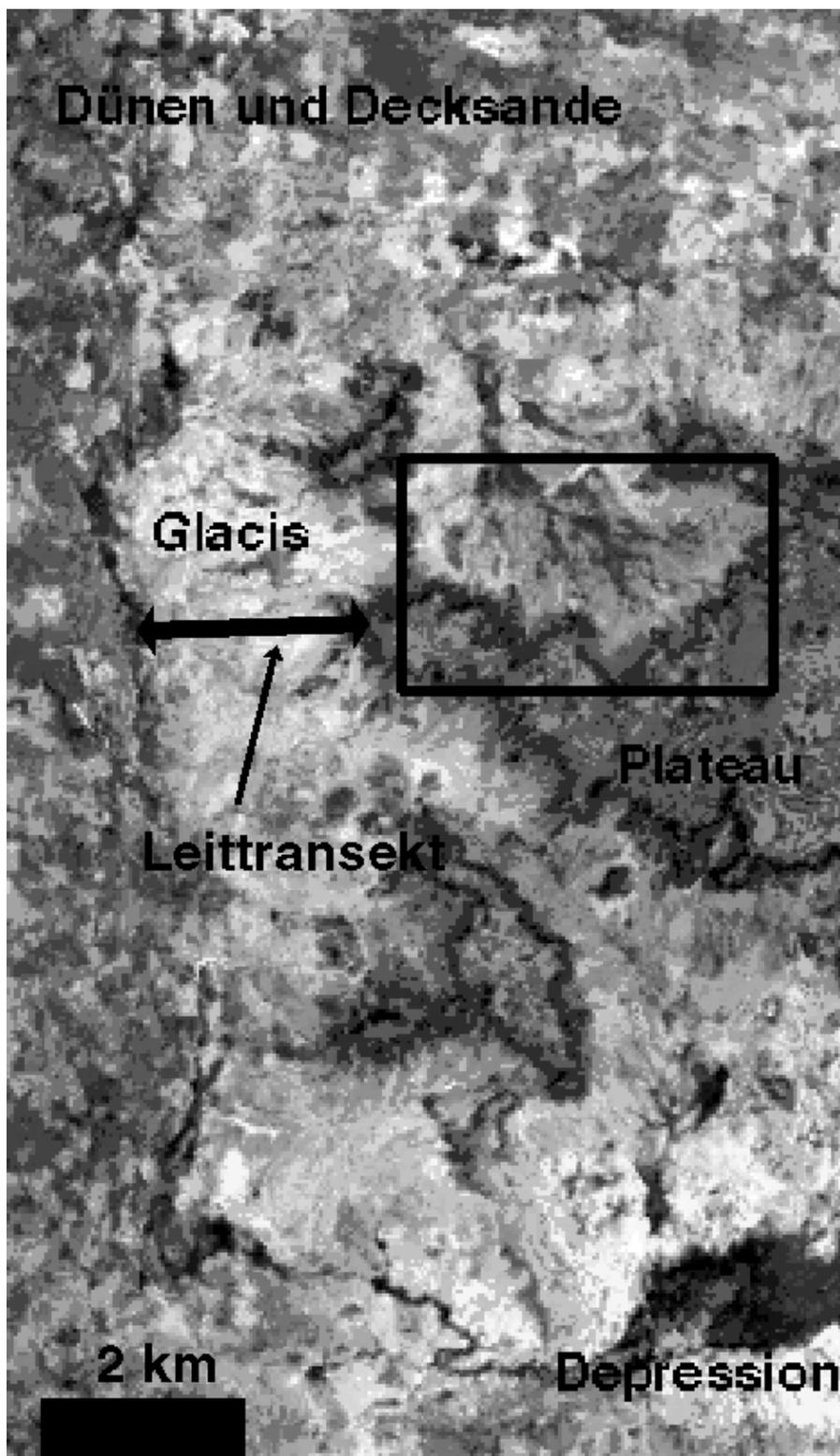
Ziel dieser Studie ist die Erfassung aktueller und längerfristiger Degradationsprozesse sowie die Untersuchung der Interdependenzen von Nutzung, Vegetation, Relief, Böden und Niederschlag und deren Beziehungen zu Erosions- und Akkumulationsvorgängen. Dabei soll auch auf die Frage eingegangen werden, ob sich die beobachteten Prozesse während der letzten vier Jahrzehnte verstärkt haben und wo die Gründe hierfür liegen. Diese Studie stellt einen multifaktoriellen Ansatz vor, welcher verschiedene Degradationsprozesse auf unterschiedlichen räumlichen wie zeitlichen Ebenen erfaßt. Dabei wurden von sieben Transekten die Landschaftseinheiten, Böden, Oberflächen und Vegetationsbedeckung kartiert sowie 16 Profilgruben nach bodenkundlichen Gesichtspunkten aufgenommen und beprobt. Zusätzlich zu Standardanalysen wurden die Bodenproben im Labor auch auf den Gehalt an ¹³⁷Cs untersucht. An sieben Standorten wurde während der Regenzeit die Veränderung des Mikroreliefs und die Niederschlagsverteilung gemessen. Ferner wurde entlang des Leittransektes ein semistrukturiertes Interview mit Bauern durchgeführt. Methoden der Fernerkundung, multitemporale Luftbildauswertung von drei Befliegungen der Jahre 1956, 1975 und 1997 und die Weiterverarbeitung mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS) runden die Studie ab. Die Geländearbeiten im Niger/Westafrika wurden zwischen Mai und September 1998 durchgeführt.

Im folgenden werden Ergebnisse der multitemporalen Luftbildinterpretation sowie des Interviews, der Mikroreliefmessungen und der ¹³⁷Cs-Analysen entlang des Leittransektes vorgestellt.

2. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes und -transekts

Das *Untersuchungsgebiet* liegt am Nordrand der südlichen Sahelzone im Südwesten der Republik Niger etwa 185 km nordöstlich der Hauptstadt Niamey in der Umgebung des Dorfes Chikal (14° 25' N; 3° 26' E) und besitzt eine Größe von ca. 150 km² (vgl. Abb. 2).

