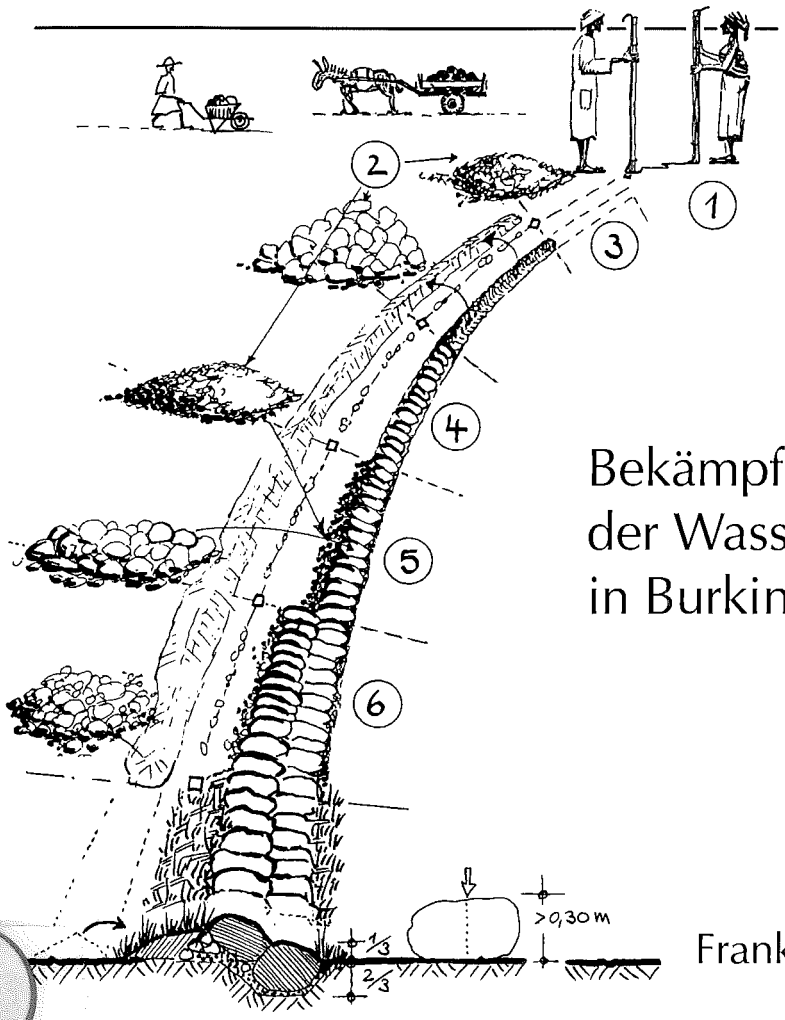
RESSOURCENSICHERUNG IM SAHEL

Erosionsschutz durch Selbsthilfe



Bekämpfung der Wassererosion in Burkina Faso

Frank Lüdemann

Deutscher Entwicklungsdienst

Der Deutsche Entwicklungsdienst (DED) fördert in mehr als 40 Ländern Programme, die die Lebensbedingungen der Bevölkerung verbessern. Seit über 30 Jahren reisen in seinem Auftrag qualifizierte und motivierte Frauen und Männer nach Afrika, Asien und Lateinamerika, um dort in staatlichen oder privaten Einrichtungen mitzuarbeiten.

Der DED unterstützt auch einheimische Organisationen und Selbsthilfeinitiativen und fördert einheimische Fachkräfte. Felder seiner Mitarbeit sind Land- und Forstwirtschaft, Ressourcensicherung, technisch-handwerkliche Ausbildung, Gesundheitswesen, Gemeinwesenarbeit, Kleingewerbe, Management und Verwaltung.

Deutscher Entwicklungsdienst
Gemeinnützige Gesellschaft mbH
Kladower Damm 299
D-14089 Berlin

Eingegangen
14. März 1996
Erledigt: SO 63

Friedemann & Johnson Consultants GmbH
Berliner Straße 2
Tel. +49-6257-82092
D-64342 Seeheim
Fax: +49-6257-84635

erosionprotect, Saßel,
Burkinafaso, sillon,
GRAAP, mulch,
desertification, sensibilisation,
runoff, watershed,
dam, gully, dune, stonebund,

Frank Lüdemann

RESSOURCENSICHERUNG IM SAHEL
Erosionsschutz durch Selbsthilfe

ded

Frank Lüdemann

RESSOURCENSICHERUNG IM SAHEL
Erosionsschutz durch Selbsthilfe

Bekämpfung der Wassererosion in Burkina Faso

Margraf Verlag

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lüdemann, Frank:
Ressourcensicherung im Sahel : Erosionsschutz durch Selbsthilfe ; Bekämpfung der Wassererosion in Burkina Faso / Frank Lüdemann. [DED]. – Weikersheim : Margraf, 1995
ISBN 3-8236-1252-2

Zeichungen:
Frank Lüdemann

Satz:
Walter Typografie & Grafik
Würzburg

Druck und Bindung:
Böhler Verlag
Würzburg

Hohenloher Straße 2
97990 Weikersheim

ISBN 3-8236-1252-2

Inhalt

Danksagung

Die Vorarbeiten zu dieser Dokumentation erfolgten im ersten Halbjahr 1991 im Auftrage von dem Programme Sahel Burkinabé/Mission Allemande/Dori, dem Deutschen Entwicklungsdienst/Berlin und der CRPA* du Sahel/Dori. Im Herbst 1994 erfolgte eine Aktualisierung, Änderung und Ergänzung des Textes für das vorliegende Buch.

Unter den Beteiligten danke ich insbesondere Dr. Simon Degila und Rudolf Rogg für ihre Unterstützung, Brigitte Wibbe-Rogg für ihre Hilfe in Dori sowie Walter Engelberg und Dr. Katharina Maier für ihre Mitarbeit bei der inhaltlichen und sprachlichen Überarbeitung.

Frank Lüdemann, Oberboyen, Februar 1995

*) Regionale Landwirtschaftsbehörde

I Einleitung

1 Hintergrund

Das Handbuch stellt Maßnahmen des Erosionsschutzes und ihre praktische Anwendung in bäuerlicher Selbsthilfe vor. Es wendet sich mit detaillierter Darstellung und vielen Illustrationen an Beraterinnen und Berater unterschiedlicher Fachrichtungen.

Der Inhalt spiegelt die Erfahrungen der achtjährigen Arbeit des **Projet-Agro-Ecologie du Sahel** (PAE/S) wider. Seit 1986 unterstützt das PAE/S beratend Aktivitäten der Behörde für Land- und Weidewirtschaft, CRPA du Sahel. Im PAE/S arbeiten zur Zeit neun Entwicklungshelfer des Deutschen Entwicklungsdienstes (DED) in einem interdisziplinären Team. Ziel ist die Entwicklung und Verbreitung von Techniken nachhaltiger Landnutzung. Innerhalb des Teams hat sich der Autor (Wasserbauingenieur) von 1988 bis 1991 mit der Bekämpfung der Wassererosion befaßt.

Die Einbettung dieses Vorhabens in den Zusammenhang der deutschen Entwicklungshilfe beschreibt das folgende Zitat: „Die vom Deutschen Sahel-Programm (PA-CILSS) initiierten Pilotvorhaben der Desertifikationsbekämpfung sowie die mit Hilfe des DED und später auch des Europäischen Freiwilligenprogramms durchgeführten Agroökologieprojekte sind Beispiele für das steigende deutsche Interesse an einer Weiterentwicklung von Ansätzen eines verbesserten Ressourcenmanagements. Im Vergleich zu vielen älteren Vorhaben, die zum Teil technische Lösungen mit hohen Maschineneinsatz bzw. massiver Einbeziehung von „food for work"-Programmen realisierten, wurde jetzt ein **verstärktes Gewicht auf die intensive Beteiligung der Dorfbevölkerung an der Einführung eines verbesserten Ressourcenmanagements** gelegt. Ausgehend von den wasser- und bodenkonservierenden Techniken wurden **schrittweise Verfahren einer umfassenden dörflichen Landnutzungsplanung** erarbeitet" [Desertifikationsbekämpfung..., BMZ 9/93]

Das in diesem Buch vorgestellte Konzept zur Bekämpfung der Wassererosion wurde auf Grundlage der tradierten Methoden gemeinsam mit den Bauern entwickelt. Sowohl auf dem Feld als auch bei Fortbildungs- und Planungsseminaren fand ein ständiger Erfahrungsaustausch zwischen Technikern, Beratern und Bauern statt. Auf diese Weise wurde Detailwissen zusammengetragen und die technischen Vorgaben konnten schrittweise an die geographischen und sozio-kulturellen Bedingungen und Erfordernisse angepaßt werden. Bei der Entwicklung geeigneter Lösungen und Kriterien wurden wasserbauliche Berechnungen unter Annahme der jeweils ungünstigsten Bedingungen durchgeführt (vgl. IV.1.1.,Exkurs). Auf dieser Basis wurden **einfache Baugrundsätze und Arbeitsanleitungen** entwickelt, mit deren Hilfe die kultivierten Flächen wirksam vor schädlichen Formen der Wassererosion geschützt werden können.

Diese Dokumentation faßt somit die jüngsten Erfahrungen, die in dieser Region gemacht wurden, zusammen. Da sie das Ergebnis eines lebendigen und dynamischen Arbeitsprozesses ist, bleibt zu wünschen, daß dadurch der Dialog belebt und Kritik provoziert wird. Für die Arbeit vor Ort wären zusätzliche Arbeitsanleitungen in Französisch sowie in den lokalen Sprachen von Vorteil.

2 Benutzungshinweise

Die einleitenden Kapitel (II. und III.) beschreiben die allgemeinen Rahmenbedingungen des Ressourcenschutzes im Sahel und wenden sich besonders an die noch nicht mit der Region und der Materie vertrauten Leser. Die Vorgehensweise bei der Vermittlung der technischen Inhalte (II) wird so dargestellt, wie sie vom PAE/S verfolgt wird. Verschiedene Maßnahmen und Hilfsmittel werden im Hinblick auf den Erosionsschutz kurz erläutert. Sie spiegeln die Charakteristika selbsthilfeorientierter Vorhaben wider.

Bei der Beschreibung der Geländetypen und des Erosionsprozesses (III) wurde versucht, die komplexen Zusammenhänge auf das Wesentliche zu beschränken. Durch die Verwendung allgemeinverständlicher Begriffe soll die Zuordnung der technischen Maßnahmen zu den entsprechenden Standorten erleichtert werden.

Das Kernstück dieses Handbuchs sind die **technischen Maßnahmen** im einzelnen (IV). Für jede Technik werden jeweils die Abschnitte *Definition, Funktionsweise, Bauanleitung* und *Bewertung* beschrieben. An das tradierte Wissen der Region knüpfen vor allem die biologischen Maßnahmen an (IV.4). Erdbau und Steinbau (IV.2+3) stellen „moderne", in der Region bewährte Techniken dar, die auf Erfahrungen des mechanischen Erosionsschutzes und des Wasserbaues basieren.

Die wasserbaulichen Berechnungen (V) liefern zusätzliche Informationen. Durch überschlägige Berechnungen können Daten für die Planung größerer Bauwerke in Erosionsrinnen sowie für den Bau kleiner Wasserrückhaltebecken ermittelt werden.

Im Anhang (VI.1+2) wird beispielhaft ein Planungsschema dargestellt; außerdem wird veranschaulicht, wie Daten und Arbeitsergebnisse gesammelt werden können. Die weitere Bewertung der Arbeitsergebnisse und Fragen der Projektsteuerung sind nicht Bestandteil des Buches. Zusätzlich finden sich im Anhang die Erklärung von Abkürzungen und französischen Fachbegriffen, ein Suchwortregister und Literaturangaben.

3 Zusammenfassung

Das Handbuch ist das Resultat einer praktischen Auseinandersetzung mit den gravierenden Erosionsproblemen in der Region. Zur Bekämpfung der Wassererosion hatten die Bauern, auf sich allein gestellt, verschiedene, jedoch nur wenig wirksame Techniken entwickelt, bevor sie aus den technischen Diensten Hilfeleistungen erfuhren.

Das Konzept der Erosionsbekämpfung wurde auf Grundlage der tradierten Methoden gemeinsam mit den Bauern in der Praxis entwickelt. Besonderes Gewicht hat hier die achtjährige Arbeit des PAE/S unter Mitarbeit eines Wasserbauers. Aufgrund vieler Unwägbarkeiten und unterschiedlicher Bedingungen wird eine breite Palette an Lösungen angeboten. Für die Auswahl der Techniken und ihre praktische Anwendung sind rechnerische Verfahren ungeeignet und durch einfache Baugrundsätze und Arbeitsanleitungen ersetzt.

Die wichtigsten technischen Neuerungen für die sahelische Bevölkerung sind das **Prinzip der Höhenlinie** und die **Schlauchwaage** als Hilfsmittel zum Messen von Höhenlinien im Feld. Ausgehend von der Höhenlinie werden die weiteren Schritte entwickelt. Durch eine Begrenzung von Größe und Höhe der Einzelbauwerke, bei denen Reparaturen ohne großen Aufwand möglich sind, werden Risiken vermieden. Die Flächenerosion kann mit vorhandenen, fast beliebigen toten Materialien (Erde, Stein, Holz, Stroh) und lebendem Baumaterial (Pflanzen) wirksam bekämpft werden. Der Schutz des Bodens vor der Wassererosion beinhaltet gleichzeitig eine bessere **Nutzung des vorhandenen Niederschlagswassers** und damit eine direkte Verbesserung der Anbaubedingungen.

Um mit den kulturtechnischen Maßnahmen die gewünschten Wirkungen zu erzielen, sind die Kenntnis der Vorgänge und Zusammenhänge sowie eine **gute** handwerkliche **Qualität der Ausführung** unverzichtbar. Wie auch bei anderen Handwerken müssen die Techniken in Etappen durch praktische Ausbildung erlernt werden. In der Ausbildung müssen zunächst Erfahrungen mit einfachen Grundtechniken des Flächenschutzes gemacht werden, bevor z.B. mit dem komplexen Grabenverbau begonnen wird. Von Anbeginn einer Maßnahme an müssen ständige Kontrollen erfolgen, um Fehler rechtzeitig zu erkennen und das langfristige Funktionieren sicherzustellen.

Die Berater müssen den Bauern kontinuierlich mit Rat und Tat zur Seite stehen. Parallel dazu waren der direkte Ideen- und Erfahrungsaustausch unter Bauerngruppen und die Ausbildung von Bauern durch Bauern für eine weitere Verbreitung der Maßnahmen besonders wirksam.

II Ressourcenmanagement durch Selbsthilfe

1 Ziele des Ressourcenmanagements durch Selbsthilfe

Angesichts der fortschreitenden Zerstörung der natürlichen Lebensgrundlagen der ländlichen Bevölkerung im Sahel bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum ist die Bekämpfung der Desertifikation zentraler Bestandteil der nationalen wie internationalen Entwicklungsanstrengungen. Die Vorhaben des Ressourcenmanagements im Sahel folgen den drei entwicklungspolitischen Leitzielen Armutsbekämpfung, Selbsthilfeförderung und Umweltschutz.

Ziel des Ressourcenmanagements ist die Sicherung der Lebensgrundlagen durch angepaßte Nutzungsformen.

Einen Beitrag dazu leistet die Anpassung der Landnutzungssysteme an die veränderten physischen und sozialen Bedingungen. Dazu sind sowohl technische Innovationen für die Verbreitung standortgerechten Landbaus notwendig als auch Wandlungen in der sozialen Organisation von Ressourcenaneignung und -nutzung (Stichwort Landnutzungsplanung).

Die Erfahrungen im Ressourcenmanagement zeigen, daß nur die aktive Beteiligung und Übernahme von Verantwortung seitens der lokalen Bevölkerung eine tragfähige Basis für breitenwirksame und nachhaltige Innovationen sind. Dieses Handbuch ist daher einem partizipativen Ansatz verpflichtet. Es reflektiert Erfahrungen, die in Projekten der Selbsthilfeförderung gemacht wurden und schlägt Techniken vor, die den Möglichkeiten und Grenzen von bäuerlicher Selbsthilfe angepaßt sind.

2 Die Rolle der Erosionsbekämpfung

Vorhaben des Ressourcenmanagements durch Selbsthilfe im Sahel umfassen eine Vielfalt von Aktivitäten. Dies beginnt mit der Problemanalyse und kann bis zur Zeichnung von Nutzungsabkommen durch die Betroffenen gehen. In fast allen bekannten Vorhaben des Ressourcenschutzes nehmen aber Maßnahmen des Erosionsschutzes die Schlüsselrolle ein, die sich wie folgt begründet:

- *Das zentrale Problem des sahelischen Ackerbaus ist ein hohes Ertragsrisiko aufgrund der extremen Variabilität der Niederschläge.* Fachgerechter Erosionsschutz erhöht spürbar die Ertragssicherheit. Die bodenschützende und wasserrückhaltende Wirkung ergänzen sich.
- *Die Innovationskapazität der autochthonen Bevölkerung war mit einer Anpassung an die rapide Bodendegradation überfordert. Folgen sind der Verlust traditioneller Ackerbauflächen und ein stärkerer Landdruck.* Die Erosionsschutztechniken fördern die vorhandene Innovationsbereitschaft durch Anpassung und Verbesserung der traditionellen Techniken, sie können die Degradation aufhalten und sogar verlorengeglaubte Flächen für die Nutzung zurückgewinnen.
- *Die bäuerliche Bevölkerung nimmt die Lebenszusammenhänge und Veränderungen häufig als gottgegeben hin. Gegenüber Projekten und staatlichen Institutionen hat sie, gefördert durch ein begründetes Mißtrauen, eine passive und abwartende Haltung.* Während die Bauern durch praktischen Erosionsschutz lernen, den Erhalt und Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen in eigene Hände zu nehmen, gewinnen sie wieder Vertrauen in die Zusammenarbeit mit der beratenden Organisation.

> Die Voraussetzungen für eine Intensivierung der ackerbaulichen Produktion und den notwendigen grundsätzlichen Strukturwandel werden durch fachgerechte und angepaßte Erosionsschutzmaßnahmen geschaffen.

3 Strategie

Trotz örtlicher und regionaler Hemmnisse ist es wichtig, die Selbstbestimmung der bäuerlichen Bevölkerung zu fördern, zur Selbsthilfe anzuregen und dabei die erforderliche Unterstützung zu gewähren. Eine vertrauensvolle, partnerschaftliche Zusammenarbeit kann nur durch einen offenen Dialog erreicht werden. Der Dialog ist eine Voraussetzung dafür, daß Korrekturen rechtzeitig erfolgen können, und eine Anpassung an unterschiedliche Bedingungen möglich ist. Das selbstbestimmte Handeln der Betroffenen bedeutet eine Erfolgskontrolle, die es bei früheren „food for work"-Programmen nicht gab. Zu den wichtigsten strategischen Elementen des Ressourcenmanagements durch Selbsthilfe zählen:

Prozeßorientierung und Einbindung in einen umfassenden Ressourcenschutz

Da Vorhaben des Ressourcenmanagements Katalysatoren für ökologische, ökonomische und soziale Wandlungsprozesse sein sollen, müssen sie schrittweise und nachvollziehbar vorgehen und auf lange Zeiträume ausgerichtet sein. Parallel zu Aktivitäten im Erosionsschutz müssen komplementäre Maßnahmen des umfassenden Ressourcenschutzes wie Agroforstwirtschaft, Brennholzeinsparung, Düngergewinnung und verbesserte Viehhaltung verfolgt werden. Maßnahmen des Erosionsschutzes sind in ein System der Landnutzung und Bewirtschaftung zu integrieren. Die einzelnen kulturtechnischen Maßnahmen sollen weitgehend miteinander verknüpfbar sein.

Qualifizierung und Förderung lokaler Zielgruppenorganisationen unter Einbeziehung aller Beteiligten

Die technische Beratung muß sich an den Bedürfnissen der Bevölkerung und an deren Wahrnehmung der Probleme orientieren. Die lokalen Zielgruppenorganisationen

müssen unter Einbeziehung aller qualifiziert und gefördert werden. Die Verantwortung für alle Planungs- und Durchführungsschritte muß bei der dörflichen Bevölkerung und ihren Selbsthilfeorganisationen liegen. Bei der Einbeziehung aller unmittelbar und mittelbar Betroffenen in Beratung und Maßnahmenwahl sind Frauen innerhalb der Zielgruppe gesondert anzusprechen, um sie ihrer Problemwahrnehmung und ihren Interessen als Nutzerinnen gemäß unterstützen zu können.

Breitenwirksamkeit

Ausbildungsaktivitäten und Maßnahmen sollen einer großen Zahl von Bauern und vielen Dörfern zugute kommen, um **breitenwirksam** zu sein. Die knappen Mittel müssen problemorientiert eingesetzt werden. Um viele Bauern zu mobilisieren, müssen die arbeitsintensiven Maßnahmen des Erosionsschutzes eine spürbare Wirkung erzielen und **auf die genutzten Ackerflächen konzentriert** werden.

Angepaßte Techniken

Die **Techniken** müssen an die örtlichen Bedingungen **angepaßt** und von den Bauern und bestehenden lokalen Beratungsinstitutionen erlernbar und beherrschbar sein. Das benötigte Arbeitsmaterial sollte aus lokaler Produktion zu günstigen Preisen beschaffbar sein. Subventionen sollten nur beschränkt unter klaren, abgesprochenen Bedingungen vergeben werden und Geschenke unterbleiben.[1)]

Qualität

Die technischen Regeln sollten von der ersten Etappe der Demonstrationsbauwerke an respektiert werden. Nur problemgerechte Lösungen **und gute Qualität** können langfristig überzeugen. Ausbildungsfortschritte und praktische Maßnahmen müssen kontinuierlich und von Dorf zu Dorf beobachtet und dokumentiert werden, um die Entwicklung langfristig bewerten zu können.[2)]

4 Hemmnisse

Schlechter, nicht angepasster Erosionsschutz kann jeden Ansatz wirksamen Ressourcenmanagements konterkarieren und nachhaltig stören. Es ist daher ein großer Fehler, Erosionsschutzmaßnahmen als Selbstläufer zu betrachten.

Vorhaben des Ressourcenschutzes sind meist mit sehr schwierigen Rahmenbedingungen und komplexen Situationen konfrontiert. In der Regel treffen sie – bei allen lokalen Unterschieden – auf folgende Gegebenheiten:

1) (vgl. IV.3.1 materielle Förderung)
2) (vgl. Annex, VI.1 Dokumentation)

Eingeschränkte Handlungsspielräume der Bevölkerung

Das Hauptproblem der Bevölkerung ist der Mangel an Grundnahrungsmitteln. Selbst nach guten Regenzeiten reicht die Getreideernte kaum aus, um die Familie bis zur nächsten Erntezeit zu ernähren. In schlechten Jahren sind bereits vor Beginn der Regenzeit die Vorräte aufgebraucht. In der Folge wandert vor allem die jugendliche Bevölkerung in den Süden, um den Haushalt zu entlasten und möglichst mit Geld zu unterstützen.

Unter diesen Bedingungen richtet sich das Handeln verständlicherweise auf kurzfristige Überlebenssicherung aus. In der kritischen Trockenzeit haben die Bauern nur sehr begrenzte Arbeitskräfte und kaum finanzielle Mittel zur Investition in Aktivitäten des Ressourcenschutzes zur Verfügung.

Divergierende Interessenlagen

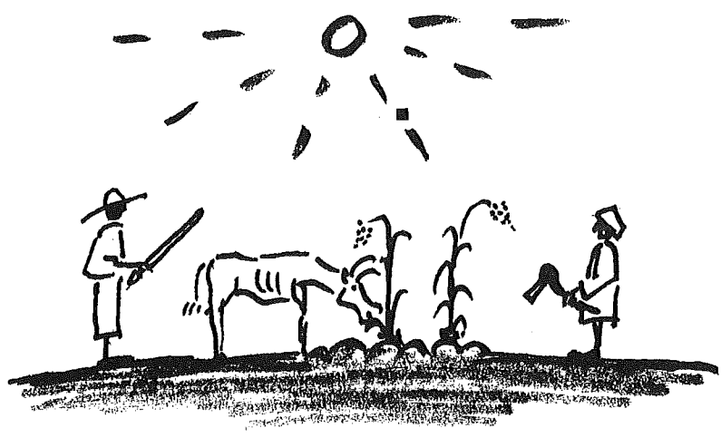
Einer konsequenten Umsetzung ressourcenschützender Maßnahmen steht weiter entgegen, daß es divergierende Interessenlagen innerhalb der lokalen Bevölkerung, aber kaum Instanzen der Konfliktregelung gibt. Bereits bei der Durchführung von Vorhaben des Erosionsschutzes tauchen Zielkonflikte (z.B. zwischen Weidenutzung und Ackernutzung) und Nachbarschaftsstreitigkeiten auf, sobald Maßnahmen über die individuelle Parzelle oder sogar die Dorfgrenzen hinausgehen. Zur Lösung dieser Konflikte bedarf es legitimierter Organe der Selbstverwaltung, die durchsetzungsfähig sind. Ihre Schaffung ist eine wichtige Aufgabe der Landnutzungsplanung. Beim Zugang zu den natürlichen Ressourcen werden insbesondere Frauen benachteiligt, da sie keine gesicherten Bodennutzungsrechte haben. Zudem werden Frauen (mit Ausnahme einzelner Gartenbauaktivitäten) weder kommunal noch durch einheimische Dienste und Projekte als Bodennutzerinnen anerkannt.

EXKURS

Einbeziehung der Viehhalter

Zentraler Bestandteil der sahelischen Landnutzungssysteme ist die Viehhaltung. Ein Teil der Bevölkerung – insbesondere im nördlichen Sahel – beschäftigt sich ausschließlich mit Viehhaltung und verfolgt daher ganz andere Strategien bei der Nutzung der natürlichen Ressourcen als hauptsächlich vom Ackerbau lebende Bauern. Transhumante Viehhalter erleben seit Jahrzehnten die ständige Einschränkung ihrer wirtschaftlichen Möglichkeiten durch Inkulturnahme von Weidegründen, Viehtriebwegen und Wasserstellen. Erosionsschutz ist für sie verständlicherweise uninteressant, da er nicht spürbar zur Lösung der zentralen Probleme ihrer Wirtschaftsform beiträgt.

Der Nutzen der Ackerbauern aus den Möglichkeiten des Erosionsschutzes erwächst den Viehhalten leicht zum Nachteil!



Die Maßnahmen zum Schutz der Talauestandorte, an denen Ackerbau betrieben wird, sind grundsätzlich auf andere, bisher nicht genutzte Talauen übertragbar. Da die ganze Strategie auf die eigenverantwortliche Aktion der Bevölkerung abzielt, liegt es letzlich in der Hand des einzelnen Bauern, wie und wo er seine Fertigkeiten im Erosionsschutz anwendet.

Betrachtet man Breitenwirksamkeit und Ausbreitungsgeschwindigkeit des Erosionsschutzes und die enormen Probleme bei der Umsetzung einer Landnutzungsplanung auf Dorfebene, wird die Brisanz dieses Konfliktes deutlich. Auf Erosionsschutztechniken spezialisierte Berater und Techniker müssen sich aktiv an einer Landnutzungsplanung beteiligen. Die Viehhalter müssen einbezogen werden. Nur so können Schutz und Erhalt der natürlichen Talauen durchgesetzt werden.

Organisationsgrad der Bevölkerung

Neben der Konfliktregelung haben dörfliche Organisationsstrukturen große Bedeutung für die praktische Durchführung kollektiver Aktivitäten. Viele Arbeiten im Erosionsschutz lassen sich nur kollektiv effizient erledigen. Vom Organisationsgrad der Dörfer hängt daher der Erfolg der Maßnahmen wesentlich ab.

Eingeschränkte Handlungskapazitäten der Behörden

Die Kapazitäten der staatlichen Beratungsstrukturen sind aufgrund der ungünstigen Rahmenbedingungen sehr beschränkt. Diese Behörden sind mit einer Vielzahl von administrativen Aufgaben belastet, für deren Erfüllung es ihnen in der Regel an Mitteln

und funktioneller Ausstattung mangelt. Dies führt zu geringer Motivation und Desorganisation.

Schwerer wiegt der Mangel an qualifiziertem Personal, insbesondere an peripheren Standorten. Die Berater haben zumeist einen direktiven Arbeitsstil erlernt und tun sich mit partizipativen Methoden schwer. Die auf der Landwirtschaftsschule erlernten Beratungsthemen sind eher der Zentralregion des Landes angepaßt und gehen an den Problemen sahelischer Bauern und Viehhalter z.T. vorbei. Technische Kompetenz für die Maßnahmen des Erosions- und Ressourcenschutzes ist in den Beratungsdiensten auf allen Ebenen eine Seltenheit und muß schrittweise aufgebaut werden.

5 Vermittlung der Maßnahmen

Bei der Vermittlung der Techniken des praktischen Erosionsschutzes an die Zielgruppen sind vielerlei Methoden denkbar. Didaktische Methoden sind natürlich jeweils den Lernzielen, den Fähigkeiten des Beratungspersonals, dem Vorwissen und Abstraktionsvermögen der Zielgruppen, ihrer Organisationsform und den physischen Rahmenbedingungen anzupassen. Einige didaktische Hilfsmittel und Methoden, die sich speziell im Erosionsschutz im Norden Burkina Fasos bewährt haben, werden erläutert. Auf die vielfältigen Ansätze zur Sensibilisierung der Zielgruppen für den Prozess der Degradation der natürlichen Ressourcen und seine Ursachen soll im Rahmen dieses Handbuchs nur hingewiesen werden, ohne sie im Detail zu behandeln. Die Methoden spiegeln die Charakteristika selbsthilfeorientierter Vorhaben wieder, insbesondere:

Ziel der Vermittlung von Techniken ist deren Anwendung in bäuerlicher Selbsthilfe.

Die bäuerliche Zielgruppe besteht überwiegend aus Analphabeten.

Sie verfügt über einen reichhaltigen Erfahrungsschatz, hat aber keine Erfahrung mit abstrahierter Darstellung und Analyse.

Die Zielgruppe ist in der Regel in Bauerngruppen organisiert, wird also im Kollektiv angesprochen.

So wie Erosion und Desertifikation zeitlicher Veränderung unterliegen, ist auch die Vermittlung der Erosionsbekämpfung ein langfristiger **Prozeß des Dialoges,** in dem die **Schlüsselrolle der Bewußtseinsbildung** zukommt.

Der Arbeitsprozeß ist für den Themenkomplex des Erosionsschutzes immer an die „contre-saison", die Trockenzeit, gebunden und beginnt mit Sitzungen für eine kritische Bestandsaufnahme in den Dörfern im Anschluß an die Erntezeit.[3] Im Hinblick

3) vgl. Annex VI.1. Jahreskalender

auf die Umsetzung und technische Ausbildung sind in der Regel die folgenden Etappen zu durchlaufen:

- gemeinsame **Problemanalyse**,
- **Veranschaulichung** und Erörterung der Möglichkeiten,
- Gelände- und **Feldansprache** für die Auswahl der örtlich geeigneten und angepaßten Strategie,
- Vermittlung der organisatorischen und handwerklich-**technischen Kompetenz,**
- Demonstration und praktische Anleitung, „learning by doing",
- dorfweise Dokumentation der einzelnen Schritte (**monitoring**),
- Bewertung aller Arbeitsergebnisse (**évaluation**) mit den Betroffenen, die in eine kritische Würdigung des Erreichten (**réflexion**) mündet.

Grundlage für die Ausbildung von Beratern und Bevölkerung ist eine sehr gute **Beherrschung der einheimischen Sprache,** um alle Beiträge und Bemerkungen der Gruppen verstehen und interpretieren zu können. Für den Fall, daß der zuständige Berater die Bedingung nicht erfüllt, sollte ein Spezialist hinzugezogen werden.

5.1 Dorfversammlung

Grundsätzlich sind folgende Regeln zu beachten:

- **Jugendliche, Frauen und Männer** werden innerhalb der Dorfgemeinschaft gesondert angesprochen um eine möglichst repräsentative Beteiligung an der Diskussion sicherzustellen.
- **Entspannung** der Beteiligten (mettre á l'aise); z. B. durch eine ausreichende Anzahl von Matten und Schattenplätzen für alle.
- Moderation der Versammlung nach dem **Frageprinzip.**

Besonders bei der Sensibilisierung soll ein möglichst großer und repräsentativer Teil des Dorfes angesprochen werden. Eine Dorfversammlung ist die am häufigsten verwandte Methode, um auch ohne didaktische Hilfsmittel einen Dialog zu führen und den begonnenen fortzusetzen. Ein Palaver als offene Diskussionsform ermöglicht eine breite Beteiligung und die Möglichkeit, eigene Gedanken und Bedenken vorzubringen. Der Berater übernimmt die Rolle eines Moderators.

Zum Einstieg in die Diskussion mit einer Dorfgemeinschaft über Ursache und Wirkung von Umweltveränderungen und Möglichkeiten des Ressourcenschutzes eignet sich besonders ein gelenkter Dialog, wie er durch die Methode GRAAP und die Erstsensibilisierung dargestellt wird.

5.2 GRAAP

(Groupe de Récherche et d'Appui pour l'Autopromotion Paysanne)[4)]

Die in Burkina Faso ansässige Nichtregierungsorganisation GRAAP hat die wohl bekanntesten Materialien für die Reflexion über die sozioökonomische und die ökologische Situation eines Dorfes erarbeitet. Es handelt sich um Haftbilder, die eine bessere Visualisierung der zu diskutierenden Themen ermöglichen.

Für die korrekte Anwendung müssen speziell geschulte Mitarbeiter eingesetzt werden, die alle verfügbaren Serien moderieren können. Sie führen die Teilnehmer, die nach Alters- und Geschlechtsgruppen aufgeteilt werden, durch die drei Etappen „Sehen, Reflektieren, Agieren". Die Diskussionsschritte sind exakt vorgeschrieben.

Ablauf und Aufbau entsprechen dem bei der Erstsensibilisierung beschriebenen Verfahren. Der Transport des Materials mit einem Moped ermöglicht einen flexiblen Einsatz.

Verwendet wurden insbesondere die Serien: – Les villages s'animent, – La vie de la terre, – Retenir l'eau et la terre, – Vivre dans un environnement vert.

Da die Bildsequenzen nicht auf die Sahelregion abgestimmt sind, ergeben sich Abweichungen in Baumarten (z. B. Karité), Kleidung etc. Dies kann bei der Sensibilisierung von Nachteil sein, wenn die Zielgruppe sich nicht mit den dargestellten Bildern identifizieren kann.

5.3 Erstsensibilisierung

Im Rahmen des **PAE**/S (Projet Agro-Ecologie/Sahel) wurden zu Beginn der Zusammenarbeit mit jedem Dorf mehrere Sensibilisierungsveranstaltungen durchgeführt. Der erste Schritt auf Dorfebene muß notwendigerweise bei der Reflexion über die eigene Situation ansetzen. Im zweiten Schritt werden die Ursachen des Wandels diskutiert. Ziel ist es, in einem dritten Schritt konkrete Lösungsansätze zu erarbeiten.

Bei der Erstsensibilisierung wird bewußt die ganze Dorfgemeinschaft mit allen Gruppen und Vertretern eingeladen (50–150 Teilnehmer). Der relativ frei gestaltete Ablauf der Veranstaltungen, die etwa 2 bis 3 Stunden dauern, verlangt eine besondere Befähigung des Moderators; dies kann auch ein in der GRAAP-Serie geschulter Berater sein.

In der Regel werden Holztafel und Kreide zur Veranschaulichung benutzt (Methode PAE) mit dem Vorteil flexibler Handhabung.

Der Moderator agiert nur als Vermittler und arbeitet mit dem Frage- und Antwortsystem. Die Einstiegsfragen werden an alle drei Gruppen gerichtet, die sich dann einzeln zur Beratung zurückziehen und einen Sprecher oder eine Sprecherin bestimmen,

4) B:P: 515, Ouagadougou 01, tel. 981138, Burkina Faso

die anschließend die Antworten vortragen. Der Moderator skizziert und ordnet die Antworten auf der Tafel.

Ablauf

Jeder Schritt wurde – ähnlich wie bei der GRAAP-Methode – mit einigen Einstiegsfragen begonnen, die die einzelnen Untergruppen in der Reihenfolge Jugendliche – Frauen – Männer beantworteten:

1. *Wie war die Situation vor etwa 30 Jahren?*
2. *Wie ist die Situation im Vergleich dazu heute?*
3. *Was sind die Ursachen für die Veränderungen?*
4. *Was kann das Dorf und was kann der Einzelne tun?*

Der Situationsvergleich bezieht sich auf alle das Dorf betreffenden Bereiche (Größe, Felder, Busch, Krankheiten, Tiere, Menschen, Zugänglichkeit, Geld, Regen, Probleme, Organisation).

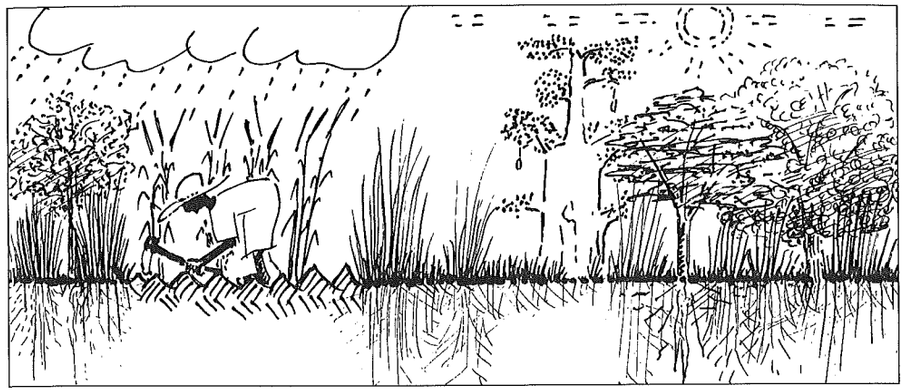
Bezüglich der Erosionsprobleme werden aus den Antworten die erosionsfördernden Faktoren herausgearbeitet und jeweils die ursächliche Beteiligung des Menschen in den Vordergrund gestellt. Es wird betont, daß der Mensch als einziges Lebewesen für sein Wirken – auch gegenüber der Umwelt – verantwortlich ist. Lösungsansätze werden erarbeitet und zur Diskussion gestellt.

Diskussionsbeteiligung und Reaktion zeigen, ob die aktuellen Probleme tatsächlich erörtert und verstanden werden. Weitere Information und Beratung zu den verschiedenen möglichen Feldern einer Zusammenarbeit – vom Heuschnitt bis zum Erosionsschutz- sollten angeboten werden. Schließlich muß das Dorf nach Bedenkzeit sein Interesse an weiteren Schritten äußern.

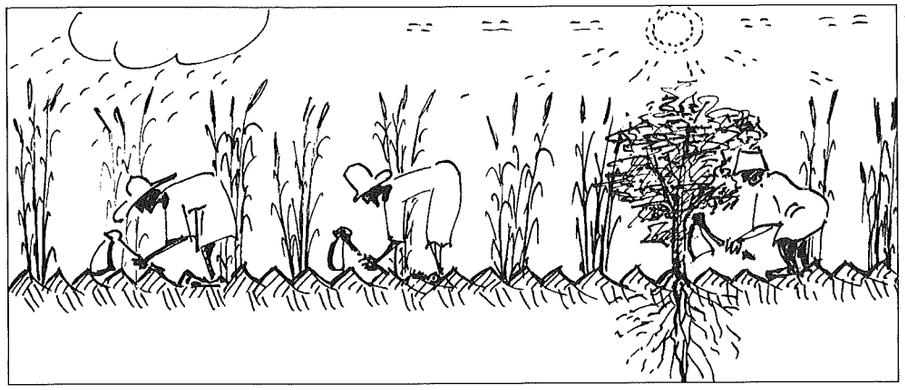
Bei einer **vertiefenden Sensibilisierung** können die Fragen auf spezielle konkrete Probleme zugeschnitten werden, z. B. auf die Probleme der großen Talauen (Bas-fonds). Die o. g. Einstiegsfragen beziehen sich dann auf Veränderungen der jeweils wichtigen Bereiche:

- Vegetation
- Nutzungsarten des Tales
- Lage und Güte der Felder und übliche Anbautechnik
- Rolle des Menschen
- Regen und Wasserprobleme
- Abfluß des Wassers im Tal und Erosionsprobleme

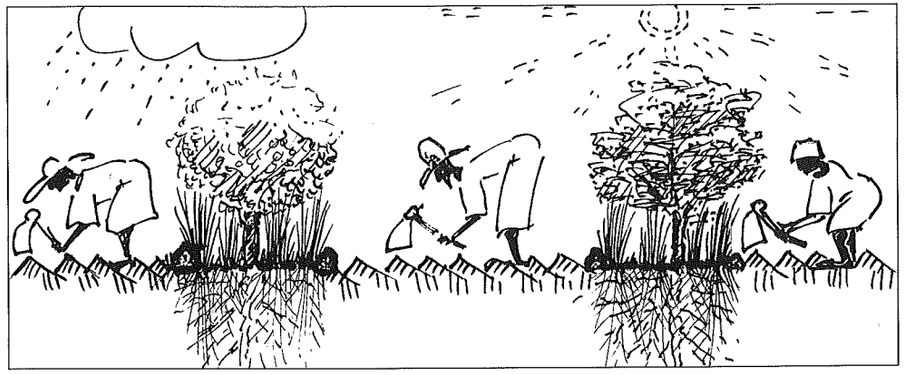
In den folgenden Abbildungen wird exemplarisch eine Darstellung von Diskussionsergebnissen als Tafelbild oder Poster gezeigt:



Früher: langsame Wasserströmung – Brachewirtschaft – fruchtbarer Boden



Heute: schnelle Wasserströmung – Bodenabtrag und Auslaugung – Erosion

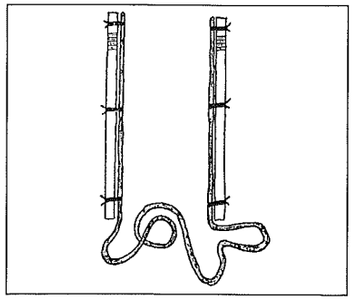


Morgen: Vision von Vegetationsbändern entlang der Höhenlinie

5.4 Demonstration und technische Ausbildung

Der allgemeinen Sensibilisierung folgt bei Interesse der Bauerngruppen an Aktionen des Erosionsschutzes die Demonstration konkreter Techniken. Vorrangig ist zunächst die Kenntnis der Höhenlinie und ihrer Bedeutung für alle Maßnahmen des Erosionsschutzes. Dazu kann mit Modellen und Regensimulation (Gießkanne) gearbeitet werden. Ziel ist, daß die Bauern das Prinzip der Höhenlinie verstehen und die Instrumente zu ihrer Identifizierung beherrschen.

Da es um das Erlernen neuer handwerklicher Fertigkeiten geht, kommt der praktischen Anleitung an Ort und Stelle die größte Bedeutung zu. Auch wenn Auszubildende am meisten aus eigenen Fehlern lernen, ist es doch wichtig, gerade zu Beginn Qualitätsstandards zu vermitteln. Nur so ist den Lernenden möglich, die Regeln zu erkennen und womöglich zu verbessern. Diese Standards zu vermitteln, ist Anliegen des Abschnittes IV.



Modellversuch mit Gießkanne

Veranschaulichung der Wirkungsweise eines kleinens Walls: Auf einer kleinen geneigten Fläche wird mit den Bauern modellhaft Regen und Erosion mit Hilfe einer Gießkanne simuliert (mindestens 3 Wasserfüllungen). Beobachtet, diskutiert und verglichen werden die Auswirkungen des Regens ohne Schutz der Fläche, mit traditioneller Methode der Bauern und mit Erdwällen (oder Steinwällen), die mit einer Schlauchwaage eingemessen werden.

Lernziel ist die folgende Erkenntnis:

„Wälle sind ein Mittel (médicament) gegen die Erosion auf dem Feld. Um gezielt Wasserrückhalt auf dem Feld zu bewirken, ist die Kenntnis von Höhenlinien entscheidend."

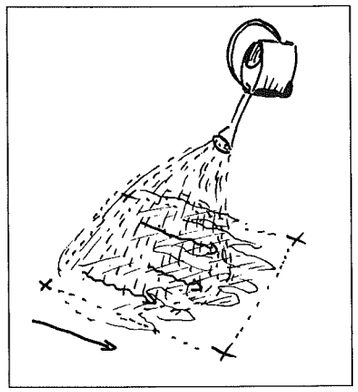
Ablauf

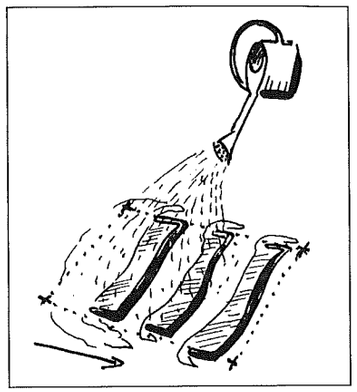
1.) Simulation des ersten Regens durch gleichmäßiges Begießen einer etwa 2 m × 2 m großen geneigten Bodenfläche, die das Feld darstellt.

2.) Die Bauern müssen nun mit den von ihnen praktizierten traditionellen Techniken die Fläche behandeln (Geflechte aus Zweigen u. a.), um dann die Gießkanne ein zweites Mal regnen zu lassen.

3.) Eine Schlauchwaage wird gebrauchsfertig gemacht, um damit in kleinen Schritten (0,20–0,30 m) drei Höhenlinien einzumessen, entlang derer nun kleine Wälle entstehen (Erde oder Stein). Die Fläche wird ein drittes Mal begossen.

Nach jedem „Regen" werden mehrere Bauern aufgefordert, ihre Beobachtungen zu erklären (Fließen des Wassers, Transport von Erdpartikeln, Ablagerungen von Erde oder organischem Material, Wasserverteilung hinter dem Wall, Brüche im Wall).





Abwandlung des Gießkannenversuches:

Wenn die betroffenen Bauern bereits grundsätzlich die Funktionsweise der Erosionsschutzwälle kennen, so kann nach dem selben Ablauf auch die Wirkungsweise von Durchlässen und Flügeln bei Erd- und Steinwällen demonstriert werden. Im Versuch wird dafür durch Begießen einer etwas kleineren Fläche ein Starkregen simuliert.

Ablauf

1.) Bau von Wällen ohne Flügel entlang der Höhenlinie und Begießen der Fläche (1,5 m × 1,5 m) im oberen Drittel.

2.) Bau von seitlichen Flügeln, aber ohne Durchlässe. Begießen der Fläche und Beobachtung.

Eine sorgfältige Vorgehensweise ist auch bei dieser eher spielerischen Methode erforderlich.

5.5 Exkursion (Visite inter-G. V.)

Exkursionen spielen eine entscheidende Rolle bei der Verbreitung von Neuerungen. Die teilnehmenden interessierten Bauern und Bäuerinnen, die in der Regel selbst schon erste Erfahrungen im Erosionsschutz haben, erhalten die Gelegenheit zum Austausch mit besonders fortgeschrittenen Dörfern.

Die Teilnehmer sollen sich möglichst direkt und selbständig umfassende Informationen zu Anwendung, Ausführung, Nutzen und Nachteil neuer Techniken beschaffen. Vorteil ist, daß sie Informationen auch über Probleme erhalten, die den Technikern nicht immer bekannt sind.

Der Berater hat, soweit dies von den Gastgebern nicht übernommen wird, die Rolle des Moderators, der bei der Auswahl von Feldern und Beispielen sowie in der Diskussion den Ablauf gestaltet und lenkt.

Organisation

Um die verfügbaren Mittel optimal einzusetzen, werden die nächstliegenden überzeugenden Anlagen besichtigt. In der Provinz Seno wurden Exkursionen am Ende der Regenzeit auch zu den allgemeinen Beratungsinhalten innerhalb jeder Beratungseinheit durchgeführt. Die Besuche sind in diesem Fall ohne logistische Hilfe von außen organisierbar und durchführbar. Besuche und Exkursionen in der nahen Umgebung, die von externen Mitteln unabhängig sind, gilt es zu fördern. Als Resultat der Exkursionen ist sowohl bei den Besuchern als auch bei den Gastgebern ein Mobilisierungseffekt festzustellen. Eine Gruppenstärke von etwa 15 – 20 Personen ist sinnvoll. Die Beteiligung technischer Betreuer und Begleiter ist auf ein Minimum zu reduzieren, um einen lebhaften Austausch zwischen den Bauern nicht zu behindern.

5.6 Diavorführungen

Diavorführungen sind ein sehr geeignetes Medium, um in Dörfern eine große Zahl von Zuschauern aus allen Altersgruppen und beiden Geschlechts anzusprechen. Sie haben unterhaltende Wirkung, verständlich an Orten, wo weder Bücher noch Bilder, geschweige denn Fernsehen oder Kino vorhanden sind. Diesen Unterhaltungseffekt auszunutzen, ohne in eine fade Belehrung zu verfallen, ist die Kunst der Lernvorführung.

Sowohl für die allgemeine Sensibilisierung, als auch zu den verschiedenen technischen Beratungsinhalten des Erosionsschutzes existieren mittlerweile im PAE/S (und anderswo) ausgearbeitete Diaserien. Sie enthalten Bilder, anhand derer die Rolle und Notwendigkeit der jeweiligen Technik deutlich wird und zeigen die verschiedenen Anwendungsschritte. Die nächtliche Vorführung kann jedoch die praktische Ausbildung in Arbeitsgruppen am Objekt nicht ersetzen. Bilder können ebenso die Vielfalt der Möglichkeiten zeigen und die Dorfaktivitäten durch Aufnahmen aus anderen Provinzen in einen größeren geographischen Kontext stellen. Ein Animationsleitfaden erleichtert dem Animateur die Schaffung einer offenen, lebendigen Lernsituation.

Zur Organisation einer Diavorführung braucht der Animateur einen 12V-Projektor, der sich an eine Autobatterie anschließen läßt und eine möglichst große Leinwand. Hochreflektierende Stoffbahnen, die einfach an eine Hauswand geheftet werden, haben sich am besten bewährt.

Da die Vorführung nur nachts stattfinden kann und man auf ein Fahrzeug angewiesen ist, sind die Einsatzmöglichkeiten allerdings begrenzt. Langfristig bedarf es eines kompetenten, mobilen Dienstes, der auf Anfrage Diaserien vorführt und kommentiert, sowie Bildmaterial verwaltet und aktualisiert.

5.7 Erhebungs- und Planungsmethoden

Mit den Werkzeugen beteiligungsorientierter Erhebungs- und Planungsmethoden (**PRA**-Participatory Rural/Relaxed Appraisal) stehen heute weitere Mittel zur Verfügung, um die Komplexität dörflicher Strukturen und Situationen besser zu erfassen und die Zielgruppen zu sensibilisieren und zu motivieren. Beispielhaft seien hier genannt:

Zeichnen einer Karte des Dorfes, der Ressourcen, der Dorfgemarkung etc. durch Jugendliche, Frauen und Männer und Vergleich der Ergebnisse (mentale Karte)

Historische und geographische Schnittlinien (Transsekte)

Karten und Diagramme der sozialen Struktur

Präferenzanalyse (Ranking) von Problemen, Ressourcen, Aktivitäten etc.

Die Methoden des PRA leben vom Prinzip der Triangulation. Dies bedeutet, daß auf allen Ebenen nach der Gegenüberstellung dreier Methoden, dreier Interessengruppen, dreier Wahrnehmungen etc. gestrebt wird.

Die Situationsanalyse leitet über zu dem anschließend beschriebenen Geländestudium und zur Auswahl der geeigneten Techniken.[5)]

5.8 Geländeansprache und Auswahl der geeigneten Technik

Ein Geländestudium ist Voraussetzung, um die geeigneten technischen Maßnahmen auszuwählen. Der jeweilige Standort wird in der Regel durch eine Feldansprache – ohne Hilfsmittel – beschrieben und beurteilt.