Abb. 2. Geomorphologische Einheiten des Untersuchungsgebiets mit Lage des Leittransektes und Ausschnittes der Luftbilder 1956, 1975 und 1997 (Aufnahme: Landsat TM Falschfarbenbild 1992).



Das Klima ist semiarid mit jährlichen Niederschlägen von 300-350 mm, welche auf wenige Ereignisse verteilt in einer kurzen sommerlichen Regenzeit fallen. Die Niederschläge unterliegen einer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität. Die Temperaturen liegen im Jahresmittel bei 29°C, mit monatlichen mittleren Maxima von über 41°C während der heißen Jahreszeit und monatlichen Minima von 16°C im Winter. Die potentielle Evapotranspiration kann Werte von über 2500 mm/a erreichen (SIVAKUMAR ET AL., 1993).

Aus terrestrischen und limnischen Sedimenten des Continental Terminal (CT) aufgebaute Plateaus, das im Pleistozän ausgebildete Trockental "Dallol Bosso" sowie ebenso im Pleistozän gebildete Dünenzüge und Fußflächen prägen die Landschaft des Untersuchungsgebietes. Der Dallol Bosso ist ein etwa 340 km langes, durchschnittlich 10 km breites, in Nord-Süd-Richtung verlaufendes Trockental, welches im Pleistozän durch den Azaouak-Fluss angelegt wurde. Die alluvialen Sand- und Tonablagerungen wurden später von kleinen Dünen überdeckt. Die aus terrestrischen und limnischen Sedimenten des Continental Terminal aufgebauten Plateaus stellen Reste einer tertiären Landoberfläche dar, welche während des Plio-/Pleistozäns durch den Azaouak und seine Nebenflüsse zerschnitten wurde. Im CT treten häufig goethitische Oolithbänke auf, welche nach GAVAUD (1977) unter feuchtwarmen Bedingungen im Spättertiär entstanden, später während trockener Phasen verhärteten und heute beim Ausstreichen oder durch erosive Freilegung als Krusten zutage treten und häufig die Plateauflächen bilden. Eingeschaltet zwischen Dallol und den Plateaus liegen die Fußflächen, bestehend aus Pediment und Glacis, welche während arider Phasen im Pleistozän gebildet wurden. Diese flach geneigten Hänge stellen eine typische Landschaftseinheit arider und semiarider Zonen dar. Die im nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets liegenden, pleistozänen Dünenzüge wurden ebenfalls in ariden Phasen angelegt. Zudem sind Teile der Plateaus sowie der Glacisflächen von pleistozänen bis holozänen äolischen Ablagerungen bedeckt (WILDING & DANIELS, 1989).

Die Böden im Untersuchungsgebiet besitzen im allgemeinen niedrige pH-Werte sowie eine geringe Kationenaustauschkapazität und Basensättigung. Auf den mit Lateritkrusten überzogenen Plateaus finden sich meist flachgründige Leptosols, an den von Vegetation bedeckten, durch sandige Auflagen geprägten Bereichen flachgründige Cambisols und in flachen Mulden und Senken Acrisols. Innerhalb der Fußflächen wechseln stark geschichtete Arenosols auf Mikrodünen mit je nach Hanglage zum Teil ebenfalls stark geschichteten oder erodierten Cambisols auf den Spülflächen. In den quartären Dünenzügen im Norden des Gebietes und im Dallol herrschen Arenosols vor. In den Senkenlagen und den Randdepressionen zwischen Dallol und Glacis sind vorwiegend Acrisols mit hydromorphen Merkmalen und Gleysols vertreten. Im gesamten Untersuchungsgebiet sind die meisten Böden je nach Hanglage meist deutlich erodiert oder weisen eine deutliche kolluviale Schichtung auf.

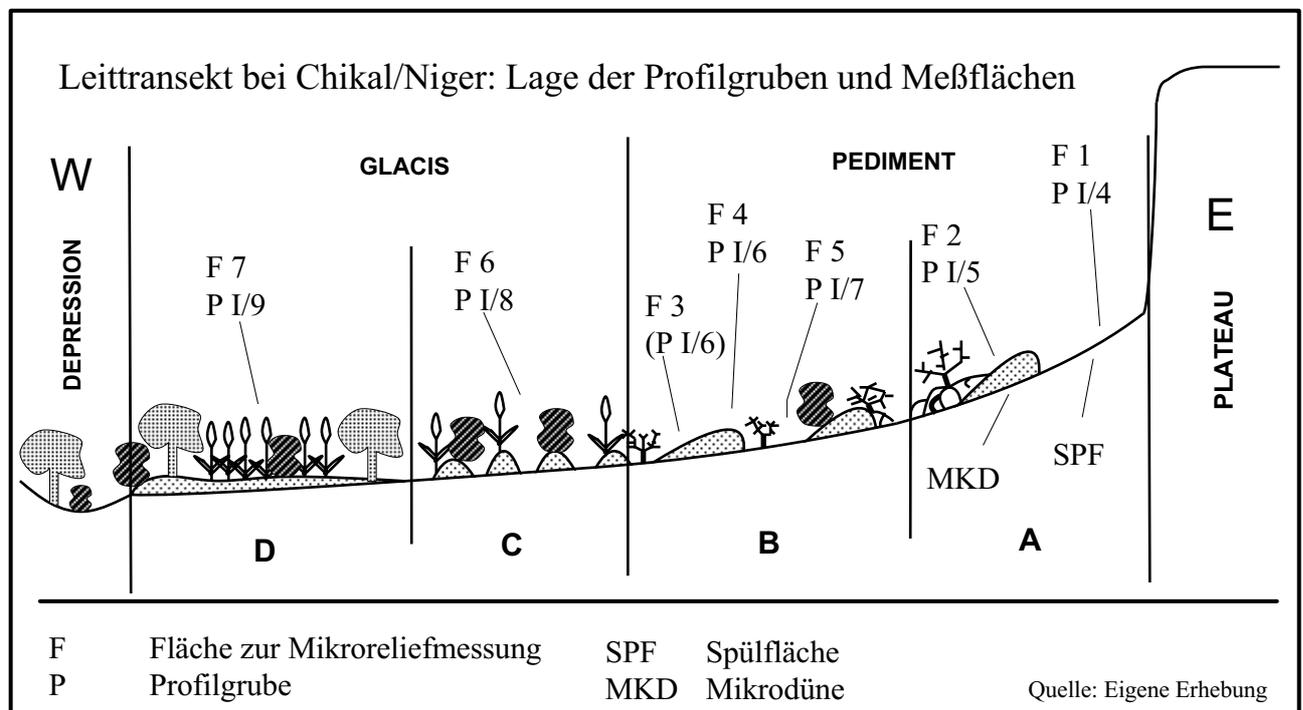
Geobotanisch ist das Untersuchungsgebiet in die „Südliche Sahelzone“ (250-500 mm mittlerer Jahresniederschlag) mit vorwiegend kurzer Grass- und Buschsavanne sowie lichthem Baumbestand aus vorwiegend Akazien (*Faidherbia albida*) einzuordnen (GRAEF, 1999). Neben den für die Plateaus typischen Vegetationsstrukturen, den in Streifen angeordneten Combretum-Dickichten („brousse tigrée“ / „banded pattern“), kommen mehrere Variationen dieser Vegetationsmuster, von kontrahiert-streifig bis diffus, vor. Ihre Ausprägung wird vor allem durch das Wasserangebot und die Hangneigung gesteuert und ist gegenüber klimatischen Veränderungen relativ resistent. Bei ihrer Zerstörung durch anthropogene Eingriffe tritt eine schnelle Verschlechterung der Standorteigenschaften ein, insbesondere des Nährstoffhaushalts und des Infiltrationspotentials (VALENTIN ET AL., 1999).

Extensiver Ackerbau (Hirse, Sorghum, Bohnen) und Viehhaltung bilden die Hauptnutzungsarten wobei traditionell das Dallol Bosso ackerbaulich genutzt wird und die anderen Landschaftseinheiten Rückzugsgebiete für die Beweidung darstellen. Erst in den

letzten Jahrzehnten haben sich die Brachezeiten verkürzt; es werden zunehmend auch extrem marginale Standorte auf geringmächtigen, sandigen Auflagen (Mikrodünen) im Glacis und auf den Plateaus in Nutzung genommen.

Das *Leittransekt* verläuft von Ost nach West durch eine typische Fußflächenlandschaft (vgl. Abb.2). Sowohl der Bereich des Pediments als auch der des Glacis kann morphologisch in je zwei Zonen (A/B - C/D) unterteilt werden (vgl. Abb.1): *Zone A* ist gekennzeichnet durch weitläufige, vegetationslose Spülflächen mit einer Hangneigung von 5-6%, stark erodierten Cambisols und oberflächenabfluß fördernden Krusten. Eingeschaltet zwischen diese Spülflächen sind aufsitzende Mikrodünenzüge mit sehr stark degradierten Büschen und stellenweise kargem Grasbewuchs. Auf den Dünen finden sich stark geschichtete Arenosols. *Zone B* ist mit Neigungen von 2-4% flacher. Der Flächenanteil der Spülflächen mit Cambisols nimmt zugunsten von Mikrodünenzügen ab, auf welchen, wie in Zone A, Arenosols zu finden sind. Auf den Spülflächen sind vereinzelt karge Büsche, auf den Mikrodünenzügen sowohl Büsche als auch annuelle Gräser und einzelne Bäume zu finden. *Zone C*: Die Neigung liegt bei etwa 1%. An die Stelle abtragsdominierter Spülflächen tritt eine Vielzahl kleiner flacher Abflußrinnen („Kori“) und kleiner Schwemmfächer. Die Mikrodünen werden geringmächtiger, gehen aber deutlich mehr in die Fläche. Die Böden sind meist fluvial überprägte Cambisols ohne oberflächenabfluß fördernde Krusten. In der folgenden *Zone D* erfolgt der Abfluß in großen, breiten Rinnen zwischen großflächigen Mikrodünenbereichen mit Arenosols. Ackerbau wird vor allem in den Zonen C und D betrieben. Jedoch werden zum Teil auch Mikrodünen bis in Zone B für den Anbau von Hirse und Bohnen genutzt. Die Buschvegetation im gesamten Glacisbereich ist stark durch Überweidung degradiert.

Abb. 1. Lage der Profilgruben und Meßflächen entlang des Leittransekts.



3. Material und Methoden

Zur Erfassung der rezenten Dynamik während einer Vegetationsperiode wurde innerhalb der Zonen auf insgesamt sieben 100x150 cm großen Flächen mittels eines Reliefmeters das jeweilige *Mikrorelief* (5cm-Raster) im Intervall von zwei Wochen („Perioden“) gemessen. Die *Bodenprofile* wurden im Gelände nach der FAO-BODENSYSTEMATIK (ISRIC 1997) aufgenommen und klassifiziert. Die Entnahme von Stechzylinderproben (100 ml) erfolgte

horizontweise in 3 Parallelen. Mächtigeren Horizonte wurden zur Probenahme weiter unterteilt und zusätzlich zu den Standardanalysen im Labor auf den Gehalt an ^{137}Cs untersucht.

Zusätzlich wurden bei der *Transektkartierung* die Nutzungsart, Bedeckungsgrad der Vegetation, Reliefsituation, Mikrorelief und Oberflächenbeschaffenheiten/Krusten (CASNAVE UND VALENTIN, 1989) bestimmt. Um beobachtete und gemessene Degradationsprozesse im Kontext der rezenten und historischen Landnutzung besser zu verstehen wurde eine *Befragung* der Bauern entlang des Leittransekts in Form eines semistrukturierten Interviews durchgeführt. Dieses hat den Vorteil, daß der Befragte ausreichend Freiraum hat Auffassungen und Erfahrungen zu erläutern, aber auch um Hintergründe von Vorgängen und Ereignissen zu erklären. Im Vergleich zu stark strukturierten Befragungen, erlaubt ein teilstrukturiertes Interview eine größere Reaktionsmöglichkeit während des Gesprächs und ein Wertes der Aussage (ATTESLANDER 1985).