Die Informationen zum Standort sind für einen Ortsfremden auf zwei Wegen zu beschaffen:
- eigene Beobachtung vor Ort,
- Befragung der Bauern.

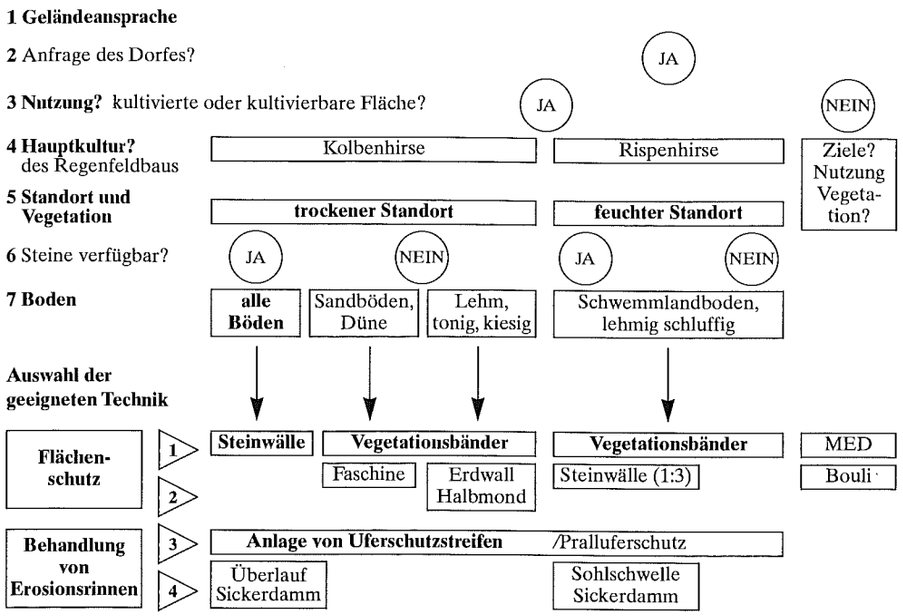
Die wichtigsten Unterscheidungskriterien der Standorte sind:
- momentane und frühere Nutzung der Flächen,
- Unterscheidung nach feuchten und trockenen Standorten,
- Beschreibung des Wasserabflusses und der Erosionserscheinungen.

Eine Feldansprache muß immer mit den Bauern gemeinsam erfolgen, um Unsicherheiten im Gelände richtig einschätzen zu können. Bei Maßnahmen, die über die Grenzen einer Parzelle hinausgehen, ist die bodenrechtliche Situation des jeweiligen Dorfes zu berücksichtigen. Status und Rechte der Bodennutzer sollten für die betrachteten Flächen bekannt sein (vgl. II.5.7 Erhebungs- und Planungsmethoden).

Die momentante Nutzung wird durch Beobachtung und die frühere Nutzung durch Befragen der Bauern und Feldeigentümer sichergestellt. Sie ist deshalb ein wichtiges Kriterium, weil die kultivierten und kultivierbaren Böden vorrangig zu schützen sind. (Eine Ausnahme bilden Steinbaustellen mit Demonstrationscharakter, die in der Nähe von Steinvorkommen angelegt sind.)

5) Eine kommentierte Einführung und aktuelle Literaturübersicht gibt Lit 28.

Entscheidungsraster



Zur Charakterisierung des Standortes ist der Boden zu bestimmen und die Vegetation zu beurteilen (vgl. Annex VI.1, Dokumentation).

Bodenansprache

Der Boden wird aufgegraben, um seine Färbung im Profil zu sehen. Der Anteil bindigen Feinkorns kann festgestellt werden, indem eine Bodenprobe mit Wasser angefeuchtet, in der Hand geknetet und zu einer dünnen Rolle (∅ 3 mm) geformt wird. Die Rolle soll nun zum Ring geschlossen werden:

- die Rolle bricht → Sandboden,
- der Ring bricht → lehmiger Sand,
- der Ring hält → sandiger Ton, Lehm.

Tonanteile sind beim Zerreiben des feuchten Bodens zwischen den Fingern an verschiedenen Merkmalen zu erkennen:

- sie fühlen sich schmierig an,
- sie glänzen im feuchten Zustand,
- sie bleiben beim Trocknen an den Fingern haften.

Wichtig: Für trockene Standorte ist zu entscheiden, ob sich der Untergrund als Baumaterial für Erdwälle eignet (tonige und kiesige Böden).
Je geringer der Tonanteil des Bodens ist, desto geringer ist seine Erosionsstabilität und desto wichtiger ist bei Steinbauwerken der Unterbau mit Kies.

Vegetation

Eine Beurteilung der Vegetation gibt zusätzliche Aussagen über Bodenqualität, Grundwasservorkommen und Standort. Bei der Pflanzung von Bäumen ist wichtig, daß diese auch tatsächlich an diesen Standort angepaßt sind. Es dürfen nur die Arten verpflanzt werden, die auch natürlich vorkommen können. *(Frühere Vegetation am Standort?)* Die vorhandene Vegetation wird nach Arten und Dichte sowie nach dem Zustand der mehrjährigen Pflanzen beurteilt.

Die wichtigsten mehrjährigen Pflanzen der alluvialen **feuchten Standorte** (Talauen und Niederungen) sind:

- *Combretum micranthum* (Ful: gungumi)
- *Guiera senegalensis* (Ful: Yeloki)
- *Piliostigma reticulatum* (Ful: barkehi)[6]
- *Andropogon gayanus* (Ful: dadje, soobo)

Die wichtigsten Gehölze der **trockenen Standorte** auf den alten Dünen und strukturierten Sandböden sind:

- *Balanites aegyptiaca* (Ful: tanni)
- *Bauhenia rufescens* (Ful: namaadi)
- *Combretum glutinosum*
- *Commiphora africana* (Ful: badadi)

Standortanzeiger für ständig anstehendes **Grundwasser** sind:

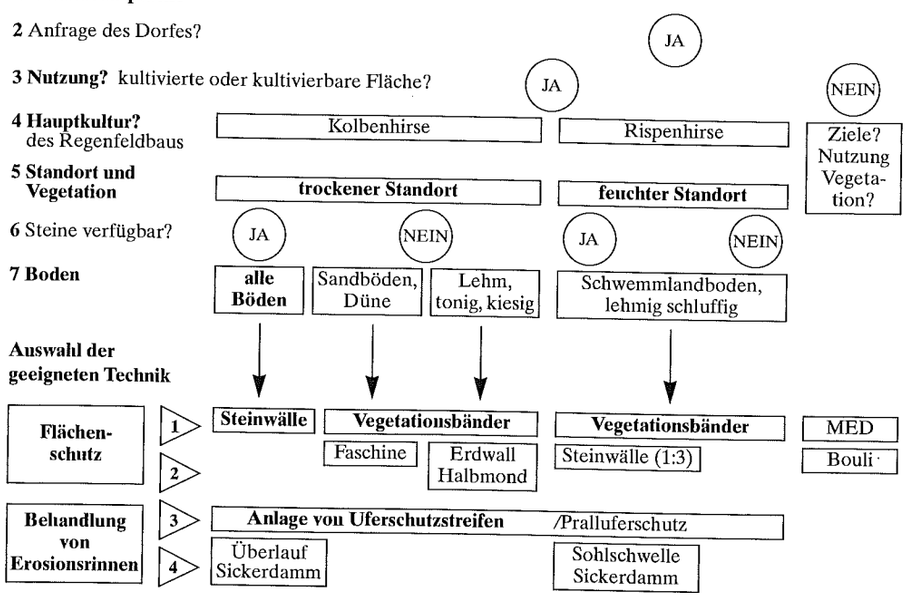
- *Hyphaene thebaica* (palmier doum) (Ful: geleehi)
- *Acacia albida* (Ful: chaiki)

Die Beurteilung der bestehenden Vegetationsdecke läßt eine Aussage über di
liche Erosionsgefährdung zu. Das Fehlen der Vegetation verdeutlicht den Ba
Mitwirkung bei der Entstehung von Erosionsproblemen.

Für biologische Maßnahmen ist es vorteilhaft, mit den Bauern verdr
Gräser und Gehölze zu ermitteln, die wiederangesiedelt werden k

6) Weitere heimische Gehölze sind: *Acacia nilotica* (Gaudi), *Acacia se*
bi), *Bauhenia rufescens* (namaadi), *Ziziphus mauretanius* (Djabi)

Entscheidungsraster



Zur Charakterisierung des Standortes ist der Boden zu bestimmen und die Vegetation zu beurteilen (vgl. Annex VI.1, Dokumentation).

Bodenansprache

Der Boden wird aufgegraben, um seine Färbung im Profil zu sehen. Der Anteil bindigen Feinkorns kann festgestellt werden, indem eine Bodenprobe mit Wasser angefeuchtet, in der Hand geknetet und zu einer dünnen Rolle (∅ 3 mm) geformt wird. Die Rolle soll nun zum Ring geschlossen werden:

- die Rolle bricht → Sandboden,
- der Ring bricht → lehmiger Sand,
- der Ring hält → sandiger Ton, Lehm.

Tonanteile sind beim Zerreiben des feuchten Bodens zwischen den Fingern an verschiedenen Merkmalen zu erkennen:

- sie fühlen sich schmierig an,
- sie glänzen im feuchten Zustand,
- sie bleiben beim Trocknen an den Fingern haften.

Wichtig: Für trockene Standorte ist zu entscheiden, ob sich der Untergrund als Baumaterial für Erdwälle eignet (tonige und kiesige Böden).
Je geringer der Tonanteil des Bodens ist, desto geringer ist seine Erosionsstabilität und desto wichtiger ist bei Steinbauwerken der Unterbau mit Kies.

Vegetation

Eine Beurteilung der Vegetation gibt zusätzliche Aussagen über Bodenqualität, Grundwasservorkommen und Standort. Bei der Pflanzung von Bäumen ist wichtig, daß diese auch tatsächlich an diesen Standort angepaßt sind. Es dürfen nur die Arten verpflanzt werden, die auch natürlich vorkommen können. *(Frühere Vegetation am Standort?)* Die vorhandene Vegetation wird nach Arten und Dichte sowie nach dem Zustand der mehrjährigen Pflanzen beurteilt.

Die wichtigsten mehrjährigen Pflanzen der alluvialen **feuchten Standorte** (Talauen und Niederungen) sind:

- *Combretum micranthum* (Ful: gungumi)
- *Guiera senegalensis* (Ful: Yeloki)
- *Piliostigma reticulatum* (Ful: barkehi)[6)]
- *Andropogon gayanus* (Ful: dadje, soobo)

Die wichtigsten Gehölze der **trockenen Standorte** auf den alten Dünen und strukturierten Sandböden sind:

- *Balanites aegyptiaca* (Ful: tanni)
- *Bauhenia rufescens* (Ful: namaadi)
- *Combretum glutinosum*
- *Commiphora africana* (Ful: badadi)

Standortanzeiger für ständig anstehendes **Grundwasser** sind:

- *Hyphaene thebaica* (palmier doum) (Ful: geleehi)
- *Acacia albida* (Ful: chaiki)

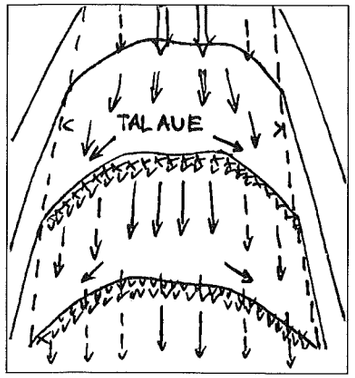
Die Beurteilung der bestehenden Vegetationsdecke läßt eine Aussage über die mögliche Erosionsgefährdung zu. Das Fehlen der Vegetation verdeutlicht den Bauern ihre Mitwirkung bei der Entstehung von Erosionsproblemen.

Für biologische Maßnahmen ist es vorteilhaft, mit den Bauern verdrängte heimische Gräser und Gehölze zu ermitteln, die wiederangesiedelt werden können.

6) Weitere heimische Gehölze sind: *Acacia nilotica* (Gaudi), *Acacia senegal* (patuki), *Acacia seyal* (buulbi), *Bauhenia rufescens* (namaadi), *Ziziphus mauretanius* (Djabi)

Standort und Wassereinzugsgebiet

Eine exakte Berechnung der Größe von Wassereinzugsgebiet und Wasserabfluß bleibt größeren Wasserbauwerken und Spezialisten vorbehalten (z. B. Staudamm; Sohlschwelle) (vgl. V.1.1).



Für die Anwendung der Techniken des Flächenschutzes ist vor allem zwischen feuchten Senken und den trockenen Standorten zu unterscheiden. Da das Geländerelief wenig ausgeprägt ist, wird der Übergang der Talaue zum Hangfuß innerhalb der Ackerflächen nicht immer deutlich. Diese Grenze wird sichtbar, wenn man die Höhenlinien im fraglichen Bereich bestimmt. Dazu sind von der Talaue ausgehend mindestens zwei Linien ausreichender Länge mit der Schlauchwaage einzumessen und deutlich zu markieren (z. B. mit Hirsestroh). Der Übergang von der Talaue zum Hangfuß wird durch das **Abknicken der Höhenlinie parallel zur Fließrichtung** des Tales angezeigt.

Da sich Erosionsschutzmaßnahmen in Steinbauweise besonders bewährt haben, ist frühzeitig zu klären, ob Steine und Kies verfügbar sind. Die Entfernung vom Standort zum Steinvorkommen ist zu ermitteln.

Wenn Maßnahmen des Grabenverbaus geplant sind, sollten die Größe des Wassereinzugsgebietes und zu erwartende Wasserabflüsse abgeschätzt werden. Für die Abschätzung ist es hilfreich, die Entfernung des Standortes von der Wasserscheide (limite de partage des eaux) zu ermitteln durch:

- Schätzen, Abschreiten (1 Schritt = 1 Meter), Abfahren (bei genügend genauem Kilometerzähler mit 0,1 km).

III Bodenerosion im Sahel

1 Die Region Sahel in Burkina Faso

1.1 Geographischer Zusammenhang[7)]

Die Region Sahel bedeckt in Burkina Faso eine Fläche von 36.869 km² und damit 13% des Landes. Bei einer 526.000 Einwohner zählenden Bevölkerung (nach der Zählung von 1985) ergibt sich eine Siedlungsdichte von 14,34 Einwohnern pro km², was der Hälfte des Landesdurchschnitts von 29,1 Einwohner pro km² entspricht.

Der bedeutendste Erwerbszweig für die Bevölkerung des Sahel ist die Weidewirtschaft. Die nationale Erhebung des Viehbestandes im Jahre 1988/89 hatte folgende Ergebnisse:

Tiere	Anzahl Stück	Besatzdichte Stück/km²	UBT[8)]/km²
Rinder	482.000	13,1	10,6
Schafe	567.000	15,4	2,8
Ziegen	1.339.000	36,3	5,2
Summe			19,2

Die Belastungsgrenze der Weide, die mit einer Besatzdichte von 2 bis 6 UBT/km² angegeben ist, wird tatsächlich weit überschritten. Die erhebliche Übernutzung hat gravierende Folgen für Ökologie und Pflanzenwachstum. Vor allem unkontrolliert weidende Ziegen sind für das Nachwachsen der Baumvegetation in weitem Umkreis der Siedlungen zerstörerisch.

Nach FAO betrug die ackerbaulich genutzte Fläche 1980 510.784 ha, entsprechend 13,9 % der Gesamtfläche der Region. Durch ein über dem Landesdurchschnitt liegendes Bevölkerungswachstum verbreitet sich die Landwirtschaft mit einer Ausweitung der Anbauflächen. Das Anwachsen der Ackerflächen konnte nur durch eine entsprechende Verringerung der Weideflächen geschehen, weil die besten Böden sowohl für

7) „Foresterie au Sahel Burkinabé", R. Rogg
8) 1 Rind = 0,81 UBT, 1 Schaf = 0,18 UBT, 1 Ziege = 0,16 UBT, 1 Dromedar = 1,18 UBZ

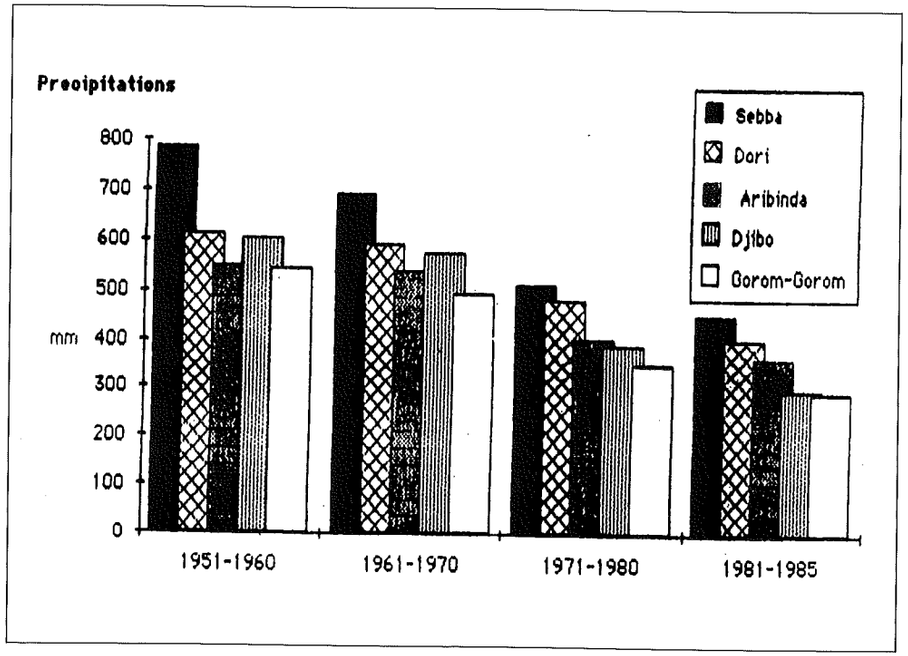
Getreide als auch für die Weide idealer Standort sind. Die Bauern ziehen zunehmend in die Talauen, um dort zu roden und anzubauen. Seit der großen Dürre in den frühen 70er Jahren hat sich die Bewegung der Bauern dorthin massiv verstärkt. Die Getreidebilanz ist trotz einer Ausdehnung der Anbaufläche in der Region fast immer negativ.

Der wichtigste die Pflanzenproduktion bestimmende Faktor ist der Niederschlag. Er zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

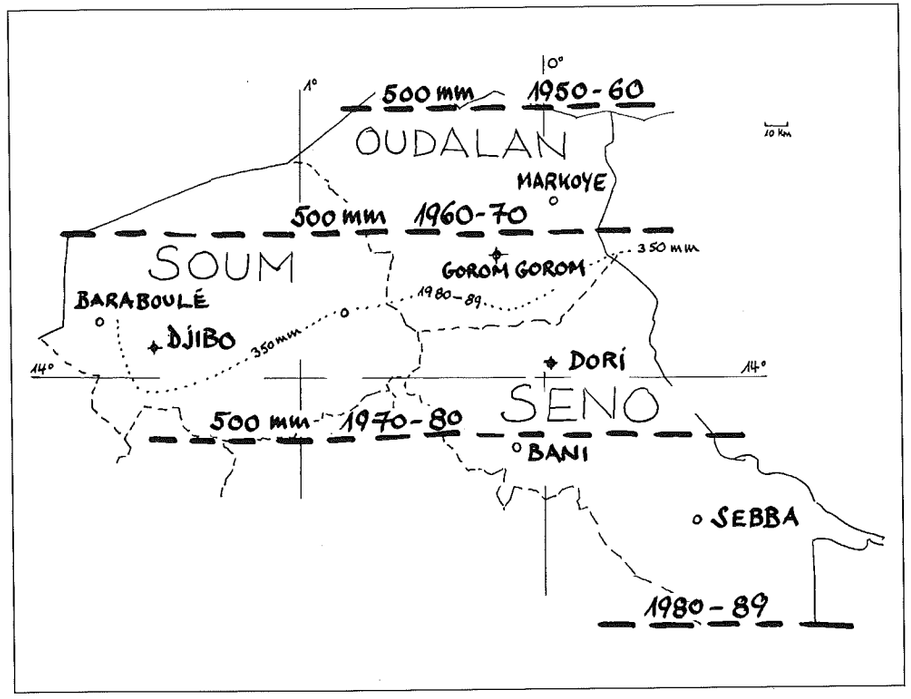
1. eine Verringerung der Jahresniederschläge im Mittel,
2. eine sehr hohe Variabilität der Jahresniederschlagsmengen,
3. eine sehr ungleichmäßige räumliche und zeitliche Verteilung der Niederschläge im Jahr,
4. eine Zunahme der Regenintensitäten.

Bei der Betrachtung ökologisch-klimatisch gleicher Zonen können für die Region Sahel drei Zonen unterschieden werden: Oudalan, Soum und nördlicher Seno sowie südlicher Seno (Sebba).

Tabelle 1: Niederschläge nach ökologisch-klimatischen Zonen



Als Indikator für die grundsätzliche Veränderung wird die Abnahme der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen seit 1940 [in mm Niederschlag/Jahr] beschrieben. Sie wird als Verschiebung der Linien gleicher Niederschlagshöhen, der Isohyeten, dargestellt. Die 500 mm-Isohyete hat sich von der Nordgrenze des Oudalan bei Tin Akoff in den 50er Jahren kontinuierlich über 150 km südwärts in den äußersten Süden der Provinz Seno (Dep. Sebba) in den 80er Jahren verlagert. Für den Naturraum und das ökologische Gleichgewicht hat diese Veränderung erhebliche Konsequenzen. Das Potential für eine landwirtschaftliche und weidewirtschaftliche Produktion und Reproduktion hat sich dadurch deutlich reduziert (s. III. Desertifikationsprozeß).



1.2 Die Bevölkerung

Verteilt auf den weiten Raum leben in der Region Sahel verschiedene ethnische Gruppen, die sich nach Kultur, Herkunft, Erwerbsform und Lebensweise stark unterscheiden. Grundsätzlich gibt es selten eine eindeutige Trennung in Bauern und Viehhalter, weil spätestens seit den Dürrejahren die große Mehrzahl der sahelischen Familien sowohl Ackerbau als auch Viehhaltung betreibt. Die Dürrejahre haben die Aktivitäten

nicht nur zum Feldbau, sondern auch zu anderen Erwerbsformen hin verschoben. Traditionelle Produktionssysteme werden zugunsten von Migration, Goldgräberei, Gartenbau, Handwerk und anderen verlassen.

KEL TAMACHEK: Die Kel Tamachek sind die vorherrschende Sprachgruppe in der Provinz Oudalan, deren Klans im ganzen Norden der Region verbreitet sind. Traditionell leben die TUAREG als Herren in wechselseitiger Abhängigkeit mit den IKLAN (Bella) zusammen, die von ihren ehemaligen Gefangenen abstammen. Beide Gruppen leben vorwiegend nomadisch mit seßhaften Teilen der Familien. Charakteristikum und Statussymbol der Tuareg ist die Kamelhaltung. Die Bella betreiben sowohl Ackerbau wie Viehzucht. Ihr wichtigstes Arbeitstier und Transportmittel ist der Esel. Sie versorgen traditionell die Tuareg mit den Produkten ihrer Landwirtschaft, sind aber heute in der großen Mehrzahl zu unabhängigen Gruppen zusammengeschlossen. Die traditionellen feudalen Strukturen wurden durch Kolonialverwaltung und Revolution untergraben. Nachdem die Dürrejahre den Großteil der Herden vernichtet hatten, schwand auch die ökonomische Stärke vieler Tuareg-Klans. Durch die Beherrschung von Landwirtschaft und Viehhaltung waren plötzlich die Bella im Vorteil gegenüber ihren früheren Herren. Das zunehmend selbständige Wirtschaften der Bella führt immer noch zu sozialen Spannungen.

FULFULDE-Sprachgruppe: Die größte Sprachgruppe in der Region stellen die Fulfulde-sprechenden nomadischen wie seßhaften FULBE (Fulani, Peulh) und FULBE-RIMAïBE mit den Zentren DORI und DJIBO. Die in direkter Linie von den Fulbe abstammenden Gruppen bezeichnen sich als „echte" Peulh. Die Rimaïbe wurden durch Gefangennahme und Versklavung fulanisiert und haben ihre Ursprünge in den alten Bauernvölkern (Songhai, Gourmantché) der Region. Die Rimaïbe haben sich im Laufe der Zeit sehr stark mit ihren ehemaligen Herren vermischt und bezeichnen sich selbst einfach als „Peulh". Bei allen Gruppen fällt auf, daß sie im Vergleich zu anderen Ethnien wenig hierarchisch und vielmehr individualistisch organisiert sind. Oft haben weder die alten Chefs noch die gewählten Volksvertreter Entscheidungsgewalt über die von ihnen repräsentierte Gruppe. Die Gaobe-Peulh sind traditionelle Viehhalter, die meisterhaft die Kunst der extensiven Weidewirtschaft (Transhumanz) beherrschen. Bei den Weidegängen legen sie zum Teil extreme Entfernungen von der Wasserstelle zur Weide zurück und waren so am ehesten in der Lage, in den Dürrejahren mit ihren Tieren zu überleben. Am stärksten mit dem Boden verhaftet sind die Rimaïbe, die an allen traditionell wichtigen Ackerbaustandorten siedeln, vor allem im Seno. Da es in der Region sehr alte, feste Siedlungen der Fulbe gibt (Dori), konnte sich schon früh eine eigene Ackerbaukultur entwickeln. Beim traditionellen Anbau der Kolbenhirse auf Altdünenböden erfolgen alle Arbeitsgänge auf dem Feld, von der Aussaat bis zur Ernte, in aufrechter Haltung. Charakteristisch ist die Hilaire (ful.: daraawo, tam.: egamchek), eine halbmondförmige Metallscheibe mit langem Metallgriff und oft verziertem hölzernen Handgriff; als Arbeitsgerät zur Bodenbearbeitung, die zum Jäten (sarclage) zwischen den jungen Hirsepflanzen hin- und hergezogen wird. Sie bewirkt

zusätzlich eine Lockerung des Bodens, die Einarbeitung von losem Mist und eine bessere Wasseraufnahme des Bodens.

Andere bedeutende ethnische Gruppen sind fast ausschließlich traditionelle Ackerbauern:

die FULSE im Department Aribinda (Soum),

die SONGHAI im nord-östlichen Seno sowie im Oudalan,

die GOURMANTCHE in den süd-östlichen Departments Seytenga und Sebba,

die DOGON im nördlichen Soum,

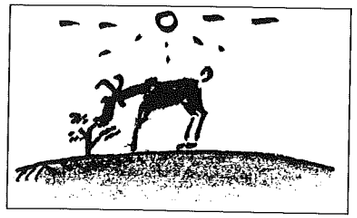
die MOSSI vorwiegend im Seno und Soum, auch in einzelnen Dörfern des Oudalan.

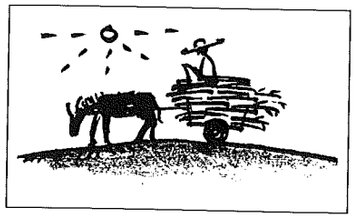
Die Mossi haben sich, aus dem Süden kommend, aufgrund des höheren Bevölkerungsdruckes verstärkt in kleinen Gruppen angesiedelt und tragen zu einem überdurchschnittlichen Anstieg der Bevölkerung bei. Sie bevorzugen die von den Peulh wenig genutzten Talauen mit ihren schweren Böden.

Die tradierte Wechselbeziehung zwischen Feld und Weide ist nicht ohne Konflikte. Auf die Probleme der Landnutzung wird bei der Beschreibung der Standorte hingewiesen.

2 Desertifikationsprozeß

Die Sahelregion befindet sich in einem fortschreitenden Prozeß der Veränderung und Zerstörung der natürlichen Umwelt und somit der Lebensbedingungen der ansässigen Bevölkerung. Der Mensch trägt zu diesem Prozeß bei, indem er in seinem Existenzkampf die natürlichen Ressourcen übernutzt. Traditionelle Landnutzungssysteme werden beibehalten, obwohl sie den heutigen Bedingungen nicht mehr angepaßt sind. Der Regenfeldbau dringt immer mehr in früher nur weidewirtschaftlich genutzte Gebiete vor und verdrängt das Vieh immer weiter nach Süden in die Ackerbauzonen. Die Leistungsfähigkeit des Ökosystems ist vor allem in Trockenjahren beschränkt; Bauern und Viehhalter, die von den natürlichen Ressourcen leben, verbrauchen mehr, als die Natur produziert und verhindern dadurch eine ausgeglichene Regeneration und Reproduktion der Natur:



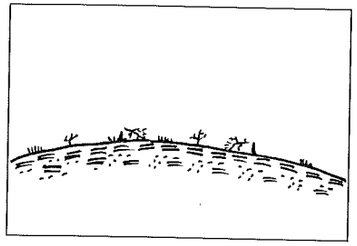


- Streunende Ziegen vernichten vor allem in der Nähe bäuerlicher Siedlungen die nachwachsende Baumvegetation durch Verbiß und unterdrücken die Regeneration (Überweidung).
- Totholznutzung als Energiequelle führt zum Abtrag organischen Materials und beschleunigt die Verödung der Bodenoberfläche.
- Die zunehmende Verknappung der Ackerbauflächen führt zur Übernutzung und Verarmung der Böden, die zusätzlich durch Wassererosion bedroht sind.

Die maßgebliche lebensspendende wie auch zerstörerische Kraft ist der Regen. Allgemein ist eine Abnahme der Regenmenge bei weniger Regentagen und längeren Trockenperioden zu beobachten (s. III.5.2). Die Folgen des Regenmangels für die Natur sind:

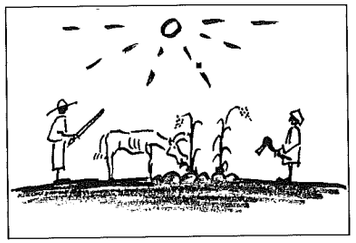
- Rückgang der Gras-, Baum- und Strauchvegetation auf den Standorten außerhalb der Täler;
- großflächiges Absterben des Tigerbusches (brousse tigrée), der Dornbuschsavannen sowie der Baobabformationen;
- Reaktivierung der jungen Dünen;

  Absinken des Grundwasserspiegels und Austrocknen der früher ganzjährigen Gewässer (mares).



Durch den Rückgang der Vegetation ist der Boden den Regenabflüssen ausgeliefert. Seine Oberfläche verschlämmt, verkrustet und wird wasserundurchlässig. Eine landwirtschaftliche Nutzung dieser Böden wird unrentabel. Das Betriebsrisiko für den Bauern steigt, wiederholte, bis zu fünfmalige Aussaat wegen Nichtkeimung oder Vertrocknen der Pflanzen ist nicht selten. Die Reaktion der Bauern ist die Aufgabe dieser relativ trockenen oder stark erosionsgeschädigten Standorte. Die Ackerbauflächen werden knapp. Die Situation wird durch Bevölkerungswachstum und sukzessives Seßhaftwerden

transhumanter Viehhalter verstärkt. Eine früher verbreitete Brachewirtschaft ist dem Daueranbau gewichen, der zur Auslaugung der Böden führt.



Ein Ausweichen der Ackerbauern auf die Talauen und Niederungen, die traditionell vor allem weidewirtschaftlich genutzt wurden, ist die Folge. Transhumante Viehhalter sind auf die Gras- und Baumvegetation sowie die Wasserstellen dieser feuchten Standorte angewiesen und konkurrieren dort zunehmend mit den Ackerbauern.

Die Eignung der Talauen für den Ackerbau ist trügerisch, da mögliche Überschwemmungen oft nicht richtig eingeschätzt werden und die Anbautechnik nicht angepaßt ist. Durch die Rodung der Talauen für den Feldbau steigt die Gefahr einer irreparablen langfristigen Zerstörung dieser Flächen durch Wassererosion (Flächen- und Tiefenerosion). Überschwemmungen und starke Verkrautung führen zwar auch dazu, daß die Ackerbauern die Standorte wieder verlassen; die natürliche Vegetation ist dann allerdings dauerhaft geschädigt, und wertvolle Pflanzen wie das Horstgras *Andropogon gayanus* werden verdrängt.

Um die negativen Folgen zu reduzieren und langfristig tragbare Lösungen zu finden, bedarf es einer **angepaßten Landnutzungsordnung,** die gemeinsam mit der Bevölkerung zu entwickeln ist. Erosionsschutzmaßnahmen sind nur bei standortgerechter Nutzung sinnvoll. Regelungen müssen vor allem für folgende Bereiche gefunden werden:

- Ökologisch intakte Talauen und Niederungen sollten als Weidegründe und für den Gemeinnutz erhalten bleiben. Die ohne das Risiko einer Zerstörung durch Wassererosion ackerbaulich nutzbaren Bereiche sind zu benennen und geeignete Kriterien für die Abschätzung von Folgen und Risiken zu bestimmen.
- Zur Bekämpfung der Winderosion ist auf den Standorten der jungen Dünen eine extensive Nutzung der besonders exponierten und gefährdeten Bereiche zu vereinbaren.

- Eine örtlich und zeitlich kontrollierte Viehhaltung (besonders für Ziegen) ist für die erfolgreiche Weiterentwicklung agro-forstlicher Maßnahmen notwendig.

Die betroffene Bevölkerung, muß ihre Mitverantwortung für den Zerstörungsprozeß erkennen und alle Möglichkeiten wahrnehmen, die von ihr genutzten Ressourcen sinnvoll zu bewirtschaften. **Der Schutz des Bodens vor irreversiblen Schäden durch Wassererosion nimmt dabei eine herausragende Stellung ein.**

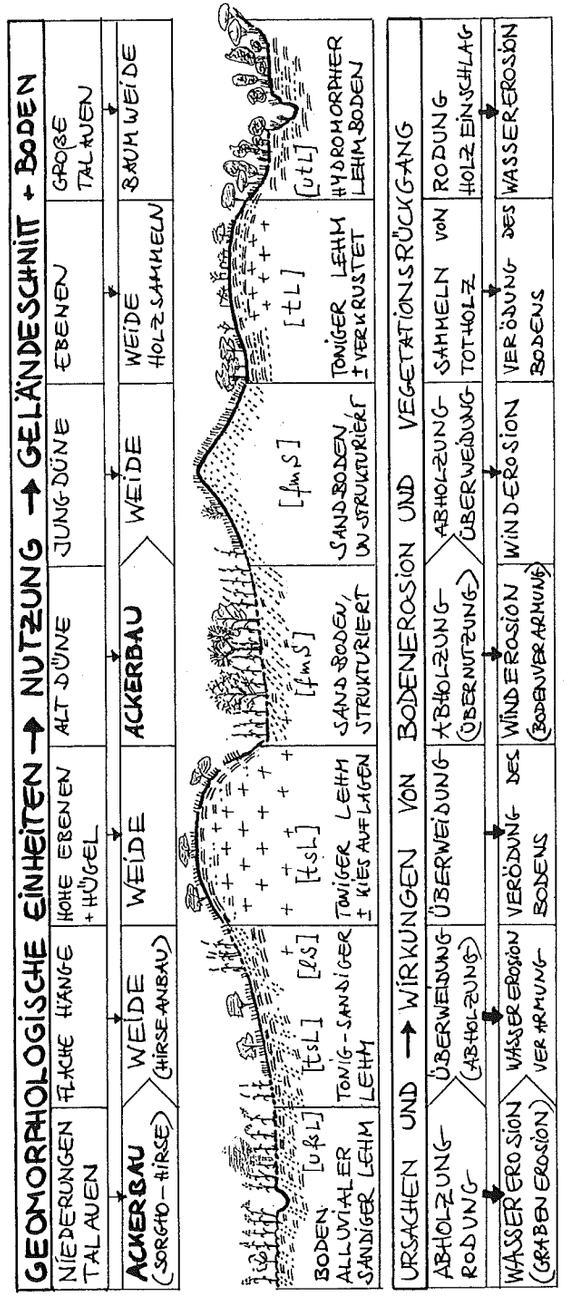
3 Geländetypen der Region

Die Geländetypen werden hier mit deren **spezifischer Problematik** dargestellt. Dazu dient eine vereinfachte Übersicht, die eine Abfolge der wichtigsten Typen der Region von Süden nach Norden darstellt.

Die folgende Darstellung geht genauer auf die relevanten Ackerbaustandorte ein, auf denen die Wassererosion die größten Schäden hervorruft und auf die sich die Aktionen des Erosionsschutzes konzentrieren:

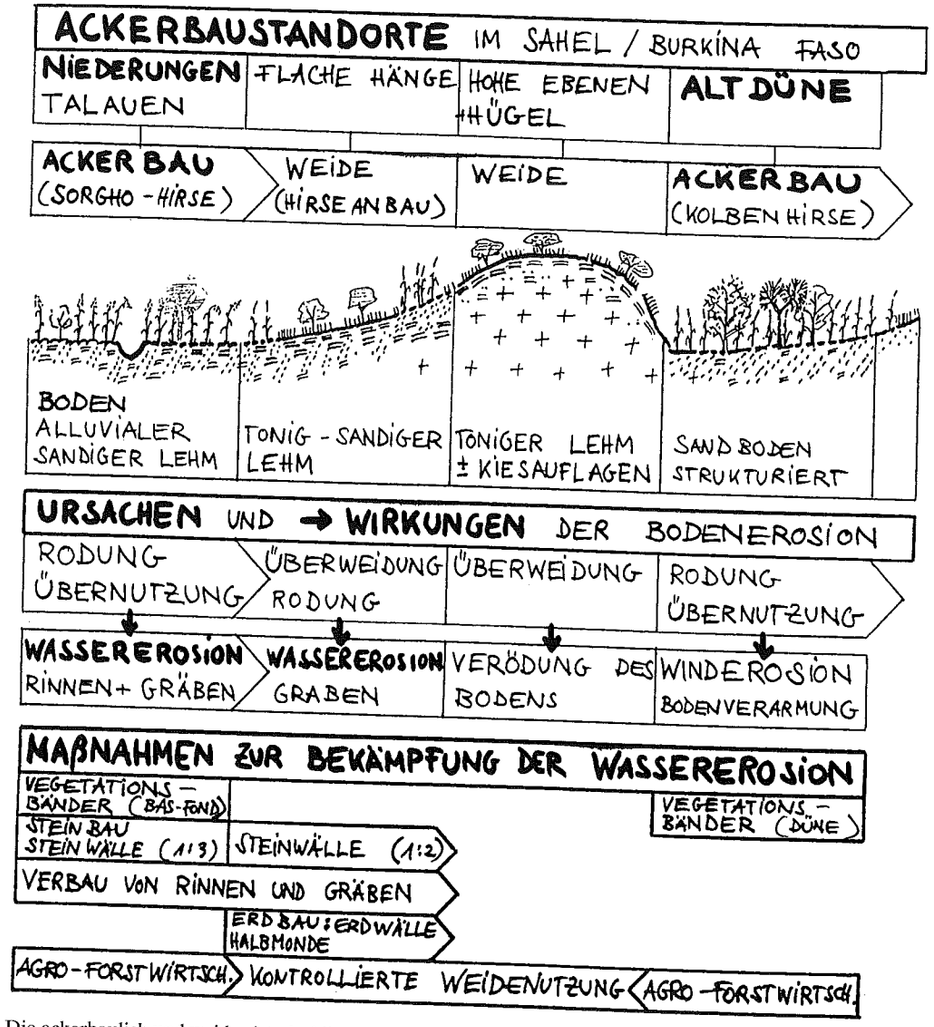
- **Niederungen und Talauen** sowie flache Hangflächen und Ebenen mit teilweise kieshaltigen Lehmböden sind im Soum und Seno südlich des 14. Breitengrades vorherrschend. Das am stärksten ausgeprägte Relief bietet die Hügellandschaft der Region Bani.
- Die **Dünengürtel** sind die für Ackerbau und Weide wichtigsten Standorte nördlich des 14. Breitengrades, die im nördlichen Oudalan vorherrschen.
- Den größten Flächenanteil nehmen die weiten, extrem degradierten **Fußflächen und Ebenen** ein. Typisch sind die weitgehend toten „brousse tigrée“ Flächen im nördlichen Soum.[9)]

9) In Anlehnung an: Rogg, 1990



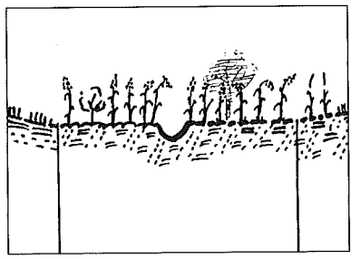
Die Geländetypen der Region, idealisierte Darstellung von Süd nach Nord

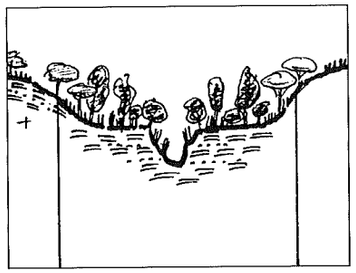
3.1 Idealisierte Darstellung der Geländetypen eines Wassereinzugsgebietes



Die ackerbaulich und weidewirtschaftlich relevanten Standorte

3.2 Feuchte Standorte (Talauen und Niederungen, Bas-fonds)





Als feuchte Standorte werden sehr flache Geländeeinschnittte und Talmulden bezeichnet, in denen es zu hohen konzentrierten Wasserabflüssen kommt. Sie führen das Oberflächenwasser mittlerer bis großer Wassereinzugsgebiete ab. Infolge starker Gewitterregen fließen sehr große Wassermengen zusammen, die durch Aufstau vorübergehende Überschwemmungen bewirken. Auf ackerbaulich genutzten Standorten wird typischerweise **Rispenhirse** (Sorgho) angebaut, da sie die temporäre **Staunässe** gut verträgt. Vor allem im südlichen Seno und Soum (südlich des 14. Breitengrades) konzentriert sich der Ackerbau auf große, breite Talauen mit sehr geringem Geländegefälle (Département Bani: 0,5–1,0%;) und oft sehr mächtigen Sedimentböden. Auch in kleineren, weiter hangwärts liegenden weniger breiten Niederungen werden Rispenhirse und zum Teil Kolbenhirse angebaut. Hier sind die Wassereinzugsgebiete kleiner, die Sedimentböden sandiger und flachgründiger.

Boden

Die alluvialen Böden dieser Standorte sind durch vom Wasser abgeladene **Sedimente** entstanden. Feinsand und Schluff bilden mit einem sehr guten Wasseraufnahmevermögen den Hauptanteil des Bodens, der allgemein als **Lehm** bezeichnet werden kann. Bei tiefgründigen Feuchtstandorten (bas-fonds) finden sich Tonanreicherungen im Untergrund, die sowohl Wasserspeicher als auch wichtigster Nährstoffspeicher sind. Der Oberboden ist für sahelische Verhältnisse relativ humusreich, aber wenig tonhaltig und damit **stark erosionsgefährdet;** er wird im feuchten Zustand sehr weich! Enggestufte Feinsand- und Schluffböden neigen in nassem Zustand zum Fließen, indem die Bodenkörner ihren Zusammenhalt verlieren.

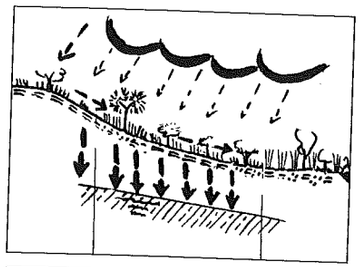
Vegetation

Die natürliche Vegetation ist dort, wo die Feuchtstandorte traditionell weidewirtschaftlich genutzt werden, sehr dicht und reich an Arten. Diese Arten erinnern an die Savannenregion und bilden eine Weide hoher Qualität. **Typische Baumarten** sind:

- *Guiera senegalensis,*
- *Piliostigma reticulatum* (Ful.: barkehi),
- *Anogeissus leiocarpus*

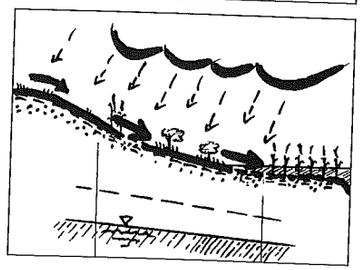
Folgende wichtige **Nutzbäume** wachsen in den Talauen mit tiefgründigen Boden und ganzjährigem Grundwasservorkommen:

- *Ficus sp.*
- *Tamarindus indica* (Ful: Djatabbe),
- *Zizyphus mauritiana* (Ful: Djabi)



Das wichtigste Dauergras ist das Horstgras ***Andropogon gayanus,*** eine wertvolle, bisher selten zu diesem Zweck genutzte Futterpflanze, die vor allem handwerklich verarbeitet wird.

Der wichtigste einjährige Standortanzeiger ist ***Cassia tora,*** eine Leguminose.



Wasserabfluß

Auf den oberflächlich verschlämmten und verkrusteten Böden (Glacis-Flächen, plaines) der großen Wassereinzugsgebiete führt die fehlende Vegetationsdecke zur Erhöhung der Zuflüsse und Beschleunigung des Abflusses. Dies führt in den Senken zu Überschwemmungen, die wenige Stunden oder einige Tage anhalten können.

Nutzung

Traditionell wurden die Talauen in der Gesamtregion fast ausschließlich weidewirtschaftlich genutzt (Baum- und Grasweide von hoher Qualität, Viehtränke). Die Viehhalter nutzten Talauen und Senken als trockenzeitliche Weide in schonender Art und Weise, sodaß die Vegetationsdecke Schutz vor Erosionsschäden bot.

Vor allem im südlichen Seno und im Soum sind viele Talauen bereits jahrzehntealte Kulturstandorte (60–100 Jahre nach Auskunft ansässiger Bauern) auf denen vorwiegend Rispenhirse (Sorgho) und im Randbereich Kolbenhirse (petit mil) angebaut wird. Gleichzeitig wird der Bewässerungsanbau (Gartenbau) auf besonders guten Böden ausgeweitet. Es werden u. a. traditionelle Kulturen wie Kürbisse (calebasse), Maniok und Süßkartoffeln (patate douce) angebaut. Seit einigen Jahren wird die Palette durch „moderne" Gemüsesorten (Zwiebeln, Tomaten, Kohl etc.) erweitert.

Für andere Zwecke (Bau- und Brennholz, Medikamente, Matten) werden die Bäume und Gräser der Weidegründe von allen Bevölkerungsgruppen verwendet. Ackerbau wurde traditionell nicht betrieben, weil schwere Rodungsarbeiten notwendig sind und die Bauern Schäden an den Kulturen durch fließendes Wasser und Staunässe befürchteten. In den letzten Jahrzehnten haben viele Bauern ihre degradierten höhergelegenen Ackerflächen aufgegeben und zunehmend die Niederungen in Kultur genommen. Die Bauern sind darüber häufig nicht glücklich, da sie auf Feuchtstandorten Rispenhirse anbauen müssen, obwohl Kolbenhirse als Grundnahrungsmittel bevorzugt wird.

In satten Regenjahren kann der Anbau vor allem in den größeren Bas-fonds zur Falle werden, da das Hochwasser oft mehrere Tage steht. Die Kulturpflanzen ertrinken, stehen auf zu kaltem Boden oder sie werden von Unkraut überwuchert. Viele Bauern ziehen aus der Erfahrung schlimmer Ernteeinbußen die Lehre und verlassen die Bas-fonds wieder. Für die Weidewirtschaft ist jedoch auch eine temporäre ackerbauliche Nutzung mit mehrjährigen Brachen schädigend, da die wertvollsten Futterpflanzen nicht schnell nachwachsen. So hat der Ackerbau zum weiträumigen Verschwinden des Dauergrases *Andropogon gayanus* beigetragen.

Auswirkungen

Eine anhaltende Nutzung der Senken als Ackerbaustandorte führt zu den folgenden Degradierungserscheinungen:

- Das Fehlen der Brachen führt zur **Verarmung des Bodens.**
- Die durch Rodung und Ackerbau fehlende oder stark dezimierte natürliche Vegetation bedingt eine **Beschleunigung des Wassers** und erhöht somit seine erosive Kraft.
- Der Hackbau in den Bas-fonds bedroht durch nicht angepaßte Bodenbearbeitung die **Bodenkrume;** sie wird dem **Angriff des Wassers ausgesetzt.**
- Die erosive Kraft des Wassers bei starkem Regen führt zu massiven Schäden. Es kommt vor allem zur **Auswaschung** der organischen Substanz und der Tonanteile des Bodens und zum flächenhaften Bodenverlust.

- Die ursprünglich flachen Täler sind den enorm angestiegenen Abflüssen nicht gewachsen. An kleinen Hindernissen bilden sich Turbulenzen, die scheinbar plötzlich **Erosionsrinnen** von bedrohlichem Ausmaß entstehen lassen können. Diese schneiden sich immer weiter hangwärts ins Gelände ein (ravinement) und gewinnen dabei an Tiefe. Dies ist angesichts des veränderten Abflußprozesses ein natürlicher geomorphologischer Prozeß, der nur mit erheblichem Aufwand zu stoppen wäre.

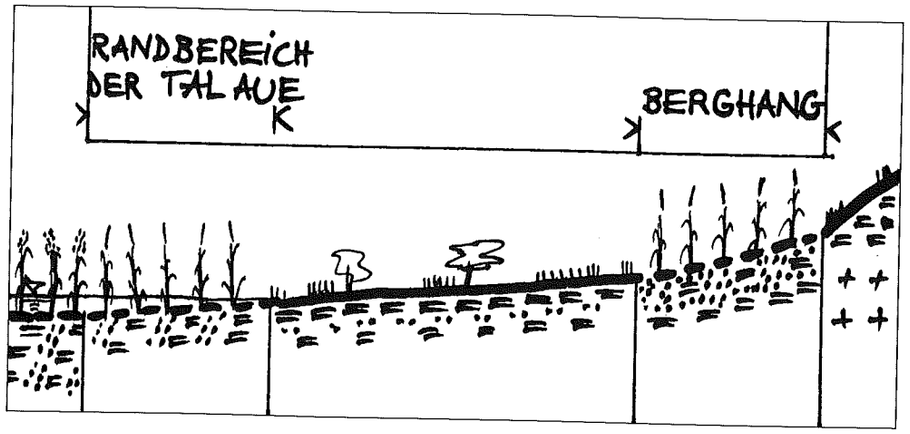
Lösungsansätze

Um die als alte Ackerstandorte identifizierten Bas-fonds so zu sichern, daß sie weiterhin nutzbar bleiben, ist eine Doppelstrategie zu verfolgen:

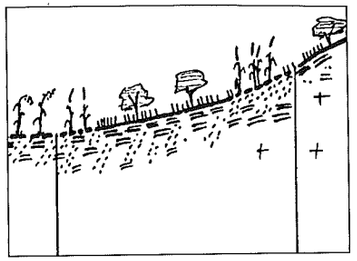
1. Geeignete Maßnahmen können den Boden **direkt** vor dem Wasserangriff schützen und damit der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit dienen oder
2. **indirekt** durch Maßnahmen im Wassereinzugsgebiet Wasserabflüsse verlangsamen und ihre Agressivität verringern.

Um langfristig traditionelle Weidezonen zu schützen oder Senken als Weideflächen zurückzugewinnen, sind Regelungen im Rahmen der Landnutzungsplanung erforderlich. Soweit hangwärts Flächen wieder kultivierbar gemacht werden können, sollten schrittweise im Tal Vegetationsstreifen quer zur Fließrichtung des Wassers eingerichtet werden (IV.4.2).

3.3 Berghanglagen (Piemonts)



Entstehung



Die Unterhänge der Berge (Lateritplateau und andere) weisen sehr fruchtbare, durch Anwehung und die Sedimentfracht der Hänge gebildete Böden auf. Die Böden sind meist oberflächlich sandig und werden bei zunehmender Tiefe lehmiger. Bei mittlerer bis guter Wasserdurchlässigkeit und gleichzeitiger Speicherfähigkeit durch den Lehm-Tonanteil hat der Boden optimale ackerbauliche Qualitäten.

Nutzung

Die Böden werden ohne Brachezeiten für den Hirseanbau (Kolbenhirse) genutzt. Die ursprüngliche natürliche Vegetation ist vielfältig, aber weitgehend von den Kulturen verdrängt.

Desertifikationsprobleme

Durch den Rückgang der Vegetation auf den Oberhängen, Bergkuppen und Lateritplateaus einerseits und die ständige Bodenbearbeitung andererseits haben sich Flächen- und Grabenerosion auf den Unterhängen verstärkt. Bei relativ starkem Geländegefälle (1–3%) wird die Eintiefung der Gräben nur durch den skelettreichen Unterboden verlangsamt. Ihren Endpunkt haben die Gräben bei der Einmündung in die flachen Talmulden, dort laufen sie in Schwemmfächern aus.

Dadurch entstehen folgende Schäden für die Landwirtschaft:

- Verlust der fruchtbaren Bodenkrume,
- Abtrag organischen Materials von der Bodenoberfläche,
- Abnahme der Bodenwasserversorgung durch den beschleunigten Wasserabfluß und
- zusätzliche Austrocknung des Bodens durch die dränende Wirkung der Erosionsgräben.

Diese Veränderungen haben vielerorts zur Aufgabe des Anbaus geführt. **Die regional größte Aufgabe des Erosionsschutzes ist die Wiederherstellung und Rekultivierung der Ackerflächen in den unteren Hangflächen!**

Lösungsansätze

Mit höhenliniengleichen Steinwällen (IV.3.2) in Verbindung mit dem Grabenverbau durch Überlaufbauwerke (IV.3.6) können die Standorte für den Anbau erhalten oder zurückgewonnen werden.

Die Steinwälle können die flächenhafte Bodenerosion verhindern:

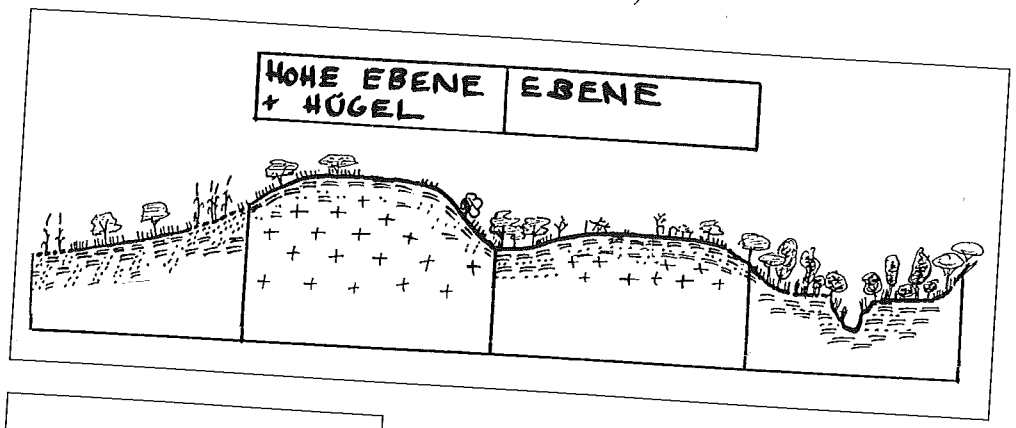
- Sie halten Wasser zurück, verbessern die Versickerung und bewirken eine allmähliche Terrassierung.
- Die Gefahr einer Verbrennung der Feldfrüchte ist reduziert.
- Das Wasser der Gräben kann zum Teil auf den Flächen versickern.

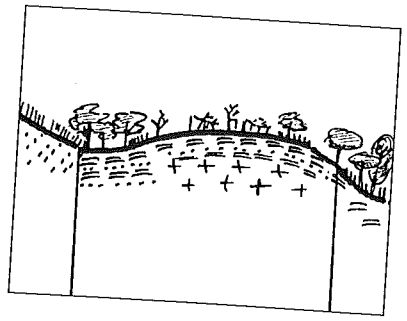
Durch den zusätzlichen Grabenverbau wird

- ein Fortschreiten der Erosionsköpfe (III.4.5)verhindert und
- der Dräneffekt der Gräben reduziert oder aufgehoben.

Im Schutz der Anlage ist eine allmähliche Bodenverbesserung durch Misteintrag und agroforstliche Maßnahmen möglich.

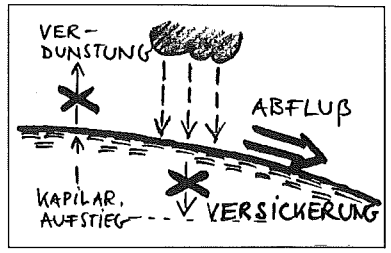
3.4 Fußflächen und Ebenen (Plaines-glacis)





Den größten Flächenanteil nehmen in Sahel die nahezu planen oder schwach geneigten Ebenen ein, die von geringmächtigen Ton- und Sandböden bedeckt sind.

Boden



Charakteristisch ist die oberflächliche Verkrustung der Tonschicht und ein geringes Porenvolumen, wodurch die Wasserfiltration sehr gering ist.

Nutzung

Eine ackerbauliche Nutzung findet nur in Senken statt. Der weidewirtschaftliche Wert liegt primär in der Blattmasse der Baumvegetation.

Vegetation

Die natürliche Baumvegetation besteht hauptsächlich aus Akazienarten, *Balanites aegyptiaca* und *Adansonia digitata* (Baobab). Eine Grasvegetation entwickelt sich nur auf sandigen Abschnitten, in Senken und entlang von temporären Gewässern mit gelegentlichem kurzzeitigem Abfluß.

Der „brousse tigrée" ist eine Vegetationsform, bei der die lichte Baum- und Strauchvegetation wenige Meter breite alternierende Bänder bildet, die durch vegetationsfreie Streifen getrennt sind. Der Entstehung des „brousse tigree" ging die Anwehung äolischer Sedimente auf den unwirtlichen Ebenen voraus, die, durch einjährige Gräser stabilisiert, die wechselnden Bänder quer zur Windrichtung entstehen ließen. Durch die Sandauflage wurde der Abfluß des Regenwassers zunehmend vermindert. Erst diese Verbesserung von Wasserspeicherung und Kleinklima ermöglichte die Ansiedlung der typischen Baum- und Strauchvegetation: *Commiphora africana, Boscia senegalensis, Combretum micranthum.*

Desertifikationsprobleme

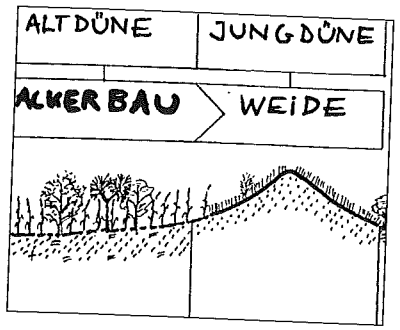
Der Rückgang der jährlichen Niederschlagsmenge Anfang der 70er Jahre hat den Bodenwasserhaushalt stark verändert und zu einem Absenken des Grundwasserspiegels geführt. Die Bodenfeuchte reicht den autochthonen Baumarten nicht mehr zum Überleben, und die Bestände

sterben großflächig ab (z. B. brousse tigrée). Trotz der geringeren mittleren Jahresniederschläge erhöht sich der Oberflächenabfluß aufgrund der fehlenden Vegetationsdecke sowie der fortschreitenden Verschlämmung und Verkrustung des Bodens. Durch unsachgemäße Baumweide (Scheiteln) und den Abtransport des Totholzes in die urbanen Zentren beschleunigt der Mensch diesen Prozeß, und es kommt zu irreversiblen Schäden.

Maßnahmen zur Desertifikationsbekämpfung

Nur dort, wo Kulturflächen durch die gestiegenden Abflüsse der Ebenen bedroht sind, kann der enorme Aufwand zur Dämpfung des Wasserabflusses sinnvoll sein. In diesem Zusammenhang ist eine Revitalisierung der noch vorhandenen Vegetation und der Schutz natürlicher Verjüngung sinnvoll (Erdwälle, Halbmonde, etc.).

3.5 Dünen



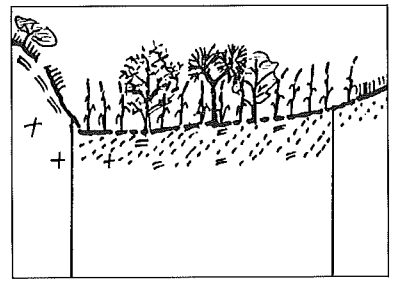
Entstehung und Verbreitung

Zwischen Dori im Süden und der nördlichen Landesgrenze Burkina Fasos durchziehen bis zu elf in Ost-West-Richtung verlaufende Dünengürtel den Seno, Oudalan und zum Teil den nördlichen Soum. Der südlichste Dünengürtel durchzieht die ganze Region von Gorgadji im Westen bis Tera im Niger. Die weiter nach Norden folgenden Dünengürtel bedecken etwa ein Viertel der Fläche des Oudalan (Krings, Lit. 12). Die alten Dünen (alter Erg, ancienne dune) sind vor etwa 40.000 Jahren entstanden. Sie sind erkennbar als weite Ebenen ohne ausgeprägtes Relief mit grauen Sandböden von bis zu vier Metern Mächtigkeit. Die Altdüne ist der dominierende Ackerbaustandort des nördlichen Seno und des Oudalan.

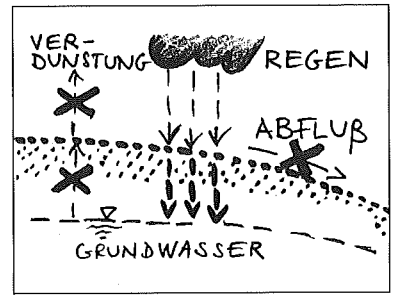
Die jungen Dünen haben sich vor etwa 10.000–20.000 Jahren gebildet. Sie heben sich mit ihren Kämmen, denen die relativ wenig entwickelten Sandböden in der Trockenzeit eine rötliche Farbe verleihen, deutlich von der flachen Landschaft ab. Sie sind typische Grasstandorte und Weiden, die sehr sensibel auf eine Übernutzung reagieren. Überweidung und Ackerbau führen zur Winderosion und der Verlagerung der feinen Sande (siehe Dünen von Djomga-Dori, Saouga-Menegou, Oursi).

3.6 Alte Düne

Bodeu



Die Böden haben eine relativ gleichmäßige Mächtigkeit und konnten seit ihrer Entstehung eine differenzierte Bodenstruktur herausbilden. In der Regel sind sie kaum ausgewaschen und haben deshalb im Oberboden einen relativ höheren Anteil an organischem Substrat und an Bodenmineralen.



Die für den Ackerbau herausragende Eigenschaft ist die sehr hohe Wasserdurchlässigkeit mit gleichzeitiger guter Wasserspeicherfähigkeit, die eine optimale Nutzung der unregelmäßigen Regenfälle sichert. Die sandigen Böden können auch bei starkem Regen das Wasser fast vollständig aufnehmen, und es verdunstet nur sehr wenig des gespeicherten Wassers. Der kapillare Wasseraufstieg ist gering und wird zusätzlich durch die Bodenbearbeitung mit der Hilaire verhindert.

Nutzung

Die Altdünen in der Provinz Seno (fulfulde: Seno = Düne) und im südlichen Oudalan werden ausschließlich für den Hirseanbau genutzt. Ein Niederschlag von mindestens 300 mm ist ausreichend für die Produktion, wird aber im Oudalan nicht immer erreicht.

Hirse wird als Monokultur ohne Brachen und nur in geringem Maße mit lokalen Bohnen (niebe) kombiniert angebaut.

Vegetation

Von der ursprünglichen Baumvegetation *(Balanites aegyptiaca, Commiphora africana, Guiera senegalensis, Acacia albida)* der Altdünen ist die *Acacia albida* (fulfulde: Chaiki) noch weitgehend erhalten geblieben. Sie ist eine Baumleguminose, die erst nach der Regenzeit grün wird und sich ideal agroforstwirtschaftlich nutzen läßt. Örtlich (Dori, Djigo, Oursi) sind Parks mit mächtigen alten Bäumen zu finden, die sich aber wegen Ackerbau und Viehverbiß kaum verjüngen können. Charakteristisch auf grundwassernahen Standorten ist die Doum-Palme *(Hyphaene thebaica)*. Das natürlich vorkommende Horstgras *Andropogon gayanus* ist auch hier fast vollständig verschwunden.

Desertifikationsprobleme

Durch die weitgehende Verdrängung von Gräsern und Gehölzen ist der Boden stark von Winderosion bedroht. Ein wachsender Flächenbedarf hat zur Verknappung des Bodens und schließlich zu einem Daueranbau von Hirsemonokulturen geführt. Die Folge ist ein zunehmender Nährstoffmangel der Böden (Verarmung). Die Kulturen stehen unter „Streß", sie werden anfällig für Krankheiten und Schädlingsbefall. Die Erträge gehen zurück. Aufgrund der Ausschöpfung der Flächen für den Ackerbau kann dem wachsenden Getreidebedarf nur mit einer Erhöhung der Flächenproduktivität begegnet werden.

Wassererosion tritt dort auf, wo stärkere Abflüsse aufgrund einer Verschlämmung des Bodens entstehen. Als Folgeproblem wird generell der Verlust an aufgebrachtem Mist und organischem Material gesehen, das vom abfließenden Wasser weggeschwemmt wird. Gleichzeitig trägt die Wassererosion durch Auswaschung zur weiteren Verarmung des Oberbodens bei.

Lösungsansätze

Windschutzhecken und eine Erhöhung der Baumdichte können sowohl die **Winderosion** als auch die Austrocknung des Bodens verringern. Hecken exisitieren aber bislang nur an Feldgrenzen oder zur Abgrenzung der Ackerbau- von der Weidezone (passage d'animaux). Es wird fast ausschließlich mit der verbißresistenten Wolfsmilchpflanze *Euphorbia balsamifera* gearbeitet. Sie wird durch Stecklinge vermehrt. Gegen Hecken innerhalb des Feldes bestehen bei den Bauern massive Vorbehalte. Diese Vorbehalte sollten analysiert und dann auch überwunden werden. Grundsätzlich gilt jede Pflanze im Acker zunächst als Konkurrent zur Kultur.

Die Brachen wurden aufgrund des Flächendrucks aufgegeben, eine gezielte Kompostierung ist nicht verbreitet, d. h., es läßt sich die für den Regenfeldbau benötigte Düngermenge auf diese Weise nicht gewinnen. Geeignet erscheint hier die graduelle Verbesserung der Mistqualität durch das Lagern in Kleinmieten auf dem Feld und

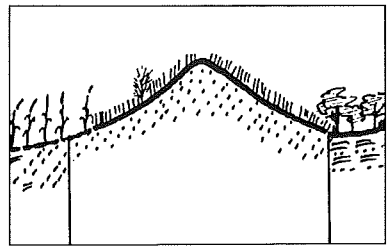
das Ausbringen des Mistes beim ersten Jäten (sarclage). Durch eine Teilrotte verbessert sich die Struktur und die jungen Pflanzen werden vor „Verbrennungen" durch frischen Mist geschützt. Ebenso ist der mobile Nachtpferch auf dem Feld eine effiziente Methode der Flächendüngung. Für eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit ist langfristig die gezielte Anwendung agro-biologischer Maßnahmen erforderlich. Eine weitere agroforstliche Maßnahme stützt sich auf *Acacia albida*. Die „künstliche" Ansiedlung der Bäume durch Pflanzung hat sich nicht bewährt. Vielmehr müssen die zahlreichen vorhandenen jungen Bäume gegen Vieh und vor der Hacke der Ackerbauern geschützt werden.

Der Mischfruchtanbau mit Leguminosen kann zur Bodenverbesserung beitragen. Leguminosen können Nährstoffe binden und somit eine wichtige Funktion bei humus- und tonarmen Böden übernehmen. Ein verstärkter Anbau der Niebebohnen im Schutze der Hirse ist hier angepaßt (z. B. Varietät „locale Gorom-Gorom").

Wassererosion

Zur Bekämpfung der Wassererosion ist ein möglichst gleichmäßiger wirksamer Schutz der Flächen nötig. Dies ist bei den großen Anbauflächen am ehesten durch die Anlage von Vegetationsbändern möglich, die einen Schutz vor Auswaschung und den Rückhalt des organischen Materials bewirken können. Eine gleichzeitige gezielte Bestockung mit erwünschten Gehölzen kann zudem Winderosion reduzieren.

3.7 Junge Düne



Boden

Die Böden sind wenig strukturiert und bestehen im Oberboden bis zu 80 % aus Fein- und Mittelsand. Sie enthalten nur einen geringen Schluff-

anteil, kaum organische Anteile und keinen Ton. Nährstoffe sind kaum verfügbar und speicherbar.

Nutzung

Die jungen Dünen gelten als traditionelle Regenzeitweide. Der extensive Ackerbau ist in den letzten 30 Jahren von den benachbarten Altdünenbändern in die Jungdünen ausgedehnt worden, obwohl diese für den Anbau ungeeignet sind.

Vegetation

Den natürlichen Bewuchs kennzeichnen vor allem einjährige Gräser (*Aristida sp., Cencrus bifloris, Schönfeldia glacilis,* Cram cram). Die Pionierpflanze auf destabilisierten Standorten und extrem nährstoffarmem Flugsand ist der Strauch *Leptadenia pyrotechnica.*

Wasser

Die wenig dichten, durchlässigen Böden ermöglichen eine fast 100 %ige Versickerung des Niederschlagswassers.

Desertifikationsprobleme

Überweidung und Ackerbau führen, besonders auf den Dünenkämmen, zur Reaktivierung der Winderosion, zum Abtrag und Anflug der Feinsande. Gleichzeitig werden damit die Feinanteile des Bodens durch den Wind ausgeblasen und nicht wieder angelagert.

Lösungsansätze

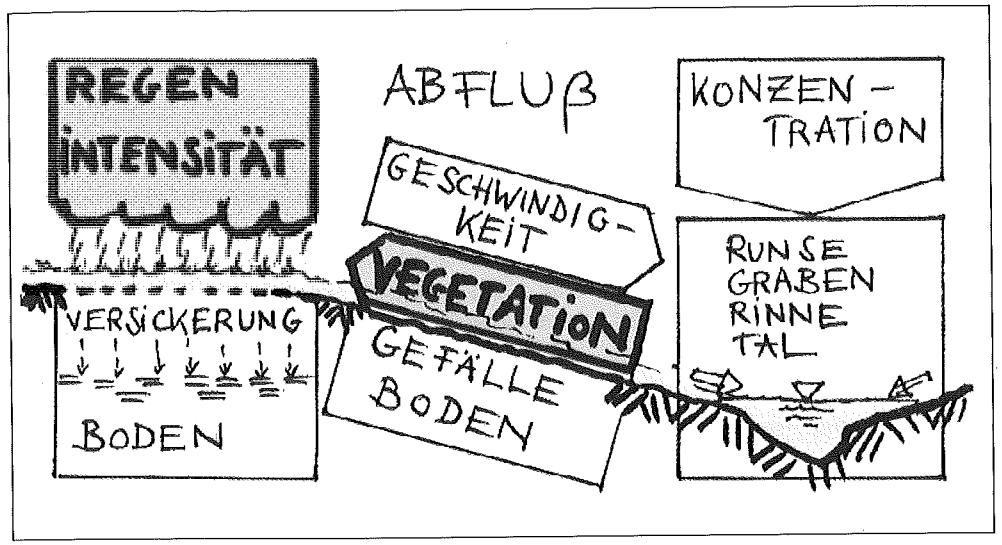
Die Fixierung aktiver junger Dünen ist nur mit enormem Material- und Arbeitsaufwand möglich und deshalb nicht realisierbar. Der weiteren Aktivierung – vor allem der Kämme – kann nur durch eine kontrollierte weidewirtschaftliche Nutzung der bedrohten Dünenbereiche begegnet werden. Dort, wo kleinräumig in Senken und Niederungen Ackerbau möglich ist, bieten sich Vegetationsbänder zur Stabilisierung und zum Flächenschutz an.

4 Wassererosion

Erosionsprobleme können mit technischen Mitteln nur dann gelöst werden, wenn die Faktoren, die zur Erosion führen, analysiert und gezielt bekämpft werden.

„Les graves dégats d'érosion constatés localement en Afrique proviennent avant tout de l'agressivité des pluies tropicales." „L'action protectrice du couvert vegetal domine largement tout les autres facteurs." (Roose, Eric; Orstom 77)

4.1 Faktoren der Wassererosion

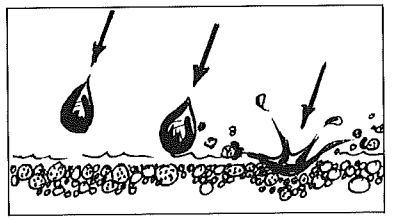


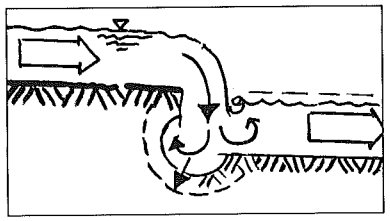
Erosionsprozeß

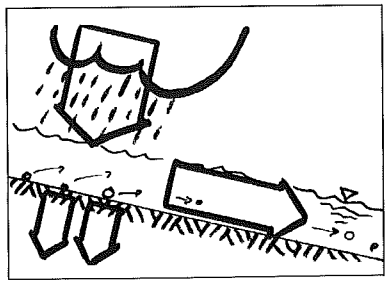
Erosion findet in drei Phasen statt:
LÖSEN > TRANSPORT > ABLAGERUNG.

Das **Lösen** der Bodenteilchen aus ihrem Zusammenhalt wird bewirkt durch:

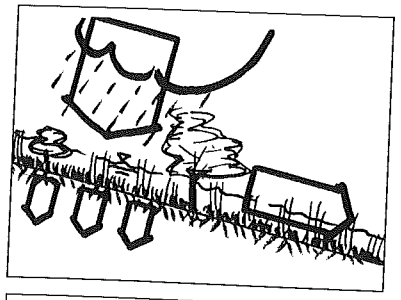
- Aufprall von Regentropfen bei großen heftigen Regenfällen (SPLASH),
- schnell fließendes Wasser, welches Bodenteilchen von der Oberfläche aufnimmt und organische Bestandteile und Ton aus dem Oberboden auswäscht,
- abstürzendes Wasser, das über eine Stufe oder ein künstliches Hindernis auf den Boden fällt.



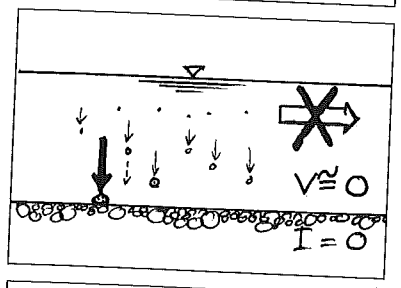




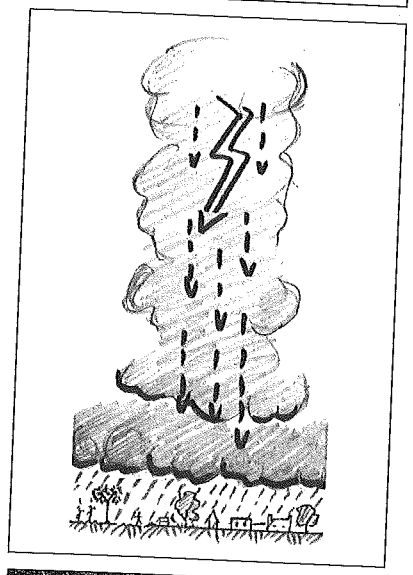
Für den **Transport** der gelösten Bodenteilchen reichen geringere Fließgeschwindigkeiten aus als zum Lösen. Die jeweils transportierte Bodenfracht ist von der Schleppkraft und damit direkt von der Fließgeschwindigkeit des Wassers abhängig. Abflußmenge und Fließgeschwindigkeit hängen von der Vegetationsdichte ab. Wo

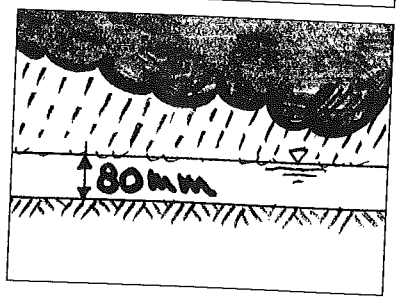


der Boden durch eine geschlossene Vegetationsdecke geschützt ist, findet keine Erosion statt. Das Lösen der Bodenteilchen wird verhindert und die Geschwindigkeit des Abflusses reduziert.



Ablagerung (sédimentation) findet überall dort statt, wo die Wassergeschwindigkeit sich verlangsamt. Ein von den Hängen ins Tal strömender Wasserlauf wird schließlich durch geringes Gefälle und die Breite des Tales gebremst. Es kommt zur Ablagerung der schwereren Bodenteile (Kies > Sand > Schluff). Tonbestandteile können sich nur dort absetzen, wo das Wasser völlig zum Stehen kommt (z. B. mare; in einem ruhenden Gefäß setzt sich in Wasser gelöster Ton erst nach 8 Stunden ab).





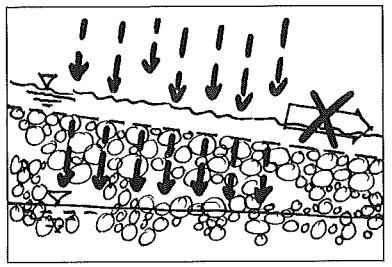
Regen

Der Regen ist der einzige Faktor, der nicht vom Menschen beeinflußbar ist. Er ist zugleich die entscheidende erosive Kraft. Der im Sahel typische Gewitterregen kommt oft aus mehreren Kilometern Höhe. Seine Energie wird durch heftige orkanartige Windböen noch erhöht. Das Maß für die Agressivität des Regens ist seine Intensität (mm/min). Je mehr Regen in kurzer Zeit fällt, umso größer ist seine erosive Kraft. Den größten Schaden richten wenige, aber dafür sehr heftige Gewitterregen an, die stärksten Regen erreichen im Sahel eine Intensität von 60 mm Niederschlag innerhalb einer Stunde. Die höchste tägliche Niederschlagsmenge, die statistisch nur einmal in 10 Jahren auftritt, beträgt 80–100 mm. Regenfälle dieser Größenordnung sind zwar selten, müssen aber für Konzeption und Beurteilung von Erosionsschutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Die Aufprallwucht des Regens bewirkt das Herauslösen der Bodenteilchen aus ihrem Gefüge und gleichzeitig eine Verdichtung und Verschlämmung der Bodenoberfläche. Die Versickerung des Wassers wird dadurch verhindert, und es fließt oberflächlich ab (vgl. V.1.1).

Boden

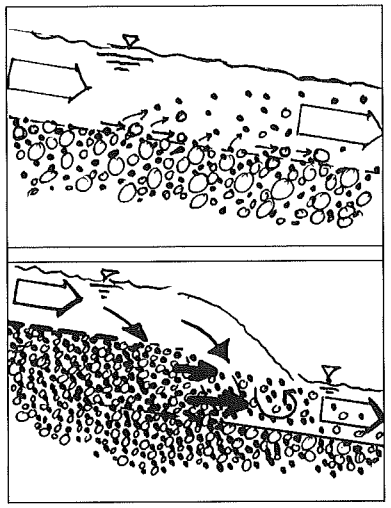
Die Böden im Sahel reagieren sehr unterschiedlich auf die Aggressivität des Regens.

Dünenboden



Sand hat ein großes Porenvolumen und eine große Wasserdurchlässigkeit. Auch starker Regen versickert rasch, und es kommt kaum zum Abfluß. Zudem besteht meist eine geschlossene Vegetationsdecke. Besonders resistent ist lehmiger und toniger Sand, weil die Tonbestandteile die Körner zusammenhalten (Kohäsion).

Schwemmlandboden



Die Böden der Abflußmulden und Täler sind durch die Ablagerung feiner Sedimente entstanden, die unterschiedlich dicke Schichten bilden. Sie bestehen vor allem aus Feinsand und Schluff (limon) und sind die am stärksten erosionsgefährdeten Böden. Die „leichtbindigen" Böden sind im nassen Zustand instabil; an Abbruchkanten von Erosionsrinnen kommt es regelrecht zum Fließen des aufgeweichten Bodens (z. B. ravine de Tjibilinde, Amisia; Département Bani). Diese Böden haben aber für den Anbau sehr günstige Eigenschaften. Lehmige und tonige Aueböden sind dagegen relativ stabil und erosionsresistent, aber wasserundurchlässig. Sind die Tonteilchen einmal im Wasser gelöst, so lagern sie sich auch hinter Erosionsschutzwällen nicht mehr als Sedimente ab.

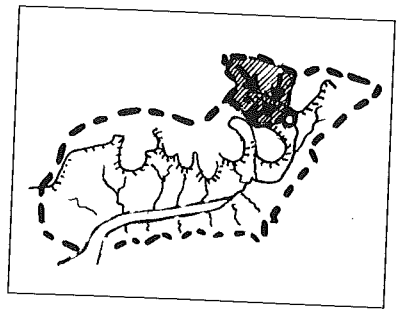
Vergleich von Wasserdurchlässigkeit und Erosionswiderstand der Böden

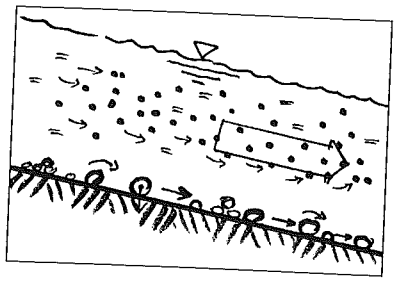
Besonders erosionsgefährdet sind Böden mit Dominanz der Korngrößen Grobschluff bis Feinsand (Korndurchmesser 0,02 mm–0,2 mm), vor allem wenn der Tonanteil gering und die Kornverteilung gleichförmig und enggestuft ist.

Boden	**Gelände**	**Durchlässigkeit** mm/h	**Erosions-widerstand**
Ton	selten (große Tal-auen, Ebenen)	<< 0,1 – –	+++
toniger Lehm	Ebenen, Banco-Erde	< 5 –	++
Schluff u. Feinsand	Talaue, alluviale Sedimente	> 30 +	– –
Feinsand	Jungdüne, äolische Sedimente	>> 250 +++	–
lehmiger Sand	Dünenfuß, Hangfuß	30–120 ++	–
Sand	Altdüne	> 250 +++	+

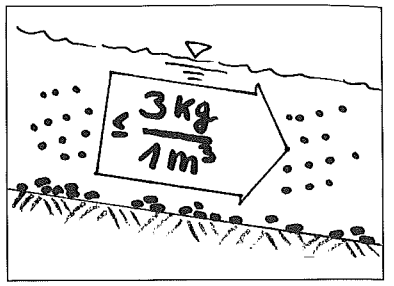
Die Tafel zeigt trotz nur halbquantitativer Bewertung die besondere Stellung des Sandbodens, der in kurzer Zeit sehr viel Wasser aufnehmen kann. Je höher der Anteil von Feinsand ist, desto empfindlicher wird der Boden jedoch gegen Wassererosion.

Wasserabfluß



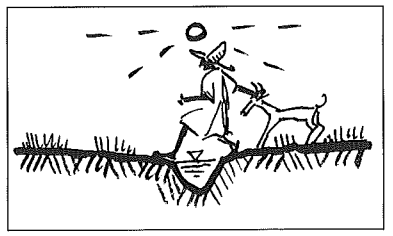


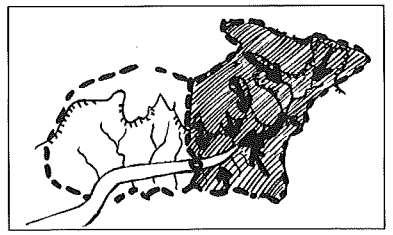
Wasserabflüsse werden im Sahel (außerhalb der wenigen größeren Fließgewässer) jeweils von einzelnen Regen hervorgerufen. Zeitlich versetzt zum Niederschlagsereignis fließt ein Teil des Wassers oberirdisch dem Geländegefälle folgend ab. Die **Abflußmenge** ist die auf ein bestimmtes Wassereinzugsgebiet bezogene Menge des abfließenden Wassers. **Wassereinzugsgebiet** ist das oberhalb eines bestimmten Ortes liegende Gebiet, welches diesem Ort das abfließende Wasser zuleitet. **Wasserscheiden,** die Grenzen des Wassereinzugsgebietes, sind immer die höchsten Erhebungen und können sowohl Hügel als auch flache Kuppen der Ebenen sein. In kleineren Einzugsgebieten fließt die größte Wassermenge pro Zeiteinheit am Ende der stärksten Regenphase und ist vor allem von der Intensität des Regens abhängig. Mathematisch wird der Wasserabfluß für einen Ort als Volumeneinheit pro Sekunde (Formel: Q [m^3/s], [l/s]) angegeben. Bezogen auf eine Fläche wird der Abfluß pro Hektar als **Abflußspende** (Formel: q [l/(s×ha)]) bezeichnet.

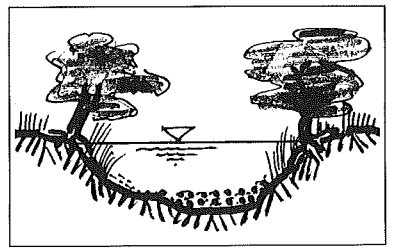


Der Wasserabfluß bewirkt das Lösen und vor allen den Transport des erodierten Bodens. Sand und Kies werden als Geschiebe am Boden mitgeschleppt, die feinen Bodenteilchen wie Ton und Schluff sowie organische Anteile schweben im Wasser. Entsprechend der Abflußgeschwindigkeit und Menge hat das Wasser ein Vermögen, Boden aufzunehmen. Dabei kann ein Kubikmeter Wasser mehrere Kilogramm Boden aufnehmen.

Konzentration des Abflusses und Bildung von Wasserläufen (cours d'eau)







Vor allem auf den weiten schwachgeneigten Ebenen fließt das Wasser flächenhaft talwärts. Die mit der Fließstrecke zunehmende Akkumulation des Wassers führt zur Bildung von Wasserläufen und Abflußrinnen. Im allgemeinen sind *alle* Rinnen, Gräben und eingeschnittenen Täler Wasserläufe. Im folgenden sollen mit dem Begriff Wasserlauf Gewässer mit einer relativ stabilen Form bezeichnet werden. Ihre Merkmale sind:

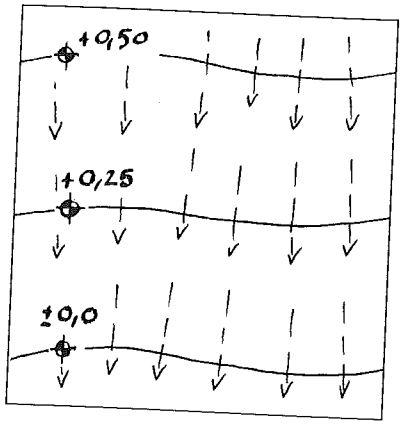
- mehr oder weniger bewachsene Ufer;
- eine stabile, sich nicht vertiefende Sohle;
- Uferabbrüche und Schäden nur in einzelnen Abschnitten.

Wasserläufe entstehen in geologischen Zeitspannen aufgrund der sehr starken Gewitterregen, bei denen immer wieder größte Wassermengen talwärts abfließen. Sie nehmen Überschußwasser (eaux excédentaires) auf und leiten es weiter. So werden Schäden auf Flächen und Feldern verhindert.

Die sich in kurzer Zeit durch stärkere Oberflächenabflüsse bildenden neuen Wasserläufe, die die zusätzlichen Wassermengen abführen, werden zunächst Erosionsgräben genannt, solange sich Form und Zustand stark verändern (s. III.4.5 Grabenerosion).

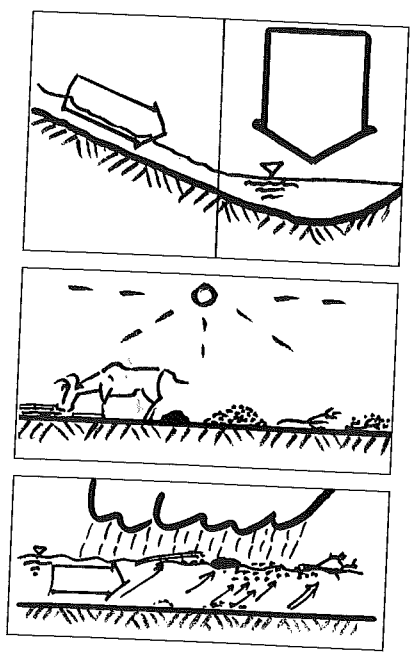
4.2 Erscheinungsformen der Wassererosion

Flächenerosion



Flächenerosion entsteht durch gleichmäßig, flächig (en nappe) fließendes Wasser und bewirkt die größten Bodenverluste. Vor allem auf vegetationslosen Flächen werden die Feinanteile des Bodens gelöst und abtransportiert, so daß in der Folge der grobe Sand oder Kies an der Oberfläche zurückbleibt. Dies läßt sich häufig auf schwach geneigten Ebenen beobachten (s. II.2.3). Zum Teil wird der Boden von der Talseite her in Schichten abgetragen. Es bilden sich feinste Stufen von nur wenigen Millimetern bis Zentimetern Höhe, die den Angriffspunkt für das Fortschreiten der Erosion darstellen. Die Bodenbearbeitung fördert sehr stark den Bodenverlust durch Flächenerosion.

Die kritische Zeit ist die der ersten Regen, wenn der Boden bearbeitet und aufgelockert ist, um ein Maximum an Regenwasser aufnehmen zu können.

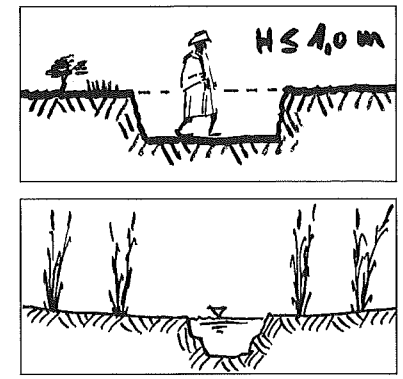


Ein Starkregen zu diesem Zeitpunkt provoziert extreme Abflüsse, die ungebremst über den ungeschützten Boden abfließen. Gefördert wird die Erosion auf den höherliegenden „trockenen" Flächen durch das Geländegefälle, auf den „feuchten" Talflächen durch die starke Konzentration des Abflusses. Für die Landwirtschaft ist der Bodenverlust durch die Erosion bedrohlich. Der für die Produktion entscheidende nährstoffreiche Oberboden wird Schicht für Schicht abgetragen. Die für die Bodenqualität wichtigsten Bestandteile sind besonders betroffen:

- Tonanteile, die die wichtigsten Wasser- und Nährstoffspeicher sind, werden ausgespült.
- Organische Bestandteile werden aufgeschwemmt oder gelöst. Auch organisches Material (Hirsestroh, Mist etc.), das zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit aufgetragen wurde, wird fortgeschwemmt.

Grabenerosion

Grabenerosion wird durch den konzentrierten Wasserabfluß in Senken und Tälern hervorgerufen, der sich in den Boden eingräbt. Die kleinsten leicht reparablen Einschnitte werden Runsen genannt (weniger als 10 cm tief und nicht lang). Größere Einschnitte sind Gräben unterschiedlicher Form und Größe. Gräben verlaufen sich häufig in breiten Talauen oder sie münden in größere Wasserläufe und Rinnen, die das Wasser weiter abführen (s. III.5.4 Unterscheidung nach Größen). Die Erosionstätigkeit einer Rinne wird als „ravinement" bezeichnet. Eine nicht mehr grabende Erosionsrinne wird schließlich zu einem neuen Wasserlauf.



Vorgang der Grabenerosion (ravinement)

Das Graben bewirkt Flächenverlust und Absenkung des Grundwassers bei gleichzeitiger Austrocknung des Bodens.

Vergrößerung des Querschnittes (agrandissement):

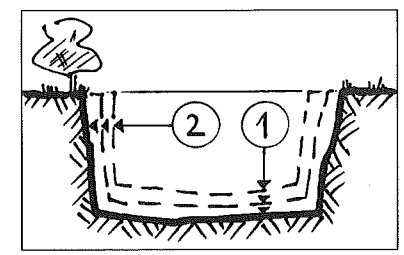
1.) Eintiefen der Sohle (approfondissement du lit)

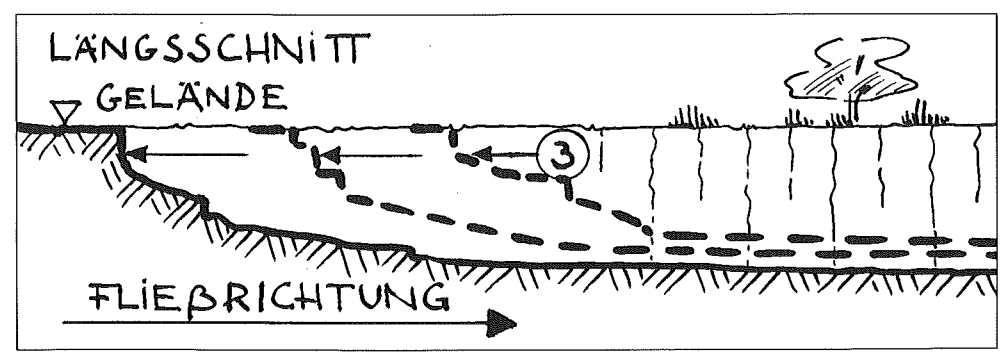
2.) Zurückweichen der Böschungen (recul des berges)

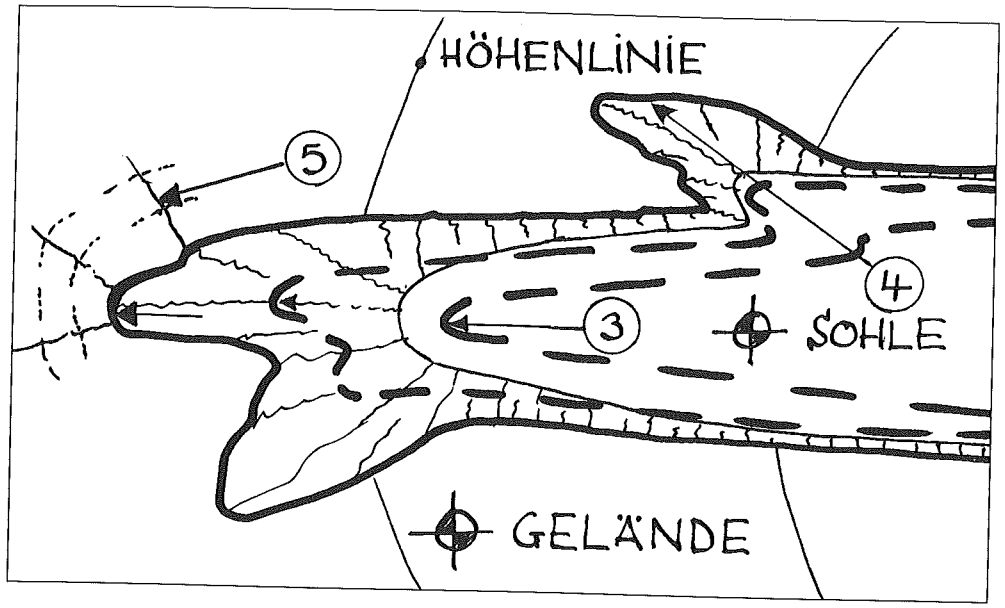
Rückschreitende Erosion (erosion remontante, erosion régressive):

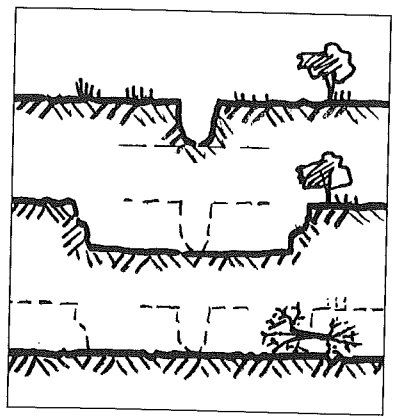
3.) Verlängerung der Rinne hangwärts

4.) Ausgangspunkt weiterer Gräben und Rinnen







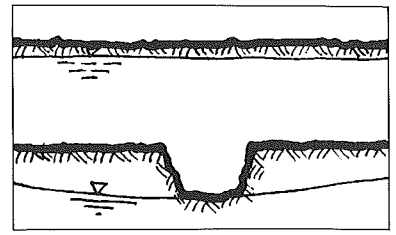


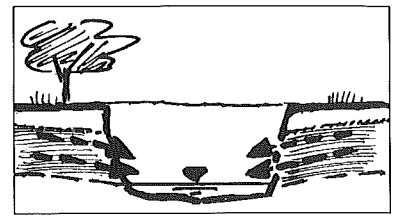
5.) Unterspülung und Aushöhlung des Bodens durch Risse und Poren (interflow)

Die fortschreitende Verbreiterung der Gräben kann mit der Zeit ganze Flächen bis auf die Sohltiefe abtragen. Bei allen Formen der Grabenerosion gibt es auch rückschreitende Erosion, die am oberen Ende eines Grabens auftritt und den Lauf desselben nach oberhalb verlängert. Auf diese Weise können sich Gräben und Rinnen mit sehr großer Geschwindigkeit in Kulturflächen und alluviale Böden der Täler und Auen (bas-fonds) eingraben. Die am weitesten oberhalb liegenden Arme und Abbruchstellen eines Grabens werden als **Kopf** desselben bezeichnet.

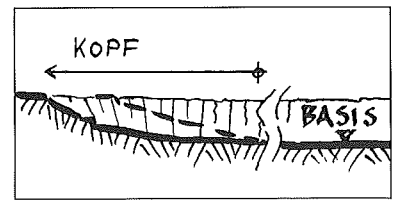
Die zu beobachtende Entstehung und Vergrößerung von Erosionsrinnen ist ein Resultat der großräumigen Verschlechterung der Umweltbedingungen. Die Rinnen sind Ausdruck erhöhter Wasserabflüsse und breiten sich vor allem dort aus, wo keine Vegetation das Wasser bremst. Für die Kulturflächen ist Grabenerosion längerfristig noch schädlicher als der allmähliche Bodenabtrag durch Flächenerosion!

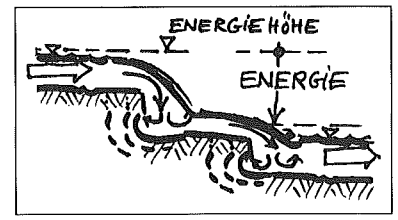
Entwässerung des Bodens (drainage): Je nach Bodenart fließt das Bodenwasser mehr oder weniger schnell zum Graben hin ab. Das im Boden versickerte Wasser wird vom Graben abgeleitet. Der Boden trocknet bis auf Höhe der Grabensohle aus. Folge ist eine geringere Nachbildung von Grundwasser und eine Absenkung des Grundwasserspiegels. Dies ist häufig in benachbarten Brunnen ablesbar.





Das **Erosionsvermögen** einer Rinne wird durch die Größe der Abflüsse, stärker aber noch durch die tiefste Sohltiefe der unterhalb liegenden Wasserläufe bestimmt. Dieser tiefste Ort, bis zu welchem eine Rinne sich eingraben kann, wird als **Erosionsbasis** bezeichnet. Von dieser Basis ausgehend wird die Sohltiefe einer Rinne auf ihrer ganzen Länge, bis hin zum Kopf, bestimmt. Die Basis ist entscheidend für die Absturzhöhe des Wassers am Kopf der Rinne. Die Höhendifferenz des Wasserabsturzes vom Gelände oberhalb des Kopfes auf die Sohle des Grabens ist ein Maß für die Energie, die dem abstürzenden Wasser innewohnt. (Es ist dieselbe Energie, die an großen Staudämmen genutzt wird, um durch das abstürzende Wasser Strom zu erzeugen; z. B. Kompienga). Diese Energie wird am Kopf des Grabens oder der Rinne in Grabarbeit umgesetzt. Besonders schnell schreitet die Erosion fort, wenn sich eine Erosionsrinne in den instabilen Schwemmlandboden der Niederungen (bas-fonds) eingräbt. In Talauen bei Tjibilinde/Seno wurde ein Fortschreiten großer Erosionsrinnen um 400 m innerhalb von drei Jahren (1988–91) festgestellt. Am Kopf hatte die Rinne bereits eine Höhe von etwa 1 m, der Boden brach in großen Blöcken ab und wurde vom Wasser fortgespült.



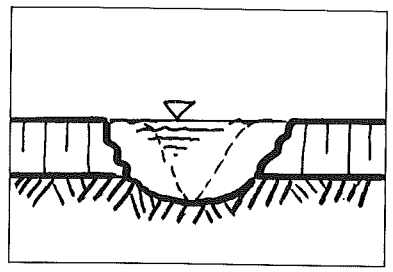


Eine weitere Erosionsform ist die **Flußerosion** durch das fließende Wasser eines Wasserlaufes (cours d'eau, ravine). Hierzu zählt das Unterspülen der Prallufer (berge sapée) und das allmähliche Eintiefen der Sohle. Als Prallufer wird das Ufer im Außenbogen einer Krümmung bezeichnet. Die Strömung führt hier direkt am

Ufer entlang und kann durch Unterspülung Uferabbrüche provozieren (s. III.5.8 Pralluferschutz).

Erosion durch künstlichen Aufstau

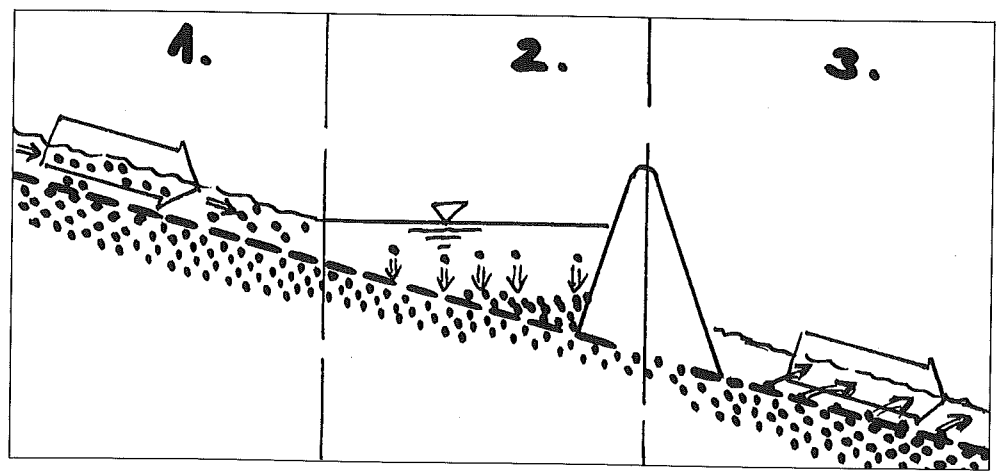
Erosion kann auch durch Bauwerke provoziert werden. Die Gefahr der Entstehung von Runsen und Gräben, durch konzentrierten Abfluß des aufgestauten Wassers beim Bruch eines Dammes, ist offensichtlich. Ein besonderes Problem besteht jedoch in zunächst unsichtbarer **Erosion in Folge jeder funktionierenden Stauanlage!** Bei stärkeren Abflüssen kann die Wirkungsweise eines Aufstaus in drei Schritten beschrieben werden:



1.) Das abfließende Wasser führt oberhalb des Staus eine seiner Schleppkraft entsprechenden Bodenfracht mit. Die Schleppkraft ist direkt von der Fließgeschwindigkeit abhängig.

2.) Wärend das Wasser im Aufstaubereich praktisch zum Stillstand kommt, verliert es die Schleppkraft, und die Sedimente setzen sich ab.

3.) Unterhalb des Staus stellt sich der anfängliche Abfluss wieder ein. Aufgrund des künstlichen Fließgefälles hat das abfließende Wasser eine höhere Geschwindigkeit und Schleppkraft bei



gleichzeitig geringer Sedimentfracht. Es kommt daher im Abstrom eines Staus immer zu stärkerer Sedimentaufnahme und damit zu latenter schleichender Erosion (s. IV.5.3).

Die Gefährdung der unter dem Erosionsschutzbauwerken liegenden Flächen steigt mit der Zunahme der Stauhöhe.