Ergebnisse der Befragung halfen auch die mit den anderen Methoden gewonnenen Daten zu unterstützen. Auch war eine Überprüfung der Aussagen durch die Interpretation der Luftbilder möglich.

Das Bildmaterial von drei unterschiedlich alten Befliegungen des Untersuchungsgebiets ermöglicht eine *multitemporale Luftbildauswertung*. Hierbei konnten die Bilder der vom französischen Institut Geographique National (IGN) durchgeführten Missionen von 1956 und 1975 (1:60.000) stereoskopisch am Zeiss-Visopret (analog/digital) interpretiert und kartiert werden. Die Luftbilder der Mission von 1997 wurden innerhalb des ICRISAT Projekts Programme UH-B3.2 gemacht. Sie bestehen aus Senkrechtaufnahmen (Orthofotos) im Maßstab 1:10.000. Diese Bilder wurden wegen zu geringer stereoskopischer Überlappung gescannt und mit einem Bildbearbeitungsprogramm „on-screen“ interpretiert und digitalisiert. Die so gewonnenen Luftbildinterpretationen wurden mit Hilfe von etwa 250 mit GPS im Gelände erhobenen Bezugspunkten georeferenziert. Die Luftbildinterpretation erlaubt die Kartierung von Physiognomie und Struktur der Vegetation, insbesondere von Graden der Bodenbedeckung. Bei den stereoskopisch auswertbaren Bildern sind neben der eindeutigen Zuordnung der Reliefform auch Aussagen über Anteile von Baum- Strauch- und Krautschicht möglich. Somit können auch anthropogene Eingriffe wie Nutzung bzw. Übernutzung erfaßt und Zusammenhänge erkannt werden.

4. Ergebnisse

4.1 Mikroreliefmessungen

Die über die *Mikroreliefmessungen* ermittelten Nettomengen an Ab- und Auftrag beziehen sich auf den Meßzeitraum von Anfang Juni bis Ende August (Zweiwochenperioden 1 bis 5).

Insgesamt fielen während der Mikroreliefmessungen 209,5 mm Niederschlag, welcher sich wie folgt auf die einzelnen Zweiwochenperioden verteilt: Periode 1: 14,9 mm / Periode 2: 9,1 mm / Periode 3: 61,1 mm / Periode 4: 44,7 mm und Periode 5: 79,7 mm. Der Niederschlag verteilte sich durchschnittlich auf vier Einzelereignisse pro Periode.

Die Nettoverlagerung von Bodenmaterial während des gesamten Meßzeitraumes betrug zwischen $-17,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ und $+45,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. In Zone A und B waren jeweils Flächen zur Repräsentation der Spülflächen wie der Mikrodünenzüge vertreten. In Zone B wurde zusätzlich zwischen vegetationsloser und mit annuellen Gräsern bedeckten Mikrodünen unterschieden. Die genaue Lage der einzelnen Mikroreliefflächen sowie der Profilgruben ist Abbildung 1 zu entnehmen.

In Zone A lag der Nettoabtrag auf den Spülflächen bei $-2,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Fläche 1), in Zone B bei $-17,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Fläche 5). Auf den vegetationsfreien Mikrodünen ergab sich ein Nettoabtrag von $-17,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Fläche 2) in Zone A und $-14,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Fläche 3) in Zone B. Auf der mit annuellen Gräsern durchsetzten Mikrodünenfläche konnte nur für die Perioden 3-5 ein Abtrag berechnet werden. Dieser lag mit $-2,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Fläche 4) deutlich unter den $-5,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, welcher für den gleichen Zeitraum auf der vegetationsfreien Mikrodünenfläche (Fläche 3) in

Zone B erfaßt wurde. Die Messungen für die Fläche in Zone C ergaben einen Nettoauftrag von $+24,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (Fläche 6), in Zone D von $+45,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (Fläche 7)

4.2 ¹³⁷Cs-Analyse

Die Ergebnisse der ¹³⁷Cs-Analyse gehen qualitativ in die Diskussion ein. Jedoch kann für einen Teil der Bodenprofile über die ¹³⁷Cs-Tiefenverteilung der Nettoauftrag der letzten 35 Jahre berechnet werden. Dabei ergab sich für das Bodenprofil I/9 in Zone D (Ferralic Arenosol) eine mittlere Nettodeposition von $+15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ für den Zeitraum von 1963 bis 1998. Analog hierzu wurden für die Ferralic Arenosols in Zone A und B Werte von $+33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (Profil I/5) und $+23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (Profil I/6) respektive errechnet.

4.3 Befragung

Die Befragung von Bauern entlang des Leittransekts (Abb. 1.) gibt einen Einblick in die historische und aktuelle Nutzung. So wurde deutlich, daß Flächen innerhalb der stärker exponierten Fußflächenbereiche (Zone B) erstmalig vor etwa 5 Jahren in ackerbauliche Nutzung genommen wurden. Ausnahme stellt nur die Aussage eines Befragten dar, dessen Großvater vor 50 Jahren kurzzeitig einen in einem Kori gelegenen eingefriedeten Garten ("clôture") bewirtschaftet haben soll. Im Gegensatz hierzu ist die Fläche in der direkt an die Randdepression des Dallols angrenzenden Zone D kontinuierlich über 100 Jahre genutzt. Früher eine Einfriedung, ist dieser Bereich bis heute zu einem großen Feld ausgeweitet worden. Diese Felder sind für die Bauern gute Standorte ("jan baringo"), es fällt nie das ganze Feld brach. Zwischen diesen beiden Extremen, in Zone C, liegen Felder, die vor etwa 15-20 Jahren ebenfalls aus kleinen Einfriedungen entstanden aber seitdem Brachezeiten um die 5 Jahre aufweisen.