Winderosion

Die Winderosion hat gerade unter sahelischen Bedingungen eine erhebliche Bedeutung. Die Dünengürtel sind durch Anwehung von Sanden entstanden. Im Bereich der Jungdünen (III.3.6) gerät der Boden sehr schnell in Bewegung, sobald die schützende Vegetation fehlt. Maßnahmen, die vorrangig der Bekämpfung von Ursachen und Auswirkungen der Winderosion dienen, werden hier nicht beschrieben. Zum Schutz der Ackerflächen vor Bodensabtrag durch Wind ist, wie auch bei Wassererosion, eine möglichst dichte Vegetationsdecke am wirksamsten. Von den Maßnahmen des Flächenschutzes übernehmen deshalb besonders die biologischen Maßnahmen eine Schutzfunktion. (Als Einführung in die Problematik wird Rochette, Lit 22, empfohlen).

IV Techniken des Erosionsschutzes

1 Allgemeines

Die Techniken, die hier vorgestellt werden, haben sich in der Region praktisch bewährt. Sie werden von Bauern angewandt, um auf den Feldern Erosionsschäden zu verhindern oder zu beheben und um die Produktivität der Flächen zu erhalten und zu steigern. Diese Techniken können nur indirekt zu einer Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit beitragen, und es bedarf weiterer Anstrengungen , um die Produktionsbedingungen zu optimieren. Ein wichtiger Beitrag hierzu ist die konsequente Begrünung von Erosionsbauwerken. An die Techniken des Erosionsschutzes werden folgende Anforderungen gestellt (vergleiche Kapitel 4).

1.1 Anforderungen

Direkter Nutzen

Die Bauern fordern von den Maßnahmen möglichst kurzfristig einen sichtbaren Erfolg, der den geleisteten Arbeitseinsatz rechtfertigt. Ist eine Technik erst langfristig nützlich, dann zahlt sich der Aufwand zunächst nicht aus, und der Nachweis ihrer Wirksamkeit ist schwierig

Beispiel: Vegetationsbänder stellen zunächst einen Flächenverlust dar. Während sie über mehrere Jahre geschützt und gepflegt werden müssen, entsteht ein meßbarer Ernteverlust, bevor sie ihre Funktion erfüllen. Auch dann ist ihre Wirkung kaum meßbar. Solange eine technische Beratung Wirksamkeit und Nutzen nicht nachweisen kann, stößt die Anlage auf wenig Interesse.

Dagegen hat der Bauer bei der Anlage eines Steinwalls im Feld einen sichtbaren und direkten Nutzen durch den Wasseraufstau. Der Flächenverlust, der durch die von dem Wall selbst eingenommene Fläche entsteht, kann langfristig durch andere Nutzungen (Windschutz, Nutzbäume, Heuschnitt etc.) ausgeglichen werden.

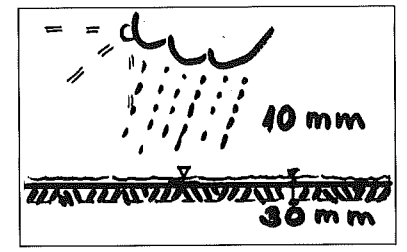
Schutz der kultivierten Flächen

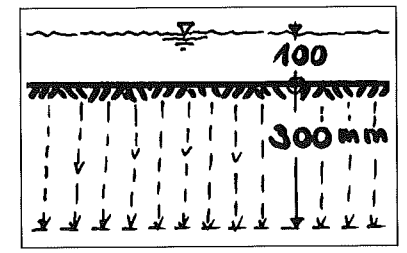
Auch bei einer Verringerung des Abflusses durch Maßnahmen oberhalb der Kulturflächen ist mit fast unverminderten maximalen Abflüssen zu rechnen. Dies liegt an der enormen Größe der Wassereinzugsgebiete sowie an den begrenzten Mitteln. Der Bedrohung der Felder durch die Wassererosion muß deshalb durch einen direkten Schutz dieser Flächen begegnet werden, d. h. **Maßnahmen auf den Anbauflächen zum Schutze des Bodens und zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit haben Vorrang.**

Die Technik muß sowohl den Standortbedingungen (feucht, trocken) als auch der Nutzung der Fläche angepaßt sein; große Sickerdämme z. B. können Staunässe provozieren, bei der selbst Rispenhirse (Sorgho) nicht mehr gedeihen kann. Damit die Maßnahmen unter sparsamem Einsatz der Mittel eine möglichst große Fläche schützen, ist gemäß den Höhenlinien zu arbeiten. Dadurch paßt sich die Bauweise dem Gelände an! Einen idealen Schutz des Bodens bietet eine dichte Grasnarbe, die den Wasserabfluß in Bodennähe bremst, ohne ihn sonst zu behindern.

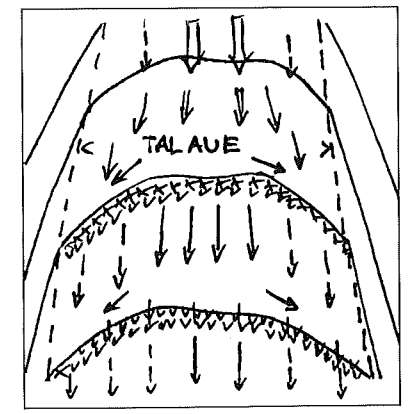
Verbesserung der Bodenwasserversorgung

Um die Produktionsrisiken zu vermindern, muß die Wasserversorgung verbessert werden. Für die schlecht versorgten, „trockenen" Standorte müssen die relativ häufigen kleinen Regen optimal ausgenutzt werden. Die Versickerung wird sowohl durch das Aufstauen als auch durch die Verlangsamung und Verteilung des Abflusses verbessert. Das Wasser braucht Zeit, um in den Boden einzudringen. Auf „feuchten" Standorten ist die Wasserversorgung meistens schon optimal, so daß ein zusätzlicher Wasseraufstau schädlich ist. Hier soll eine gleichmäßige Verteilung und damit auch eine bessere Versorgung der Flanken erreicht werden, um der Grabenerosion vorzubeugen.





Das Prinzip sowohl für den gleichmäßigen Wasseraufstau als auch für die gleichmäßige Verteilung des Abflusses ist das Arbeiten entlang der Höhenlinie.



Risiko und Unterhaltungsaufwand

Die Bauwerke müssen so konzipiert und gebaut sein, daß sie langfristig funktionieren, und sie müssen in sich homogen sein. Je länger die Funktion von Maßnahmen zu gewährleisten ist, desto höheres Gewicht erhält das Risiko eines mög-

lichen Schadens. Es entstehen gerade durch Bauwerke, die Wasser aufstauen, Schäden durch verstärkte Erosion im Abstrom (s. III.4.4 Erosion durch künstlichen Aufstau).

Beispiel: Ein Steinwall von zwei Metern Höhe, der in einer Talaue gebaut wurde, sackt ab; eine Reparatur durch Einbau einer Kiesschicht am Boden ist kaum durchführbar. Bricht dieser Wall, so kann durch die gewaltige Wasserströmung ein Erosionsgraben entstehen. Im Ergebnis ist das Risiko ist zu hoch und diese Bauweise daher nicht angepaßt.

Hinweise zur Risikobetrachtung im Wasserbau gibt der folgende Exkurs.

EXKURS

Kleiner Wasserbau

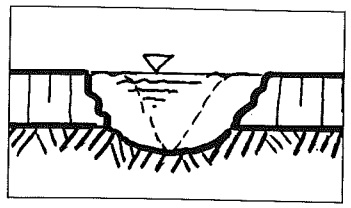
Die natürlichen Prozesse und Phänomene, mit denen der Wasserbau zu tun hat, sind im einzelnen nie eindeutig vorhersehbar. Selbst dort, wo durch jahrzehntelange Messungen die Wahrscheinlichkeiten bestimmter Hochwassersituationen berechnet werden können, ist ein jeweils größeres und schlimmeres Ereignis nicht auszuschließen. Es wird deshalb im Wasserbau für jede technische Lösung immer auch das Restrisiko betrachtet, und es werden Sicherheiten eingeplant. Unter den Bedingungen des Sahel ist die qualitative Risikoabschätzung von besonderer Bedeutung, da sie aufgrund fehlender Datengrundlage eine Berechnung ersetzen muß. Folgende Fragen sollte sich jeder Planer stellen:

Was passiert, wenn es schlimmer kommt, und wie wird mein Bauwerk mit einer Überlastung fertig?

Auch wenn ein „höchster möglicher Wasserstand" ermittelt oder abgeschätzt wurde, sollte eine noch extremere Situation bedacht werden.

Sind die möglichen Schäden mit zumutbarem Aufwand reparabel, und welche Bauteile sind besonders gefährdet?

Die Schwachpunkte eines Bauwerkes und einer baulichen Anlage sind zu benennen. Im günstigen Fall führt eine Beschädigung lediglich zum Funktionsausfall ohne daß weitere Schäden eintreten.



Können sich irreversible Folgeschäden ergeben?

Die Folgeschäden können den Nutzausfall bei weitem übersteigen. Dies ist z. B. beim Bruch eines Dammes oder von Bauwerken in Erosionsrinnen zu beobachten.

Während Linienbauwerke aus Stein kurzzeitig überlastbar sind, ist es bei Erdwällen und Dämmen entscheidend, **das Freibord** ausreichend zu bemessen. (Wird auf das Freibord verzichtet, um mehr Wasser speichern zu können, so kommt dies einem Auto ohne Bremsen gleich.)

Die folgenden **Anforderungen** werden daraus abgeleitet:

- Die Konzentration des Abflusses und ein zu hoher Aufstau müssen vermieden werden.
- Ein Schaden muß leicht zu beheben, und auch der größtmögliche Schaden reparabel sein.
- Vor einem Grabenverbau sind die seitlich liegenden Flächen zu schützen.
- Auf Flächen beginnen die Maßnahmen schrittweise von oben nach unten, um so den Fließweg des Wassers zu verkürzen. Zur Stabilisierung eines Grabens erfolgt ein Verbau von unten nach oben.

1.2 Prinzipien des Flächenschutzes

Der Schlüssel zu fast allen Techniken ist die Höhenlinie, die im Terrain mit der Schlauchwaage eingemessen wird. Für die Vermittlung der Techniken ist es wichtig, immer wieder in gleichen Arbeitsschritten zu verfahren. **Flächenschutz** wird durch eine Folge von Bauwerken **entlang der Höhenlinie** erreicht. Angepaßt an die Geländebedingungen können verschiedene Maßnahmen miteinander verknüpft werden. Der Grundsatz, Erosionsschutz immer im oberen Wassereinzugsgebiet zu beginnen, ist praktisch schwer umzusetzen, da es sich hier in der Regel um nicht kultivierte Flächen handelt und der Aufwand sich daher für die Bauern nicht direkt auszahlt. Die Konsequenz ist eine **Beschränkung** von Erosionsschutzmaßnahmen **auf kultivierte und kultivierbare Flächen,** auf denen möglichst weit im Oberhang begonnen wird. Die Kombination von Stein und Erde als Baumaterialien wird aufgrund der unterschiedlichen Alterung nicht empfohlen.

Kleine Einzelbauwerke von homogener Bauweise entsprechen den unter 1.1 genannten Anforderungen und haben folgende Vorteile:

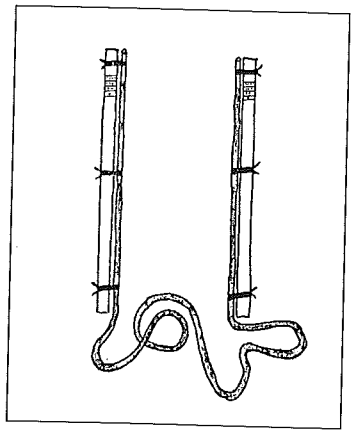
- geringe Schadensanfälligkeit (Wasserdruck);
- einfache Reparatur und Instandhaltung;
- leichte Erlernbarkeit und Beherrschbarkeit der Techniken durch die Bauern;
- mit geringem Aufwand kann eine große Fläche geschützt werden;
- **die Bauwerke passen sich dem Gelände an!**

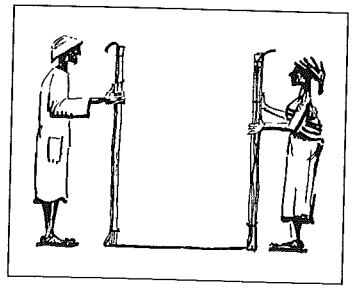
Meßsysteme: Neben der Schlauchwaage für 10–20 Meter-Schritte stehen je nach überwiegender Geländebeschaffenheit weitere unterschiedlich preiswerte Instrumente zur Verfügung, mit denen in der Region Sahel jedoch nicht gearbeitet wurde. Dies sind vor allem: A-Rahmen für 2–3 Meter-Schritte (mit einem Lot), Bauwasserwaage am Seil für 20–40 Meter-Schritte in flachem Gelände.

Die Schlauchwaage ist jedoch am universellsten einsetzbar: Höhendifferenzen sind direkt ablesbar und Gefällemessungen ebenso wie Messungen in schwierigem Gelände sind möglich. Ein psychologischer Vorteil liegt in der Nutzung eines sichtbaren Wasserpegels, der das zu stauende Wasser symbolisiert.

EXKURS

Schlauchwaage





Die Schlauchwaage (niveau à eau) ist ein einfaches Hilfsmittel, das den Bauern erlaubt, im Gelände Punkte mit gleicher Geländehöhe ausfindig zu machen, deren Verbindungslinie als Höhenlinie bezeichnet wird (auch Konturlinie, courbe de niveau). Für die sahelische Landbevölkerung ist die Schlauchwaage die einzige grundsätzliche technische Neuerung im Rahmen des Erosionsschutzes. Durch das Befolgen der Höhenlinie beim Bau der Erosionsschutzwälle wird das Wasser gleichmäßig auf der Länge des Walls angestaut.

Das Werkzeug besteht aus folgenden Einzelteilen:

- 2 gerade Hölzer von etwa 1,80 m Länge (40/40)
- 1 Plastikschlauch von 12,50 m Länge (Moped-Benzinschlauch)
- 6 kurze Gummibänder zur Befestigung des Schlauches am Holz

Für die Bedienung der Schlauchwaage müssen jeweils mindestens drei Leute als Meßtrupp (équipe topographique villageois) ausgebildet werden. Sie müssen bei jeder Messung folgendes beachten:

- Die Meßstriche und Bezeichnungen sind auf beiden Hölzern genau auf der gleichen Höhe (ca. 1,60 m von unten).

- Nach dem Füllen des Schlauches dürfen keine Luftblasen im Schlauch sein.
- Beim Messen müssen die Enden offen sein, und niemand darf mit dem Fuß auf dem Schlauch stehen.
- Das Holz muß senkrecht und weder in einer Vertiefung noch auf einer Erhöhung noch im Sand stehen.
- Vor jeder Messung muß sich beim Aneinanderstellen der beiden Hölzer der genau gleiche Wasserstand ergeben.

Ablauf einer Messung:

1. Die Schlauchwaage wird vorbereitet.

2. In der Regel wird mit dem Einmessen von Wällen soweit oben wie möglich begonnen.

3. Die erste Person bleibt mit dem Holz am Ausgangspunkt am Feldrand, während die zweite Person einen Punkt gleicher Höhe sucht. Dieser Punkt ist gefunden, wenn auf beiden Hölzern der gleiche Wasserstand abgelesen wird. Die dritte Person muß diesen Punkt neben dem Meßholz mit einem Stein oder Holzpflock markieren, während die zweite exakt in der Position verharrt. (Keine unnötige Bewegung des Meßholzes!)

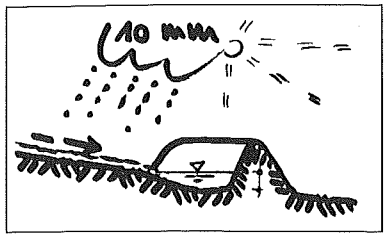
4. Der nächste Punkt wird gefunden, indem nun die erste Person einen weiteren Punkt gleicher Höhe sucht, indem nur sie sich mit ihrem Meßholz bewegt. Die weiteren Punkte werden ebenso gefunden und markiert.

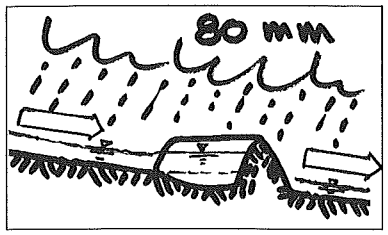
5. Um den Verlauf einer Höhenlinie zu interpretieren, sollte die gemessene Strecke länger sein als das geplante Bauwerk. Die gemessenen Punkte werden zu Kurven verbunden. Verlaufen die Punkte im Zickzack, wird die Kurve durch ihre Mitte gelegt.

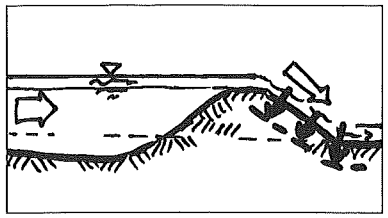
2 Erdbau

2.1 Grundsätze

Die dem Erdbau zugeordneten Techniken des Erosionsschutzes sind dazu da, Wasser zurückzuhalten und es direkt oder im Boden zu speichern. Erdwall und Halbmond sind Kleinststaudämme mit den wesentlichen Merkmalen eines Staudammes. Grundsätzlich müssen Erdwälle für zwei extreme Situationen ausgelegt sein:





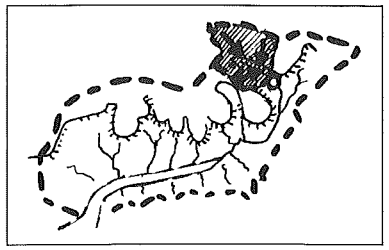


- Bei kleineren Regen soll möglichst alles Wasser gespeichert werden, damit es in den Boden einsickern kann (normaler Aufstau).
- Bei starken Gewitterregen darf der Wall nicht überströmt werden, und das überschüssige Wasser muß schadlos seitlich abfließen können (maximaler Aufstau).

Schon leichte Überspülungen führen zum Bruch und weiteren Schäden. Erdwälle und Dämme sind nicht überströmbar, sie versperren dem abfließenden Wasser den Weg und konzentrieren die Abflüsse in Durchlässen und Überlaufbauwerken. Bei Hochwasserabflüssen verstärkt die zum Teil erhebliche Konzentration den Bodenabtrag und führt schließlich zu linearer Erosion (Tiefenerosion, Grabenerosion).

Kleine Wasserrückhaltebecken dienen zunächst nicht dem Bodenschutz, können aber beschränkt durch Wasserrückhalt Erosionsschutz bewirken. In Selbsthilfe ist allein die Technik des Bouli zu verwirklichen.

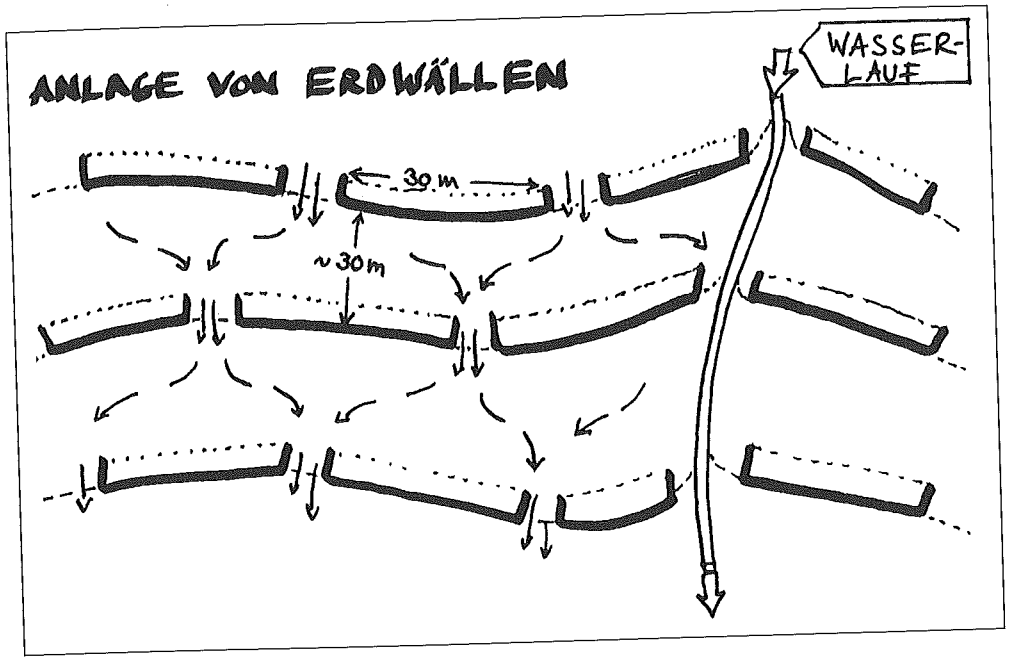
Erdbauten in der Region haben eine geringe Lebensdauer. Während Wälle, Aufschüttungen und Dämme erodieren, verschlämmen und versanden Pflanzlöcher und Erdbecken schnell. Diese **Alterung** bedeutet immer auch einen Verlust an Boden und vor allem der Feinanteile des Bodens. Auf degradierten und verschlämmten Flächen wird der Boden bewußt aus einer relativ stabilen in eine instabile Lage bewegt und der Erosion ausgesetzt. Dies ist eine negative Begleiterscheinung aller Erdbaumaßnahmen.



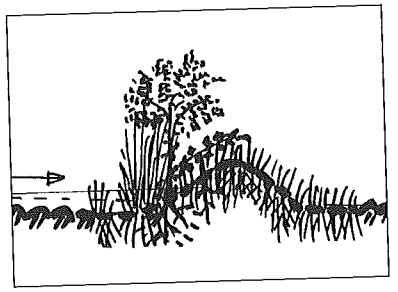
Voraussetzung für den Bau von Erdwällen sind kleine Wassereinzugsgebiete mit geringen Abflüssen und ein hoher Ton- und Kiesanteil im Boden.

Alle Erdböschungen müssen sehr flach geneigt und durch Begrünung mit mehrjährigen Gräsern <u>oder</u> durch eine Abdeckung mit Kies und Steinen geschützt sein.

2.2 Erdwälle



Definition



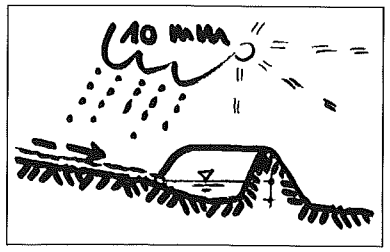
Erdwälle (Diguette en terre, banquette, microbassin, digue) sind eine klassische, weltweit verbreitete Technik des Erosionsschutzes. In unterschiedlichen Dimensionen und Variationen dienen sie der Verbesserung der Bodenwasserversorgung. Sie folgen der Höhenlinie und finden selbst an steilen Hängen (bis zu 20 % Gefälle) Anwendung. Ihr großer Vorteil ist, daß der einzige Baustoff Boden ist, der zu Wällen geringer Höhe aufgeworfen wird. Ziel ist es, durch eine verbesserte Bodenwasserversorgung die Produktionsbedingungen auf trockenen Standorten zu verbessern. Die wenig aufwendige Technik des Erddiguettebaus ist geeignet, den Bauern die Möglichkeiten des Erosionsschutzes und das Prinzip der Höhenlinie nahezubringen.

Nachteile sind das Nichtstandhalten bei einer Überströmung und der hohe jährliche Wartungs-

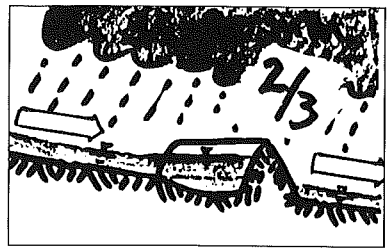
aufwand. Aufgrund der Standortbedingungen sind die Anwendungsmöglichkeiten begrenzt.

Funktionsweise

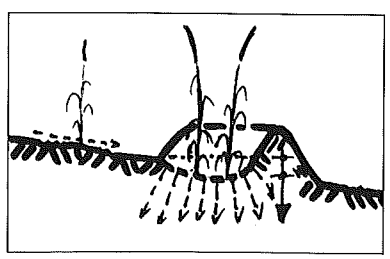
Der Erdwall wird aus tonigem oder kiesigem Boden mit flachen seitlichen Böschungen aufgeschichtet und im feuchten Zustand verdichtet. Er staut das abfließende Regenwasser bis zu maximal zwei Dritteln seiner Höhe auf.



Normaler Aufstau: Geringe Regenfälle (10 – 20 mm) sollen aufgehalten werden, ohne daß die Wasserhöhe ein Drittel der Wallhöhe übersteigt. Die Wassermenge, die hinter dem Wall gespeichert werden kann, ist somit begrenzt. Der Abstand zwischen den Wällen darf nicht zu klein sein, und es bedarf einer seitlichen Begrenzung durch Flügel (ailes), um das Abfließen zu verhindern.



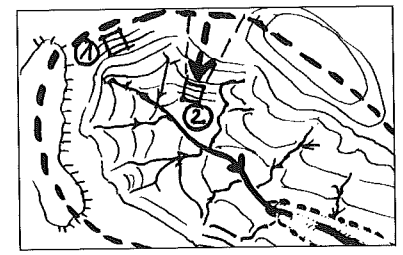
Maximaler Aufstau: Theoretisch können Erdwälle auch bei sehr starken Regen alles Wasser auffangen, wenn sie direkt an der Wasserscheide ohne weitere Zuflüsse von oberhalb liegen. Meist liegen Felder und zu behandelnde Flächen soweit talwärts, daß es bei starken Gewitterregen zu erheblichen Zuflüssen kommt, die den Aufstau bis zum maximal möglichen Wasserstand erhöhen. Um einen Bruch des Walls zu vermeiden, darf das Wasser höchstens bis zu zwei Dritteln der Krone (crête) ansteigen. Das letzte Drittel der Wallhöhe dient dazu (Freibord, revange), Meßungenauigkeiten, Schäden durch Viehtritt und Menschen, Absackungen und Erosionsschäden ausgleichen. Es müssen Durchlässe für das schadlose Abfließen des überschüssigen Wassers vorgesehen werden, damit es nicht zur Überströmung und zum Bruch des Walls kommt.

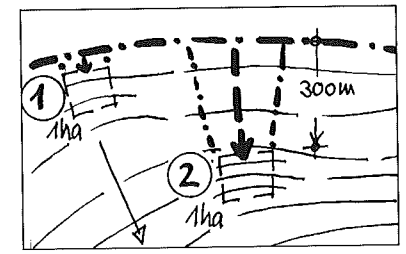


Die verbesserte Wasseraufnahme des Bodens verringert Schäden an Kulturpflanzen in Trockenperioden. Die Verminderung des Abflusses schützt den Boden vor Erosion und Auswaschung, die Bodenfruchtbarkeit bleibt so erhalten. Selbst stark degradierte tonige Böden mit verschlämmter undurchlässiger Oberfläche können sich wieder regenerieren

und kultiviert werden. Nach der Verbesserung der Wasserversorgung kann die natürliche Vegetation den Boden wieder „aufschließen" und beleben.

Bauanleitung



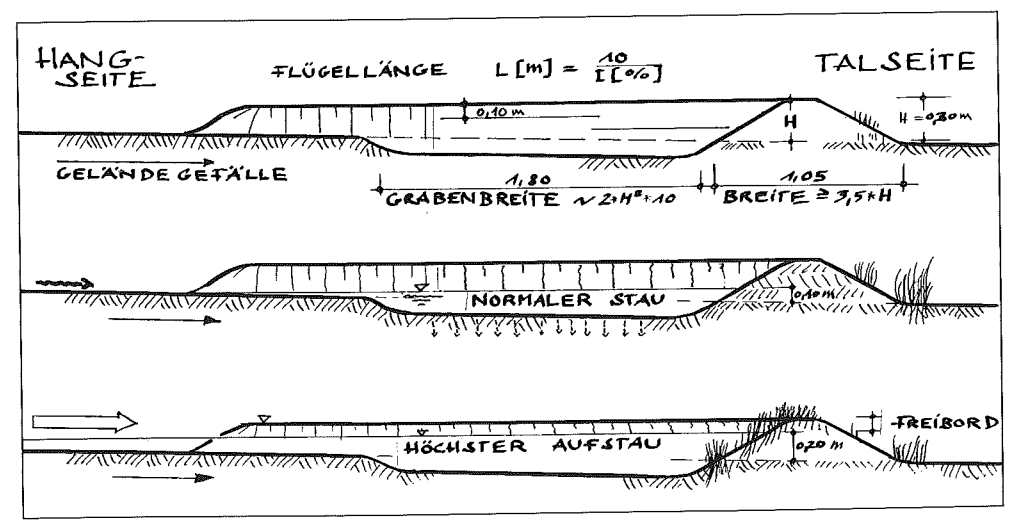


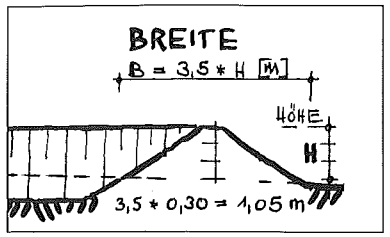
Standort: Das Wassereinzugsgebiet muß relativ klein sein. Die Wälle sollten höchstens 500–1000 m von der Einzugsgebietsgrenze entfernt liegen. Dies schließt die Anwendung der Technik im Bereich der zeitweilig stark überschwemmten Talauen (bas-fonds) ausdrücklich aus.

Die Wälle sind nur auf bindigen und kiesigen Böden mit einer auch im feuchten Zustand festen Struktur haltbar (kiesiger Lehm, sandiger Ton). Geeigneter kiesig-toniger Boden ist jedoch zum Teil in der Trockenzeit sehr schwierig von Hand (Pickel) zu graben.

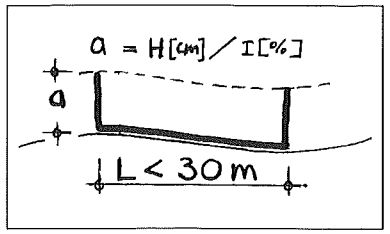
Mit sandigen und schluffig-sandigen Böden können keine Erdwälle gebaut werden:

- Sind Steine verfügbar, ist der Bau von Steinwällen vorziehen.
- Zum Schutz der natürlichen Baumvegetation sind die haltbaren Halbmonde (demi-lunes) anzulegen.

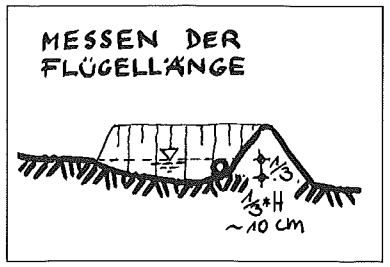




Bauelemente: Der Erdwall wird aus dem oberhalb gelegenen Boden schichtweise aufgebaut. Damit er eine stabile **Form** hat, aber nicht zuviel Platz auf dem Feld beansprucht, ist seine Höhe in der Regel auf 0,30 m begrenzt. Die Böschungen müssen eine Neigung von mindestens 1:1,5 aufweisen. (Wegen des relativ erhöhten Sandanteils der Sahelböden ist in der Regel eine flachere Neigung von 1:2 vorzuziehen.) Die Breite soll 3,5 mal Höhe betragen, die Kronenbreite 0,15 m.

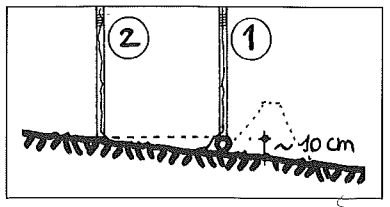


Die **Länge** eines Walls sollte nicht mehr als 30 m (unter 50 m) betragen. Damit wird Meß- und Bauungenauigkeiten vorgebeugt. Im Falle eines Schadens ist dieser begrenzt.

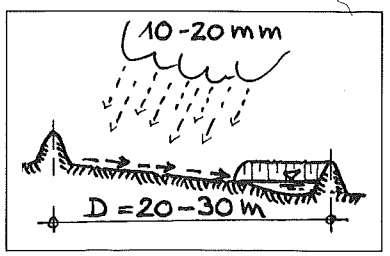


Flügel zur seitlichen Begrenzung sind nötig, um die Wassermenge des ‚Normalstaus", die 0,10 m Wasserhöhe entspricht, zu halten. Die Länge der Flügel L_F ist vom Geländegefälle abhängig:

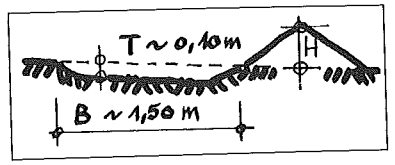
Geländegefälle	Länge der Flügel
0,5 %	10 – 20 m
1 %	**6 – 10 m**
2 %	3 – 5 m



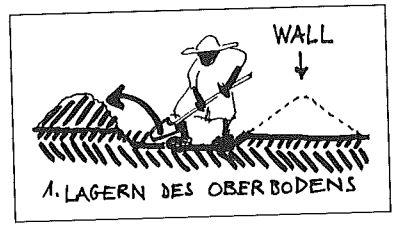
Um beim Ausmessen die Flügellänge zu bestimmen, muß man **nicht** das Geländegefälle berechnen, da die Entfernung leicht mit der Schlauchwaage gemessen werden kann. An der Höhenlinie setzt man dazu eines der Hölzer auf einen etwa 10 cm hohen Stein und sucht nun mit dem zweiten Holz der Schlauchwaage hangwärts die entsprechende Höhe. Der Stein stellt bei dieser Messung den aufgestauten Wasserspiegel dar.

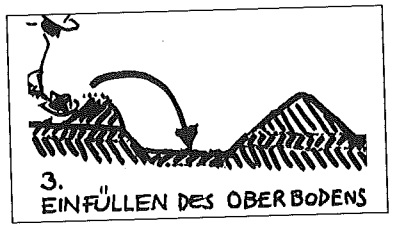


Der **Abstand** zwischen den Erdwällen sollte nicht zu klein sein, um bei geringer Regenmenge eine optimale Wasserspeicherung zu erhalten. Bei zu großem Abstand erhöht sich jedoch der Wasserabfluß und die Gefahr der Erosion. Bewährt haben sich bei dem üblichen Gefälle (1–2%) Abstände von D = 20–30 m.

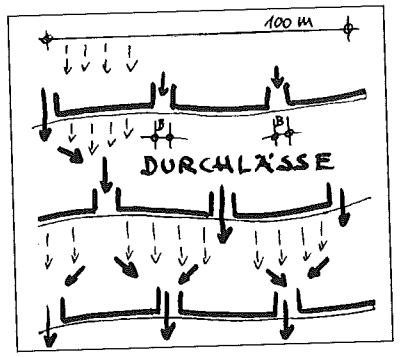


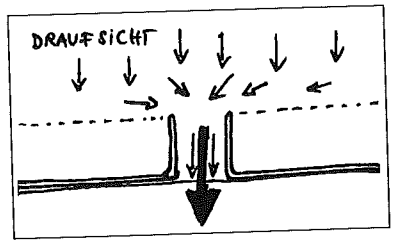
Resultat der Erdentnahme für den Wall ist ein oberhalb gelegener **Graben,** der das speicherbare Wasservolumen zunächst erhöht. Damit er den Boden nicht ungleichmäßig entwässert, sollte er möglichst flach und gleichmäßig breit und tief ausgehoben werden. Auf Feldern ist es nicht sinnvoll, den wertvollen Oberboden zum Bau eines Walls zu benutzen. Besser ist es, diesen hangwärts zwischenzulagern, die tiefer liegende Schicht zum Bauen zu nehmen und anschließend den Oberboden in den Graben zurückzugeben. Ein Graben an der Hangseite ist einem talseitigen Graben in jedem Fall vorzuziehen, da so ein zusätzlicher Wasserspeicher geschaffen wird. Für Ausbesserungsarbeiten sollte der Boden unterhalb des Erdwalls entnommen werden. Der oberhalb im Graben angeschwemmte nährstoffreiche Boden muß dort verbleiben.

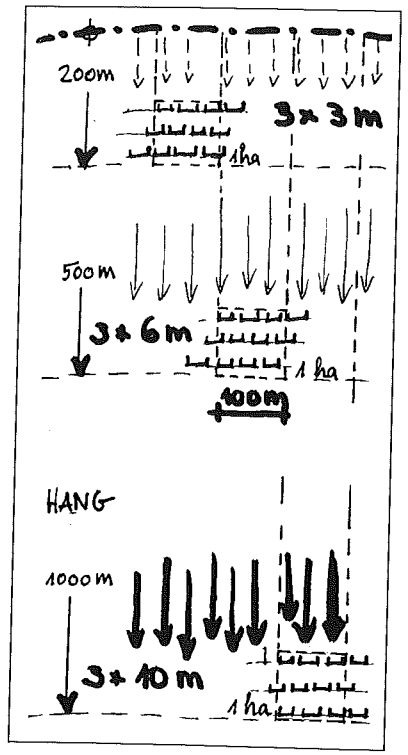


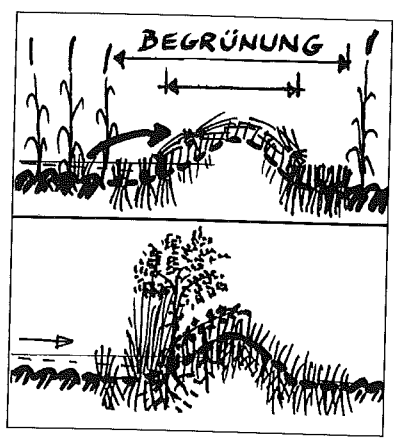


Überlauf (passage des eaux excédentaires, exutoire): Das Hochwasser ist sehr stark von der Größe des Einzugsgebietes abhängig. Weil eine Überströmung zum Bruch des Erdwalls führt, müssen ausreichend Möglichkeiten geschaffen werden, überschüssiges Wasser abzuführen. Die Technik, Steinüberläufe in die Erdwälle zu bauen, hat sich nicht bewährt, da der Übergang vom Stein zur Erde immer problematisch ist. In einigen Fällen verschwanden die Erdwälle und die Überläufe blieben zurück. Einfacher und wirksamer ist es, ausreichend breite Durchlässe zwischen den Flügeln zweier Erdwälle zu lassen. Um die Fließgeschwindigkeit des Wassers zu drosseln und seine Konzentration zu verhinden, werden die aufeinander folgenden Erdwälle auf Lücke gebaut (en quinconce). Die Größe der Durchlässe ist im Gelände abzuschätzen und muß gegebenenfalls korrigiert werden. Man kann ihre exakte Breite nur dann bestimmen, wenn die Größe des oberhalb liegenden Einzugsgebietes bekannt ist (vergleiche V 4.1).









Je nach Entfernung von der Wasserscheide lassen sich für eine Länge der Erdwälle von **30 m** folgende Angaben machen:

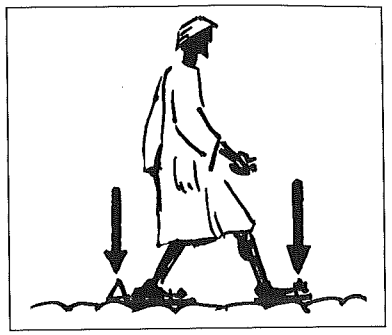
Entfernung zur Wasserscheide	**Breite der Durchlässe**
Fließstrecke	**B** [m]
– 200 m	**3 m**
200 – 500 m	**6 m**
500 –1000 m	10 m

In der Regel reicht bei einer Wallänge von ca. 30 m eine Durchlaßbreite von 3 – 5 m aus.

Begrünung (végétalisation): Ist der Erdwall ungeschützt den Belastungen durch Wasser, Wind und Viehtritt ausgesetzt, halten auch abgeflachte Böschungen nicht lange, und die Maßnahme verliert ihren Nutzen. Die Begrünung ist ein entscheidendes Bauelement, welches eine ausreichende Lebensdauer der Wälle garantieren kann. Ziel ist es, durch eine geschlossene Vegetationsdecke die Bodenoberfläche bei Regen zu schützen und den Erdkörper mittels des Wurzelwerkes zu festigen. Zunächst sollte dies durch sich natürlich einstellende Vegetation geschehen. Verbessert werden kann der Effekt durch die Ansiedlung mehrjähriger Pflanzen oberhalb oder unterhalb der Wälle. Zum Beispiel: *Andropogon gayanus, Leptadenia hastata* (herbe de chameau), *Macroptilium atropurp* (Sirato), *Lab lab purpureus* (Dolique), *Vigna unguilata* (Niebe) – (bis auf *Leptadenia h.* wertvolle Futterpflanzen).

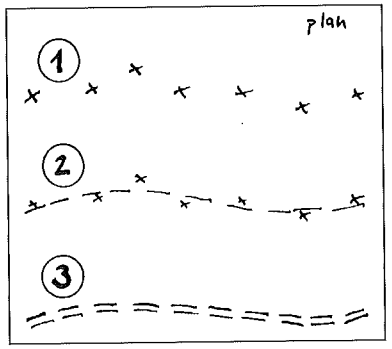
Bei anfangs fehlendem Bewuchs ist es günstig, gejätetes „Unkraut" auf den Wall zu werfen. Selbst wenn es nicht wieder anwächst, schützt es den Wall als Mulchauflage (paillage) und begünstigt die Begrünung.

Arbeitsschritte



1.) Einmessen der Wälle im Feld: mittels Schlauchwaage, Entfernungen werden abgeschritten (1 Schritt = 1 m).

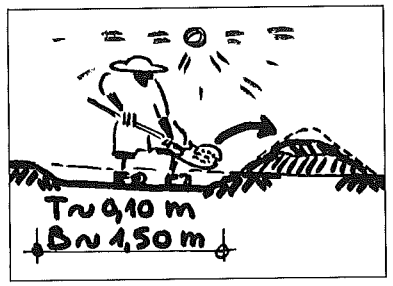
Die Höhenlinien werden über die gesamte Breite der zu behandelnden Flächen eingemessen und markiert. Der Abstand der Wälle zueinander soll 20 – 30 m betragen. An einem Wasserlauf kann die gleiche Höhenlinie am anderen Ufer wiederaufgenommen werden.



Entlang der Höhenlinie werden Länge des Walls und Breite der Wasserdurchlässe abgeschritten (vorhandene Durchlässe sollten als solche erhalten bleiben).

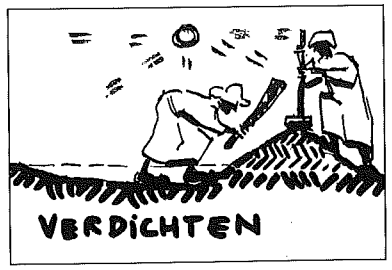
Danach wird an mindestens zwei Punkten die Länge der Flügel durch Messung mit der Schlauchwaage bestimmt. Dieses Maß kann abgeschritten und bei gleichmäßigem Gelände beibehalten werden.

2.) Auflockern der Basis: Besonders bei harter, verkrusteter Bodenoberfläche ist das Aufrauhen wichtig, um eine Verbindung des Erdwalls mit dem Untergrund herzustellen.

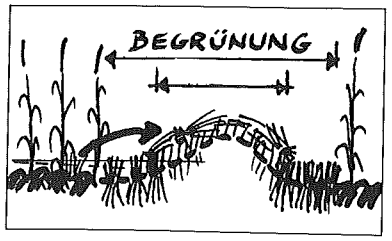


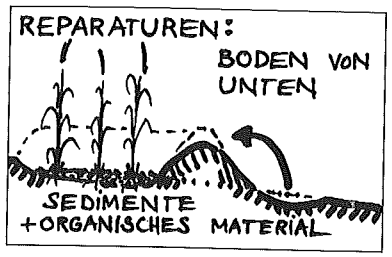
3.) Ausheben des hangseitigen Grabens und Aufschütten des Walls (Werkzeug: Pickel, Spaten oder Schaufel, Hacke).

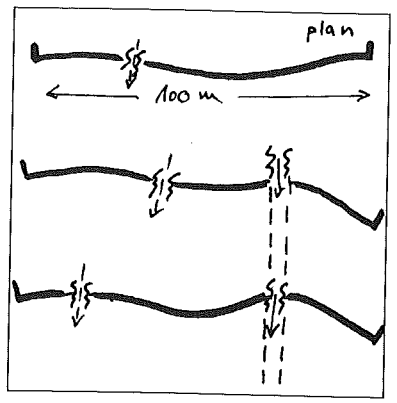
4.) Verdichten des Erdwalls in möglichst feuchtem Zustand (Werkzeug: Verdichter, Hölzer, die Füße). Es sollte der erste Regen abgewartet werden, um die letzte Erdschicht aufzuschütten und zu verdichten.

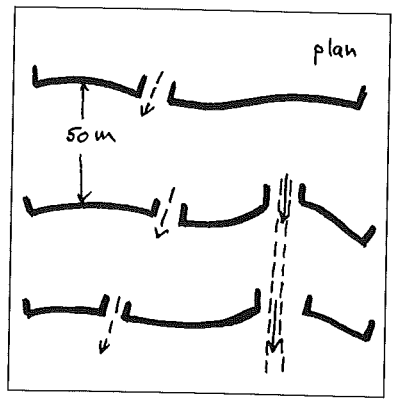


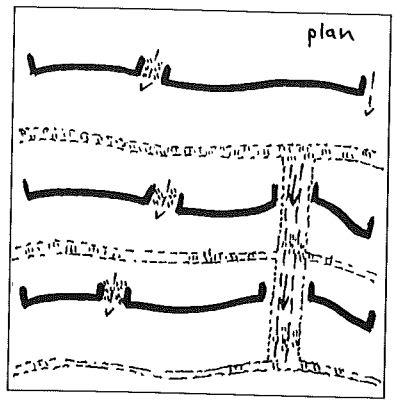
5.) Bau der Flügel: Auch für die Flügel muß die Basis aufgelockert werden. Der Übergang vom Wall zum Flügel ist besonders sorgfältig und kompakt zu bauen (Bruchgefahr). Sind Steine vorhanden, sollte damit das Ende der Flügel geschützt werden, da hier das Wasser entlangströmt.











6.) Begrünung: Um schnell einen wirksamen Schutz der Bauwerke zu erreichen, sollte durch Direktsaat und Pflanzung die Begrünung beschleunigt werden.

Reparatur und Unterhaltung: Eine neue Anlage muß vor allem während der ersten Regenzeit beobachtet werden, um Schwachstellen zu erkennen und auszubessern (Erhöhen der Krone, Verstärken der Wälle). Kommt es an mehreren Stellen zu Brüchen, so liegt es oft daran, daß die Wasserdurchlässe nicht ausreichen und die Wälle zu lang sind. Abhilfe schaffen kann das Verbreitern der Durchlässe oder das Anlegen weiterer Durchlässe an den Bruchstellen, indem dort beidseitig Flügel angebaut werden.

Wo Pfade von Mensch und Tier die Wälle kreuzen, entstehen Schwachstellen, die Brüche provozieren. Hier sollten die Böschungen flacher gebaut werden, möglichst unter Verwendung von Kies und Steinen.

Bei zu großen Abständen der Wälle (> 30 m) sind zusätzliche Maßnahmen (Vegetationsstreifen zwischen den Wallinien oder zusätzliche Wälle, demi-lunes) anzuraten, um die Flächenerosion aufzuhalten.

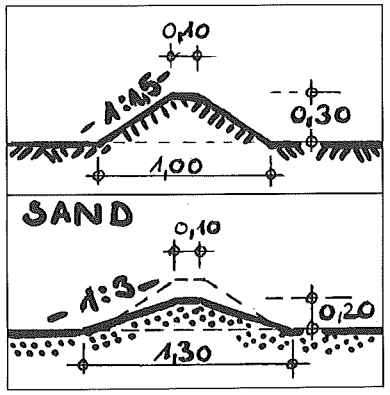
Probleme und Beurteilung

Erfahrungen iu der Region: Der Bau von Erdwällen hat im Gebiet der CRPA du Sahel eine über zehnjährige Tradition[10]. Von insgesamt 4914 ha innerhalb dieser Zeit behandelten Fläche (davon FEER: 4358 ha) wurden 1990 nur 640 ha (13 %) in einem akzeptablen Zustand vorgefunden. Für die geringe Haltbarkeit der Erdwallanlagen gibt es mehrere Gründe:

- ungeeignete Standorte (nicht bindige Sandböden , zu feuchte Standorte, Lage außerhalb der Anbauflächen);
- starres Baukonzept mit weiten Zwischenabständen und großer Einzellänge;
- Mangel an Unterhaltung und Reparatur der Wälle;
- fehlende verantwortliche Beteiligung der Bauern an Konzeption und Ausführung der Arbeiten (Traktoreinsatz);
- für die Bauerngruppen waren Zuteilungen von Lebensmitteln und Arbeitsgeräten durch FEER Hauptanreiz. Sinn und Nutzen der Baumaßnahmen wurden nicht ausreichend vermittelt.

Koukurrenz zur Feldarbeit: Fertigstellung und Unterhaltung der Erdwälle fallen in die Zeit der Feldarbeit mit der höchsten Arbeitsbelastung für die Bauern. Zu Beginn der Regenzeit sind in der Regel auch die Speicher leer. Oft muß auf Flächen mehrmals gesät werden, daran schließt das Jäten an (premier sarclage).

Bodenverlust: Auf sandigem Boden sind Erdwälle nicht ausreichend haltbar; der aufgeworfene Boden wird abgetragen und und talwärts verlagert. Eine sehr flache und niedrige Bauweise verringert das Risiko.



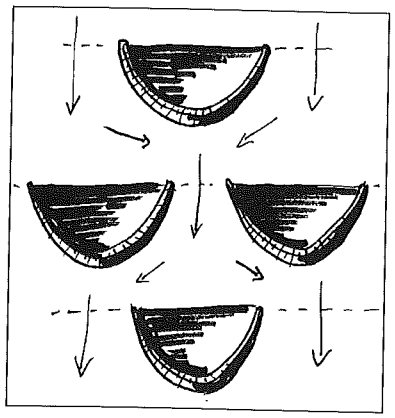
10) Rapport E. Buzingo, Lit. 6

Bei der Anlage von Erdwällen in Überschwemmungsbereichen kommt es zwangsläufig zu Brüchen, die zur Entstehung von **Runsen und Gräben** beitragen. Solche Standorte sind ungeeignet für Erdwälle.

Der **Unterhaltungsaufwand** für ein langfristiges Funktionieren der Wälle ist hoch. Damit die Bauern die Verantwortung für alle Arbeiten übernehmen, müssen Arbeitsaufwand und alle Arbeitsschritte bis hin zur Unterhaltung vorab klar sein. Die spätere Nutzung der behandelten Flächen muß vorher definiert sein und den Aufwand rechtfertigen. Auf stark degradiertem Gelände ist der Einsatz der Technik fragwürdig, weil hier der Nutzen gering und die konsequente Unterhaltung nicht zu erwarten ist. Bei Gemeinschaftsflächen, die außerhalb der Feldflur liegen, wird die Unterhaltung selten kollektiv wahrgenommen, und niemand fühlt sich für Reparaturarbeiten zuständig.

2.3 Halbmonde (Demi-Lunes)

Definition

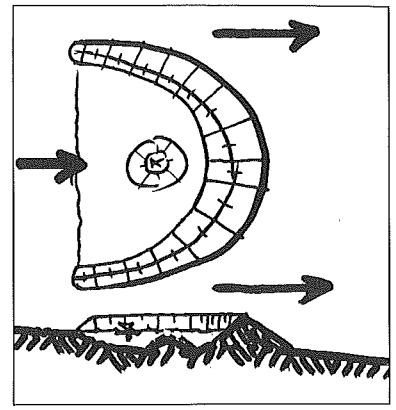


Halbmonde sind kleine Erdwälle, deren Halbmond- oder Sichelform zur Hangseite geöffnet ist, so daß sie Kleinststaubecken (micro-bassin) darstellen. Sie verbessern punktuell die Standortbedingungen auf degenerierten, bindigen Böden, indem sie den oberflächlichen Wasserabfluß vermindern und verlangsamen und sind besonders für den Schutz von Bäumen geeignet. Durch die geringe Breite des Einzelbauwerks sind sie relativ sicher gegen Überströmung und Bruch. Zum Schutz einer größeren Fläche sind die einzelnen Halbmonde an der Höhenlinie zu orientieren; dabei liegen die Sichelenden jeweils auf der gleichen Höhenlinie.

Funktionsweise

Wie beim Erdwall wird auch bei den Halbmonden die Wasserrückhaltemenge sowohl durch die

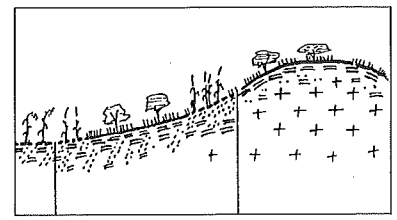
beim Erdaushub entstandene Vertiefung innerhalb des Halbmondes als auch durch die Länge der Flügel bestimmt. Bei großen Regenfällen kann das Wasser seitlich entlang der Flügel abfließen. Durch die kleine Fläche der Micro-Staubecken ist die Technik ideal, um einzelnen jungen Bäumen, die noch nicht tief wurzeln, ein schnelles Wachstum durch eine verbesserte Wasserzufuhr zu ermöglichen und sie somit aus dem Verbißbereich der Ziegen herauswachsen zu lassen. Bei Baumpflanzungen auf degradierten Böden sollten die Halbmonde vor oder bei der Pflanzaktion angelegt werden. Anstelle von Einzelmaßnahmen kann auch systematisch ein ganzes Feld mit Halbmonden versehen werden. In einem forstlich genutzten Halbmond kann gleichzeitig Getreideanbau erfolgen. Eine Kombination mit dem Zay ist vorteilhaft (siehe 2.4).



Bauanleitung[11)]

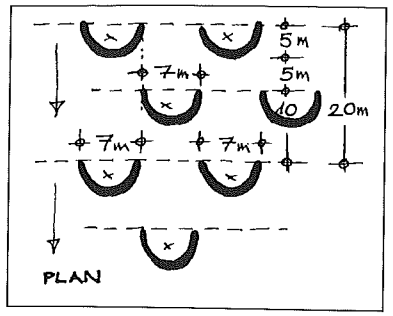
Die Technik ist leicht handhabbar, und es bedarf für ein einzelnes Bauwerk nur eines geringen Arbeitsaufwands. Das Ausmessen der Höhenlinie ist nicht in jedem Fall notwendig.

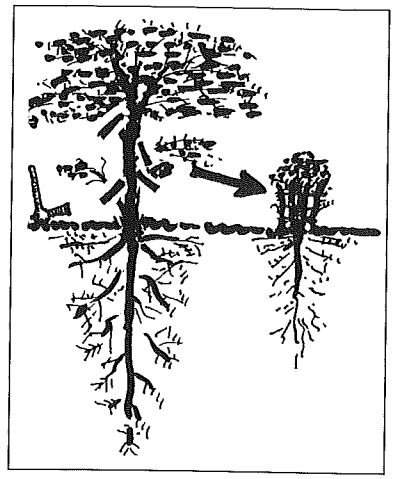
Standort: Relativ kleine Wassereinzugsgebiete auf Hangflächen sind günstig. Abflußbereiche und Talauen sind nicht geeignet. Der Boden sollte möglichst bindig und kiesig sein, um die Standfestigkeit und eine ausreichende Lebensdauer sicherzustellen.

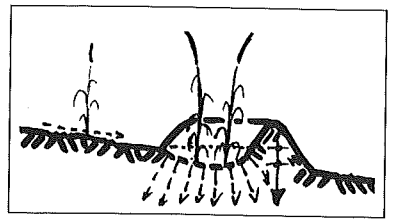


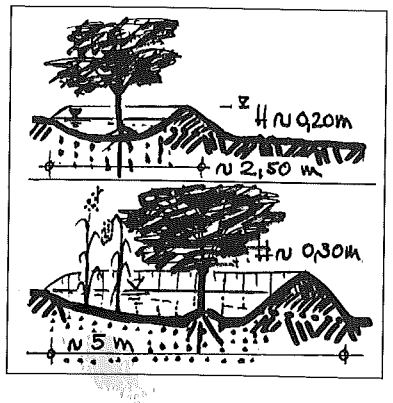
Um auch bei einer geringen Regenmenge eine ausreichende Wassermenge zurückzuhalten, sollte jeder Halbmond ein direktes Einzugsgebiet von mindestens seiner dreifachen Flächengröße haben. Die Größe der Wälle kann den Gegebenheiten angepaßt werden. Der Abstand zwischen zwei Halbmonden sollte möglichst groß sein (> 2,0 m), damit das Wasser entlang der Flügel abfließen kann.

11) In Anlehnung an Maßnahmen des PASP, Ouallam, Niger, 1988









Beispiel:

Höhe	Hmax	0,30 m
Breite des Walles	B	1,00 m
Gesamtbreite	Bges	7,00 m
Durchlaßbreite	B	7,00 m
Länge in Gefällerichtung	L	5,00 m

Um den Aufwand des Baus von Halbmonden für eine forstliche Nutzung zu rechtfertigen, ist gleichzeitig ein wirkungsvoller Schutz der Bäume erforderlich. Vorgeschlagen wird das Prinzip „Aufasten-Schützen" (taillage-branchage), bei dem gezielt im unteren Baumbereich Zweige, Äste und Nebenstämme größerer Bäume (Dornengewächse) geschnitten werden, was ein schnelleres Durchwachsen des Hauptstamms begünstigt. Die anfallenden Äste und Zweige werden nun zum Schutz junger Bäumchen derart um diese geflochten, daß sie vor Viehverbiß – hauptsächlich von Ziegen – geschützt sind.

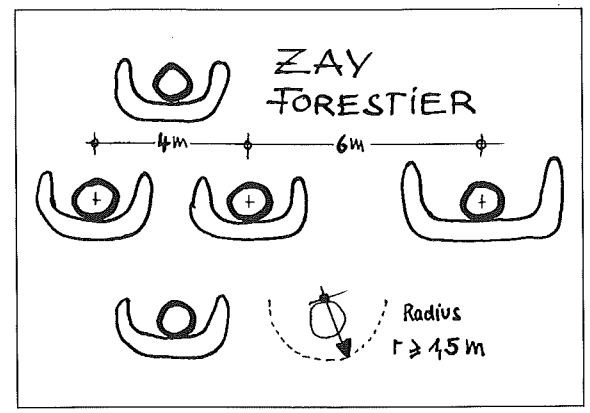
Bewertung

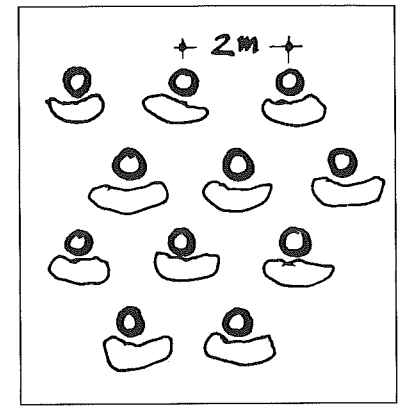
Die Verbesserung des Bodens erfolgt zunächst nur über Infiltration und Bodenwasserversorgung. Langfristig führt dies aber zu einer Bodenbelebung, die durch organische Ablagerungen begünstigt wird. Bei rein forstlicher Nutzung stellt sich je nach Standort auch eine natürliche Sukzession vorwiegend einjähriger Gräser ein.

Auf geeigneten Standorten haben die Bauwerke eine relativ hohe Lebensdauer bei geringem Unterhaltungsaufwand.

Auf vergleichsweise guten Ackerböden ist die Anlage von Erdwällen ökonomischer und daher vorzuziehen. Halbmonde eignen sich besser für stark degradierte Flächen, auf denen kein Anbau möglich ist.

2.4 Zay



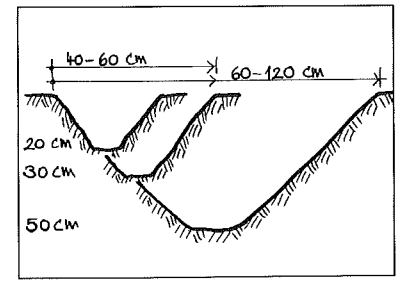


Definition

Zay sind einfache kleine Pflanzlöcher, die durch eine gezielte punktuelle Zufuhr von Wasser und Nährstoffen Anbau und forstliche Pflanzungen auf verschlämmten und stark degradierten Böden ermöglichen. Sie sind bei den Mossi traditionell bekannt und verbreitet. Größe und Abstände der Vertiefungen werden auf die jeweilige Pflanzenart (Hirse, Bäume, Sträucher) abgestimmt, sodaß ausreichend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stehen. Sie sind die einfachste Form des Wasserrückhalts und gut mit Halbmonden kombinierbar.

Funktionsweise

Zay sind in der Regel nur wirksam, wenn große Flächen bearbeitet werden. Wesentlich ist die Anlage und Zugabe von Mist und Mulch während der Trockenzeit. So erfolgt auch ohne Wasserzufuhr und Vorrotte die Umwandlung des Mists durch Bakterien und Termiten, die ihn pflanzenverträglich machen. Schon die ersten Regen werden gespeichert, und die Saat kann frühzeitig erfolgen.



Bauanleitung

Standort: Besonders geeignet sind degradierte ehemalige Ackerstandorte an Berghängen, Fußflächen und Ebenen. Zay ermöglichen die Versickerung gerade auf stark verschlämmten Oberflächen, in die sonst kaum Regenwasser eindringen kann.

Arbeitsschritte: Abmessungen einer Zay-Anlage sind für ackerbauliche und forstliche Nutzung unterschiedlich. Für die Pflanzung von Hirse und Niebe gilt:

Durchmesser	∅	= 40 – 50 cm
Tiefe	t	= 20 – 30 cm
Abstand	d	> 1,0 – 1,2 m

Die trichterförmigen Löcher werden in der Trockenzeit mit einfachen Hacken hergestellt. Der Bodenaushub wird talseitig (hangabwärts) gelagert. Zuunterst werden etwa zwei Handvoll (eine Schaufel) Mist eingefüllt und mit Mulch (Hirsestroh, Zweige) überdeckt. Die Einsaat erfolgt direkt mit dem ersten ergiebigen Regen.

Für eine forstliche oder agroforstliche Nutzung müssen größere Zay angelegt werden:

Durchmesser	∅	= 60 – 100 cm
Tiefe	t	= 30 – 50 cm
Abstand	d	> 4 m

Da Bäume einen größeren Wasserbedarf haben, werden die Pflanzlöcher in einem Halbmond angelegt (siehe 2.3). Der Bodenaushub wird also zu einem kleinen Wall angehäuft. Es sind etwa zwei Schaufeln Mist erforderlich, die mit dem Samen autochthoner Bäume vermischt werden. In der Regel wird eine Mischung aus von Ziegen vorverdauten Samen ausgesät. Ein Verbißschutz aus Totholz, dornigen Ästen o. ä. ist möglichst dauerhaft zu verankern.

Bewertung

Zay machen verödete Flächen für Ackerbau und Forstwirtschaft nutzbar. Positiver Nebeneffekt ist die Verringerung der Oberflächenabflüsse und eine nachhaltige Bodenbelebung. Mist von Kühen, Schafen und Ziegen kann ohne weitere Vorbehandlung optimal eingesetzt werden. Die Hacke (dabba) gehört zum Grundinventar jedes Bauern. Auf stark verkrusteten, lehmig-tonigen Böden kann die Grabarbeit sehr beschwerlich sein. Das größte Problem ist für die Sahelbauern der Ansturm der Vögel auf die relativ früh reife Hirse. Wo auf kleinen Flächen nach der Zay-Methode angebaut wird, kommt es so oft zum Totalverlust der Ernte. Erst wenn ein relativ hoher Flächenanteil mit Zay bearbeitet wird, verteilen sich die Vögel. Ansonsten muß jeder einzelne Fruchtstand mit Plastiktüten o. ä. geschützt werden!

Weniger problematisch ist der forstliche Einsatz von Zay in Verbindung mit Halbmonden. Obwohl jedes einzelne Pflanzloch einen hohen Arbeitseinsatz und mehrjährige Pflege verlangt, ist diese Methode einer Auspflanzung von Baumsetzlingen

häufig überlegen. Es fehlen jedoch detaillierte Erfahrungen, für welche Baumarten diese Bedingungen günstig sind. Eine Kombination dieser Zay forestiers mit durchlässigen Steinreihen, die den Wasserabfluß verlangsamen und die Infiltration der Pflanzlöcher fördern, ist empfehlenswert.

2.5 Kleine Wasserrückhaltebecken

Definition

Wasserrückhaltebecken sind Bauwerke für Rückhalt und Speicherung von Oberflächenwasser. Die hier unterschiedenen Bauprinzipien sind Bouli, Staudamm und überströmbare Schwelle. Sie sind aus den gleichen Konstruktionselementen aufgebaut, die sich jeweils in unterschiedlicher Ausprägung wiederfinden:

Vertiefung durch Erdaushub,

Erddamm durch Aufschütten und Verdichten der Erde,

Abfluß und Überlauf für Hochwasser.

Der **Bouli** ist traditionell bekannt. Er speichert das Wasser nach dem Prinzip der Zisterne in einer durch Erdaushub entstandenen Vertiefung. Ein Erdwall dient der Sammlung und Zuleitung des Oberflächenwassers.

Der **Staudamm** staut Wasser über dem Geländeniveau. Er birgt das Risiko einer Zerstörung durch Überströmung und Bruch. In der Regel sind hier Berechnungen notwendig, um Standsicherheit des Dammes und Abflußmöglichkeiten für Hochwasser nachzuweisen. Es bedarf einer regelmäßigen und kompetenten Betreuung bei Bau und Unterhaltung der Stauanlage.

Eine **überströmbare Schwelle** ist dort sinnvoll, wo starke Hochwasserabflüsse auftreten und eine bereits vorhandene Speicherkapazität gesteigert werden kann, zum Beispiel ein natürlicher See (mare).

Vergleichende Betrachtung

Vor der Darstellung der einzelnen Maßnahmen sollen Standortsansprüche und Risiken verglichen werden.

Allein der **Bouli** ist als eine von den Dörfern selbständig durchführbare Maßnahme unproblematisch und für eine weite Verbreitung geeignet. Für den Standort ist vor allem undurchlässiger Boden entscheidend. Meist kann in vorherrschend flachem Gelände ein Ort mit einem kleinen, aber ausreichenden Wassereinzugsgebiet gefunden werden, ohne daß Berechnungen erforderlich sind. In der Regel können auch große Oberflächenabflüsse den relativ niedrigen Erdwall schadlos umströmen, weil

sich das Wasser in flachem Gelände praktisch beliebig weit verteilen kann. Kommt es tatsächlich zum Bruch des Walles, ist der Schaden durch die immer noch geringe Stauhöhe begrenzt.

Ein **Staudamm** benötigt sowohl undurchlässigen Boden als auch einen möglichst ausgeprägten Geländeeinschnitt, um nicht endlos lang zu werden. Als Standort kommen deshalb meistens die Abflußbereiche der Talauen in Betracht, die entsprechend großen Wassereinzugsgebieten zuzuordnen sind. Der Damm stellt einen erheblichen Eingriff in das Abflußgeschehen dar, indem er einen starken Aufstau bewirkt. Er muß für die kurzzeitigen außergewöhnlichen Belastungen bei Hochwasserabflüssen bemessen sein. Das durch den Aufstau entstehende künstliche Gefälle zur Talseite hin führt zu großen technischen Problemen bei der Ableitung des Überschußwassers über die Talflanken mit oder ohne besondere Bauwerke. Erosionserscheinungen in verschiedener Ausprägung sind hier die Regel. Der Bau und die Unterhaltung des Staudamms sind mit einem hohen Aufwand verbunden, der eine Geländestudie und Berechnung der Bauwerke umfaßt. Aus Sicherheitsgründen resultieren daraus in der Regel sehr hohe Dammhöhen und -breiten. Kommt es dennoch zum Bruch, entstehen erhebliche Schäden. Der Wegfall des Nutzens ist dabei das geringste Übel. Schwerer wiegen irreversible Erosionsschäden durch die Konzentration des Wasserabflusses an der Bruchstelle. Die nutzbare Wassermenge ist selbst bei einem sicheren Staudamm häufig so gering, daß sich der große Aufwand nicht lohnt, und eine auf der ganzen Länge überströmbare Schwelle bei deutlich geringeren Risiken mehr Nutzen bringt.

Eine **überströmbare Schwelle** kann zwar nur einen begrenzten Aufstau erzeugen, Mehrbelastungen durch außergewöhnliches Hochwasser aber schadlos überstehen. Der Bau ist anspruchsvoll und der Aufwand nur dann gerechtfertigt, wenn dadurch ein bestehendes Wasserreservoir vergrößert werden kann. Da eine Schwelle von ausreichender Länge auch bei größeren Einzugsgebieten anwendbar ist, kann sie zur Steigerung des Speichervolumens natürlicher Seen dienen. Wenn Zweifel an der Realisierbarkeit eines Staudammes bestehen, so ist einer vollüberströmten Schwelle der Vorzug zu geben.

EXKURS

Bedeutung der Wasserspeicherung

Ein Rückhaltebecken kann eine sinnvolle Ergänzung zu Maßnahmen des Flächenschutzes sein. Ökologische Probleme wie die Überweidung sind durch kleine, von Hand gebauten Anlagen nicht zu erwarten, da nur eine begrenzte Wassermenge zeitlich befristet zur Verfügung steht. Ein gewisser positiver Effekt geht von der Wasserversickerung aus, die man aus anderen Gründen so gering als möglich zu halten versucht. Für die Menschen des Sahel gehört nicht nur die eigene Wasserversorgung, sondern auch die des Viehs zu den elementaren Bedürfnissen (vgl. V.5.1). Nach der Ernte wird die Wasserbeschaffung oft zur dringlichsten Aufgabe, die Frauen und Männer physisch wie psychisch stark

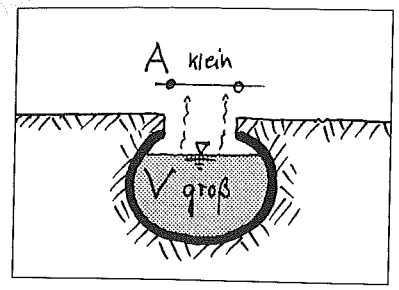
belastet. Zum Teil ist auch der Wassermangel für saisonale Wanderbewegungen und die Abwanderung gerade junger Leute mitverantwortlich. Mittlerweile wird von vielen technischen Diensten und Projekten der Verbesserung der Wasserversorgung Priorität eingeräumt, auch wenn sie andere eigene Ziele verfolgen (z. B. Erosionsbekämpfung). Die Gefahren, die in der Verwendung des gespeicherten Oberflächenwassers als Trinkwasser liegen, sind der Bevölkerung weitgehend unbekannt. Aufgrund ungünstiger Grundwasserverhältnisse und weit entfernter Brunnen wird häufig aller Wasserbedarf aus dem Dorftümpel gedeckt. Durch Waschen, tierische Exkremente und spielende Kinder kommt es zu erheblichen, sich konzentrierenden Verunreinigungen, die zur Verbreitung aller Arten von Krankheiten führen. Jeder Techniker trägt hier durch Unterstützung von Baumaßnahmen eine große Verantwortung. Er geht die Verpflichtung ein, die Bevölkerung über die Gefahren zu unterrichten und Maßnahmen zu Sicherung des Trinkwasserbedarfs (Pumpe, Brunnen) zu ergreifen. Wenn Trinkwasser aus dem offenen Speicher entnommen werden muß, sind Maßnahmen zur Reinhaltung des Wassers zu treffen. Die räumliche Trennung der Entnahmestelle von Waschplatz und Tränke ist erforderlich, und den Tieren muß der direkte Zugang verwehrt sein.

2.6 Bouli

Definition

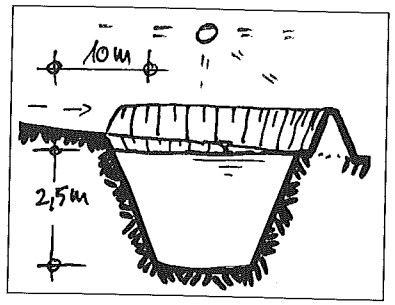
Traditionell entsteht ein Bouli durch den Lehmabbau (Banco) und ist somit Lehmkuhle und Wasserspeicher zugleich. Oberflächenwasser wird in Dorfnähe in einer Vertiefung gesammelt. Größe und Tiefe wachsen mit zunehmendem Alter und variieren daher stark. Bei einer ausreichenden Tiefe besteht der große Vorteil gegenüber dem oberirdischen Wasseraufstau in einer geringen Wasserverdunstung. Das gespeicherte Wasser wird vielfältig genutzt. Bereits nach den ersten Regenfällen wird noch vor der eigentlichen Regenzeit mit der Gewinnung und Herstellung von Lehmerde (Banco) und Lehmziegeln begonnen, um Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten an den dörflichen Lehmgebäuden durchzuführen und sie regenfest zu machen (Dachreparaturen, Putzarbeiten). Danach dienen die ortsnahen Speicher als Viehtränke, als Waschplatz, zum Goldwaschen und für andere Zwecke. Trotz starker Verschmutzung wird aus Boulis auch Trinkwasser gewonnen, dessen Qualität bedenklich ist.

Die hier vorgestellten kleinen Boulis sind besonders geeignet, die Wasserversorgung des Viehs in der Nacherntezeit temporär (2 – 3 Monate) zu verbessern. In den Ackerbauzonen gibt es zu diesem Zeitpunkt größere Viehbestände in Dorfnähe, denen auf diese Weise leicht zugängliche Wasserstellen erschlossen werden. Ein Interesse der Bauern besteht, da die Mistproduktion der Tiere den Feldern zugute kommt. Als Nebeneffekt werden durch Verminderung der Hochwasserabflüsse unterhalb liegende Flächen geschützt.

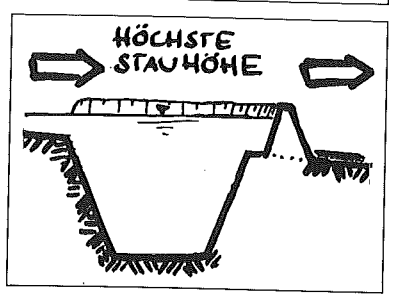


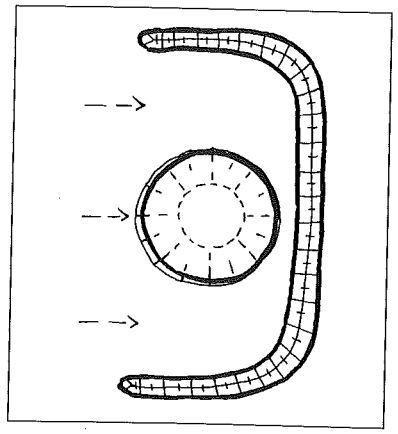
Funktionsweise

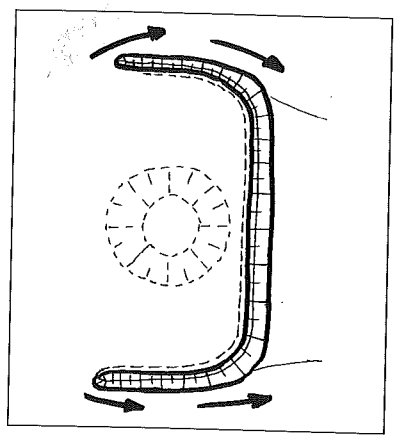
Als Speicherraum dient nach dem Zisternenprinzip die durch den Erdaushub entstandene Vertiefung. Der Zeitraum der Wasserverfügbarkeit ist wegen der hohen Verdunstungsverluste von 0,7 – 1 mm/Tag begrenzt und vor allem von der Tiefe des Beckens abhängig. Der Erdaushub wird unterhalb des Beckens zu einem Wall aufgeschüttet, welcher dem Becken das Oberflächenwasser zuleitet. Eine bedarfsgerechte Steuerung der Zuflußmenge ist durch die Veränderung der Länge des Walls möglich. Überschußwasser kann seitlich über die Flügel des Walls abgeführt werden.



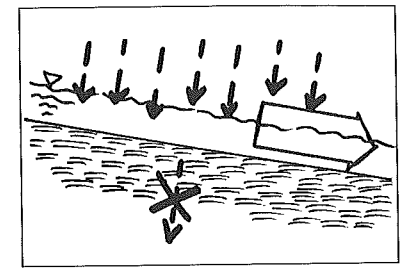
Die Versickerung in den Untergrund ist meist nicht erwünscht und wird durch Wahl eines lehmigen Standortes gering gehalten. Die Verringerung des Hochwasserabflusses erfolgt zum Teil durch den Speicherraum des Beckens (réservoir), vor allem jedoch durch den Rückstau des Erdwalls, in dem das angestaute Wasser verlangsamt über die Flügel abfließt. Sedimentablagerungen im Bouli können durch die Standortwahl und durch Erosionsschutzmaßnahmen im oberhalb gelegenen Einzugsgebiet verringert werden. In der Regel sind exakte Berechnungen nicht erforderlich. Speichervolumen und Zuleitung können dem Bedarf angepaßt werden.



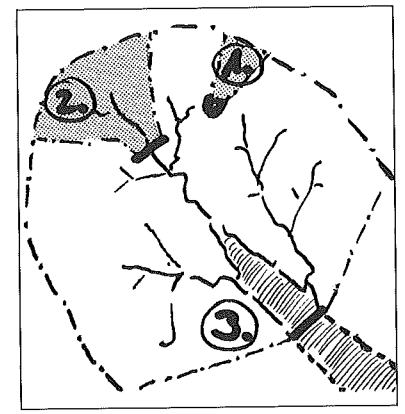




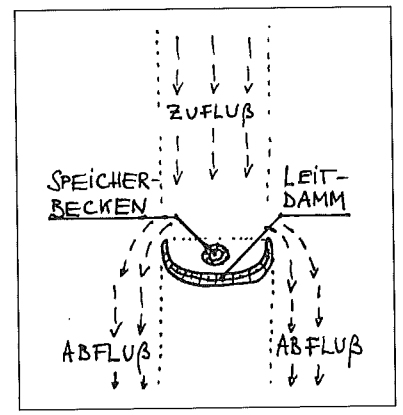
Bauanleitung



Standort: Ideal sind möglichst undurchlässiger lehmiger Boden und ein günstiges Verhältnis des Speichervolumens zur Größe des Wassereinzugsgebietes. Ein zu großes Einzugsgebiet führt zu Versandung durch Sedimentablagerung und zu starken Belastungen des Erdwalls. Talauen und Bereiche mit konzentriertem Wasserabfluß sollten deshalb nicht als Standort gewählt werden (3.). Bei bereits existierenden Lehmkuhlen sind die Bodenverhältnisse ideal und die Verluste durch Versickerung gering. Ob der Wasserzufluß für eine Vergrößerung des Speichers ausreicht, läßt sich hier gemeinsam mit den Bauern meist leicht abschätzen. Wenn der Standort frei wählbar ist, sind kleine Abflußmulden im Bereich der Hänge günstig (1. u. 2.). Sandiger und sandig-schluffiger Boden ist in der Regel nicht geeignet, weil hier trotz allmählicher Verschlämmung (colmatation) erhebliche Verluste durch die Versickerung auftreten.



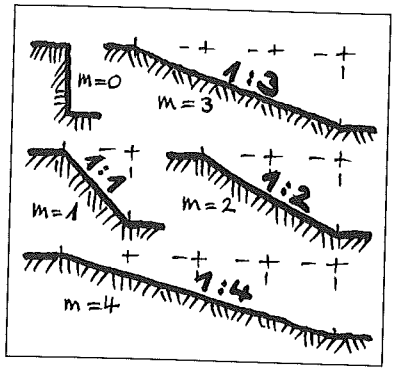
Technische Angaben: Bauelemente eines Bouli sind: Speicherbecken, Leitdamm, Abfluß (exutoire), Zufluß.



Zur gezielten Verbesserung des Wasserspeichervermögens bestehender Lehmkuhlen sind folgende Maßnahmen angebracht:

- Vertiefung des Beckens zur Reduzierung der Verdunstung,
- Erosionsschutz im Wassereinzugsgebiet zur Verminderung von Sedimentablagerungen und der gezielten Wasserzuführung,
- Anlage eines Erdwalls zur kontrollierten Zuleitung.

Da die Wasserverluste vor allem durch die hohe Verdunstung der freien Wasseroberfläche erfolgen (5 – 10 mm/Tag), sollte das **Speicherbecken** eine möglichst bauchige, tiefe Form haben. Für einen undurchlässigen lehmigen Boden können Verluste von insgesamt 10 mm pro Tag angenom-

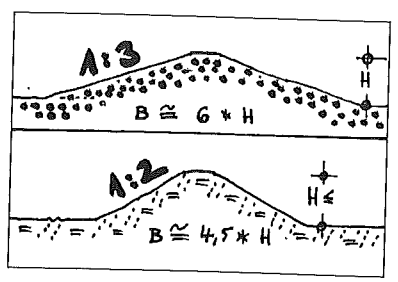


men werden, die sich für eine Nutzungsperiode von 100 Tagen (3 Monate) zu einer Wasserhöhe von 1,0 m addieren. Die Gesamttiefe sollte mindestens 2,0 m betragen. Weil in zwei Meter tiefen Becken für Mensch und Tier die Gefahr des Ertrinkens besteht, müssen die Böschungen abgeflacht und begehbar sein. Eine stabile Böschungsneigung ist abhängig von der Bodenart:

Toniger Lehm:	1:1,5
sandiger Lehm:	1:2

Um den Zugang zum Wasser zu erleichtern und den Wasserzufluß zu regeln, sollte an der Hangseite eine flache Rampe angelegt werden. Ein Verbau der Rampe mit Steinschwellen kann erforderlich werden, um rückschreitender Grabenerosion entgegenzuwirken.

Der Erdwall fängt oberflächlich abfließendes Regenwasser auf und leitet es zum Speicherbecken. Je länger der Wall ist, desto mehr Wasser kann er auffangen. Der Verlauf des Walls sollte an der Höhenlinie orientiert sein. Die abschließenden Flügel sollten auf gleicher Geländehöhe enden und mit der Schlauchwaage eingemessen werden. Wie bei den kleinen Erdwällen erzeugt der Wall durch Aufstau ein zusätzliches Speichervolumen. Eine Stauhöhe von etwa $^1/_3$ der Wallhöhe kann durch eine entsprechende Länge der Flügel erzeugt werden. Eine stärkere Belastung stellen die Abflüsse bei besonders heftigen Regenfällen dar, die kurzzeitig einen starken Aufstau provozieren (vgl. Erdwälle – maximaler Aufstau). Ungefähr können folgende Größen gelten:



Höhe	$H = 0{,}50 - 1{,}00$ m
Breite bei Neigung 1:3	$B = 7 \times H$
Kronenbreite	$= 0{,}5 - 1{,}0 \times H$

Eine ausreichende Standsicherheit für den Wall ist gegeben, wenn bei der Ausführung einige Regeln beachtet werden: Die Krone des Dammes

sollte flach (nicht spitz) und gleichmäßig hoch sein. Der Wall muß ausreichend breit und flach sein (Böschungsneigung 1:3).

Eine Begrünung der Erdböschungen und ihrer Stabilisierung durch die Vegetation ist nur außerhalb des Wasserstaus möglich und hier durch Verbiß erheblich eingeschränkt. Im Staubereich ist der langfristige Bodenabtrag durch Erosion nur durch vollständige Verkleidung der Oberfläche mit Kies und Steinen zu verhindern. Die flache Böschung bewirkt auch ohne zusätzlichen Schutz eine wesentlich geringere Erosionsanfälligkeit und ist auch Voraussetzung für eine spätere Abdeckung mit Steinen.

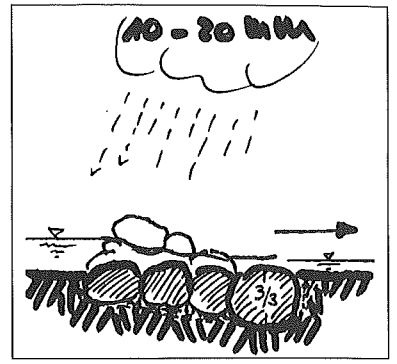
Die **Steuerung des Zuflusses** muß zwei Forderungen erfüllen:

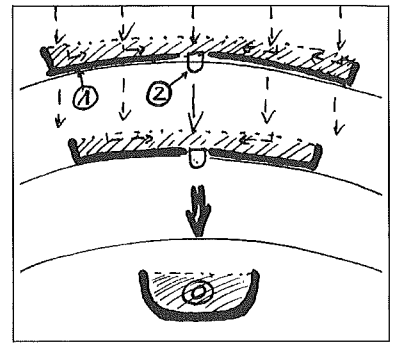
- Nutzung des Oberflächenabflusses auch bei kleineren Regenfällen,
- Minimieren der Sedimentfracht im Zufluß.

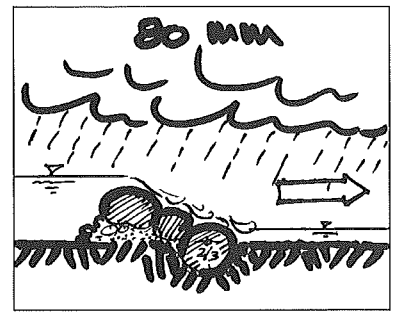
Dies ist durch eine Anlage kleiner Steinwälle (1) mit flachen Überläufen (déversoirs) (2) möglich. Die Wälle bewirken die Ablagerung der Sedimente und erschließen ein größeres Wassereinzugsgebiet.

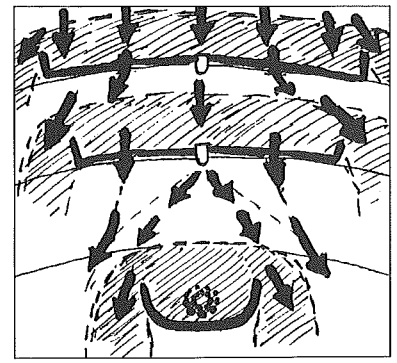
Überlauf: Eine ausreichende Abflußmöglichkeit für überschüssiges Wasser besteht in der Regel durch seitliches, ebenerdiges Umströmen des Walls. An einem günstigen Standort in flachem Gelände ist keine Berechnung erforderlich, wenn sich das Wasser seitlich weit ausbreiten kann und somit eine Überströmung des Walles ausgeschlossen ist. (Je kleiner das Wassereinzugsgebiet ist, desto schwächer ist das Hochwasser.)

Abmessungen: Die Größe eines Bouli wird in der Regel durch die Verfügbarkeit von Arbeitskraft und Grabwerkzeugen bestimmt und nicht durch den Wasserbedarf. Häufig wird das Becken über mehrere Jahre immer weiter ver-









tieft. Für neue Anlagen, die mit Unterstützung in relativ kurzer Frist entstehen, kann eine überschlägliche Berechnung sinnvoll sein. Man kann sowohl den Bedarf über die Anzahl von Menschen und Tieren für eine gewünschte Periode ermitteln, als auch die Arbeitsleistung abschätzen. So kann die Dimension der Anlage festgelegt und das Verhältnis von Dammlänge zum Wassereinzugsgebiet optimiert werden (siehe V.5)

Folgende **Größen** sind üblich:

Speicherbecken:

Durchmesser, als mittlerer Durchmesser auf Geländehöhe (D[m]):

D = 10 m – 50 m

Radius, R = D/2

R [m] = 5 m – 25 m

Tiefe, als mittlere Tiefe (T):

T [m] = 2 m – 4 m

Böschungsneigung, je nach Bodenart

1 : m = 1:1,5 für tonigen Lehm

1 : m = 1:2 für sandigen Lehm (bei gewachsenem Boden)

(Verhältnis von Volumen zur Größe bei idealer kreisrunder Form und einer Böschungsneigung von 1:m = 1:2 siehe V.5., Tabelle).

Erdwall:

Höhe (H): H [m] = 0,30 m – 1,0 m

Länge (l): L [m] = 30 m – 100 m

Böschungsneigung, je nach Bodenart:

1 : m = 1:2, bei tonigem Lehm

1 : m = 1:3, bei sandigen Lehm

Stauhöhe des Walls (wie 3.1.2) normaler Einstau (Hn):

$H_n = {}^1/_3 \times H$

höchster Einstau (H_{max}):

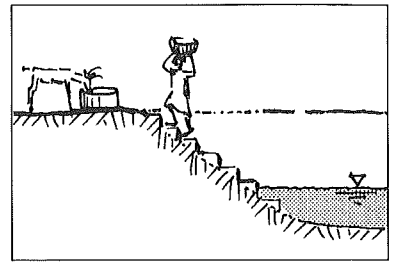
H_{max} [m] $= {}^2/_3 \times H$

Freibord, oberer Sicherheitsbereich: (Revange):

$H_m > {}^1/_3 \times H$

Bewertung und Probleme

Um das gespeicherte Wasser in einem hygienisch akzeptablen Zustand zu erhalten, sind Maßnahmen erforderlich, die bei den bestehenden kleinen Bouli nicht üblich sind. Das Ideal einer räumlichen Trennung verschiedener Nutzungsarten ist nur durch Abzäunen des Beckens und erheblichen Arbeitsaufwand bei Wasserförderung und -transport zu erreichen. Zudem benötigt man geeignete Behälter für Tränke und Waschplatz. Minimalforderung ist ein kontrolliertes Tränken der Tiere, auch um Schäden an den Böschungen durch Viehtritt zu vermeiden.



Grundsätzlich hat gespeichertes Oberflächenwasser auch bei größter Sauberkeit keine Trinkwasserqualität.

Die Organisation der Arbeiten ist stark von der Verfügbarkeit von Arbeitsmaterial abhängig. Mit den traditionellen dörflichen Arbeitsgeräten ist das Graben zwar möglich, aber beschwerlich. Die Dabba eignet sich vor allem zum Graben feuchten, weichen Bodens, und der Transport mit Kalebassenschalen ist mühsam. Will man ausreichende Speicherkapazitäten schaffen und dazu die Trockenzeit nutzen, sind Spitzhacke, Schaufel und Schubkarren erforderlich. Interessant ist die befristete leihweise Vergabe einer größeren Menge an Werkzeugen, die die Interessenten zu einer gut organisierten kollektiven Arbeit zwingt. Die Beteiligung einer möglichst großen Personenzahl wird so begünstigt. Vorteil der zeitlich befristeten Vorgehensweise ist, daß sich an der Aktion auch junge Männer beteiligen können, bevor sie saisonal abwandern.

2.7 Staudamm

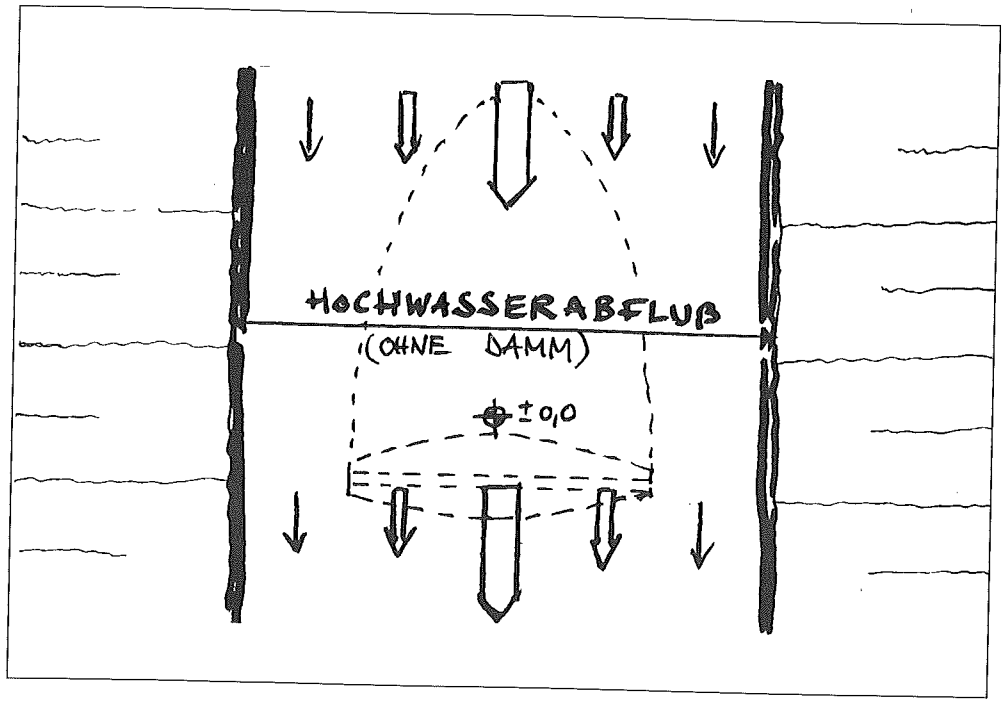
Der Wunsch, Wasser zu stauen, wird immer wieder von der Bevölkerung an die Berater herangetragen. Daher sollen hier, trotz der bereits angesprochenen Probleme,

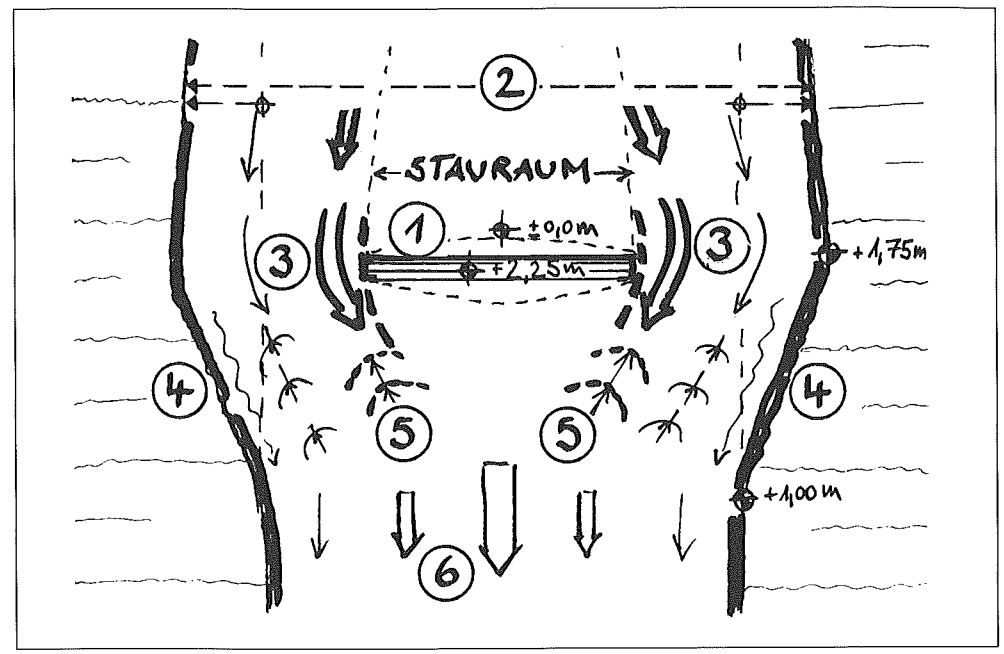
Funktionsprinzip und wichtigste Belastungen, denen ein Staudamm ausgesetzt ist, erläutert werden, um eine Diskussionsgrundlage zu schaffen. Bei der Planung muß man berücksichtigen, daß der Wasseraufstau negative ökologische und ökonomische Folgen haben kann, wie etwa eine Umnutzung einer bisher als Acker oder Weide genutzten Fläche oder Folgeschäden durch eine Übernutzung der Weide (vgl. III.4.2, Erosion durch künstlichen Aufstau und IV.5.7, Exkurs).

Funktionsweise

Der Erddamm verläuft in gerader oder gebogener Form quer durch einen natürlichen Geländeeinschnitt, wodurch der Damm den Abfluß des Oberflächenwassers behindert. Die mögliche Stauhöhe wird durch Tiefe des Geländeeinschnitts und Länge des Walls bestimmt. Bei dem im Sahel vorherrschenden, eher flachen Gelände kann nur ein sehr langer Erddamm eine große Stauhöhe bewirken. Gleichzeitig sind in der Regel sehr hohe Dämme erforderlich, weil an den geeigneten Talabschnitten enorm große Hochwässer bewältigt werden müssen. Wichtigstes Prinzip ist, daß der Damm auf keinen Fall überströmt werden darf, um einen Bruch zu vermeiden!

Die Funktionsweise wird durch eine Beschreibung des Abflußgeschehens bei Hochwasser verdeutlicht. Maßgeblich ist immer das höchste mögliche Hochwasser:





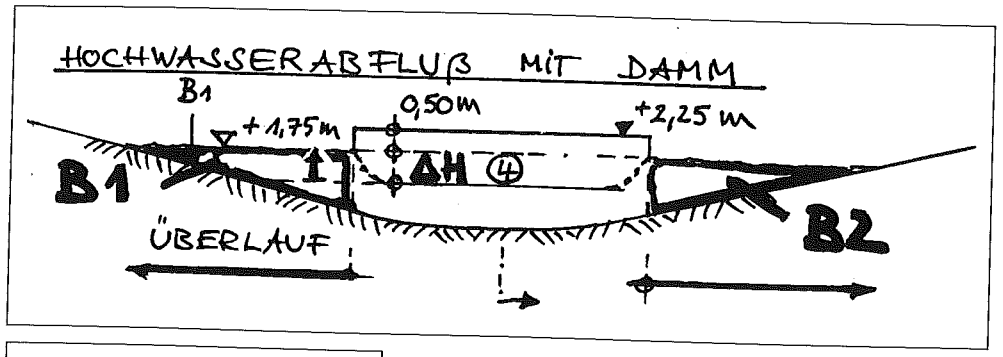
1.) Dammlänge und Stauhöhe (+0,50 m) werden festgelegt. Bei vollem Stauraum muß das überschüssige Wasser den Damm seitlich umströmen (ebenerdiger Überlauf; Déversoir à ras le sol).

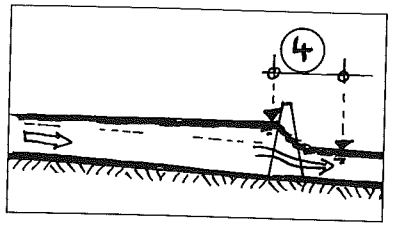
2.) Hochwasser führt zu einem erheblichen Rückstau. Der Wasserspiegel steigt an (H) und der Abflußbereich wird seitlich erweitert. (Der Anstieg ist abhängig von der Größe des Hochwasserabflusses, der Dammlänge und der Abflußkapazität des Überlaufs).

3.) Der Aufstau erfolgt bis zu einer Höhe, die das Abfließen des Hochwassers über die seitlichen Überläufe ermöglicht. Beide Dammenden werden stark umströmt. Es gilt näherungsweise, daß der Abflußquerschnitt seitlich des Dammes (B1 + B2) dem Abflußquerschnitt (A) ohne Damm entsprechen muß (graphische Lösung).

4.) Bei der Umströmung des Walls stellt sich ein starkes Abflußgefälle ein. Der Aufstau (H) und das relativ größere Quergefälle des Tales bewirken eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeit.

5.) Starkes Gefälle und hohe Geschwindigkeit führen zu rückschreitender Erosion. Sie gräbt von unten, aus der Talmitte kommend, allmählich um den Damm herum, um das ursprüngliche Fließgefälle wiederherzustellen. Es kommt zu Sedimentablagerungen oberhalb des Dammes und zu einer erhöhten Sedimentaufnahme unterhalb.





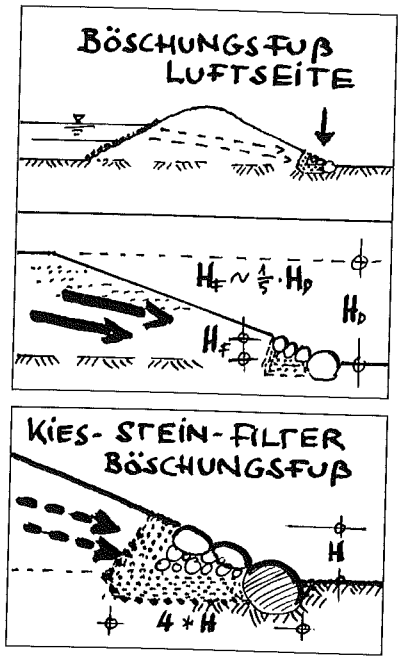
6.) Unterhalb des Dammes fließt das Wasser wieder zusammen, und es stellt sich der dem natürlichen Gefälle entsprechende normale Hochwasserabfluß ein.

Bauelemente

Ein Staudamm sollte nie in Selbsthilfe von der Bevölkerung gebaut werden!

Standort: Die Bedingungen entsprechen denen des Bouli (3.1.4) mit dem Zusatz, daß ein geeigneter Geländeeinschnitt erforderlich ist. Undurchlässiger Boden (Lehm) muß Sickerströmungen im Untergrund verhindern.

Um die Höhe des Damms und das erforderliche Erdvolumen zu berechnen, muß der größte maßgebliche Abfluß ermittelt werden.



Dammfuß: Der Dammfuß ist durch Erddruck und Wasserdruck belastet und muß daher in den Untergrund eingebettet sein. Weil am luftseitigen Dammfuß mit dem Austritt von Sickerwasser zu rechnen ist, sollte dieser aus durchlässigem Sand und Kies aufgebaut sein. Dieser Kiesfilter muß das Lösen von Bodenteilchen durch das Sickerwasser verhindern. Er soll Wasser durchlassen und den Boden zurückhalten.

Basis: Anschließend an den Fußfilter ist im Bereich der Dammsohle eine Verbindung des lehmigen Dammes mit dem undurchlässigen Untergrund herzustellen. Ein schleichendes Gleiten des

Dammes aufgrund von Wasser und Erddruck kann so verhindert und die Dichtigkeit der Sohle gesichert werden.

Dammkörper: Der Dammkörper muß gegen ein Verschieben des Dammes (Gleiten) gesichert sein. Ein kompakter, homogener und dichter Erdkörper kann durch sorgfältigen schichtweisen Einbau und lagenweises Verdichten des Lehms erreicht werden. Um eine gute Verdichtung zu erzielen, muß der Boden bindig und feucht sein.

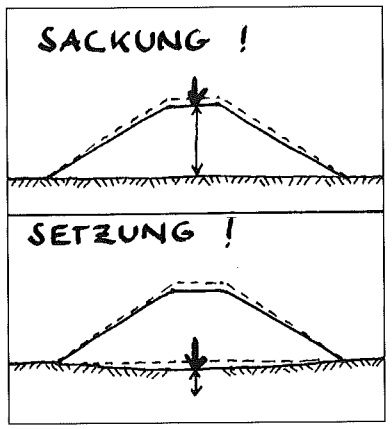
Böschung: Ungeschützte Erdböschungen werden sehr stark von Erosion angegriffen und zusätzlich durch Betreten von Menschen und Tieren belastet. Eine flache Böschung vergrößert das erforderliche Erdvolumen, bewirkt aber durch die größere Masse eine höhere Standsicherheit

Übliche Neigung:

Wasserseite 1:m = 1:3

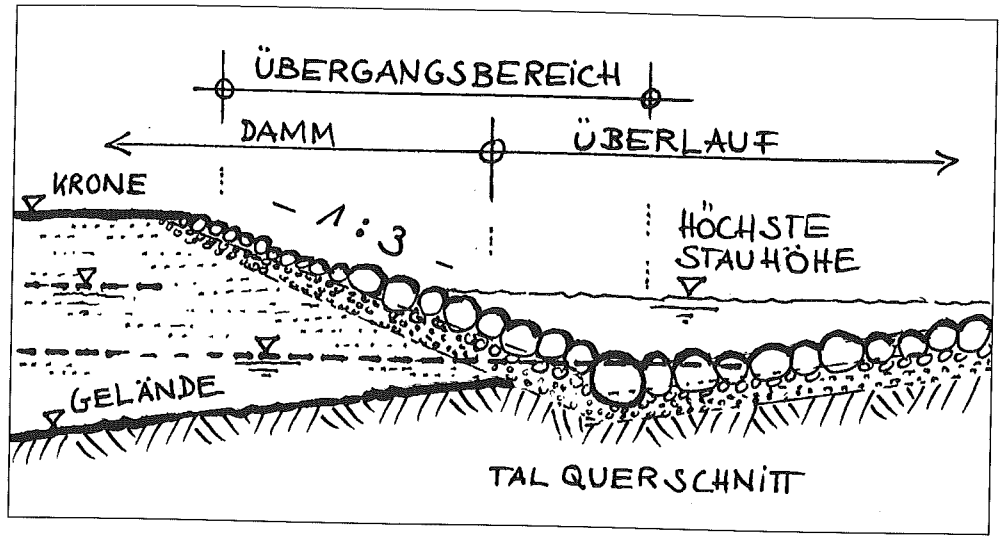
Luftseite 1:m = (1:2) – 1:3

Zusätzlich ist mittelfristig eine oberflächliche Sicherung durch eine Kies- und Steinlage erforderlich, weil es in der Region nicht gelingt, Erdböschungen allein biologisch zu schützen. Im Bereich der gestauten Wasserfläche ist der Aufbau Kies plus Steine zu wählen, während an der Luftseite auch eine Kies-Schotter-Schicht ausreicht (Lateritkies und Bruchsteine).