Die Bauern klagen neben Trockenheit und zu starkem Wind vor allem über die schlecht zu bearbeitenden Oberflächenkrusten und den Mangel an „fruchtbarem“ Sand auf den verkrusteten Spülflächen. Da sie sich Tierhaltung (Bearbeitung/Dung) und Dünger nicht leisten können, werden Erntereste auf den Feldern in Zone C-D verteilt. Diese sollen Sand akkumulieren, und Termiten sollen bei deren Zersetzung die Krusten lockern. Dies wissen die Bauern von einem Projekt („Tapis Vert“), das von 1984 bis 1989 in Chikal tätig war. In Zone B werden Äste in den Kori gelegt, um diesen mit seiner Sedimentfracht auf die verkrusteten Spülflächen umzuleiten. Zudem steckt der Bauer dort kleine Zweige in die Enden der Mikrodünen um sie so zu vergrößern.

Bei der Rodung neuer Flächen werden vorwiegend alle Büsche abgeschlagen und die Bäume ausgeschnitten wobei die dicken Äste von den Frauen als Feuerholz genutzt und die kleinen Zweige als Akkumulatoren auf den Flächen gelassen werden. Nur ein Bauer (in Zone C) stellte eine Beziehung zwischen Winderosion und der Anzahl der Büsche her – er läßt die größeren Büsche wachsen. Der Bauer in Zone B hatte vor 4 Jahren sein Feld komplett gerodet und würde es heute nicht mehr tun da, Wind und Wasser die Sandauflagen fast völlig abgetragen haben.

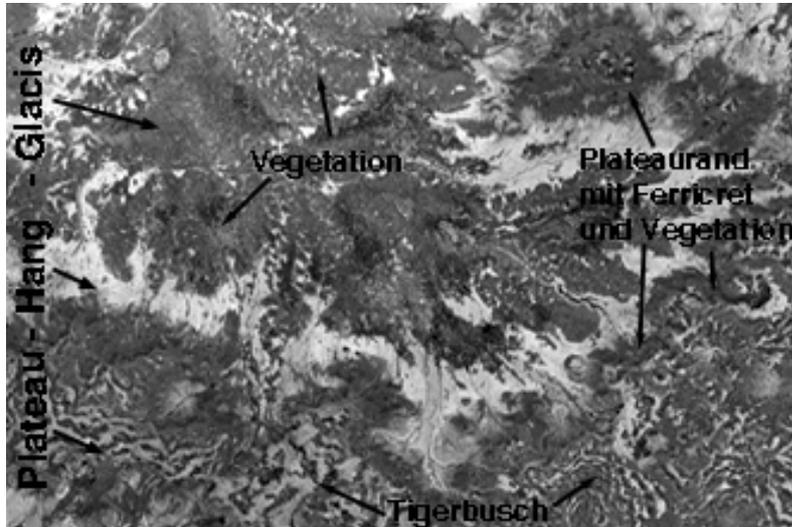
Als Grund für die zunehmende Nutzung des Glacis wird ein zunehmender Flächenbedarf genannt. Zudem sollen die Felder in Zone C und D bei reichlichen Niederschlägen qualitativ und quantitativ bessere Erträge abgeben als die Felder im Dallol.

4.4 Ergebnisse der multitemporalen Luftbildauswertung

Die Interpretation der Luftbildmodelle von 1956 zeigt die noch vorwiegend unbeschädigten, für den Sahel typischen, vielfältigen Vegetationsmuster. Nur die an Depressionen gebundenen Gehölzstreifen in nächster Nähe zur größten Siedlung Chikal sind gelichtet. Die Nutzungsart orientiert sich vorwiegend an den geomorphologischen Einheiten. So beschränken sich die beackerten Flächen ausschließlich auf das Dallol Bosso, die Dünenzüge im Norden und auf großflächige Sandauflagen im Glacis, wobei der flächenhafte Anteil der langjährigen Brachen im Vergleich zu aktiven Feldern sehr hoch ist. So sind die Dünenzüge im Norden fast vollständig unter Brache. In den durch Mikrodünen geprägten Fußflächen (Zone D bis B) herrschen mosaikierte Buschgesellschaften mit intakter Krautschicht vor. In dem von vielen flachen Entwässerungsbahnen durchzogenen und vom Abfluß der Plateaus begünstigten

Talsystem (Abb. 3a.) ist noch eine zusammenhängende Strauch- /Krautschicht vorhanden. Die Tigerbuschformationen auf den Plateaus haben noch eine große längliche Ausdehnung und weisen innerhalb der Streifen eine intakte Krautschicht auf.

Abb. 3a. Luftbild 1956 (Ausschnitt). IGN, Mission ND31-XVI-AOF-1955-56, 08.02.1956



Im Gegensatz hierzu zeigen die Bilder der *Befliegung von 1975* tiefgreifende Veränderungen des Landschaftsgefüges. Die Bilder erscheinen viel heller und kontrastreicher, was an geringeren Vegetationsbedeckungen, vor allem bei der Krautschicht, und weniger Brachen innerhalb der ackerbaulich genutzten Flächen liegt. Besonders stark fällt die Zunahme der aktiven Felder innerhalb des nördlichen Dünensystems und der Vegetationsrückgang des nach Norden entwässernden Tals auf. Von der 1956 noch zusammenhängenden Vegetationsdecke sind nur die in den Tiefenlinien kontrahierte Buschvegetation und mosaikartige Inseln mit diffus verteilten Büschen übriggeblieben, die sich in ihrer Textur stark vom unbedeckten Boden abheben (Abb. 3b). Im Glacisbereich sind zahlreiche kleinere und im südlichen Teil des Gebietes auch größere Rodungsinseln erkennbar, die für den Hirseanbau urbar gemacht wurden bzw. schon in Nutzung genommen wurden. Im Glacis sind an vielen Enden der flach auslaufenden Entwässerungsbahnen eingefriedete Gärten ("clotûres") angelegt. Großflächige Bereiche mit vormals intakter Krautschicht sind zum größten Teil degradiert. So heben sich nun die in ihrer Struktur zunehmend aufgebrochenen Tigerbuschformationen stark vom vegetationslosen Untergrund ab. Eine weitere Veränderung ist bei der Siedlungsaktivität zu sehen. Alle bestehenden Dörfer im Dallol haben sich stark ausgedehnt. Zudem wurden einige Siedlungen, vor allem in den Dünen, neu angelegt.