Krone: Sie muß gleichmäßig hoch und mindestens 0,5 – 1,0 m breit sein (bei sehr kleinen Dämmen mindestens B = $^1/_2 \times$ H). Als Sicherheit wird das sogenannte Freibord zum höchsten angenommenen Wasserstand addiert um Höhenverluste durch Sackung, Setzung des Untergrundes, Erosions- und Trittschäden auszugleichen.

Überlauf: In den meisten Fällen wird der Überlauf ebenerdig ein- oder beidseitig des Dammes angelegt. Der Abflußbereich muß als Steinschwelle angelegt werden. Auch bei ebenerdigem Abfluß ist ein Unterbau aus Kies und Steinen erforderlich, da hier erhöhte Erosionsgefahr besteht. Es ist rechnerisch nachzuweisen, daß der Überlauf



das Bemessungshochwasser bewältigt. Bauweise und Material sind der Belastung anzupassen (Steine, Drahtschotterkästen, Neigung der Schwelle). Bei ebenerdigem Abfluß ist mindestens ein Vergleich des Durchflußquerschnittes vor und nach dem Dammbau erforderlich. Um Erosion zu vermeiden, darf der Überlauf den Abfluß nicht zusätzlich konzentrieren.

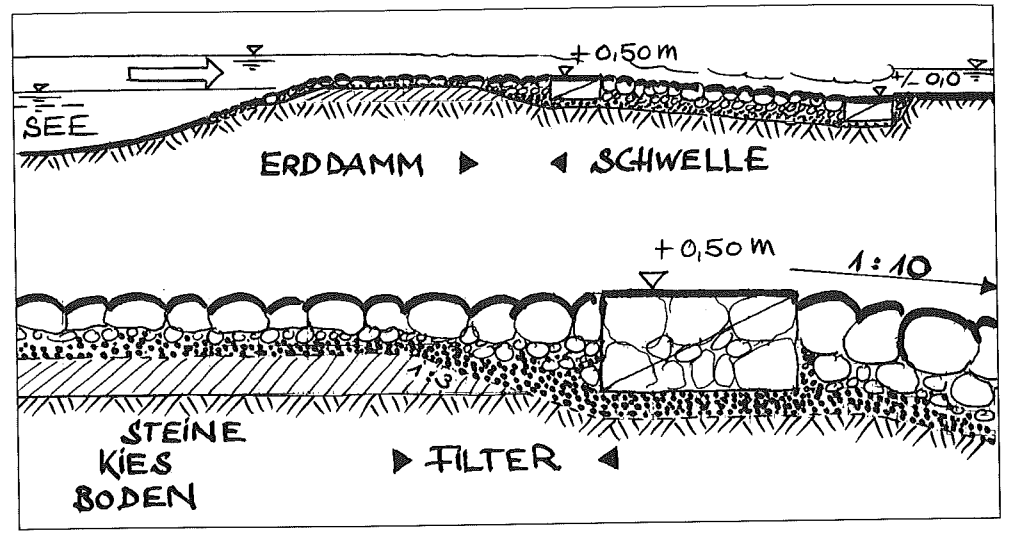
Übergang (Damm-Überlauf): Dies ist der schwächste Punkt der Anlage, da sich hier die hohen Belastungen aus Wasserdruck und Wasserströmung konzentrieren. Der Erdkörper ist sorgfältig gegen Wassererosion zu schützen, indem die seitliche Böschung flach und mit einer besonders starken Böschungssicherung aus Kies und Steinlagen gestaltet wird. Ein anderer Aufbau ist mit den verfügbaren Grundbaustoffen nicht erfolgversprechend.

2.8 Überströmbare Schwelle

An Standorten mit sehr hohen Hochwasserständen ist ein nicht überströmbarer Damm ungeeignet. Mit dem Hochwasserabfluß steigt die erforderliche Dammhöhe, und umso länger muß das Überlaufbauwerk sein. Vor allem in flachen Niederungen ist eine auf ganzer Länge überströmbare Schwelle vorteilhaft, die Staudamm und Überlauf in einem Bauwerk vereint. Das Risiko größerer Schäden ist auch bei außergewöhnlichem Wasseranstieg verhältnismäßig gering.

Funktionsweise

Die Schwelle kann mit den verfügbaren Baumaterialien höchstens 0,50 m Aufstau erzeugen. Da dies nur für etwa einen Monat ausreicht, ist die Schwelle nur als zusätz-



liche Maßnahme für bestehende unter Geländeniveau befindliche Speicher sinnvoll. Die Schwelle kann die Speicherkapazität eines natürlichen Sees (mare) oder eines Bouli erhöhen und im besten Fall eine entscheidende Verlängerung der Nutzungsperiode bewirken.

Solche Schwellen wirken wie eine **Furt** (radier). Die gleichmäßig hohe Krone durchquert den Talbereich und verteilt den Wasserabfluß gleichmäßig auf die gesamte Breite der Schwelle. Kleinere Schwellen reichen häufig aus, um Erosionserscheinungen (z. B. Erosionsrinnen) im Auslaufbereich eines Sees zu bekämpfen, die zu Entwässerung und zur Verringerung des Speichervolumens führen.[12)]

Bei der Gestaltung erscheint ein freier Überfall und Absturz des Wassers ungünstig, da er die Bildung oft nicht kontrollierbarer **Kolke** (Vertiefungen) provoziert. Dieses ist an der Mehrzahl älterer Betonfurten (radier en beton) in der Region zu beobachten. Auch bei Verwendung von Steindrahtkästen für besonders beanspruchte Bauwerke ist das Wasser durch eine Schwelle mit schwacher Neigung eher beherrschbar (s. IV.3.8 Sohlschwelle in Gabionbauweise).

12) Zur Anschauung können zwei Bauwerke am Auslauf des „mare de Dori" dienen, die den natürlichen Wasserspiegel anheben. Das erste ist eine ältere Betonfurt auf der Strecke Dori-Mamasiol (nord-östlich von Dori), das zweite ist eine etwa 1 km weiter westlich befindliche Schwelle aus Steinen und Drahtschotterkästen (Gabionen).

3 Steinbau

3.1 Einführung

Bedeutung des Steinbaus in derRegion

In den Ackerbauzonen vor allem in den Provinzen SENO und SOUM sind häufig die Reste der alten Lateritplateaus als Steinvorkommen nutzbar. Das Lateritgestein hat sich für die Erosionsschutzmaßnahmen als sehr günstig erwiesen, da beim Abbau des Gesteins alle Korngrößen vom Kies bis zu 50 kg schweren Gesteinsbrocken gewonnen werden können.

Einfache **Steinwälle** ermöglichen auf wegen Trockenheit aufgegebenen Böden die Wiederaufnahme des Anbaus. 1987 wurden die ersten kleinen Steinwälle im Seno mit gutem Erfolg gebaut und die hohen Erwartungen erfüllt. Viele Bauern, für die der Mangel an kultivierbarem Boden existenzbedrohend ist, haben so eine Überlebensmöglichkeit.

In Kombination mit dem Flächenschutz durch kleine Steinwälle ermöglicht der **Grabenverbau** eine Beherrschung des Wasserabflusses. Er läßt sich so steuern, daß eine optimale Wasserversorgung der Felder erreicht werden kann. Die ersten Versuche im Grabenverbau wurden im Seno 1987/88 gemacht. Beim Grabenverbau werden Erosionsgräben und -rinnen durch eine Folge einzelner **Überläufe** und **Sohlschwellen** stabilisiert. Parallel dazu wurde in der Provinz Soum die Technik des **Sickerdamms** eingeführt.

Zur Entwicklung von Baukriterien, günstigen Abmessungen und Arbeitsabläufen haben die Erfahrungen im Département Bani beigetragen. Aufgrund des starken Geländereliefs konzentrieren sich hier die Probleme der Wassererosion bis hin zur Bildung reißender Erosionsrinnen.

Besonderheiten des Steinbaus

Der Erfolg der Maßnahmen ist nur bei einer durchgehend **guten Qualität** der Bauwerke gegeben, die handwerkliche Fertigkeiten und Geschicklichkeit erfordert. Die Regeln für das Vermauern und Setzen der Steine sind schrittweise durch den Bau einfacher Steinwälle zu erlernen.

Mit zunehmender Verbreitung der Maßnahmen geht eine Verlagerung der technischen Kompetenz auf die Betroffenen einher, die weitgehend unabhängig von der Beratung durch Techniker tätig werden. Je schneller sich die Maßnahmen verbreiten, umso schwerer wird es, auf die bauliche Qualität Einfluß zu nehmen. Der Vermittlung der Baugrundsätze und Regeln kommt deshalb eine große Bedeutung zu.

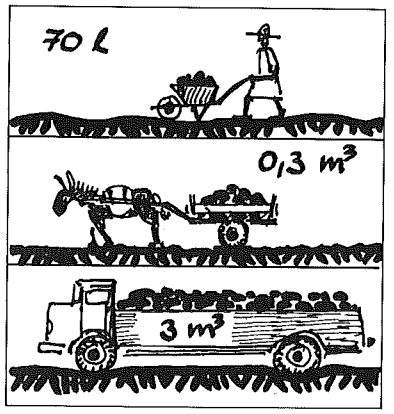
Die Steinbautechniken sind sehr arbeitsaufwendig. Hauptproblem ist das begrenzt zur Verfügung stehende Steinmaterial, welches oft sehr mühevoll aus dem Boden gebrochen und weit transportiert werden muß. Den Bauern stehen in vielen Fällen keine geeigneten Transportmittel zur Verfügung, so daß die schweren Steine selbst auf dem Kopf und mit dem Fahrrad über weite Strecken herangeschafft werden müssen. Einzelne Lateritbrocken mit Durchmessern von über 0,50 m wiegen 30 kg und mehr und sind damit nur noch mit Einschränkungen von Hand zu transportieren und einzubauen. Hier ist eine Unterstützung durch die technischen Dienste nötig, um befriedigende Resultate zu erreichen.

Wegen der Beschaffungsprobleme wird häufig am Material, besonders am Kies, gespart. Dadurch kann es zu starken Schäden durch Sackung kommen. Vermeidbare Schäden entstehen auch durch eine schlechte Verankerung und Vermauerung der Steine. Folgen sind erhöhter Reparaturaufwand und eingeschränkter Nutzen, die schließlich die Verbreitung der Technik behindern.

Folgerungen:

- Die schwere Steinarbeit lohnt nur dann für die Bauern, wenn sie zu einer **dauerhaften Verbesserung** führt. Dies ist nur **durch** eine **gute Qualität** der Bauwerke erreichbar.
- Die Behandlung einer mehrere Hektar großen Fläche bedarf einer **guten Organisation,** vieler Arbeitskräfte und gegenseitiger Hilfe.
- Die Entfernung einer Steinbaustelle von der Steinentnahme muß abhängig von den verfügbaren **Transportmitteln sinnvoll** gewählt werden.

Materielle Förderung



Um Erosionsschutzmaßnahmen in Steinbauweise breitenwirksam zu verwirklichen, sind Bereitstellung von Werkzeugen und Unterstützung der Steintransporte erforderlich. Gebräuchliche Transportmittel sind Schubkarren, Eselkarren und LKW für unterschiedliche Distanzen und Mengen. **Eselkarren** sind in der Region weit verbreitet und als Transportmittel universell einsetzbar, stehen aber den Interessierten nicht immer zur Verfügung. Längerfristig sollte Einzelbauern und Bauerngruppen der Kauf zu günstigen Bedingungen ermöglicht werden.

Bei subventioniertem LKW-Einsatz müssen klare Bedingungen vereinbart sein, die eine gute Auslastung und Leistung gewährleisten; z. B. Be-

grenzung von Einsatztagen, Anzahl der Fuhren und finanzielle Beteiligung des Kollektives pro Tag. Sie müssen auf größere Distanzen und kollektive Baustellen beschränkt bleiben, um Eigeninitiativen und den Einsatz von Eselkarren nicht zu behindern.

Eine ungefähre Zuordnung wird hier gegeben:

Transportmittel	Entfernung	Unterstützung
Schubkarre	0– 500 m	Bereitstellung und Unterhaltung
Eselkarren	500–1000 m	Kleinkredite, (Unterhaltung)
LKW	1000–3000 m	Kostenübernahme oder Bereitstellung, bei kollektiven Maßnahmen

Die Voraussetzung für eine materielle Förderung ist, daß sie nicht ungeeigneten Maßnahmen und Standorten zugute kommt.

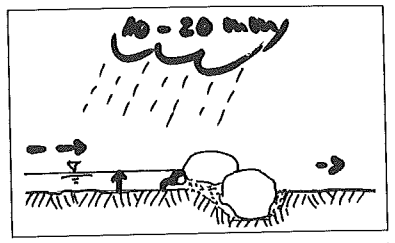
Vorteile der Steine als Banmaterial

- Mit Steinen können Wälle gebaut werden, die einer Überströmung standhalten.
- Steine sind nicht starr und können viele Bewegungen der Bauwerke schadlos überstehen (Sackung, Setzung).
- Die Form der Bauwerke kann nachträglich verändert werden.
- Die Bauwerke können unterschiedlichen Belastungen und Situationen angepaßt werden (Hänge, Täler).
- Lateritsteine zeigen erhebliche Vorteile gegenüber glatten und schweren Granitsteinen. Sie sind formbar und lassen sich zu Kies und Schotter zerkleinern. Sie gehen sowohl untereinander als auch mit dem Boden eine Verbindung ein.

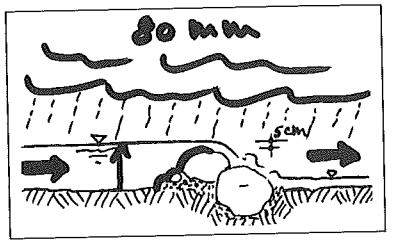
Belastungen der Bauwerke

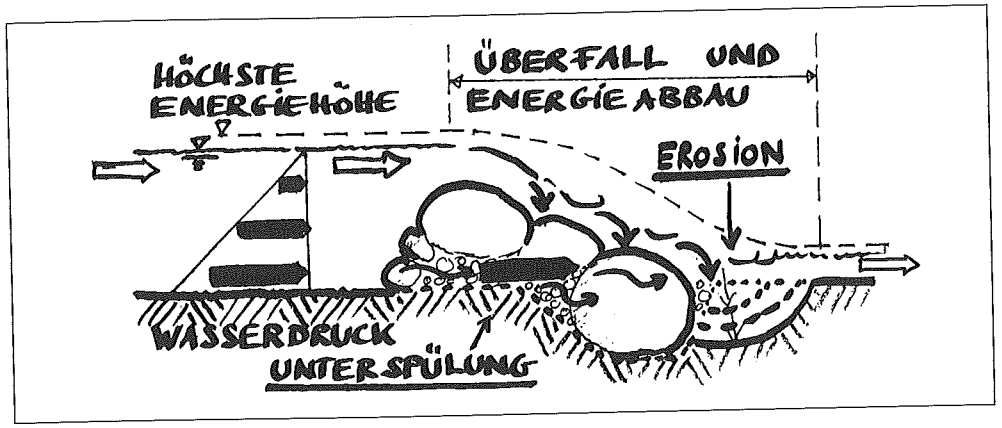
Die hydraulischen Belastungen der Steinbauwerke werden am Beispiel eines einfachen kleinen Steinwalles dargestellt.

Die Steinbauwerke stellen Abflußhindernisse dar, die bei Regen Wasser aufstauen. Bei Steinwällen steigt der Wasserstand so weit, bis ein Teil des Wassers nach unten abfließt, indem es durch die Steine sickert.

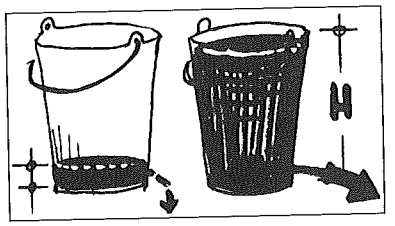


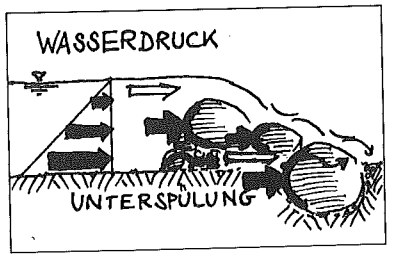
Bei starken Abflüssen kommt es zur Überströmung der Bauwerkskrone. Bei diesem Wasserstand ist der Steinwall am stärksten belastet. Dabei erzeugt die **Höhe des Aufstaus** eine erhebliche zusätzliche Energie. Maßgeblich ist der Höhenunterschied der Wasserspiegelhöhen oberhalb und unterhalb des Bauwerkes.

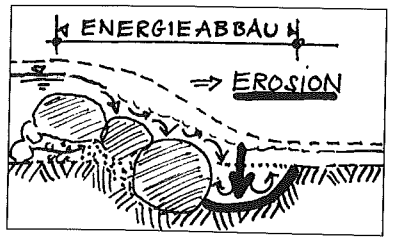


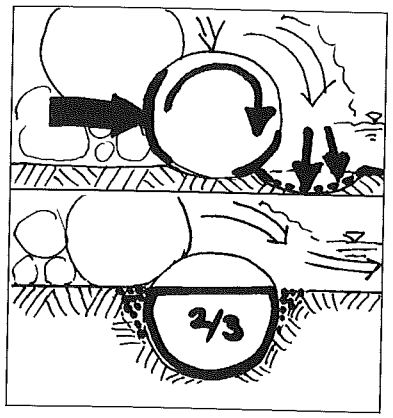


Wasserdruck und Sickerwasser: Steinbauwerke sind immer mehr oder weniger wasserdurchlässig. Bei aufgestautem Wasser entsteht der höchste Wasserdruck in Bodennähe, der das Wasser besonders schnell durch die kleinen Zwischenräume (Düsen) des Walls strömen läßt. Ist der Boden nicht geschützt, so wird er unter den Steinen weggespült, das Bauwerk wird unterspült, und die Steine sacken ab. Die Druckkräfte des Wassers wirken hauptsächlich auf den Fußpunkt, der durch die untere Steinreihe gebildet wird. Ist diese Steinreihe nicht gut verankert, so können sich mit der Zeit Steine lockern, herauslösen und zur Bildung einer Bresche führen.

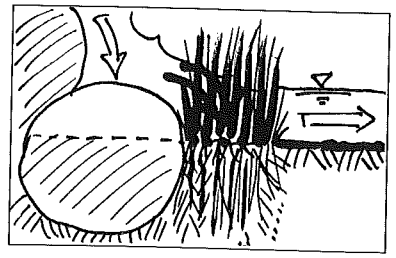






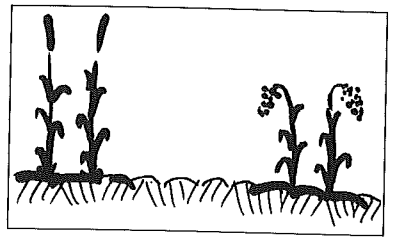


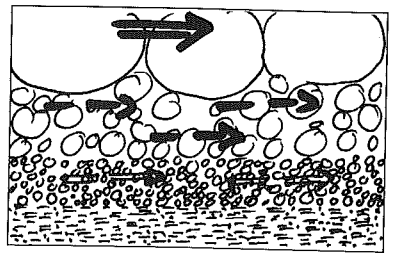
Überströmung: Dieselbe Energie enthält auch das den Steinwall überströmende Wasser. Zeichen für die sich umwandelnde Energie ist das Sprudeln und Rauschen des Wassers beim Absturz über die Steine! Trifft das Wasser mit unverminderter Wucht auf den Boden, kommt es zur Auskolkung durch starke Turbulenzen und sehr schnell zur Erosion am Fuß des Steinwalls. Dies kann bis zum Lösen der Verankerung führen. Bei größeren Wasserläufen und Erosionsgräben können selbst schwere Steindrahtkörbe (Gabionen) vom Wasser untergraben



und fortgespült werden. Es wird deutlich, daß der freie Absturz des Wassers zu verhindern und die Aufstauenergie schadlos über Stufen abzubauen ist. Der Fußpunkt ist besonders zu sichern.

Baugrundsätze





1.) Vorrang hat der **Schutz** kultivierbarer und **kultivierter Flächen.**

2.) Die Vorgehensweise **entlang der Höhenlinie** und in Arbeitsschritten führt zu gleichförmigen Linienbauwerken (Beherrschbarkeit und Risikominderung).

3.) Der **Höhenunterschied** ΔH zwischen Fußpunkt und Bauwerkskrone ist beim Flächenschutz auf 0,30 m und für Gabionschwellen auf 0,50 m zu beschränken.

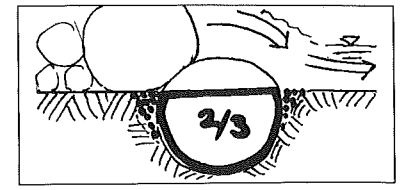
4.) Die Basis ist gegen Unterspülung und Absacken durch den **Einbau ausreichender Sand-Kies-Schichten** (Boden > Lateritkies > kleine Steine > große Steine) zu schützen.

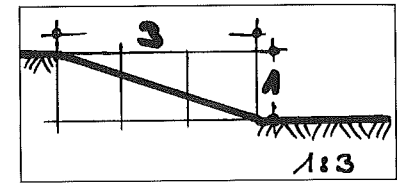
5.) Die **Fußpunkte** von Schwellen und Böschungen sind ausreichend im Untergrund zu verankern. Verankerungstiefe und Gewicht der einzelnen Steine müssen den Belastungen entsprechen.

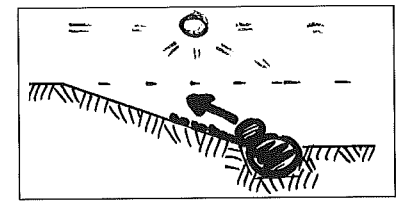
6.) Die **Neigung der Bauwerke** ist an die Standortbedingungen anzupassen.

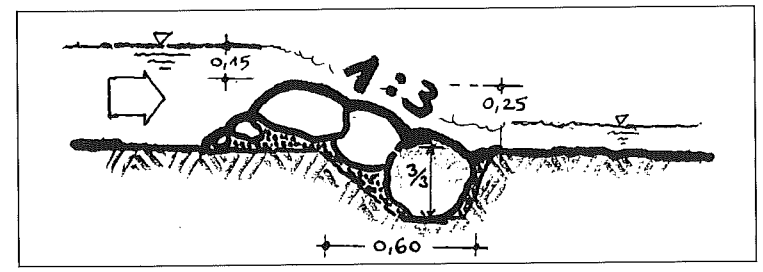
7.) **Erdböschungen** im Bereich der Bauwerke müssen bis auf eine **Neigung von 1:3** abgeflacht werden (dies gilt auch für kleinere Stufen im Boden).

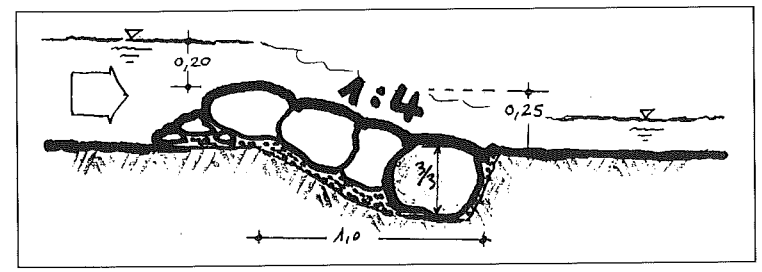
8.) Der **Steinverbau** einer Böschung beginnt immer **vom Fußpunkt an aufwärts.**

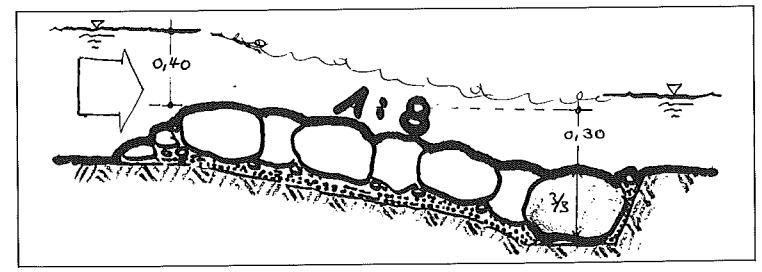




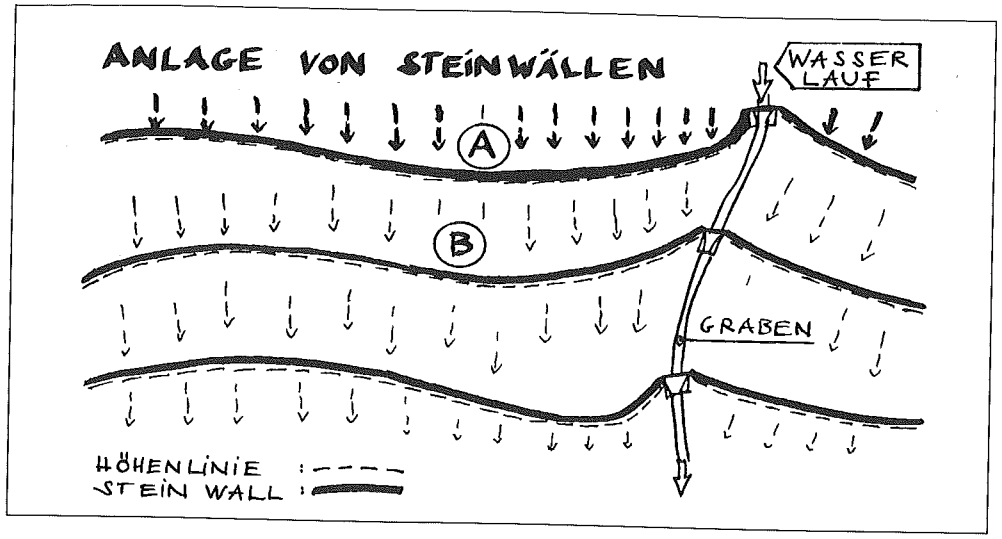


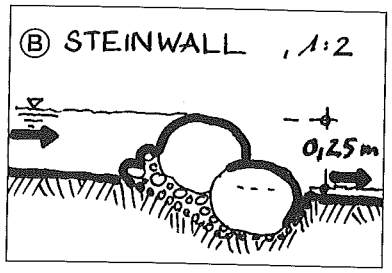






3.2 Kleine Steinwälle

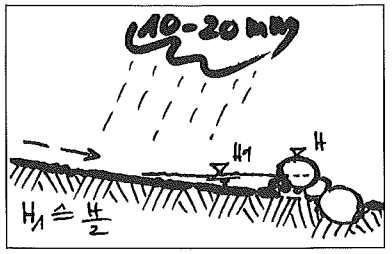


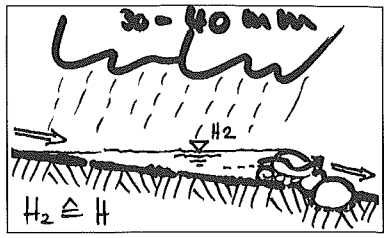


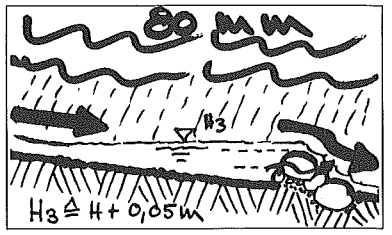
Definition

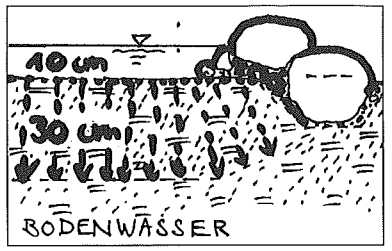
Kleine Steinwälle einfacher Bauart werden zum Zweck des Flächenschutzes entlang der Höhenlinie auf den Feldern gebaut. Durch sie können besonders erosionsgefährdete und nicht mehr bebaubare Böden geschützt und wieder kultivierbar gemacht werden. Erhalt und Rückgewinnung dieser Felder sollen zur Entlastung der teilweise überbeanspruchten Feuchtstandorte (bas-fonds) beitragen.

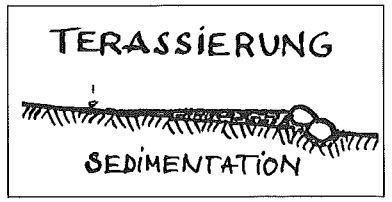
- Der Aufstau erzeugt eine fast ruhende Wasserfläche und verhindert damit den Abtrag des Bodens und die Auswaschung seiner organischen Anteile oberhalb des Walls.
- Die unterhalb des Walls gelegenen Flächen werden durch Verlangsamung und Verminderung des Wasserabflusses geschützt.
- Die Bodenwasserversorgung wird deutlich verbessert und die Produktionssicherheit erhöht.
- Langfristig bietet sich die Möglichkeit zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch Eintrag organischer Substanz.
- Auf mit Steinwällen behandelten Flächen besteht die Möglichkeit, gegen kleinere Formen der Grabenerosion vorzugehen.











Funktionsweise

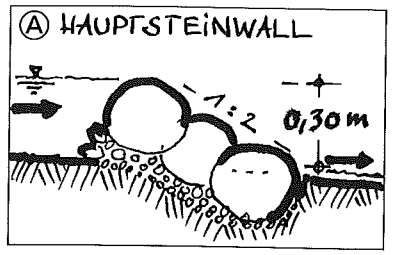
Die untere Hälfte eines Walls ist als undurchlässig anzunehmen und dient zum Speichern des Wassers bei kleineren Regenfällen (P = 20 mm).

Die obere Hälfte entspricht der abschließenden höchsten Steinreihe (Krone) und ist durchlässig, um überschüssiges Regenwasser verlangsamt und gleichmäßig verteilt abfließen zu lassen (P = 40 mm).

Im Falle eines außergewöhnlichen Gewitters ist der Wall sehr belastbar und kann kurzzeitig einer etwa 5 cm hohen Überströmung standhalten.

Durch den Aufstau kann während des Regens mehr Wasser versickern, da das Regenwasser oberhalb des Walls auch bei trockenem Boden etwa 0,30 – 0,50 m tief in den Untergrund eindringen kann und hier für die Kulturpflanzen verfügbar ist. Langfristig können die Wälle eine Terrassierung durch alluviale Sedimentablagerungen

herbeiführen. Form und Bauweise müssen dieser Entwicklung Rechnung tragen, damit das strömende Wasser auch dann schadlos über die künstlichen Steinstufen abfließen kann. Im Falle einer Terrassierung verringert sich zwar die Wasserspeicherkapazität, aber der Bodenschutz bleibt wirksam, da das flache Geländegefälle den Abfluß verlangsamt und so die Versickerung begünstigt.



Man unterscheidet nach ihrer Funktion Hauptwälle (díguettes principales) und normale Wälle. Als Hauptsteinwall bezeichnet man in der Regel das erste, oben liegende Bauwerk, das die Aufgabe hat, möglichst viel Wasser aufzustauen, damit es verlangsamt auf das Feld trifft. Hauptwälle sollen deshalb 0,30 m hoch sein und werden normalerweise aus drei Steinreihen gebaut.

Unterhalb des Hauptwalls werden für die nachgeordneten Wälle geringere Höhen bevorzugt. Die Bauweise ist einfacher und materialsparend. Kleinere Steinwälle werden aus nur zwei Steinreihen aufgebaut.

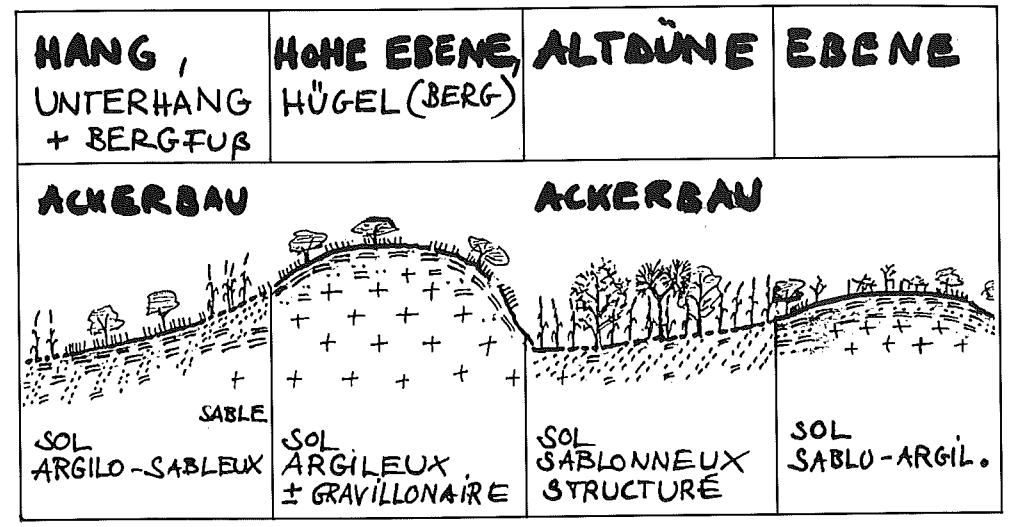
Bauanleitung

Standort: Die hier beschriebenen Steinwälle sind nicht durch starke Überströmung belastbar. Geeignete Standorte sind:

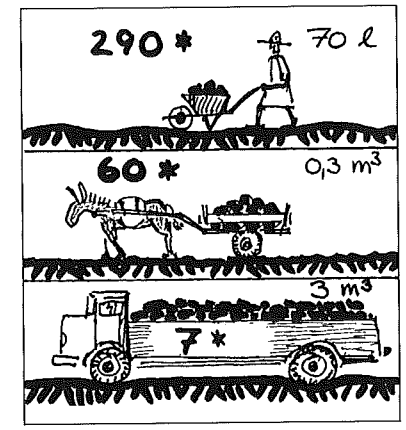
- Seitliche Flanken der Talauen (bas-fonds) außerhalb der Überschwemmungsbereiche, mit begrenzten seitlichen Zuflüssen.
- Trockene Standorte wie Berghanglagen, Hangflächen sowie Altdünen.

Um erste Erfahrungen mit dieser sehr arbeitsaufwendigen Technik zu machen, ist es günstig, einen Standort in direkter Nähe von Steinvorkommen zu wählen, um die Schwierigkeiten der Beschaffung und des Transportes von Steinen und Kies zu umgehen.

Eingeschränkt ist einzig die Größe des Wassereinzugsgebietes. Der erste Steinwall sollte von der oberhalb gelegenen Grenze des Wassereinzugsgebietes höchstens 1000 m entfernt sein. Bei größeren Wassereinzugsgebieten sind die Bauwerksabmessungen zu verändern (IV.3).



Steinwälle können auf praktisch allen Böden erfolgreich angewendet werden.[13] Instabile erosionsgefährdete Böden erfordern jedoch eine besonders sorgfältige Verankerung.

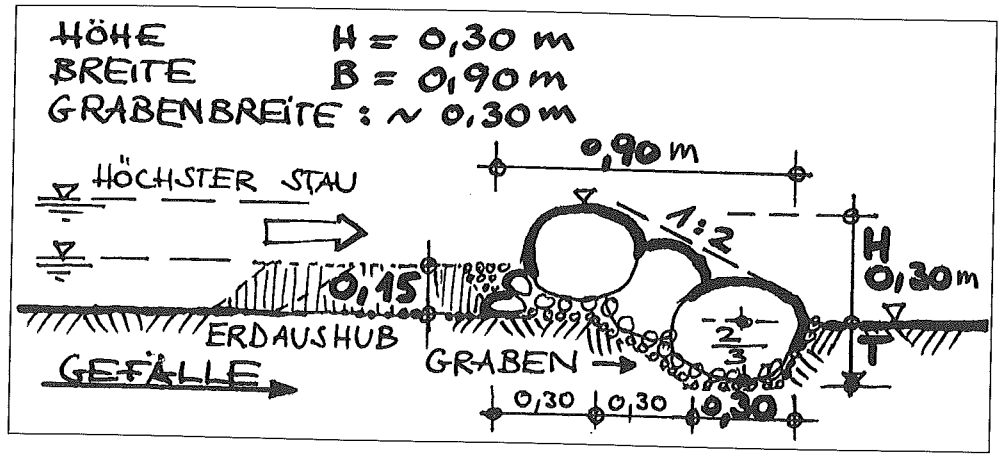


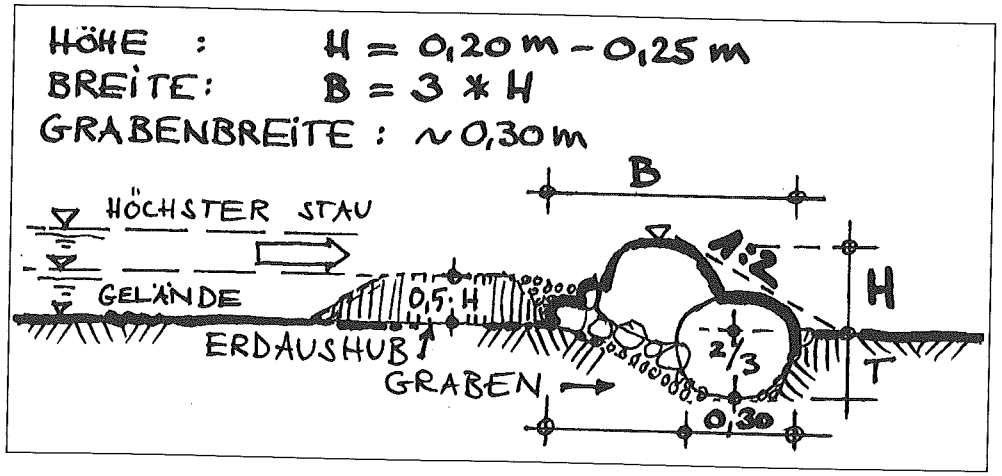
Technische Angaben: Die Steinwälle werden entlang der Höhenlinie eingemessen und vom Fuß her bis zu einer Höhe von 0,20 m – 0,30 m aufgebaut.

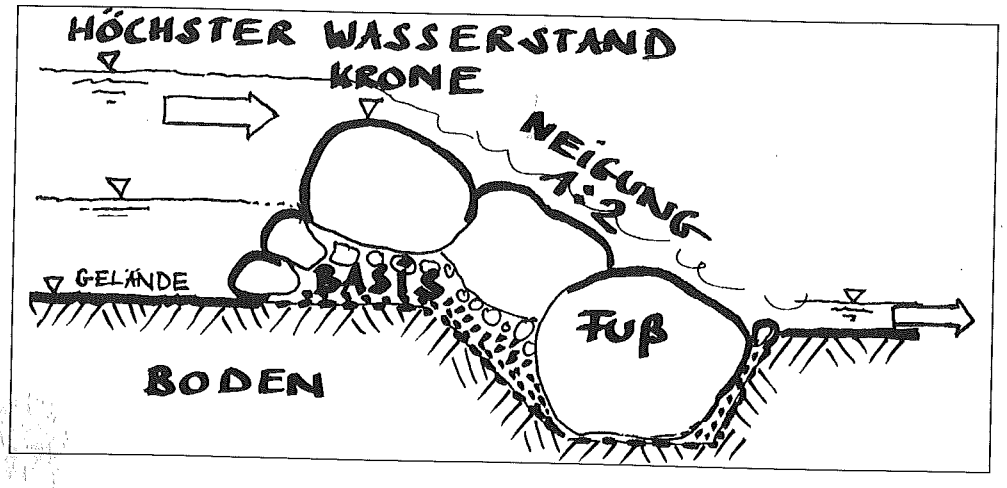
Abmessungen: Breite des Walls und damit auch der Steinbedarf hängen von der gewählten Höhe ab:

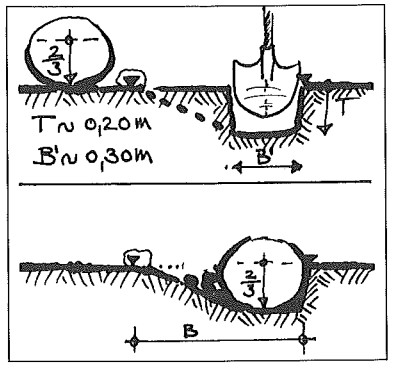
Abmessungen:		**Steinwall (1:2)**	Hauptsteinwall (1:2)
Höhe:	H	**0,25 m**	0,30 m
Breite:	$B = 3 \times H$	**0,75 m**	0,90 m
Steinbedarf:	$V_{Stein} = 2{,}25 \times H^2$	**0,14 m³/m**	0,20 m³/m
Kies und Steine auf 100 m Wallänge	$V_{Stein} \times 100$ m	14 m³	20 m³

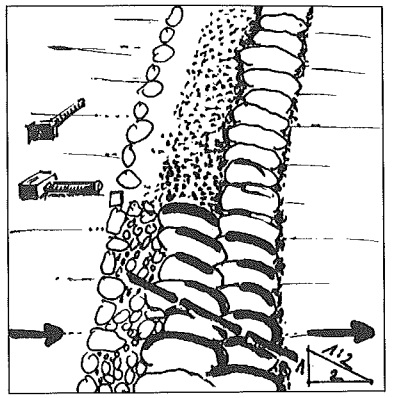
13) Lit. E. Buzingo, (Lit. 6)

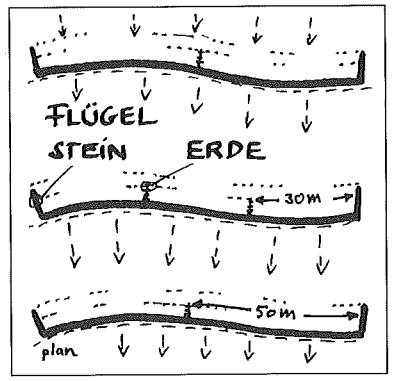












Böschungsfuß (pied de la diguette): Zur Sicherung des Böschungsfußes gegen Wasserdruck, Unterspülung und Erosion wird die erste Reihe großer Steine (30 cm) in einem Graben verankert (30 cm breit und 20 cm tief).

Basis (base): Zum Schutz gegen Unterspülung wird eine dichte Kiesschicht zwischen Boden und Steinen eingebaut. Sie erleichtert außerdem ein gutes Vermauern und Setzen der Steine.

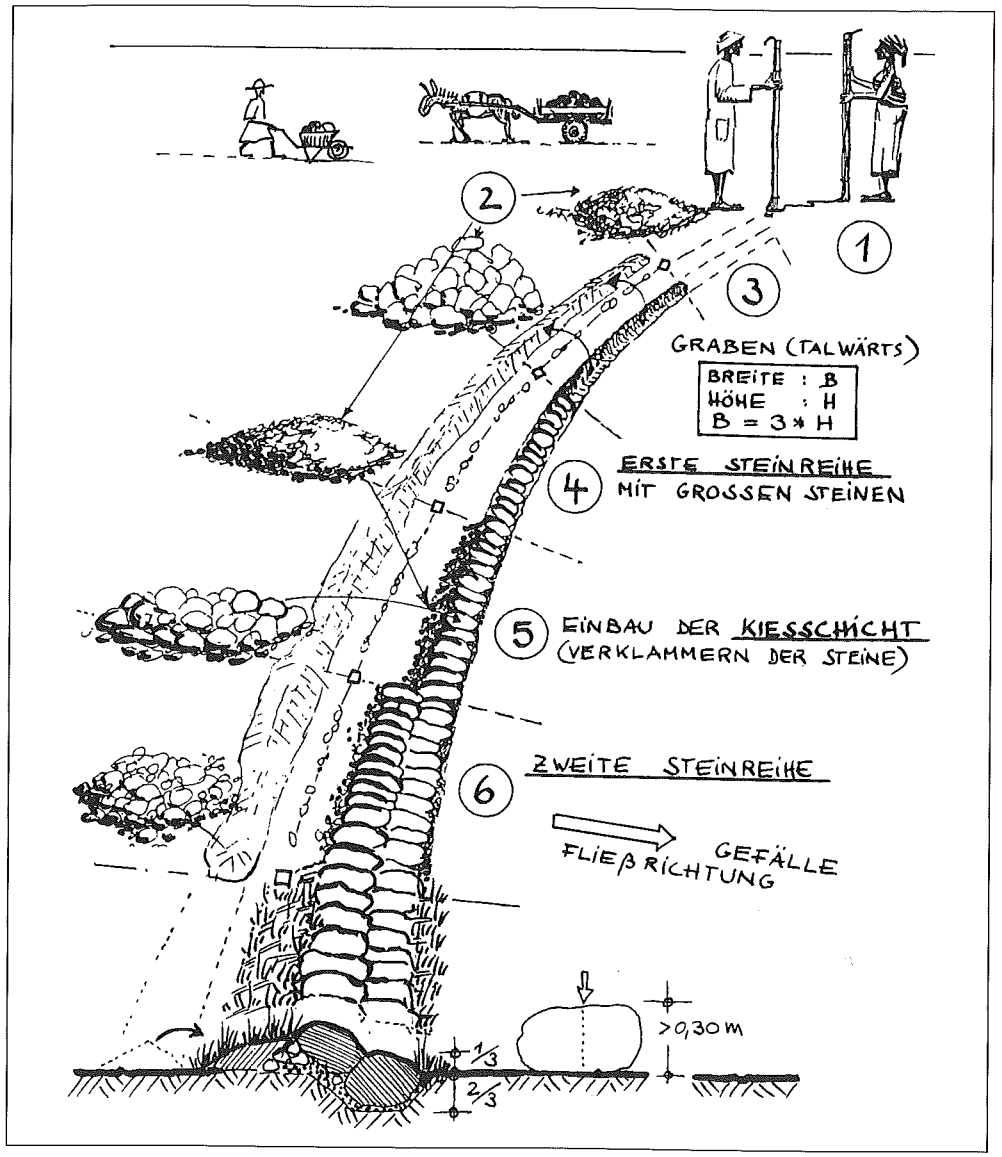
Neigung der Steinschwelle (pente aval): Um eine unschädliche kontrollierte Überströmung des Walls zu erreichen, werden die Steine in Stufen mit einer Neigung von 1:2 aufgebaut.

Flügel (ailes): Als Abschluß wird rechtwinklig zum Wall ein Flügel gebaut, um eine Umströmung zu verhindern. Um die Betriebssicherheit zu erhöhen und Ungenauigkeiten im Bau auszugleichen, baut man alle 50 m Zwischenflügel aus Erde.

Arbeitsschritte

Vorbereitung:

- Überprüfen mit den Bauern im Gelände, ob die gewählte Technik geeignet ist;
- Flächengröße und Bedarf an Steinen ermitteln;
- Entfernung des Steinvorkommens feststellen;
- Transport organisieren;
- Bedarf an Werkzeug ermitteln und ggfs. beschaffen;



Werkzeug zum Brechen der Steine:

Vorschlaghammer	(marteau masse)
Eisenbrechstangen	(barre à mine)

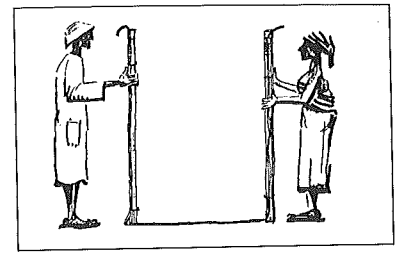
Werkzeug zum Graben:

traditionelle Hacke	(Dabba)

Spitzhacke/Pickel	(pioche)
Schaufel	(pelle)

Werkzeug zum Steinesetzen:

kleiner Hammer	(marteau)
Handschuhe	(gants)
kleiner Verbandskasten	(boîte de pansement)
Schlauchwaage	(niveau à eau)

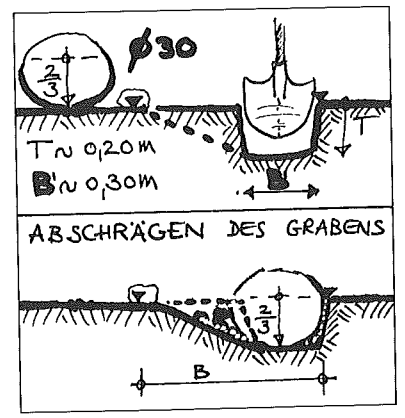


- Sammeln (evtl. Brechen) von Steinen und Kies in ausreichender Menge;
- Transport auf die Fläche (nach Einmessen der Höhenlinien).

Die einzelnen Bauschritte werden nach und nach ausgeführt, um den Bauern eine Qualitätskontrolle zu ermöglichen. Es ist bei Gruppenarbeit so auch leichter, die jeweils für die Bauphase notwendigen Steine auszuwählen.

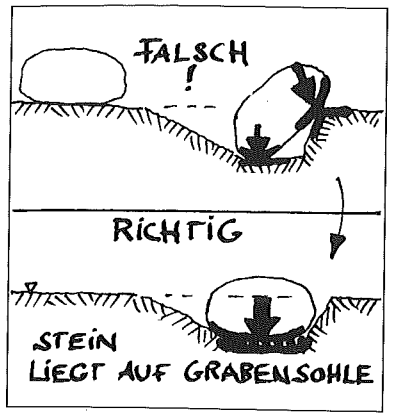
1. Das **Ausmessen der Höhenlinien** erfolgt mit der Schlauchwaage. Die Meßpunkte werden markiert. Der Verlauf der Höhenlinie wird von Punkt zu Punkt, oder korrigiert zwischen den Meßpunkten, als Kurve gekennzeichnet. An Wasserläufen sollte die Höhenlinie jeweils am anderen Ufer wieder aufgenommen werden, um eventuell später den Wasserlauf behandeln zu können. Für die Länge der Flügel ist mit der Schlauchwaage der Geländepunkt zu suchen, welcher der Bauwerkshöhe entspricht. Eventuell muß für diese Messung eine Hilfshöhe (Stein) auf halber Strecke gesucht werden.

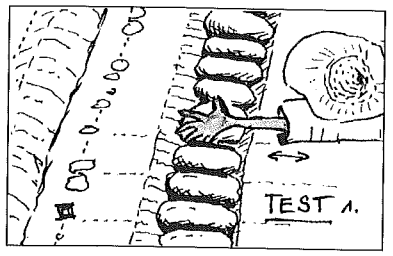
Abstecken der Breite der Basis (B = 3 × H).

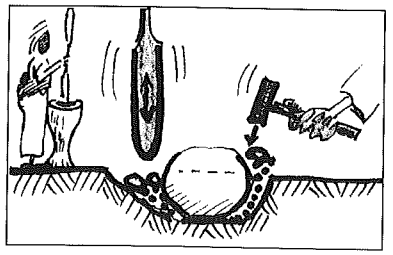


2. Lagern von Steinen und Kies entlang der Trasse hangseitig; eine gleichmäßige Verteilung des Materials erleichtert die Arbeit. Dabei sollten kleinere Depots für eventuelle Reparaturarbeiten vorgesehen werden.

3. Ausheben des Grabens talwärts und Abschrägen der Kanten hangwärts: Die Breite entspricht etwa der Breite einer Schaufel (30 cm). Sie wird mit dem Einsetzen der dafür vorgesehenen





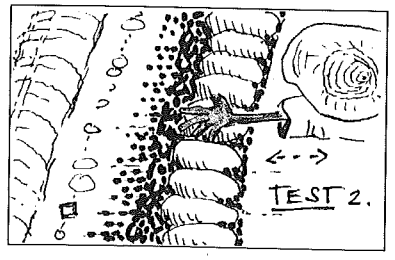


großen Steine kontrolliert und eventuell korrigiert. Die Tiefe beträgt zwei Drittel des Steindurchmessers (ungefähr 20 cm).

4. Setzen der ersten Steinreihe in den Graben: Längliche Steine werden in Richtung des Gefälles (quer zur Höhenlinie) gesetzt, um die größte Reibung zu nutzen. Die Steine sollen zu einem Drittel aus dem Graben herausragen. Sitzen sie zu tief, muß mit etwas Kies unterfüttert werden. Sind sie zu hoch, muß nachgegraben werden. Die Steine müssen voll auf der Grabensohle aufliegen und dürfen die Grabenwände nicht berühren. (Der Wall wird dadurch haltbarer und höher.)

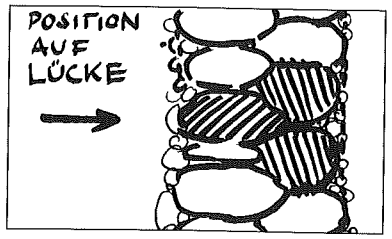
Es wird geprüft, ob die einzelnen Steine in der Reihe gut miteinander verkeilt sind: Obwohl sie noch beweglich sind, kann ein einzelner Stein nicht mehr herausgehoben werden.

5. Einbau der Kiesschicht: Die Räume zwischen Erdgraben und Steinen werden exakt mit feinem



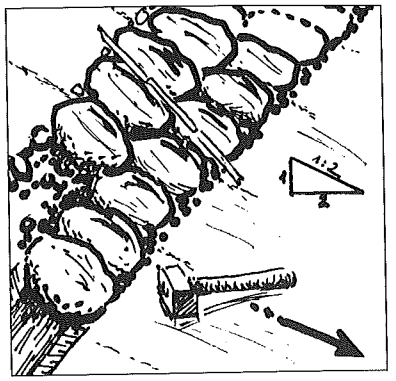
Kies gefüllt. Es dürfen keine Lücken bleiben. Der Kies schützt den Boden vor Erosion und befestigt die Steine. Er sollte mit einem Hammer oder Holzstößel festgestampft werden. Kontrolle: Die Steine bewegen sich nicht mehr, sie sitzen fest.

An der Hangseite wird ebenfalls eine Kiesschicht (5 cm) als Unterbau für die Steinkonstruktion aufgetragen.



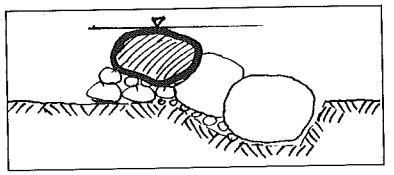
6. Aufbau der zweiten Steinreihe: Die Steine der zweiten Reihe bilden beim normalen niedrigen Wall (H = 0,25 m) die Krone. Sie werden von der Hangseite auf Lücke gegen die erste Steinreihe gesetzt und bilden so eine Stufe.

Zur Kontrolle der Neigung 1:2 nimmt man einen die doppelte Höhe messenden Hirsestengel o.ä. Man legt ihn mit einem Ende auf die Krone. Die Breite des Walls muß der Länge des Hirsestengels entsprechen.



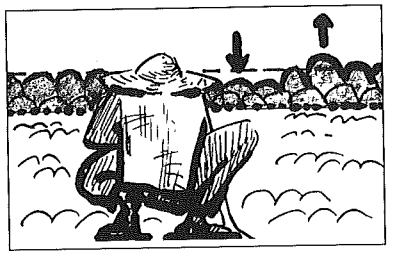
Um die richtige Höhe zu erreichen, müssen auch kleinere, faustgroße Steine verbaut werden. Diese sollen zur Untermauerung dienen, jedoch nicht die oberste Schicht bilden.

Also: Die größten Steine befinden sich im Graben, mittelgroße Steine bilden die Krone und die kleineren Steine werden dazwischen eingebaut!

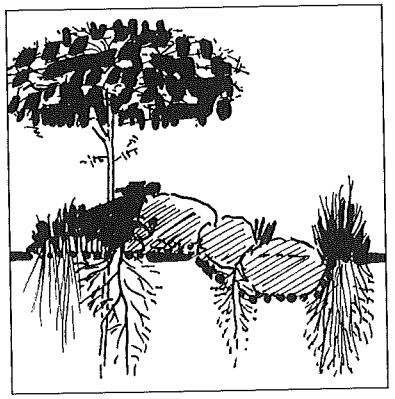


7. Aufbau einer dritten Steinreihe: Ist eine dritte Steinreihe erforderlich, um die gewählte Höhe zu erreichen, wird sie auf einen Unterbau von kleinen Steinen, Bruchsteinen und Kies gesetzt.

8. Kontrolle der Kronenhöhe: Ein Betrachter begibt sich talwärts an einen möglichst tiefliegenden Punkt (z. B. Graben) in 20–30 m Entfernung vom Wall, um mit seiner Augenhöhe genau auf Höhe der Wallkrone zu sein. Zu tiefe und zu hohe Punkte sieht man auf diese Weise leicht und kann sie ausgleichen. (Verstärkung oder Verkleinerung des Unterbaues).



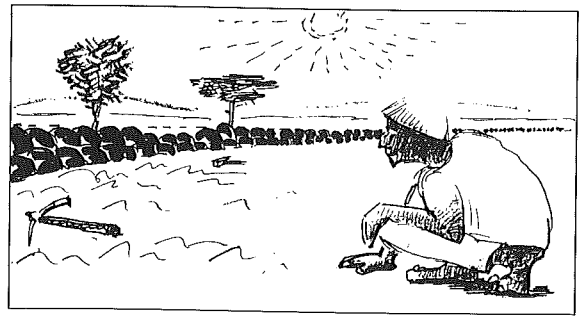
9. Begrünung (végétalisation): Oberhalb und vor allem **unterhalb des Steinwalls** ist für die langfristige Haltbarkeit ein Vegetationsstreifen notwendig, um einer allmählichen Erosion vorzubeugen und das Steinbauwerk mittels der Wurzeln dauerhaft zu festigen. Kurzfristig ist eine Begrünung durch natürlichen Aufwuchs zu fördern. Auf dem Grünstreifen darf weder angebaut noch gejätet werden. Mittelfristig ist allerdings das Pflanzen und Einsäen mehrjähriger Nutzpflanzen (Bäume, Gräser) anzustreben.



Reparaturen: Bei guter Bauqualität sind die Wälle kaum unterhaltungsbedürftig, wenn zu beiden Seiten Grünstreifen angelegt werden. Häufig auftretende Schäden im Steinbau sind Sackungen durch Unterspülung. Ihre Ursachen liegen oft im Fehlen der Kiesschicht oder im unkorrekten Einbau der Steine. Der Kies soll eine Schutzschicht für den darunterliegenden Boden sein. Er kann

nicht durch Erde und Sand ersetzt werden, da diese Materialien ausgespült werden.

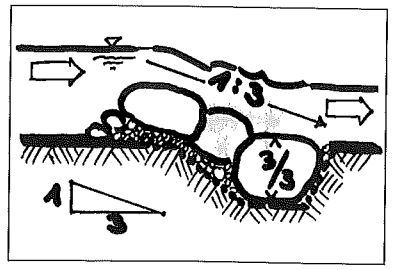
Ein Schaden wird behoben, indem die oberen Steine abgenommen werden und der Unterbau mit Kies und Bruchsteinen dicht aufgefüllt wird.



Lösen sich große Steine, so kann dies durch eine zu starke Strömung verursacht sein. Zur Behebung des Schadens sollte dann ein Überlauf (déversoir) gebaut werden.

Beurteilung

In Burkina Faso, wo die Verwendung von Lateritgestein im Erosionsschutz besonders in den Provinzen Yatenga und Bam weit verbreitet ist, gibt es langjährige Erfahrungen. In den drei Sahelprovinzen wurden seit 1987 Erfahrungen gesammelt, die zu einer **Anpassuug** an die vorherrschenden Bedingungen und Belastungen (nichtbindiger Boden, weitgehend fehlende Vegetationsdecke) geführt haben. **Die Steinwälle werden deshalb flach (H < 0,30 m) und mit einer Verankerung des Fußes und einer Kiesschicht gebaut.**



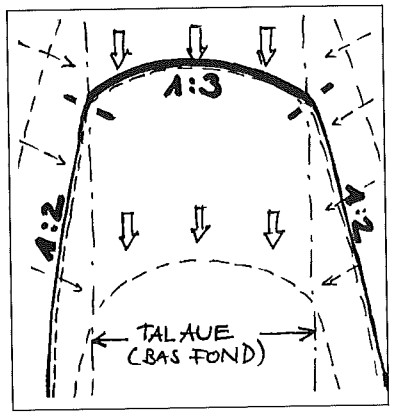
3.3 Flache Steinwälle

Einführung

Flache Steinwälle (Steinwall im Talbereich, diguette en pierre bas-fond) dienen der Verhinderung der Bodenerosion durch starke Wasserabflüsse auf besonders exponierten alluvialen Kulturböden. Die hier beschriebene Technik ist eine Variante des vorher beschriebenen Steinwalls mit geringfügig geänderten Abmessungen. Die Bauweise ist durch eine flache Neigung dem stärkeren Wasserandrang feuchter Standorte angepaßt. Der Nutzen besteht im Erhalt des Bodens und seiner Fruchtbarkeit oberhalb der Wälle sowie in der gleichmäßigen Verteilung des Abflusses, die den unterhalb liegenden Flächen zugute kommt. Dort, wo die betroffenen Bauern bereits Vegetationsbänder zum Schutz ihrer Flächen angelegt haben, können Steinwälle diese langfristig sichern. Gegenüber reinen Vegetationsbändern haben sie den Vorteil, daß auch eine Stabilisierung und der Rückbau kleinerer flacher Erosionsgräben möglich ist.

Funktionsweise

Die flachen Wälle folgen der (korrigierten) Höhenlinie quer durch den Abflußbereich bzw. quer durch die Talaue.



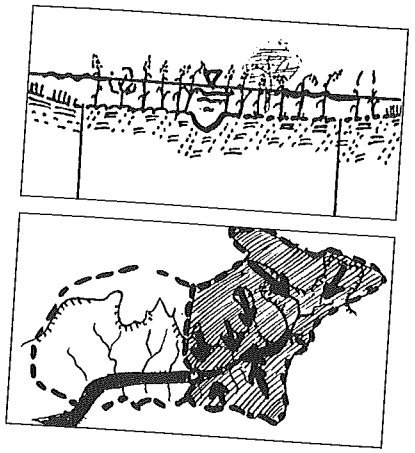
Bei einer Überstauung der Talflächen wirken sie wie Schwellen, über die auch Hochwasser schadlos abfließen kann. Ein Absturz des Wassers wie bei einfachen Steinwällen findet nicht statt.

Die Wälle sind nur im Bereich der Krone durchlässig (Fugen) und bewirken relativ schnell eine Sedimentierung, so daß der Aufstaueffekt gering ist. Ein andauernder Anstau des Wassers ist zu vermeiden, da Staunässe für die Kulturen schädlich ist.

Durch die Form entlang der Höhenlinie und durch verbreiterte Vegetationsstreifen im Hauptabflußbereich (Talweg) wird ein Teil des Abflusses seitlich verlagert. Durch hintereinandergeschaltete Wälle wird dieser Effekt verstärkt, und es kommt zu einer Verteilung auf die Flanken (s. III.4.2, Vegetationsbänder).

Eine Anwendungsmöglichkeit besteht auch als Ergänzung zu einfachen Wällen in Abflußberei-

chen geringer Breite; der Übergang vom einfachen zum flachen Wall wird über die Höhenlinie festgestellt.



Bauanleitung

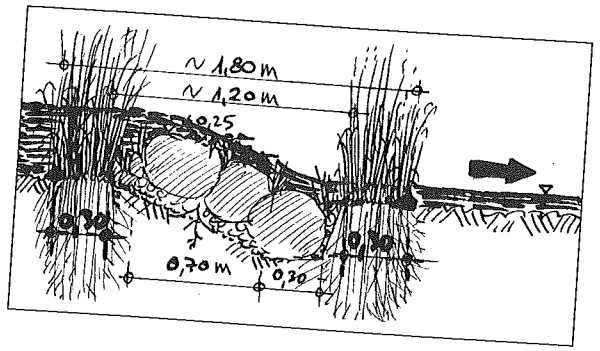
Standort: Kulturflächen auf feuchten Standorten; flache Talmulden und kleinere Talauen mit flach- bis tiefgründigen alluvialen Böden. Durch mittlere bis große Wassereinzugsgebiete (0,5 km² – 10 km² und mehr) kommt es hier bei heftigen Gewitterregen zu starken, konzentrierten Abflüssen und zum Teil zur Überstauung der Flächen.

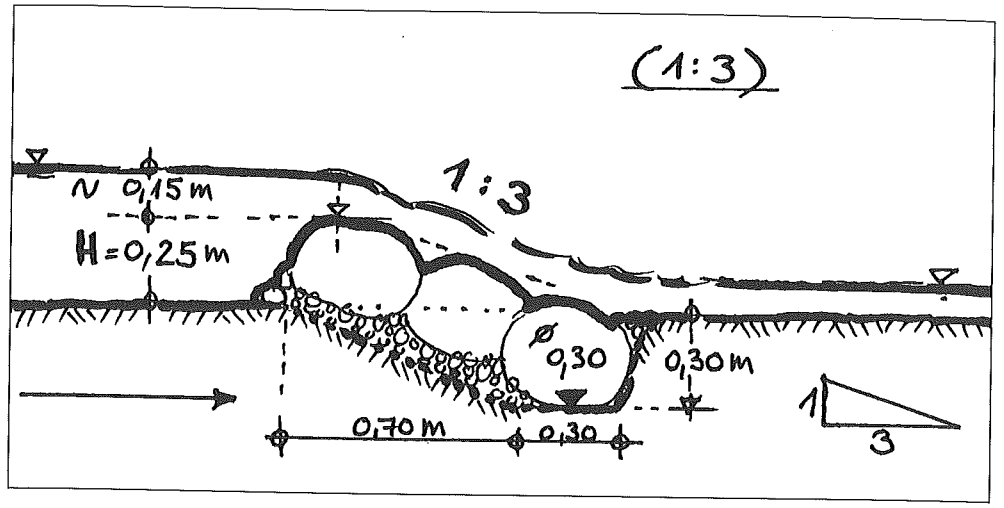
Die Böden weisen zum Teil hohe Anteile an Feinsand und Schluff auf und sind dabei wenig bindig und somit erosionsgefährdet.

Technische Angaben: Die Wälle erfüllen ihren Zweck nur, wenn sie konsequent von einer Talseite zu anderen gebaut werden, wenn mehrere Wälle in Folge entstehen und wenn die Wälle in Begleitung ausreichend breiter Vegetationsbänder erstellt werden.

Einmessen: Anfang und Ende des flachen Walls werden nach Wasserabfluß (nach der Information der Bauern) und Höhenlinie bestimmt. Die Höhenlinie beschreibt hangwärts einen Bogen von einem zum anderen Ufer des Abflußbereichs.

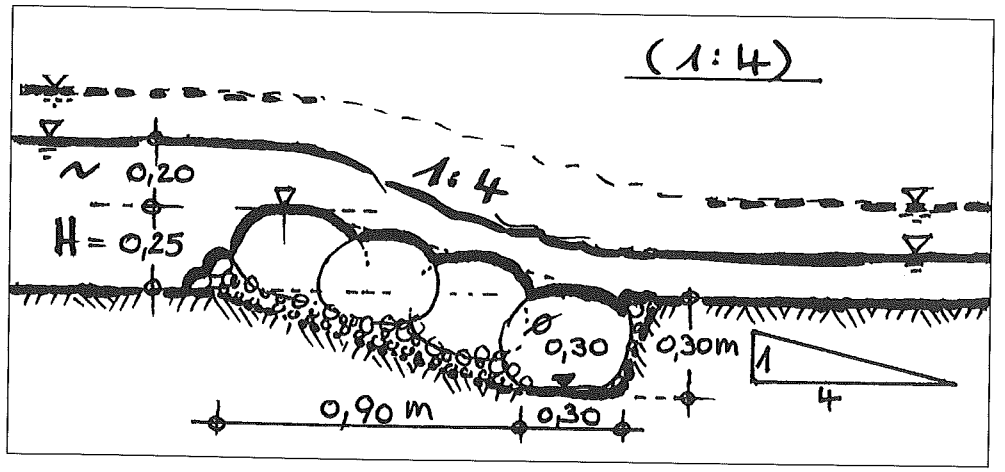
Abmessungen: Die Höhe soll 0,25 m nicht überschreiten. Sie ist von der Neigung des Walls abhängig und muß der höchsten Wasserhöhe angepaßt sein.





a) Wall mit Neigung 1:3; Überströmbarkeit: etwa 0,15 m über Krone.

Höhe:	H	= 0,25 m
Breite:	**B**	**= 4 × H** = 4 × 0,25 = 1 m
Steinbedarf:	V_{Stein}	= 4 × ((0,3 + H)÷2)² = 4 × 0,275² = **0,30 m³/m**

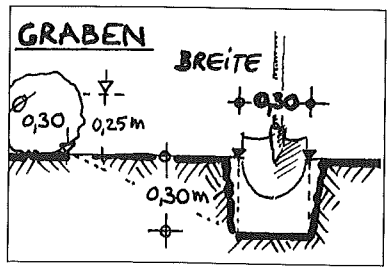


b) Wall mit Neigung 1:4; Überströmbarkeit: etwa 0,20 m über Krone.

Höhe:	H	= 0,25 m
Breite:	**B**	**= 5 × H** = 1,25 m
Steinbedarf:	V_{Stein}	= 5 × ((0,3 + H)÷2)² = 5 × 0,275² = **0,38 m³/m**

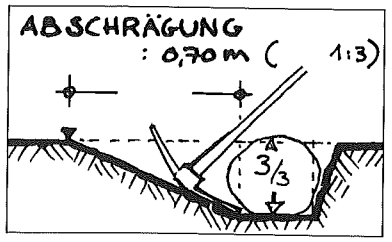
Begrünte Wälle mit korrekter Verankerung vertragen kurzzeitig wesentlich höhere Belastungen.

Durch den Rückstaueffekt werden die hangwärts gelegenen Anlagen von den talwärts gelegenen geschützt.



Fußsicherung: Aufgrund der besonderen Belastung ist die erste Steinreihe bis auf Geländehöhe einzulassen. Entsprechend der Neigung (1:3, 1:4) wird der Graben abgeschrägt und hangwärts verbreitert.

Die Grabentiefe entspricht der Größe der Steine, die für den Fußpunkt ausgewählt wurden (ca. ∅ 0,30 m).

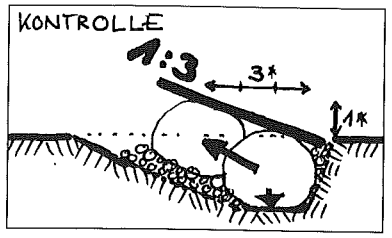


Grabenbreite:

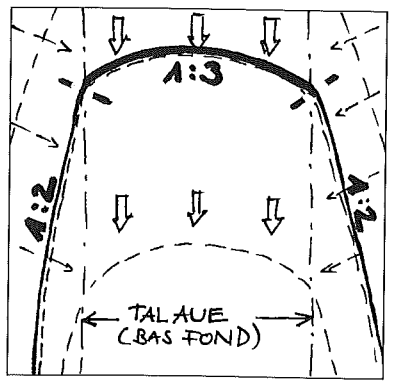
B (1:3) = 1,0 m (0,30 m + 0,70 m Abschrägung)

B (1:4) = 1,3 m (0,30 m + 1,0 m Abschrägung)

Basis: Wegen der stark erosionsgefährdeten Böden ist der Einbau einer Kiesschicht unbedingt erforderlich. In der Regel wird mit dem Einbringen des Kieses nach dem Setzen der unteren ersten Steinreihe begonnen.



Neigung: Die Steine müssen entsprechend der Neigung sorgfältig gesetzt werden. Nach dem Setzen jeder Steinreihe ist die Neigung zu kontrollieren. Beim Vermauern kleinerer Steine sind diese mit Kies und Bruchsteinen zu unterfüttern.



Abschluß: Bei flachen Wällen werden keine Zwischenflügel vorgesehen, da sie eine gute Verteilung des Abflusses behindern würden. Am Rande des Abflußbereiches kann der Wall in die einfache Wallbauweise (s. IV.3.2) übergehen. Wo dies nicht möglich ist, müssen als Abschluß der Wälle Flügel gebaut werden.

Abfolge der Arbeitsschritte: Bis auf die beschriebenen Veränderungen entsprechen die Arbeitsschritte denen beim Bau von einfachen Steinwällen (s. IV.3.2).

Bewertung

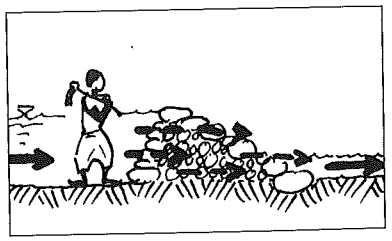
Die Anwendung der Technik in größeren breiten Talauen verlangt einen hohen Organisationsgrad der Bevölkerung, um die Bedingungen für durchgehende Wälle zu erfüllen (verschiedene Nutzer). Der hohe Arbeitsaufwand erfordert großes Interesse und eine große Arbeitskapazität der Bauern sowie die Fähigkeit zur Arbeitsorganisation, um die Bauwerke von manchmal mehreren hundert Metern Länge vor dem ersten Regen fertigzustellen. Entsprechend problematisch ist die standortbedingt meist große Entfernung zu Steinvorkommen. Daher sollte zuerst mit weniger aufwendigen Maßnahmen wie der Einrichtung von Vegetationsbändern begonnen werden. Der Besuch (visite) einer funktionierenden Anlage mit Vegetationsbändern ermöglicht den Bauern das Kennenlernen der Technik mit ihren Vor- und Nachteilen.

Zur Entscheidung ist das Messen der Höhenlinie als Bestandteil der Geländeansprache erforderlich. Die Höhenlinie gibt den Verlauf und die erforderliche Länge des Bauwerkes an. Als Alternativen zum flachen Steinwall sind zu prüfen: Vegetationsband (bande de végétation), Sickerdamm (digue filtrante) oder Steinüberlauf (déversoir en pierre).

Für die Grundausbildung ist die Anlage einfacher Steinwälle auf trockenem Standort vorteilhaft. Bei der Ausbildung muß auf die Funktionsweise der einzelnen Bauelemente hingewiesen werden. Außerdem sollten Kontrollmöglichkeiten vermittelt werden, die eine gute Qualität anzeigen (Verankerung, Neigung, gleichmäßige Krone, Abmessungen).

3.4 Sickerdamm

Definition



Charakteristisch für einen Sickerdamm (digue filtrante) ist die Trassierung quer durch eine Talaue in gerader oder gebogener Form mit einer Krone auf gleichbleibender Höhe. Die Maße des Damms

vergrößern sich zur Talmitte hin auf Höhen von 0,60 bis 1,50 m und Breiten bis zu 5 m (in Gräben sind Höhen bis 2,0 m von der Grabensohle bis zur Krone bekannt). Normalerweise werden mehrere Sickerdämme in Folge gebaut, um eine gleichmäßige Verteilung des Abflusses zu erreichen.

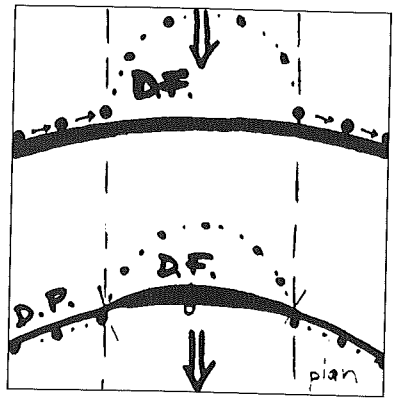
Die Technik des Sickerdamms wurde 1988 in Soum eingeführt. Die Bevölkerung zeigte großes Interesse und hatte hohe Erwartungen.

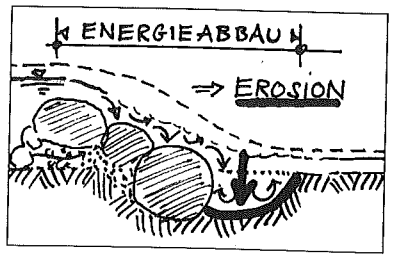
Ziele sind:

1. Rückhalt des Oberflächenwassers, Verbesserung der Bodenwasserversorgung oberhalb des Dammes, Steigerung der Erträge ; Anhebung des Grundwasserspiegels; Verhinderung der Bodenentwässerung durch kleine Gräben.

2. Verminderung der Abflußspitzen der Hochwässer und deren schädliche Auswirkungen, Rückhalt und Verteilung des Abflusses auf die ganze Talbreite; Schutz der unterhalb liegenden Flächen; Ermöglichen des Grabenverbaus talwärts.

3. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch Rückhalt von organischer Substanz und Sedimenten.



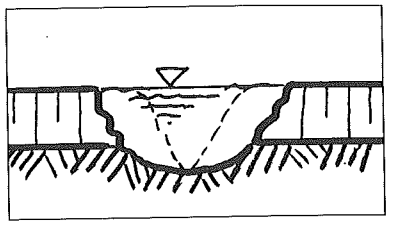


Funktionsweise

Im günstigsten Fall kommt es zu einer nur geringen Überströmung des Damms, und das angestaute Wasser fließt allmählich durch den durchlässigen Steinkörper; der Rückstauraum des Dammes dämpft dadurch die Abflußspitze.

Bemessen wird ein Sickerdamm nach der Höhe außergewöhnlichen Hochwassers. Dafür ist die Kenntnis des Wassereinzugsgebiets notwendig. Der höchste Aufstau kann in der Dammitte zu Staunässe und Schädigung der Kulturpflanzen führen. Hier sind die Belastungen am größten. Sie resultieren aus dem hohen Wasserdruck und der damit verbundenen Gefahr der Unterspülung sowie der hohen Energie und Geschwindigkeit des durch den Damm und über den Damm abfließenden Wassers.

Beurteilung



Die Technik ist in verschiedenen Varianten vor allem in den Provinzen Bam und Yatenga schon lange eingeführt, wo die Spuren 20 Jahre alter Bauwerke zu finden sind. An diesen Beispielen treten die langfristigen Folgen und die Schwächen der Technik zutage. Eine Anlage besteht aus hintereinander gestaffelten, perfekt gebauten Sickerdämmen. In einer ersten Phase bildeten sich Terrassen durch Sedimentablagerung bis zur Dammkrone (Höhe maximal 1,0–1,5 m) bei gleichzeitiger Abnahme der Wasserrückhaltekapazität. In der zweiten Phase führten zunehmende Abflüsse zu Freispülung des Dammfußes und rückschreitender Erosion an den Flanken. An allen Dämmen der Anlage war die Folge schließlich der Dammbruch, eine Konzentration des Abflusses und die Bildung von Gräben. (Offensichtlich wurden diese Anlagen nicht unterhalten.)

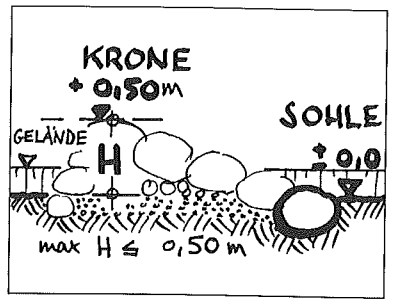
Diese Entwicklung ist auch bei Bauwerken jüngeren Datums erkennbar: Durch Sedimentation bildet sich mittelfristig eine immer dickere Schicht künstlichen Bodens. Durch Verstopfung und Verdichtung (colmatation) der Steinzwischenräume wird der Damm undurchlässig, was die Überströmung im Hochwasserfall verstärkt. Häufig sind Erosionsschäden am talseitigen Fuß sowie die Herauslösung von Steinen im Mittelbereich zu beobachten. Ebenso kommt es talseitig zur rückschreitenden Erosion von der Talmitte zu den Flanken. Durch das Fortschreiten der Erosion steigt langfristig die Gefahr von Schäden, die bis zum Bruch des Damms führen können. Die Sedimentschicht kann bis zur Dammkrone anwachsen und Terrassen bilden. In diesem Fall überströmt das gesamte Wasser den Damm.

Viele der beobachteten **Probleme und Schäden** der „klassischen" Sickerdämme sind **durch große Dammhöhen** bedingt. Die meisten Schäden zeigen sich im Unterbau, der Reparaturen kaum zugänglich ist. Nur mit einer hervorragenden Bauqualität kann ihnen vorgebeugt werden. Für eine Reparatur von Sackungen (durch Unterspülung) bleibt oft nur

die Möglichkeit, immer wieder mit hohem Aufwand von oben Steine nachzulegen. Eine regelmäßige, technisch qualifizierte Betreuung der Arbeiten ist für jedes Bauwerk erforderlich. Der Aufwand an Steinmaterial, Arbeitszeit und Arbeitskraft ist sehr hoch, sodaß oft nur Einzelbauwerke entstehen können. Langfristig ist neben den technischen Problemen die erwartete Verbesserung der Bodenqualität zweifelhaft. Die zum Teil relativ mächtigen Sedimentauflagen enthalten keine Tonminerale, die zur Speicherung der Nährstoffe entscheidend sind (Austauschkapazität des Bodens).

Eine weitere Verbreitung im Sahel wurde bislang nicht angestrebt. Die Bauweise ist komplexer als ihre möglichen Alternativen, was einen hohen Beratungs- und Betreuungsaufwand sowie baubedingte Risiken mit sich bringt. Die Standortbedingungen in den Sahelprovinzen sind nicht mit denen der anderen Provinzen Burkinas vergleichbar. Der Erfolg des Sickerdamms ist also auf den Sahelböden nicht gesichert.

3.5 Sickerdamm, angepaßte Form



Die angepaßte Form des Sickerdamms ist eine Kombination mit einem der Höhenlinie folgenden Steinwall (s. III.3.2, 3.3). Angepaßt ist die Form an:

- Böden und Gelände;
- Wasserabflüsse und hydraulische Belastung;
- Beherrschbarkeit der Technik durch Bauern und Berater.

Als Sickerdamm gilt nur der Bereich eines Walls, der von der Höhenlinie abweicht (Bereich der Eintiefungen in flachen Abflußmulden und Tälern). Im Unterschied zum Überlaufbauwerk (déversoir) wird beim Sickerdamm die gleiche Kronenhöhe beibehalten.

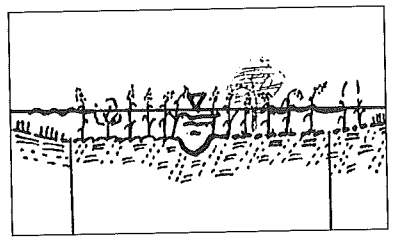
Funktionsweise

Der angepaßte Sickerdamm durchmißt den mittleren Bereich einer Abflußmulde oder Talaue, in der

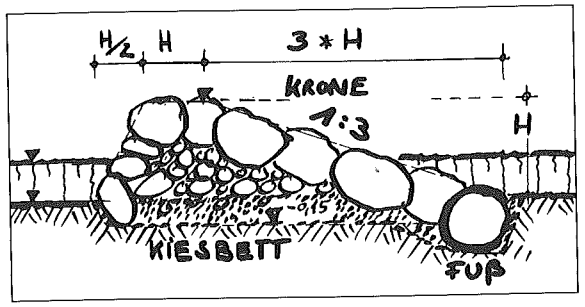
es zu erhöhter Abflußkonzentration kommt. Dieser konzentrierte Abfluß soll durch den Damm auf die Breite des Tales verteilt werden und unschädlich abfließen. Die Auflandung von Sedimenten begünstigt den Anbau oberhalb. Ausgehend von einem Steinwall wird der Sickerdamm dort sinnvoll, wo die Höhenlinie stark hangwärts ausweicht und durch den Sickerdamm unwirtschaftliche Längen eines Steinwalls abgekürzt werden können. Dieses betrifft auch „gestörte" Abschnitte, in denen der konzentrierte Abfluß zu Eintiefungen geführt hat, die für den Anbau nicht mehr nutzbar sind.

Bauanleitung

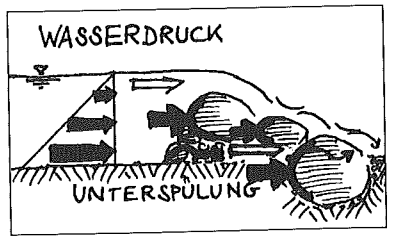
Bei der Anfrage der Bauern muß erläutert werden, daß ein Sickerdamm kein Staudamm ist.



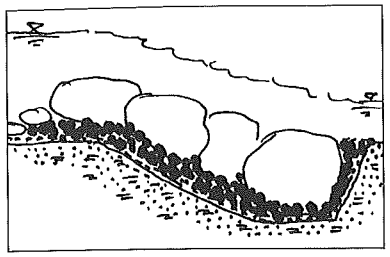
Standort: Flache Talmulden mit flachgründigen alluvialen Böden und Niederungen mit tiefgründigen alluvialen Böden. Charakteristisch sind starke Abflüsse und Überstauung bei starken Regen, z.T. sehr starker Abfluß bei außergewöhnlichem Hochwasser in Tälern mit großem Wassereinzugsgebiet. Erosionsgefährdete, nur schwachbindige Böden sind hier vorherrschend.



Technische Angaben: Im Vergleich zum flachen Steinwall (s. 3.2) resultieren aus der größeren Höhe (H = 0,50 m) höhere Belastungen für das Bauwerk.

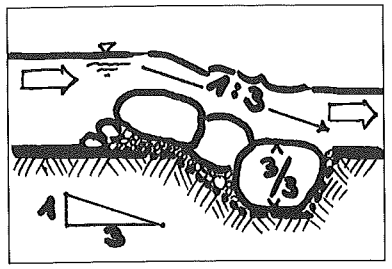


Wasserdruck: Um die Standsicherheit zu gewährleisten, ist die Verankerung des Fußes mit mög-



lichst großen Steinen vorzunehmen. Die Ausbildung einer Dammkrone hat sich als günstig erwiesen (Kronenbreite = 0,30 m). Der Wasserdruck bedingt auch eine erhöhte Unterspülungsgefahr, der durch ein breites Kiesbett begegnet werden kann.

Überströmbarkeit: Bei Hochwasser ist ein nahezu vollständiger Abfluß über die Krone anzunehmen. Eine gleichmäßige Verteilung und Verlangsamung des Abflusses tritt erst bei einer Anlage von mehreren hintereinander gestaffelten Wällen und Dämmen auf.



Die **Form** der Dammes ist flach (1:3), und die Neigung läuft am Fuß ebenerdig aus (vollständige Verankerung der ersten Steinreihe; 3/3).

Die **Abmessungen** passen sich jeweils der unterschiedlichen Höhe von H = 0,30 m bis H = 0,50 m an. In Abhängigkeit von der Höhe ergibt sich die Breite:

$$B = 3{,}5 \times H + 0{,}3 \text{ m}$$

Benötigtes Steinvolumen (in m^3 pro laufender Meter):

$$V_{ges}\,[m^3/m] = 0{,}05 \times 0{,}6 \times H + 1{,}75 \times H^2;\ H\,[m]$$

$$V_{Kies}\,[m^3/m] = 0{,}05 \times 0{,}52 \times H$$

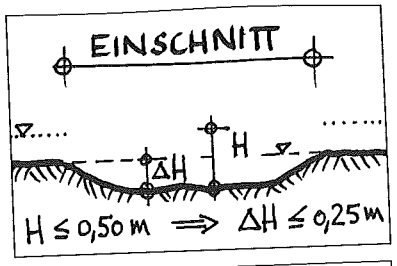
Höhe	$V_{ges.}$	V_{Kies}	V_{Steine}
[m]	[m^3/m]	[m^3/m]	[m^3/m]
0,30	0,4	0,2	0,2
0,40	0,6	0,25	0,35
0,50	0,8	0,3	0,5

Einmessen:

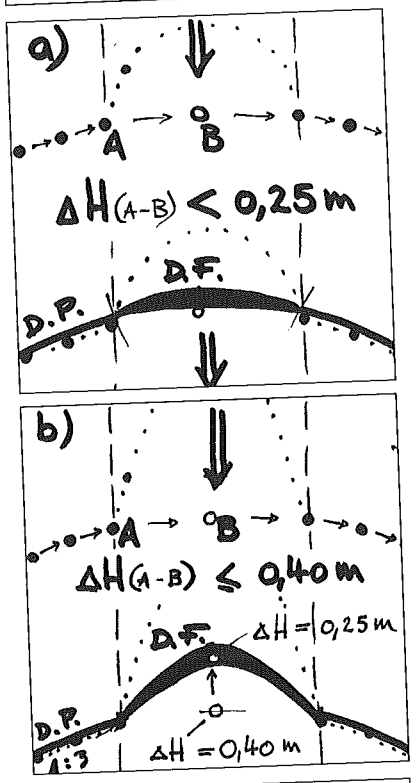
1. Ausgehend von einer Höhenlinie und den normalen oder flachen Steinwällen wird der Sickerdamm eingemessen.

oder

2. Der Sickerdamm wird zuerst eingemessen, die Höhenlinie wird im zweiten Schritt festgelegt.



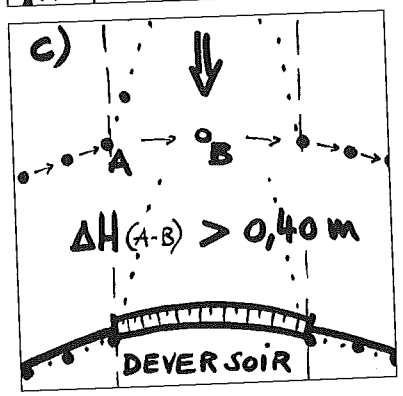
Zu 1.: Für den Bau eines flachen Steinwalls durch eine Senke und Abflußmulde folgt man so lange der Höhenlinie, bis sie sehr stark hangwärts abknickt oder nicht mehr zu verfolgen ist. Über Hilfsmeßpunkte wird dieser Bereich vermessen, um die Höhenlinie am anderen Ufer wieder aufzunehmen. Zur Hilfe dienen entweder Steine geeigneter Größe oder kleine Holzpflöcke, die bis auf die richtige Höhe eingeschlagen werden.



Interpretation: Nach der Messung ist die Höhendifferenz (H) von der Höhenlinie zum tiefsten Punkt zu messen (Zentimeter, Karopapier). Die Differenz darf nicht größer als 0,25 m sein, damit die Dammhöhe 0,50 m nicht übersteigt (H < 0,25 m).

a) $\Delta H < 0{,}25$ m: Der Damm kann auf derselben Trasse gebaut werden.

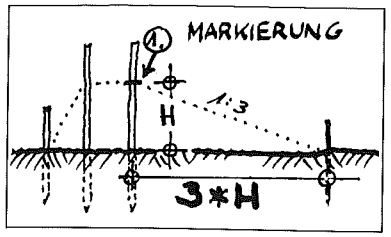
b) 0,25 m < H < 0,40 m: Wenn die Höhendifferenz nur wenig mehr beträgt als H = 0,25 m, kann man versuchen, der Höhenlinie soweit hangwärts zu folgen, bis sich die Differenz auf H = 0,25 m reduziert (bei einem Geländegefälle von 1 % muß man, um 10 cm Höhendifferenz auszugleichen, 10 m hangwärts gehen). In diesem Falle muß eine Bogenform gewählt werden.



c) Bei **$\Delta H > 0{,}40$ m** erscheint das Ausweichen der Trasse hangwärts nicht sinnvoll. Ein **Überlaufbauwerk** mit angemessen flacher Neigung ist angebracht (s. III.3.5, III.3.6).

Zu 2.: Wird der Sickerdamm zuerst eingemessen, so beginnt man im Gelände am tiefsten Punkt mit der Messung und steckt eine Trasse mit Holzpflöcken (1 m lang) ab. Mittels des gefüllten Schlauches der Schlauchwaage wird die Höhe der Krone auf den einzelnen Hölzern markiert. Beim ersten Holzpflock wird als höchste Höhe 0,50 m eingetragen. Der selbstgewählten Trasse wird solange gefolgt, bis die Höhe von 0,25 m erreicht

ist, um an diesem Punkt die Höhenlinie aufzunehmen. Hier schließt sich dann der Bau von Steinwällen entlang der Höhenlinie an.



Abstecken der Trasse: Ist die Trasse markiert, werden die Abmessungen des Bauwerks mit Holzpflöcken festgelegt (alle 10 m). Neben dem ersten Pflock mit der Höhenmarkierung gibt ein zweiter im Abstand von 0,30 m die Breite der Krone an. Die Breite des Dammes wird nun als Funktion der Höhe mit zwei kleinen Pflöcken markiert.

Hangwärts $D = {}^1/_2 \times H$, Talwärts $D = 3 \times H$

Die Pflöcke bleiben bis zum Abschluß der Arbeit stehen und dienen der Meßkontrolle während der Bauphase (Spannen von Schnüren).

Arbeitsschritte: Die Abfolge der Arbeitsschritte entspricht denen des Baus von Steinwällen (s. IV.3):

1. Einmessen
2. Abstecken der Trasse und der Maße
3. Erdaushub für Kiesbett und Fußverankerung
4. Einbau der ersten Reihe großer Steine (Fußverankerung; Durchmesser > 0,30 m)
5. Einbau des Kiesbettes (H = 0,15 m)
6. Schichtweiser Aufbau und Setzen der Steine. Große Steine werden zur Bildung des überströmten Bereiches bevorzugt. Kleine Steine sind für den Unterbau und den Körper günstig (Kontrolle mit Schnüren).

Beurteilung

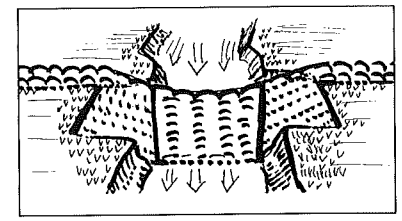
Bauhöhen über 0,50 m sind für stark überströmte Bauwerke in Trockensteinbauweise nicht beherrschbar. Der an den Standorten typische alluviale Boden ist besonders erosionsgefährdet und erhöht somit die Risiken. Die im Abflußbereich vorgesehene Anlage muß vor der Regenzeit komplett fertiggestellt werden, um Schäden zu vermeiden. Da der Arbeitsaufwand erheblich ist, bedarf es einer sehr guten Organisation der betroffenen Bauern. Sie müssen Kennisse und Erfahrungen mit einfachen Techniken (Steinwall) haben.

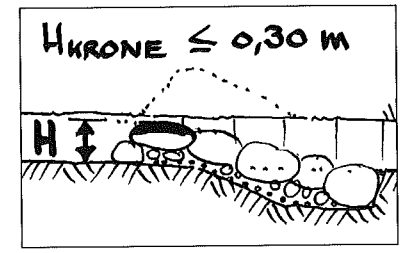
Es ist in jedem Falle besser, ein kleineres Bauwerk fertigzustellen als ein großes nicht vollenden zu können. Sollten trotzdem Engpässe beim Bau auftreten, muß die Fußverankerung auf jeden Fall vor dem Regen auf der ganzen Länge erfolgen.

Bauschäden treten vor allem bei schlecht gebauten und hohen Dämmen auf. Durch Unterspülung kommt es zur Sackung des Damms und zur Deformierung der Krone. Die Folgen sind in Kapitel 3.4 beschrieben.

3.6 Steinüberlauf

Definition

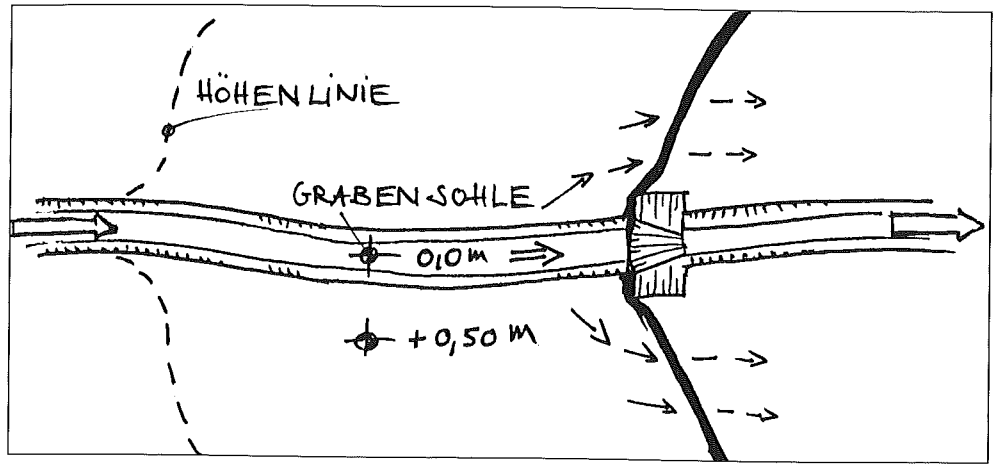




Der Begriff Überlauf bezeichnet ein Bauwerk, das Hochwasser aufnimmt und auf ein niedrigeres Niveau überleitet, damit es schadlos abfließt. Im Sahel finden Überläufe im Verbau von Gräben mit Steinwällen kombiniert Anwendung. Es handelt sich dabei um flache Überlaufschwellen, die als Trockenmauerwerk aus Kies und Lateritgestein gebaut werden.

Der Unterschied zwischen Steinüberlauf und der unter III.3.6 beschriebenen Schwelle liegt vor allem in der geringeren Größe der Gräben und den entsprechend geringeren Belastungen (s. III.5 Behandlung eines Wasserlaufs).

Ziel sind Verhinderung der Entwässerung der Felder durch den Graben, möglichst weitgehende Nutzung kleinerer Abflüsse durch Verteilung auf dem Feld, Bekämpfung der rückschreitenden Grabenerosion, unschädlicher Abfluß des Überschußwassers bei außergewöhnlich heftigem Regen und Erhalt der Funktion des Grabens.

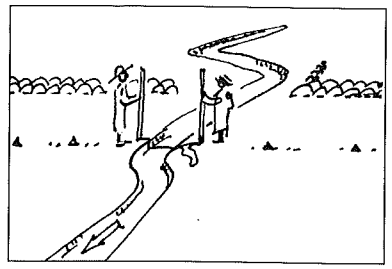


Funktionsweise

Durch die Krone des Überlaufes wird die Grabensohle um etwa 0,30 (bis 0,50) m angehoben, so daß eine Stufe entsteht. Damit das überströmende Wasser schadlos abfließt, werden die Böschungsbereiche gesichert. Das Wasser kann über eine flach geneigte Schwelle, die talwärts im Grabenbett verankert ist, passieren.

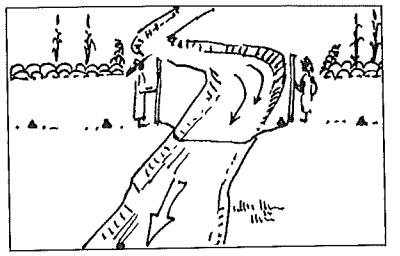
Im Idealfall liegt die Krone des Überlaufs auf Geländehöhe, um so auch bei geringen Abflüssen eine Bewässerung zu bewirken und die Entwässerung des Bodens zu verhindern. Es kommt zu einer seitlichen Verteilung des Wassers entlang der Steinwälle. Abhängig von der Tiefe ist dies jedoch nur bei flachen Gräben erreichbar.

Bauanleitung

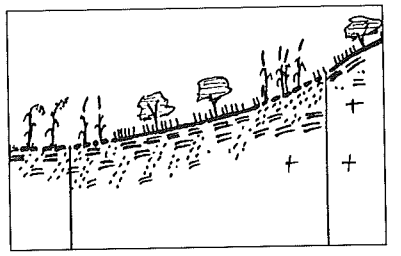


Der Graben sollte eine möglichst stabile Form haben und nicht zu groß sein. Je tiefer ein Graben eingeschnitten ist, desto größer ist der Materialbedarf und desto geringer der Nutzeffekt des Verbaus. *(Die folgenden Maßangaben gelten nur als ungefähres Unterscheidungsmerkmal.)*

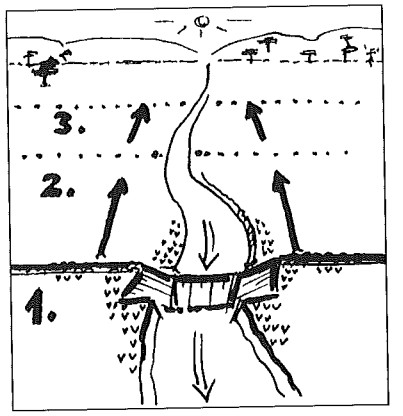
Kleine Gräben:	Breite	B < 1,20 m
	Tiefe	H < 0,30 m
große Gräben:	Breite	B < 1,20 m – 2,00 m
	Tiefe	H < 0,50 m – (1,00 m)



Für sehr flache Abflußmulden ist der Bau eines kurzen Sickerdamms zu erwägen (Tiefe H < 0,25 m).

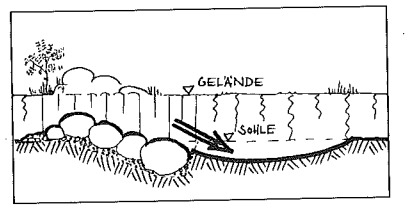


Standort: Trocken (kleines Einzugsgebiet). Der Verbau von Gräben ist hauptsächlich im Bereich der Anbauflächen interessant (Flächen der Berghanglagen, Anbauflächen außerhalb der Talauen, alte Dünen).



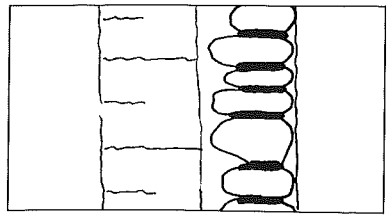
Vielfach handelt es sich um ehemalige Felder, die von Gräben zerschnitten und dadurch für den Anbau nicht mehr geeignet sind. Um die Standfestigkeit des Bauwerkes zu sichern, sollte mit dem Verbau dort begonnen werden, wo der Graben in seiner Form stabil und möglichst flach ist. Häufig ist es günstig, talwärts mit der Arbeit zu beginnen, da hier der Graben stabiler ist oder sogar verschwindet. In diesem Fall erfolgt der **Verbau des Grabens von der Talseite zum Hang** (de l'aval à l'amont).

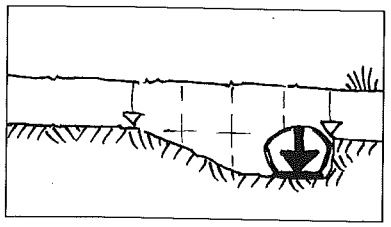
Bauelemente

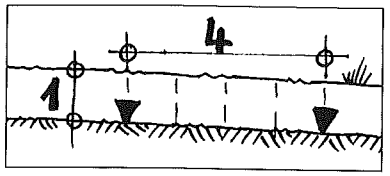


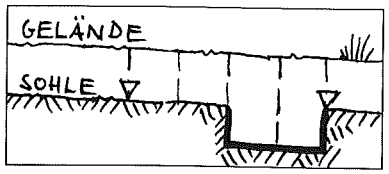
Fußverankerung: Die Belastungen des Bauwerks sind grundsätzlich die gleichen wie unter III.3.1.1 beschrieben, jedoch mit anderer Gewichtung. Der Wasserrückhalteeffekt ist praktisch Null, Aufstau und Wasserdruck sind umso größer. Sehr stark ist die Überströmung durch den konzentrierten Grabenabfluß, die im Bereich der Fußverankerung eine sehr hohe erosive Energie freisetzt und fast immer zur Ausbildung einer Vertiefung im Graben (Tosbecken) führt.