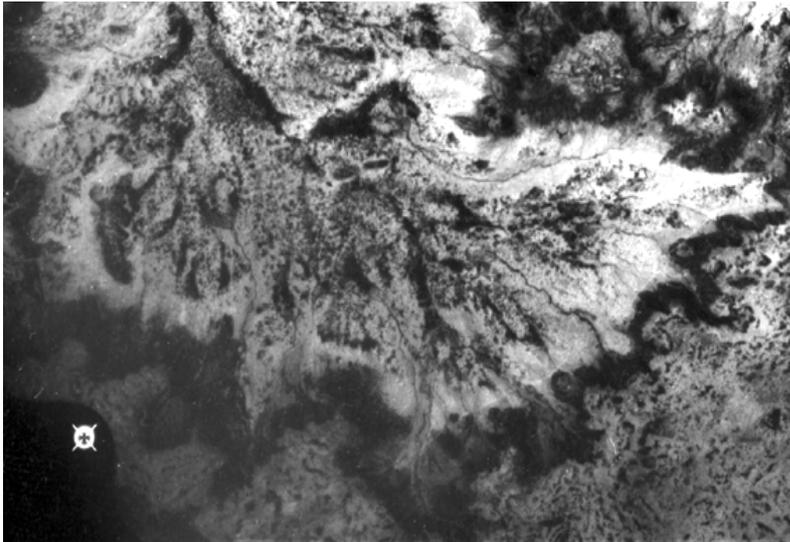


Abb. 3b. Luftbild 1975 (Ausschnitt). IGN, Mission 75-NIG-40/600, 22.03.1975

Die *Luftbilder von 1997* dokumentieren ein weiteres Fortschreiten der Degradationsprozesse (vgl. Abb. 3c). Die Bracheflächen im Dallol und in den Dünen haben zugunsten aktiver Felder weiter abgenommen. Fast die gesamte Krautschicht ist unbedecktem Boden gewichen. Ein Großteil der Mikrodünenfelder im Glacis ist jetzt gerodet und ackerbaulich genutzt, wobei viele Flächen schon wieder aufgelassen wurden. Diese stark degradierten Felder sind durch Erosionskrusten gekennzeichnet, welche im farbigen Luftbildoriginal durch helle Rottöne wiedergegeben werden. Dort ist bis auf wenige, skelettartige Vegetationsreste in den Senkenlagen und spärlichen, degradierten Buschbewuchs keine Bodenbedeckung mehr übrig. Die eingefriedeten Gärten sind verschwunden. An ihrer Stelle finden sich in den wenigen noch ackerbaulich nutzbaren Flächen neu angelegte Hütten. Auf dem Plateau sind viele der 1975 bereits aufgebrochenen Tigerbuschformationen verschwunden, und die Krautschicht ist fast völlig degradiert. Nur in Senkenlagen sind noch größere, zusammenhängende Combretum-Dickichte erkennbar, die aber teilweise durch Rodung angefressen sind. Die alten und 1975 neu angelegten Siedlungen sind weiter gewachsen.

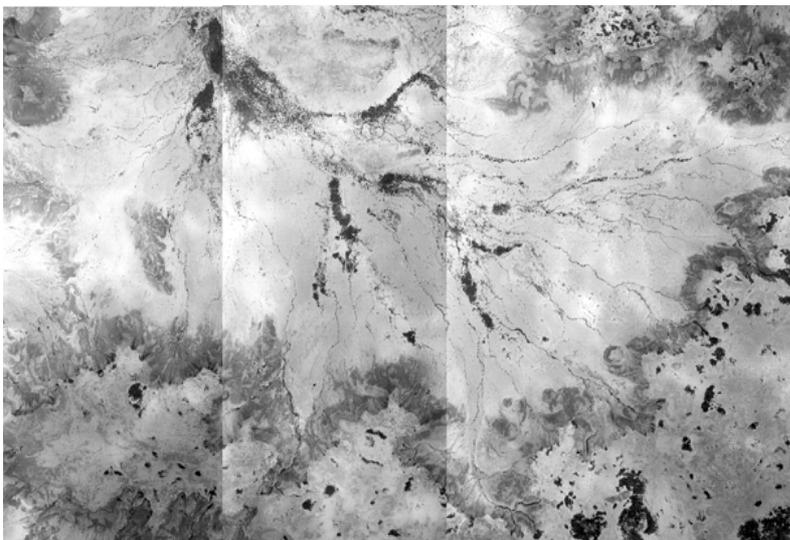


Abb. 3c. Luftbild 1997. ICRISAT Sahelien Center, Programme UH-B3.2, Mission 1997

5. Diskussion

Die über die *Mikroreliefmessungen* ermittelten Ergebnisse belegen eine sehr hohe Dynamik in dem Untersuchungsgebiet. Nur Fläche 2 (Zone A) und Fläche 7 (Zone D) weisen einen durchgängigen Trend über alle Perioden hinweg auf, wobei die einzelnen Perioden dennoch eine hohe Variabilität zeigen. Auf allen weiteren Flächen trat in den Einzelperioden sowohl Erosion als auch Akkumulation auf. Der jeweilige Nettotrend über den gesamten Zeitraum hinweg wird bei den Flächen 1 (Profil I/4), 5 (Profil I/7), 6 (Profil I/8) und 7 (Profil I/9) durch die Beobachtungen in den Profilgruben bestätigt. Deutliche Schichtung und überdeckte Ah-Horizonte belegen den akkumulativen Trend auf den Flächen 6 und 7 in den Zonen C und D. Analog belegt das Fehlen jeglichen Oberbodenhorizontes bei Fläche 1 in Zone A den erosiven Charakter. Profil I/7 (Fläche 5) weist eindeutig unregelmäßig wechselnd fluviale und äolische Schichtung und damit eine sehr hohe Dynamik und akkumulativen Charakter auf. Geländebeobachtungen, wie stark degradierte Büsche auf den Spülflächen, freierodierte Wurzeln, Erosionskanten und oberflächenabfluß fördernde Krusten, unterstützen dagegen die abtragsdominierten Ergebnisse der Mikroreliefmessung. Dies könnte mitunter die Folge anthropogener Eingriffe (Weidewirtschaft, Holzeinschlag, Ackerbau) darstellen, welche laut Befragung in den letzten 5 bis 10 Jahren in Zone B deutlich zugenommen haben. Profil I/5 (Fläche 2) und Profil I/6 (Fläche 3/4) in den Zonen A und B zeigen eine deutliche, kaum pedogen überprägte äolische Schichtung sowie alte überlagerte Horizonte in unterschiedlichen Tiefen, obwohl ein deutlicher Abtrag gemessen wurde. Dies ist durch die unterschiedliche Reliefsituation zu erklären. Fläche 2 und 3 liegen jeweils auf der durch Auswehung (freierodierte Wurzelstöcke), Krusten und hohe Oberflächenabflüsse geprägten flacheren Luvseite der Mikrodünen. Die Profilgruben befinden sich am Dünenkamm. Dort stabilisieren annuelle Gräser und kleine Büsche die Düne, was ein Vergleich der Flächen 3 und 4 unterstützt. Zudem bestärkten Piquetmessungen entlang des Quer- und Längsschnittes der Mikrodüne diese Beobachtung.

Die zeitliche Einordnung der Entwicklung und ablaufenden Prozesse wurde durch eine ^{14}C -Datierung (1020 ± 50 BP) von Holzkohlestückchen ermöglicht, welche in Profil I/6 in 1,60 m Tiefe an einer Schichtgrenze entnommen wurden sowie die Tiefenverteilung des ^{137}Cs . So kann in den Profilen I/9, I/6 und I/5 in den Tiefen 35, 60 und 90 cm jeweils ein Peak in der Tiefenverteilung des ^{137}Cs erkannt und als die alte Oberfläche zur Zeit des höchsten Fallouts (1963) angesehen werden. Die jeweils darüber liegende Menge an Bodenmaterial stellt die Netto- und zugleich Minimummasse an aufgelagerten Bodenmaterial dar. Diese These wird durch weitere Profilbeobachtungen unterstützt: Der ^{137}Cs -Peak in Profil I/9 fällt mit einem überdeckten Ah-Horizont zusammen; die pedogene Überprägung der Profile von Zone A nach D nimmt zu, während analog die recht junge äolische Schichtung in ihrer Mächtigkeit und die errechneten mittleren jährlichen Depositionsmengen abnehmen. Für Profil I/6 ergibt sich ein Zeitraum von rund 1000 a für eine Nettodeposition von 100 cm und 35 a für 60 cm Bodenmaterial. Ein in 96-116 cm Tiefe liegender Ah-Horizont deutet darauf hin, daß hier in den letzten 1000 Jahren mindestens 2 unterschiedliche bodenbildende Phasen auftraten. In Profil I/9 können drei solcher Phasen ausgegliedert werden.

Diese Methode der Quantifizierung kann auf die in den Spülflächen angelegten Profilgruben aufgrund anderer Einflußfaktoren nicht angewendet werden. Ebenso ist eine Berechnung nach dem "mass balance model" (CHAPPELL ET AL., 1998; SUTHERLAND & DE JONG, 1990) wegen verschiedenster Faktoren in einer so labilen Landschaft nicht sinnvoll anwendbar. Einzig für Profil I/4 (Fläche 1) kann aufgrund des Fehlens eines nachweisbaren ^{137}Cs -Gehaltes ein mittlerer Mindestabtrag von $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ bestimmt werden, welcher sich über den ^{137}Cs -Gesamtgehalt des Referenzprofiles ergibt. Für die Profile I/7 (Fläche 5) und I/8 (Fläche 6) können nur qualitative Aussagen getroffen werden, welche jedoch die oben genannten Beobachtungen stützen.

Zur Absicherung der hier vorliegenden Ergebnisse sollten die Messungen auf den Mikroreliefflächen über einen Zeitraum von mehreren Jahren durchgeführt werden. Für die über ^{137}Cs ermittelten Werte sind mehrere Referenzstandorte in den jeweiligen Einheiten von Vorteil. Ohne die Beobachtungen in den Profilgruben sind ^{137}Cs -Analysen in einer solch heterogenen Landschaft kaum zu interpretieren, da wichtige Informationen wie Schichtung, überdeckte Ah-Horizonte etc. nicht erkannt werden und somit zu falschen Schlußfolgerungen führen können.

Die *Befragung* bestätigt die vermutete Zunahme von Erosions- und Akkumulationsprozessen durch verstärkte anthropogene Eingriffe. In Zone B wurde deutlich, daß die Übernutzung der durch Büsche und Gräser fixierten Mikrodünen verheerenden Folgen hat. Die für das Dallol übliche Art der Rodung, alle Büsche zu entfernen, führte in dieser exponierten Lage zu heftiger Wind- und Wassererosion. Dieser Bereich ist durch seine hohe Dynamik besonders empfindlich (siehe oben). Die fixierten Mikrodünen werden ohne die schützende Vegetation wieder aktiviert (freigelegte Wurzelstöcke); es kommt zu fluviatilen und äolischen Umlagerungen und einer Zunahme von Erosionskrusten im Glacis. In Zone C haben diese laut den Bauern in den letzten 10 Jahren zugenommen. Dies könnte am verstärkten Oberflächenabfluß, bedingt durch die Rodung in Zone B, liegen. Nur ein Bauer (in Zone C u. D) sieht einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der im Feld verbleibenden Büsche und der Akkumulation von Sand. Die übrigen bearbeiten ihre Felder wie bisher und schlagen alle Büsche ab. Für die Bauern stellen die Erosions- und Sedimentationskrusten das Hauptproblem dar – diese können von Hand kaum mehr bearbeitet werden. Der Trend vom kleinen eingefriedeten Garten zum groß angelegten Feld zieht einen größeren Druck durch Beweidung auf die verbleibenden Flächen in Zone A nach sich. Die Vegetation kann sich dort nicht mehr erholen. Die Degradationsprozesse verstärken sich gegenseitig bis letztendlich große verkrustete Bereiche übrigbleiben, die wegen ihren schlechten Standortseigenschaften nur sehr schwer wieder von Vegetation besiedelt werden können.

Den zeitlichen Ablauf der Degradation für das gesamte Untersuchungsgebiet zeigt die *multitemporale Luftbilddauswertung*. Während 1956 fast ausschließlich das traditionell schon seit langem ackerbaulich genutzte Dallol bearbeitet wird, setzt in den 70er Jahren über die Anlage vieler kleiner eingefriedete Gärten eine Erschließungsphase marginaler Standorte ein. Hierbei dehnen sich die bearbeiteten Flächen in von den Siedlungen entferntere Gebiete aus. So ist eine deutliche Zunahme von aktiven Feldern in den Dünenzügen, einher gehend mit einer einsetzenden Besiedlung dieser, zu verzeichnen. Die 1956 vorhandenen, typischen Vegetationsmuster lösen sich auf und sind 1997 z.T. völlig verschwunden. Die Rodung neuer Flächen ist besonders eindrücklich im nördlich gelegenen Tal (Abb.3a-c) nachvollziehbar. Dort zerfällt die 1956 noch zusammenhängende Vegetationsdecke in kleine, an Senkenlagen gebundenen Vegetationsstreifen. Zwischen diesen sind, im Luftbild von 1997 gut erkennbar, große verkrustete Flächen zu sehen. Die Auswirkungen des oben beschriebenen steigenden Nutzungsdruckes (Überweidung, Holzentnahme) auf die verbleibenden Flächen ist 1975 und 1997 durch eine starke Degradation der Kraut- und Strauchschicht dokumentiert. Die Tigerbuschformationen auf den Plateaus sind 1997 nahezu vollständig verschwunden. Der größte Teil der Bodenoberfläche ist der Wind- und Wassererosion schutzlos ausgeliefert. Der seit den 70er Jahren steigende anthropogene Druck, im Luftbild durch die starken Ausbauphasen der Dörfer und Dorfgründungen festgehalten, verbunden mit den großen Dürrephasen der 70er und 80er Jahre, ist als Hauptursache für die zunehmende Degradation des Untersuchungsgebiets anzusehen. Durch die fortschreitende Übernutzung der empfindlichen Flächen im Glacisbereich und auf den Plateaus, der damit verbundenen Degradation der Vegetation und der wiederum daraus resultierenden stärkeren Erosion und Oberflächenverkrustung verstärken sich diese Effekte in einem Kreislauf selbst. Ohne geeignete Maßnahmen in Form einer angepaßten und ressourcenschonenden Bewirtschaftung ist die Entwicklung zu einer nicht mehr nutzbaren „badland“-Landschaft unvermeidbar.

6. Zusammenfassung

Mit dem hier vorgestellten Ansatz wurden verschiedene Degradationsprozesse auf unterschiedlichen räumlichen wie zeitlichen Ebenen erfaßt. Es konnte nachgewiesen werden, daß sich die beobachteten Prozesse während der letzten vier Jahrzehnte verstärkt haben. Brachezeitverkürzung, Ausweitung der landwirtschaftlich genutzten Flächen und nachhaltige Lichtung der Vegetation führten zu einer starken Zunahme von Erosion und Oberflächenverkrustung.

7. Literatur

- ATTESLANDER, P. (1985): Methoden der empirischen Sozialforschung. 5. Auflage, Verlag de Gruyter, Berlin
- CASENAVE, A. & VALENTIN, C., (1989): Les états de surface de la Zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Collection "Didactiques". ORSTOM, Paris. 229 p.
- CHAPPELL, A., WARREN, A., OLIVER, M.A. & CHARLTON, M. (1998): The utility of Cs137 for measuring soil redistribution rates in southwest Niger. *Geoderma* 81, pp. 313-337.
- GAVAUD, M. (1977): Les grands traits de la pédogenèse au Niger Méridional. Travaux et documents de l'ORSTOM. Paris. 102p.
- GRAEF, F. (1999): evaluation of agricultural potentials in semi-arid SW-Niger – a soil an terrain (NiSOTER) study. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte*, Bd. 54, Stuttgart, 217p.
- ISRIC (1997): Soil map of the world, revised legend with corrections. Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen. 140 pp.
- SIVAKUMAR, M.V.K., MAIDOUKIA, A., STERN, R.D. (1993): Agroclimatology of west africa: Niger. 2nd edition. Information Bulletin No.5. ICRISAT/Direction de la Météorologie National du Niger. 108p.
- SUTHERLAND, R.A. & DE JONG, E. (1990): Quantification of soil redistribution in cultivated fields using caesium-137, Outlook, Saskatchewan. *Catena* 17, pp. 177-193
- VALENTIN, C., D'HERBÈS, J.M., POESEN, J. (1999): Soil and water components of banded vegetation patterns. *Catena* 37: pp. 1-24
- WILDING, L.P. & DANIELS, R. (1989): Soil-geomorphic relationships in the vicinity of Niamey, Niger. *TropSoilsBulletin* No. 89-01