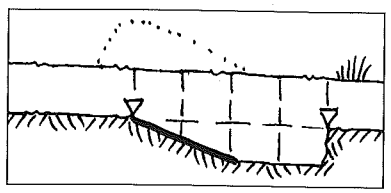
Die Fußverankerung besteht aus der ersten Reihe großer Steine, die dicht aneinandergesetzt werden müssen. Längliche Steine sollen aufgekantet mit der Längsseite in Fließrichtung liegen. Die Steine müssen gut auf der Grabensohle aufliegen; sie sollen nach unten und untereinander gut haften.

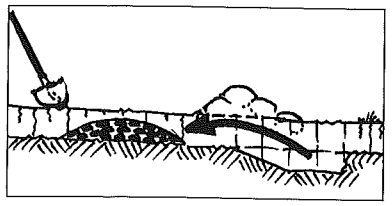


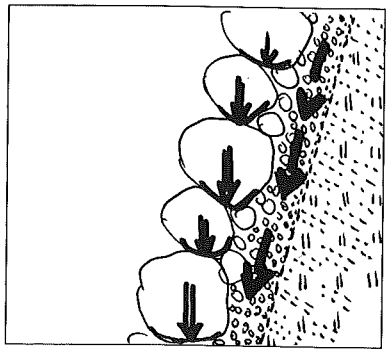












Nach vorne bleibt ein Spalt, der später mit Kies zu füllen ist.

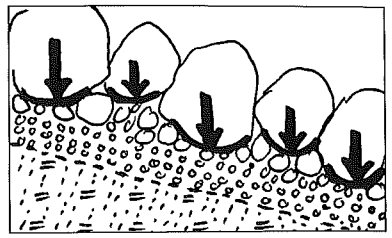
Der **Verankerungsgraben** wird auf der gesamten Länge des Überlaufs ausgehoben. Die Länge richtet sich nach dem Gefälle; bei Neigung 1:4 > Länge L = 4 × Höhe; bei Neigung 1:6 > Länge L = 6 × Höhe.

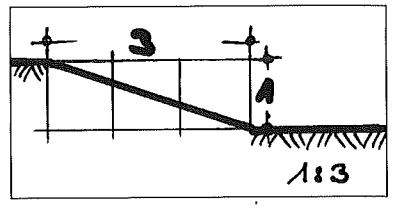
Die Tiefe richtet sich nach dem Durchmesser der größten Steine (mindestens Größe eines Fußballs, Durchmesser 0,30 m). Der Graben braucht nur 0,60 m auf der vollen Tiefe ausgehoben werden und muß auf dem fehlenden Stück abgeschrägt werden. (Je genauer die Schräge des Grabens hergestellt ist, desto einfacher wird das Setzen der Steine.)

Der Erdaushub wird oberhalb des Bauwerks im Graben gelagert und kann zum Abschluß bis an die Krone angeschüttet werden.

Böschungssicherung: Die am stärksten belasteten Bauelemente sind die Böschungen, die sowohl dem Wasserdruck in Fließrichtung des Wassers als auch dem des seitlich zufließenden Wassers ausgesetzt sind. Im Vergleich zum Geländegefälle sind die Böschungen steil und ein wirksamer Schutz des Bodens ist schwierig. Das aufgestaute Wasser im Graben verbreitert das Bett. Wasserströmungen an den Böschungen führen zur allmählichen Erosion des Untergrundes. Beim Böschungsverbau ist zu berücksichtigen, daß die Strömungen zwischen den Steinen besonders stark sind. Eine Kiesschicht vermindert diese Strömungen und schützt so den Boden.

Böschungsneigung: Ist die Böschung sehr steil, wird der Druck der Steine auf den Kies schwach, und die Schutzschicht rutscht.





Bei einer flachgeneigten Böschung drücken die großen Steine mit ihrem Gewicht auf den Kies und halten ihn gut fest.

Aufgrund der vorherrschenden sandigen und erosionsgefährdeten Böden sind die Böschungen auf der ganzen Länge des Bauwerks abzuflachen (Neigung 1:3). Flache Böschungen bieten die Voraussetzung für eine stabile Lage der Kiesschicht und bewirken, daß die Überlaufkrone ausreichend breit wird. Die Böschung wird möglichst gleichmäßig von der Grabensohle bis zum Geländeniveau abgeflacht.

Abmessungen der Böschungssicherung: Die Sicherung ist auf der gesamten Länge des Bauwerks durchzuführen.

Länge L = 6 × H (8 × H).

Die seitliche Länge der Böschungssicherung richtet sich nach der Tiefe des Grabens zur Fußverankerung, und der Böschungsneigung. Grabentiefe:

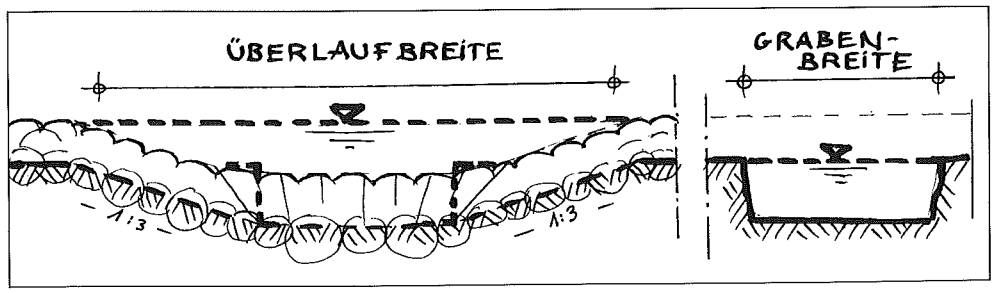
$T_{Graben} < 0{,}50$ m (1,0 m)

(Tiefe der Verankerung: T = 0,50 + 0,30 = 0,80 m).

Für die seitliche Länge wird die dreifache Gesamttiefe berechnet. Gemessen wird mit Hirsestengeln, Stöcken, etc.).

Der **Erdaushub** sollte als kleiner Wall oberhalb der Böschung aufgeworfen werden.

Als **Kiesschicht** hat sich ein Sand-Kiesgemisch (besonders Lateritkies) von etwa 10 cm Auflagenstärke bewährt. In dichter Lage erfolgt nach einer Durchnässung ein Verkleben und Verbacken der



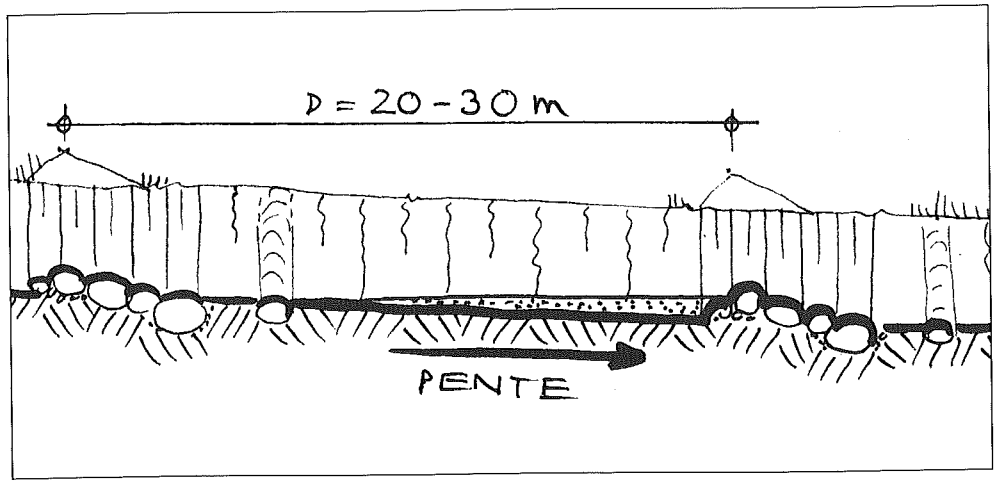
Kies- und Sandkörner mit dem Boden. Ist wenig Kies verfügbar, so kann auch eine dünnere Kiesschicht mit kleinen Bruchsteinen versetzt werden (Kies 5 cm, Bruch 5 – 10 cm).

Höhe und Breite: Der Überlauf ist genügend breit zu bauen, damit der Graben auch weiterhin das Hochwasser abführen kann. Der gegebene **Durchflußquerschnitt** (gedachte Fläche eines Schnitts quer durch den Graben) **ist beizubehalten.**

In der Regel ergibt sich durch die Abflachung der Böschungen eine ausreichende Breite des Überlaufs. Die Kontrolle kann im Gelände nach Augenmaß erfolgen. Zum Abschätzen muß sich der Berater in den Graben begeben, um die Krone des Bauwerks in Augenhöhe zu haben.

Ein Überlaufbauwerk in Trockensteinbauweise sollte von der Sohle bis zur Krone maximal 0,30 m hoch sein, um Risiken zu vermeiden. Eine Erhöhung der Krone ist erst nach der Fertigstellung eines kompletten Verbaus und den Erfahrungen mindestens einer Regenzeit eventuell möglich.

Um einen gleichmäßigen Effekt auf den Graben zu erzielen, sind mehrere Überläufe in Folge zu bauen.

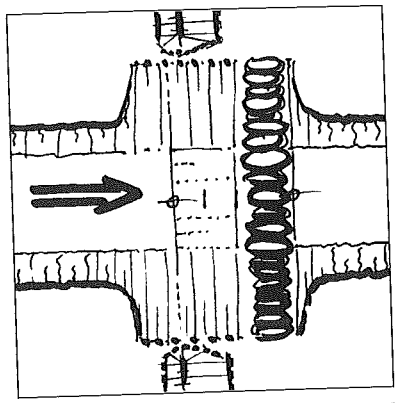


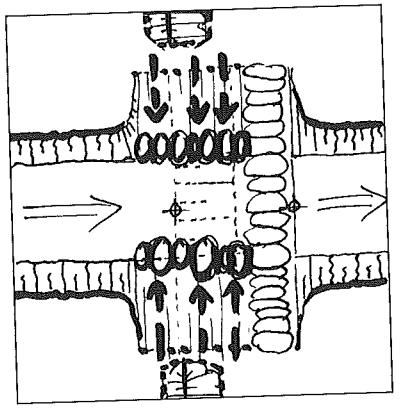
Setzen der Steine:

∅ 30 – 40 cm; Im Graben sind die Steine bis zur Sohle eingelassen; zu kleine Steine werden mit Kies unterfüttert. Die Steine werden in Längsrichtung bis zur Böschungsoberkante aneinandergesetzt.

∅ 25 – 30 cm; Böschungsfuß (bei großen Gräben). Die Steine werden entlang der Böschung gesetzt und in Richtung der Neigung ausgerichtet.

∅ 5 – 15 cm; Im Bereich des gesamten Bauwerks wird eine Kies- oder Kies-Schotter-Schicht von etwa 10 cm Höhe eingebaut. Mit dem Kies werden gleichzeitig die Steinreihen der Fußverankerung verfestigt.

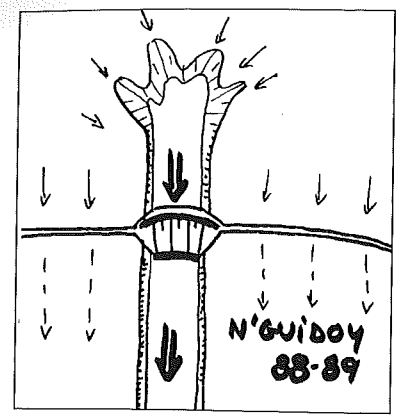


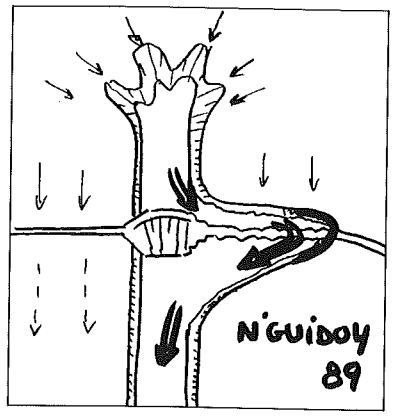


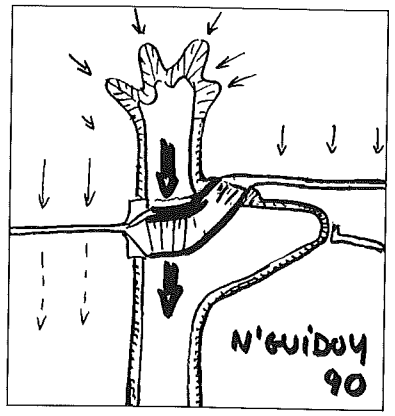
Arbeitsschritte:

1. Einmessen der Höhenlinien.
2. Bau der Steinwälle entlang der Höhenlinien.
3. Beschaffung von Kies ($^1/_3$) und Steinen ($^2/_3$), Lagerung des Materials außerhalb der Baustelle!
4. Einmessen von Höhe und Länge des Überlaufs (kleiner Graben 1:4, großer Graben 1:6).
5. Ausheben des talseitigen Verankerungsgrabens und Lagerung des Bodens oberhalb des Bauwerks.
6. Ausmessen der Böschungslängen (die größte Grabentiefe wird mit drei multipliziert).
7. Abflachen der Böschungen und Lagerung des Bodens oberhalb der Böschungen (Wall).
8. Setzen der Steine für die Fußverankerung.
9. Einbau der Kiesschicht.
10. Setzen der Steine und Fertigstellung.

Reparaturen: Schäden treten am häufigsten im Bereich der Böschungen auf, es kommt zu Sackungen und oft zur Umspülung des Bauwerks. Ursachen sind das Fehlen einer stabilen Bodenbedeckung mit Kies oder eine zu steile Böschung.







Beispiel: Bei einem Grabenverbau 1989 in N'Guidoy (Oudalan) wurde ohne Kiesunterlage gearbeitet, weil kein Material vorhanden war (Grabentiefe 1,0 m). Die Arbeit an den Steinwällen und Überläufen wurde sehr sorgfältig ausgeführt, um wenig Angriffsmöglichkeiten für das Wasser zu bieten. Trotzdem kam es an der Böschung zum Absacken der Steine, was zu einer enormen Verbreiterung und Aufweitung des Grabens führte. Bei der Reparatur wurde die nächstliegende Böschung abgeflacht und mit Kies und Steinen verbaut. In den folgenden Regenzeiten funktionierte das Bauwerk.

Bei einer starken Eintiefung der Sohle am Fuß ist eine zusätzliche kleine Steinschwelle vorzusehen; dies ist vor allem für das am weitesten talwärts gelegene Bauwerk erforderlich.

Bei Löchern und Sackungen im Böschungsbereich sind so viele Steine als nötig (mit der Brechstange – barre à mine) herauszunehmen, um den Unterbau durch Auffüllen und Verdichten mit Kies und Schotter zu ergänzen. Danach wird das Loch wieder geschlossen (Steine, kleiner Hammer).

Steinüberläufe, die in Verbindung mit Erdwällen erstellt wurden, um Bruchstellen zu reparieren oder eine beginnende Grabenerosion zu verhindern, bewährten sich wegen der geringen Haltbarkeit der Erdwälle nicht. In Kombination mit steinverstärkten Erdwällen funktioniert das System gut. Auch hier ist aber wie bei einfachen Erdwällen eine Wasserentlastung über Flügel einfacher und weniger aufwendig. Erst mit der Anlage von Steinwällen ist jedoch die Behandlung bestehender Gräben durch die Steinüberlaufe möglich.

Beurteilung

Um die im Vergleich zum Flächenschutz relativ komplizierte Technik zu erlernen, ist die Beherrschung des Baus einfacher Steinwälle eine Grundvoraussetzung. Für einen Grabenverbau mit mehreren Überläufen ist der Aufwand groß;

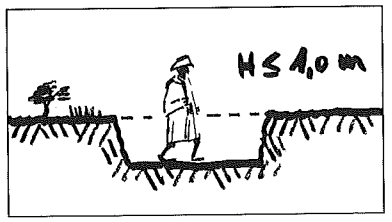
es bedarf einer kollektiven Arbeitsweise und geeigneter Transportmittel (Unterstützung). Aufwand und Nutzen einer solchen Maßnahme sollten von Beratern und Bauern gemeinsam diskutiert und abgewogen werden.

Häufig wird bei der Behandlung eines Grabens der Aufwand für die Erdarbeiten gescheut. Bei den Bauern entsteht zunächst der Eindruck, daß, je tiefer man gräbt, eher das Gegenteil der gewünschten Wirkung eintritt. Die Wichtigkeit der einzelnen Arbeitsschritte muß immer wieder erklärt werden, dabei sind gerade negative Erfahrungen als Beispiel heranzuziehen.

Vom Bau eines einzelnen Überlaufbauwerks ist abzuraten, da erst die Anlage mehrerer Überläufe die gewünschte Wirkung erzielt. Kurzfristig wird als einfache Maßnahme zur Stabilisierung eines Grabens und zum Schutz der angrenzenden Flächen die Anlage von Uferschutzstreifen empfohlen. Steinwälle, die bis an den Graben heranführen, müssen zunächst mit seitlichen Flügeln versehen werden.

3.7 Sohlschwelle in Trockensteinbauweise

Definition



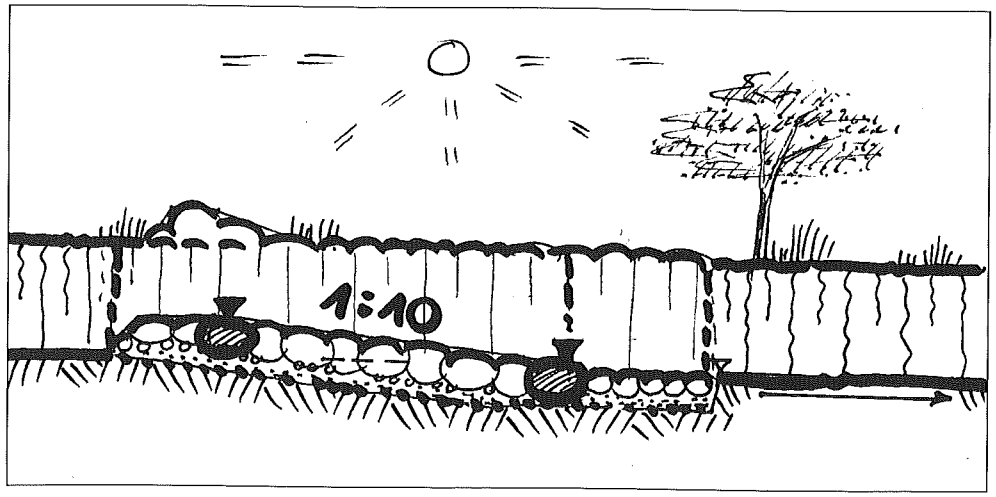
Die Sohlschwelle ist eine sehr flache Steinschwelle mit geringer Höhe **(H < 0,30 m)**, die der Stabilisierung der Sohle größerer Wasserläufe und Rinnen dient. Das Bauwerk ist dem Überlauf ähnlich, die Abfolge der Arbeitsschritte ist somit gleich. Der Unterschied besteht vor allem in der Anwendung für tiefere und größere Gräben sowie Rinnen. Die Technik ist aus dem Flußbau entlehnt, wo sie für die Sohlsicherung permanenter Fließgewässer Anwendung findet. Bei Steinschwellen erreichen die technischen Möglichkeiten der Trockensteinbauweise ihre Grenzen.

Anlaß ist in der Regel die Bekämpfung von rückschreitender Grabenerosion in den Anbau-

flächen, die Jahr um Jahr erhebliche Schäden verursacht(s. III.4.2 Grabenerosion). Ziel ist die Verminderung der Entwässerung (Dränung) der Felder durch eine Rinne, Bekämpfung der rückschreitenden Grabenerosion, Stabilisierung der Gewässersohle und unschädlicher Abfluß des Hochwassers durch die Rinne (Erhalt ihrer Funktion).

Funktionsweise

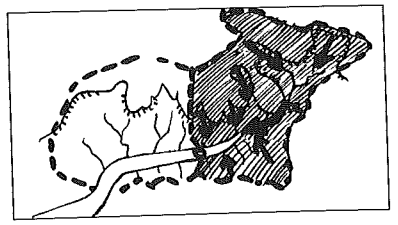
Die Gewässersohle wird durch die Schwelle um etwa 0,30 m angehoben, sodaß eine Stufe entsteht. Das Wasser fließt über die flache Schwelle, die talwärts im Grabenbett verankert ist, ab. Um das schadlose Abfließen des Wassers zu erreichen, werden die Böschungen gesichert. Die hohe Energie des überströmenden Wassers soll durch die Länge der Schwelle und rauhe große Steine reduziert werden. Die Stabilsierung einer Rinne wird erst durch die Anlage mehrerer hintereinanderliegender Schwellen erreicht (Prinzip der Kaskade).



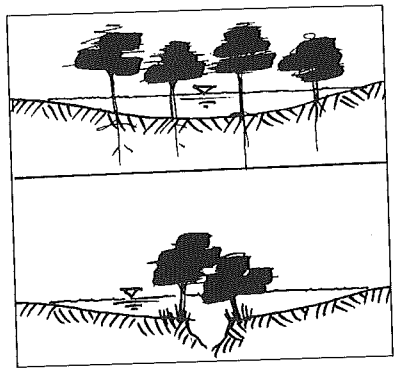
Bauanleitung

Bei großen Rinnen von über 1,0 m Tiefe und mehr als 3 m Breite sollte der Rat eines Wasserbauers

eingeholt werden, da eine genauere Abschätzung der Größe des Einzuggebietes und der größten Wasserabflüsse notwendig ist. Bei größeren Rinnen ist die Verwendung von Steindrahtkörben (Gabionen) als zusätzliches Hilfsmittel zu diskutieren (s. IV.3.8).

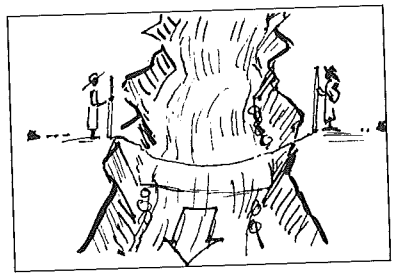


Beim Bau ist viel handwerkliches Können und eine systematische Vorgehensweise notwendig.



Standort: Die größeren Rinnen befinden sich vor allem auf feuchten Standorten und sind dort größeren Wassereinzugsgebieten zugeordnet (>1 km²). Es handelt sich um flache Abflußmulden mit geringmächtigen alluvialen Böden oder Talauen mit tiefgründigen alluvialen Böden. Auf diesen Standorten ist die Rinnenerosion in ihren schlimmsten Erscheinungsformen zu beobachten, da die Böden wenig widerstandsfähig sind.

Rinnen mit Tiefe T < 1,0 m (< 2 m):



Höhe der Schwelle über der Sohle:	H < 0,30 m
Neigung der Schwelle:	1:10

Böschungssicherung:

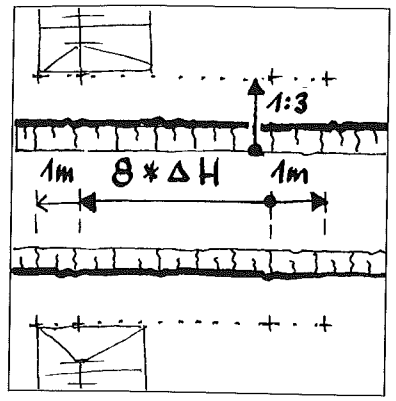
Neigung der Böschung:	1:3
Kies-Schotterauflage:	0,10 – 0,15 m

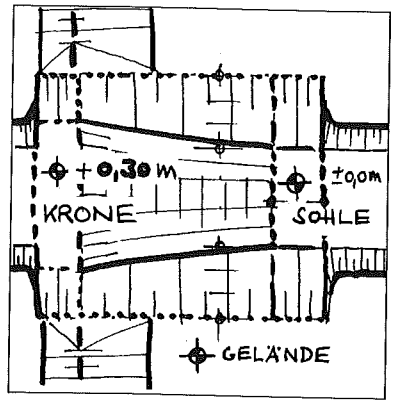
Fußverankerung:

Größe der Steine:	∅ 30 – 50 cm.
Breite des Verankerungsgrabens:	1 m Breite und Abschrägung nach oberhalb

Längen:

Schwelle:	L = 10 × 0,30 = 3,0 m (– 6m)
Nachbett talseitig:	L = 1 m (–3 m)
Gesamtlänge,	L = 4,0 m (–9,0 m)
und Länge der Böschungssicherung!	L = 4,0 m (–9,0 m)
seitliche Länge:	L = 3 × (Grabentiefe + Verankerungstiefe)



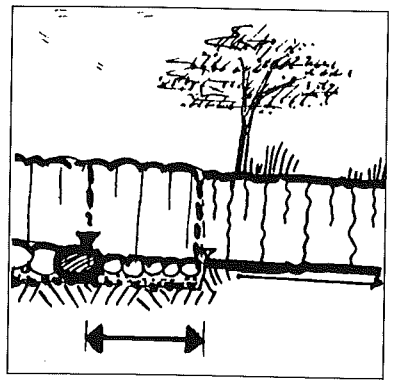


Kies-Schotterauflage (der Schwelle): 0,15 – 0,20 m

Bauanleitung: Die Arbeitsschritte entsprechen weitgehend denen des Überlaufes (s. Überlauf IV.2.6).

Die Fußverankerung wird durch ein sohlengleiches **Nachbett** verbreitert:

Größe der Steine: ∅ 40 – 50 cm (der Tiefe des Verankerungsgrabens entsprechend)



Die Breite des Verankerungsgrabens setzt sich deshalb zusammen aus:

Nachbett:	1 m (–3 m)
Breite der Fußverankerung:	1 m
Gesamtbreite:	2 m (4 m)

Der Verankerungsgraben ist entsprechend der Neigung der Schwelle (1:10) hangwärts abzuschrägen.

Beurteilung

Eine einzelne Sohlschwelle ist wenig wirksam und stärker belastet als eine Folge mehrerer Bauwerke. Um die relativ komplexe Technik zu erlernen, sollten zunächst Erfahrungen im Verbau kleinerer Gräben gesammelt werden. Es bedarf einer organisierten kollektiven Arbeitsweise mit vorab gewählten Verantwortlichen (responsable de travail). Aufwand und Nutzen der Maßnahme sollten von Bauern und Beratern gemeinsam diskutiert und abgewogen werden.

Die Eigendynamik der Grabenerosion resultiert vor allem aus der Absturzhöhe des Wassers und ist durch die Maßnahmen des Flächenschutzes nicht zu stoppen. Trotzdem ist der Schutz der Flächen vorrangig, um die Gefahr von Erosionsschäden, wie zum Beispiel die Verlagerung einer Rinne an einen anderen Ort, zu vermeiden. Die Reihenfolge der zu ergreifenden Maßnahmen ist folgende:

kurzfristig:
- Anlage von Vegetationsbändern (Bas-fonds)
- Anlage von Uferschutzstreifen
- Pralluferschutz für gefährdete Uferabschnitte der Rinne

mittelfristig:
- Maßnahmen auf oberhalb gelegenen Kulturflächen
- Verstärkung der Vegetationsbänder durch flache Steinwälle
- Verbau kleinerer Gräben

langfristig:
- Anlage der Sohlschwellen
- Maßnahmen auf nicht kultivierten Flächen im oberen Einzugsgebiet.

3.8 Sohlschwelle in Gabionbauweise

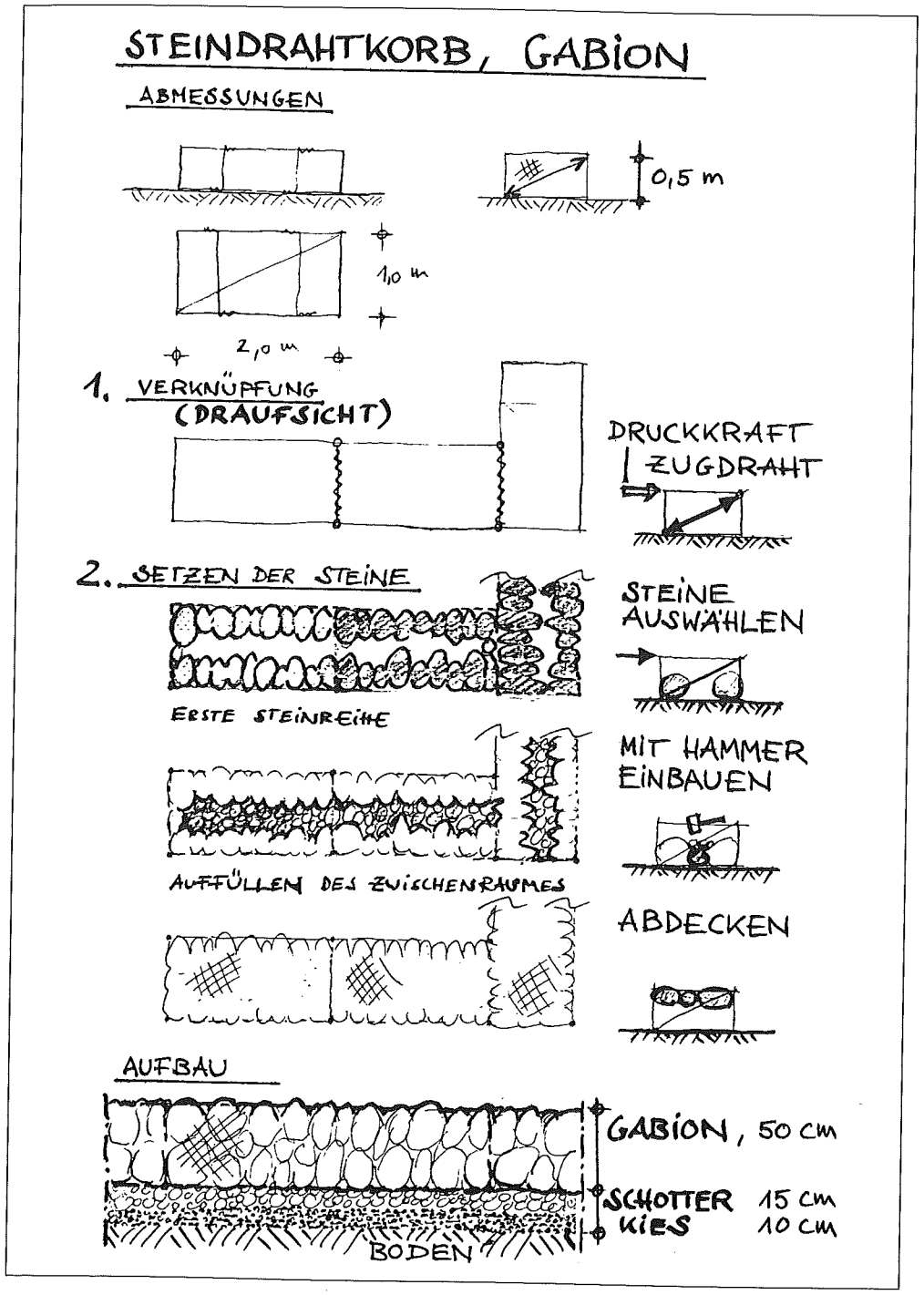
Definition

Gabionen sind mit Steinen gefüllte Kästen aus kräftigem Drahtgeflecht, die in aller Welt ein wichtiges Material im Wasserbau darstellen. Die Körbe werden in Burkina Faso von diversen Kleinwerkstätten und Projekten aus in der Regel 2 mm dickem verzinktem Stahldraht geflochten. Der Aufbau der Körbe erfolgt an Ort und Stelle durch Verbinden der losen Seiten des Korbes mit Draht gleicher Qualität.

Bei Abmessungen von üblicherweise 2,0 m × 1,0 m × 0,5 m wiegt ein mit Lateritgestein gefüllter Steinkorb etwa 1,5 t. Gabionen sind für Wasserbau und Böschungssicherungen besonders geeignet, da sie auch befüllt elastisch bleiben und langfristig von Pflanzen bewachsen und so befestigt werden können.

Funktionsweise

Steinkästen können vor allem für den Bau von **Sohlschwellen** in Erosionsrinnen verwendet werden, um die weitere Eintiefung zu verhindern. Der Einbau von



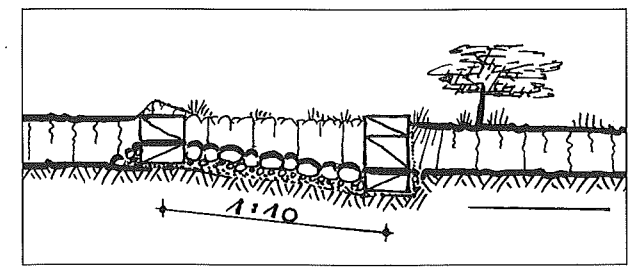
Gabionreihen für **Fußverankerung und Böschungssicherung** kann die Risiken der Unterspülung und des Herauslösens einzelner Steine erheblich vermindern.

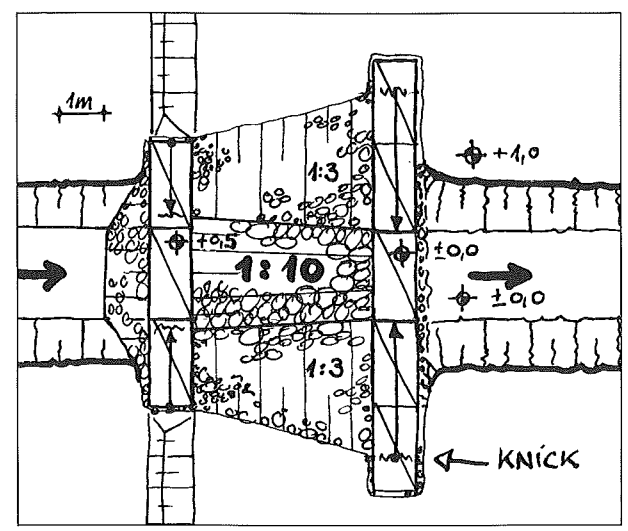
Durch die tiefe **Einbindung,** das hohe Einzelgewicht und die Verknüpfung der Kästen zu Rahmen wird ein hoher Widerstand gegenüber starker Wasserströmung erreicht. Beim Bau einer Sohlschwelle ergänzen sich durch die **Rahmenbauweise** die Vorteile von Gabionen und Trockensteinmauerwerk.

Bauanleitung

Rahmenbauweise: Vor dem Einbau von Gabionen muß stets die benötigte Tiefe der Verankerung kontrolliert werden. Zunächst sind die Seiten der vorgefertigten Drahtkästen vor Ort mit verzinktem Draht zu verbinden und in die Einbauposition zu setzen.

- **Vor der Füllung mit Steinen müssen sie mit den jeweils anschließenden Kästen verknüpft werden.**
- Pro Arbeitstag sind nur soviele Kästen aufzubauen, wie am selben Tag gefüllt und verschlossen werden können.





Arbeitsgrundsätze

Fußverankerung und seitliche Einbindung in die Böschung:

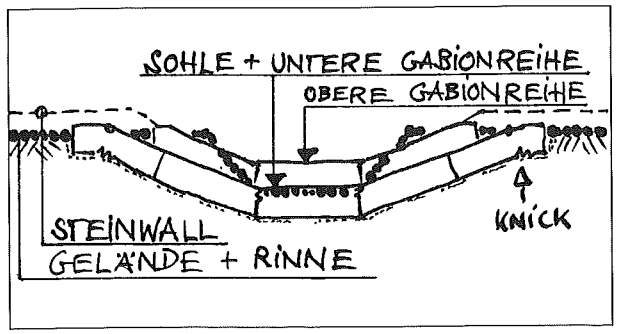
- Für die **Fußverankerung** sind die Gabionen mindestens **sohlengleich** einzubauen, sie müssen deshalb mindestens 0,60 m tief verankert sein (Kastenhöhe 0,5 m + Kiesfilter 0,1 m).
- In den Böschungen ist die Gabionenreihe der Fußverankerung bis auf Geländeniveau zu verlängern, dabei sollte die **Neigung 1:3 oder flacher sein.**
- Alle **Grenzflächen von Gabionen zum Boden** müssen in jedem Fall **als abgestufte Kies-Schotterschicht** (= Filterschicht) ausgebildet sein.
- Die **Böschungssicherung ist auf der gesamten Länge** der Sohlschwelle erforderlich.

Keine Absturzkanten! Sie sind für die Sohlsicherung durch Steinrampen mit flacher Neigung (1:10 und flacher) zu ersetzen.

Der Höhenunterschied von der Grabensohle zur Krone ist auf Δ**H < 0,50 m** zu begrenzen.

Der Aufbau von Böschungssicherung und Steinrampe erfolgt **von unten nach oben.**

Fußverankerung und Böschungssicherung sind unbedingt vor dem Aufbau der Schwelle fertigzustellen.



Hinweise zur Befüllung der Stein-Drahtkörbe: Die einzelnen Steine müssen möglichst dicht aneinander gesetzt werden. Vorteilhaft ist ein schichtweiser Einbau, wobei kleinere Steine in der Mitte plaziert werden sollten. Entsprechend der auf einen Kasten wirkenden Druckkräfte sind quer durch den Kasten Zugdrähte zu befestigen.

Unterhaltung: Die Lebensdauer der Drahtkörbe ist begrenzt. Nur die vollständige Anpassung der Bauweise an das Gelände durch fließende Übergänge bietet die Gewähr langfristiger Funktionalität. Die Ergänzung durch Steinrampe und Böschungssicherung aus Trockensteinmauerwerk ermöglicht auch in den Abflußbereichen eine Begrünung durch spontane Vegetation. In jedem Fall sind die Bauwerke

regelmäßig auf erkennbare Unterspülung zu kontrollieren. Falls Reparaturen anfallen, sollten ausreichend Kies- und Steinmaterial sowie Reservedraht und Zangen vorrätig sein.

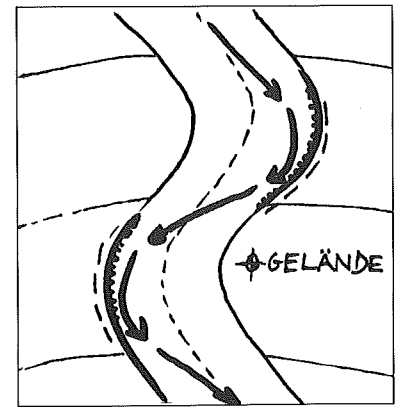
Bewertung

Wegen der Kosten und beschränkter Verfügbarkeit sollten Gabionen nur dort verwendet werden, wo dies wegen extrem hoher hydraulischer Belastung erforderlich ist.

Risiken bestehen in **zu hohen Erwartungen, Materialermüdung** und **Sabotage.** Für die Haltbarkeit des Drahtmaterials unter den klimatischen Bedingungen des Sahel liegen keine gesicherten Erfahrungen vor. Es wurde jedoch mehrfach beobachtet, daß Bindedraht aus den Bauwerken entfernt und zweckentfremdet wurde. Durch herausfallende Steine kam es bereits nach kurzer Zeit zu teilweise irreversiblen Schäden. Bei fehlendem Unterbau (Filterschicht) besteht ebenfalls die Gefahr ungewollter **Verformungen.** Es kommt vor allem böschungsseitig zu Setzungen und in der Folge zur Untergrabung durch unterwasserseitige Kolkbildung. Kann der Prozeß nicht gestoppt werden, wird das Bauwerk schließlich zerstört und umspült. Und wenn die Gabionen, um Arbeit zu sparen, stufenförmig und exponiert eingebaut werden, kommen die oben genannten Nachteile zum Tragen. Ein beschädigtes Bauwerk aus Gabionen ist nur mit großem Aufwand zu reparieren. Das oftmals dafür notwendige Öffnen der Drahtkästen ist nur mit Werkzeug möglich und erfordert für das Wiederverschließen Reservedraht, der meist dann nicht verfügbar ist, wenn er benötigt wird.

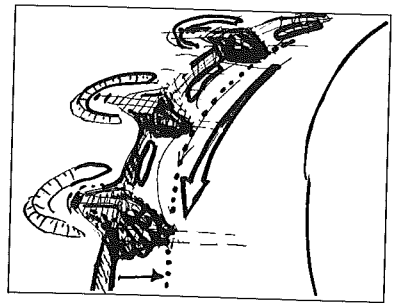
Schlüssel zum Erfolg der Bauweise sind nicht die Drahtkästen an sich, sondern die konsequente Einbindung der Kästen in die Sohle und in die seitlichen Böschungen. Nur wenn die **Grabarbeiten** sorgfältig durchgeführt werden, entstehen langlebige Bauwerke, die dem Trockenmauerwerk überlegen sind.

3.9 Pralluferschutz



Bei den in der Regel geschwungen verlaufenden Wasserläufen werden die Außenbögen der Kurven als Prallufer (berge sapée) bezeichnet. Die Veränderung des Gewässerbetts durch die Wasserströmung ist ein normalerweise sehr langsam verlaufender, natürlicher Prozeß. Durch den Aufprall der Strömung auf das Prallufer kann es jedoch zu starken Uferabbrüchen kommen, die besonders im Bereich der Anbauflächen oder in Ortschaften schädlich sind (extremes Beispiel: Saouga/Oudalan). Traditionell wird die schädliche Ufererosion

häufig mit erheblichem Aufwand von der direkt betroffenen Bevölkerung bekämpft. Dies geschieht meist mit Teilen toter Bäume, die mehr oder weniger im Ufer verankert werden, und mit Abfällen aller Art. Verankerung und Gewicht dieser Befestigungen reichen oft nicht aus, so daß bei Hochwasser das tote Holz aufschwimmt und alles weggespült wird. Sinnlos sind Befestigungen, die über die gesamte Breite eines Wasserlaufes gehen. Sie erzeugen einen Aufstau des Wassers und geben der Strömung zusätzliche Energie, die schließlich den Schaden vergrößert.



Funktion

Das angegriffene Ufer wird durch Anlage mehrerer Strömungshindernisse (Buhnen, franz.: épis) geschützt. Diese Strömungshindernisse sind quer zur Strömung angeordnet und sowohl im Gewässerbett als auch in der seitlichen Böschung verankert. Die starke erosive Strömung wird damit umgelenkt und vom bedrohten Ufer weg verlagert.

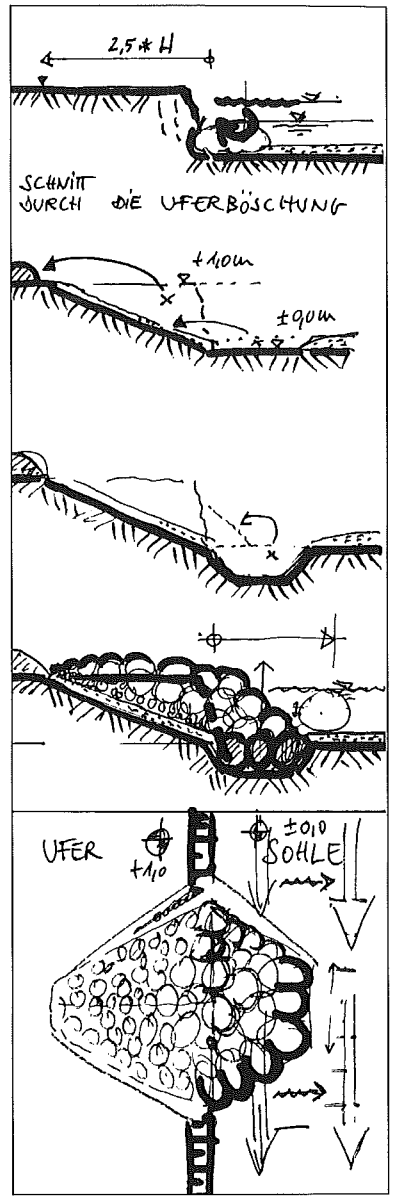
Bauweise

Erfahrungen im Seno mit Steinbuhnen waren sehr positiv, da selbst schlecht ausgeführte Buhnen ihre Funktion erfüllen konnten. Für Steinbuhnen können zwei verschiedene Bauprinzipien abgeleitet werden:

- steile, seitlich umströmte Buhnenköpfe an starken Abbrüchen,
- flache, bei Hochwasser überströmte Buhnen bei breiten größeren Wasserläufen.

Geeignete Baustoffe sind vor allem Kies und Steine. (Besonders geeignet sind schwere Granitsteine.) Grundsätzlich sind auch Flechtwerke aus Holz und Zweigen einsetzbar. Aufgrund der geringen Lebensdauer (Termitenfraß) eignen sie sich am ehesten für eine zusätzliche Sicherung zwischen den Buhnen.

Verankerung in der Uferböschung: Wie bei der Böschungssicherung der Überlaufbauwerke ist auch hier eine Abflachung der Böschung erforderlich (s. III.3.5). Ebenso sollte der Steinkegel der Buhne auf eine Kies-Sand-Schicht aufgebaut sein. In der Regel können hier die Sedimente Verwendung finden, die für die Fußverankerung der Buhne im Gewässerbett bewegt werden müssen. Bei der Auswahl der Steine sollten die größten für den in den Wasserlauf ragenden Buhnenkopf und die kleinen für die Verankerung in der Böschung verwendet werden.



Bei einem besonders hohen Uferabbruch muß die Höhe der einzelnen Buhne mindestens bis zum höchsten Wasserstand reichen. Um die Strömung unschädlich zu machen, reicht in der Regel eine geringe Länge aus. Die Buhnen sollten aber etwa 1–2 m vom Uferabbruch in den Strömungsbereich hineinragen; sie bilden eine neue Uferlinie.

Der Abstand ist umso kleiner zu wählen, je enger die Kurve ist (5 m bei sehr engen Kurven, 20 m bei sehr weiten Bögen).

Flache Buhnen sind als überströmbare Schwellen auszulegen (s. III.3.5, III.3.6) und entsprechend im Gewässerbett zu verankern. Die Sedimentauflage ist abzutragen. Besonders der Buhnenkopf muß bis in den „gewachsenen Untergrund" verankert sein. Hier sind die größten Steine zu verwenden. **Überströmbare,** längliche **Buhnen** sind in ihrer Lage etwas **gegen die Strömung geneigt** angelegt. Die Höhe ist auch in diesem Fall auf 0,30 m (–0,50 m) zu beschränken.

Abfolge der Arbeitsschritte:

- Abstecken der gewünschten Uferlinie im Flußbett.
- Festlegen und Markieren von Anzahl und Lage der Buhnen.
- Einmessen und Markieren der Böschungs- und Fußverankerung.

- Graben des Böschungseinschnittes und Lagern des Bodens oberhalb.
- Abtragen der Sedimente im Bereich der Buhnen und Einbau im Böschungseinschnitt.
- Graben der Fußverankerung und seitliches Lagern des Bodens (zwischen den Buhnen).
- Setzen der Steine von unten nach oben (große Steine zur wasserseitigen Verankerung und kleine Steine im Böschungseinschnitt).

Zusätzliche Maßnahmen: Im fraglichen Abschnitt ist der Schutz der natürlichen Vegetation Bedingung. Pflanzung und Saat besonders geeigneter Pflanzen ist günstig (s. IV.5.7).

Zur Verstärkung der Buhnen (Querwerke) können längs der Uferlinie Steinwälle oder Flechtwerk eingesetzt werden (Längswerke).

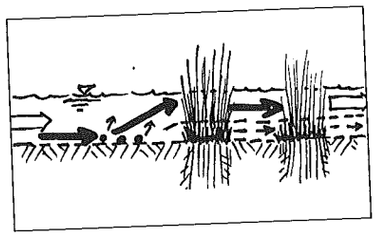
Steinwälle längs des Ufers können ein starkes Ausufern des Wasserlaufs oder das Zuströmen zum Wasserlauf verhindern (Bau der Wälle, s. IV.3.3; IV.3.4).

4 Biologische Maßnahmen

4.1 Einführung

Als biologische Maßnahmen schützen lebende Pflanzen den Boden vor erosiven Kräften. In dieser Darstellung steht die Wassererosion im Vordergrund, obwohl biologische Maßnahmen gerade die Winderosion sehr wirksam bekämpfen und dabei die entscheidende Rolle spielen. Zu diesem Maßnahmenkomplex zählt auch die Verwendung toter, trockener Pflanzenteile (Zweige, Hirsestroh, Palmwedel).

Die **Wirkung** der Pflanzen ist folgende:



- Verfestigung des Oberbodens durch einen Wurzelteppich von Gräsern und Verankerung in die Tiefe durch Baumwurzeln (z. B. *Piliostigma reticulatum* an Uferböschungen).
- Schutz des Bodens vor dem Aufprall des Regens und Bremsen des Wasserabflusses durch die oberirdischen Pflanzenteile. Das Wasser bleibt länger am Boden und kann versickern.

Die Maßnahmen sind vor allem für den Flächenschutz geeignet und werden traditionell dort eingesetzt, wo sich Wasserabflüsse im Feld konzentrieren (Bildung von Runsen und Abflußmulden). Typisch sind kleine Flechtwerke aus Stöcken und Hirsestroh als Sofortmaßnahme. Das Repikieren von *Andropogon gayanus* sowie das Stecken von *Euphorbia balsamifera* dient der langfristigen Fixierung. Ebenso werden zur Feldbegrenzung angelegte Vegetationsbänder systematisch unterhalten.

Aus dem Spektrum der verbreiteten Erosionsschutztechniken sind biologische Maßnahmen praktisch die einzigen, die traditionell Anwendung fanden. In der Region Sebba (Seno) hat sich in den extrem flachen und breiten Talauen eine Anbautechnik entwickelt, die breite Andropogonbänder im Feld integriert.

Wichtigste Voraussetzung für den Erfolg ist die Verwendung standortgerechter Pflanzenarten. Auf problematischen Standorten sind biologische Maßnahmen oft nur in der Folge anderer Erosionsschutzmaßnahmen möglich; z. B. im Anschluß an einen Steinverbau. Auf trockenen, besonders degradierten Flächen ist zunächst die Verbesserung der Bodenwasserversorgung durch Wasseraufstau oder eine Bodenbearbeitung notwendig. Unter den Verhältnissen extremer Wasserabflüsse in Wadis und Erosionsrinnen ist hingegen zuerst ein Schutz gegen die enorme Kraft des Wassers erforderlich.

Auch bei gut ausgeführten Steinbauwerken sind es erst die Pflanzen, die langfristig Stabilität bringen und den Erfolg sichern. Dies gilt besonders für den Verbau von Wasserläufen und Erosionsrinnen. Die Kulturflächen, deren Schutz vorrangiges Ziel ist,

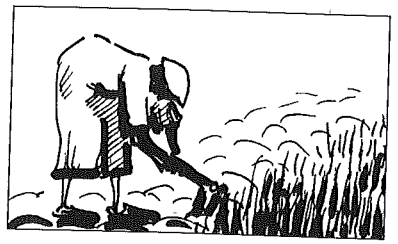
bieten für die biologischen Maßnahmen sehr günstige Bedingungen. Aufgrund ihrer hohen Wirksamkeit bei geringem Aufwand sind diese Maßnahmen ideal zum Schutz großer Flächen. Dieses Potential zu nutzen, ist wohl zur Zeit die dringlichste Aufgabe des Erosionsschutzes.

Weitere Vorteile gegenüber mechanischen Techniken (Erdbau, Steinbau) sind:

- Die Arbeiten können mit den vor Ort vorhandenen Mitteln geleistet werden (Arbeitsgeräte, Materialtransporte).
- Der Arbeitsaufwand ist relativ gering, so daß auch große Flächen mit den verfügbaren Mitteln gut bearbeitet werden können.
- Von biologischen Maßnahmen gehen kaum Risiken aus; Reparaturen und Unterhaltung sind relativ einfach.
- Die Techniken sind leicht erlernbar und beherrschbar (Besonderheit: Baumschule!).
- Biologische Maßnahmen sind an verschiedene Bedingungen anpaßbar und mit allen anderen Techniken kombinierbar.

Biologische Maßnahmen, vor allem die Integration von Gehölzen in die erosionsgefährdete Feldflur, wirken sich durch den Eintrag organischer Masse positiv auf den Nährstoffhaushaushalt des Bodens aus. Darüber hinaus bewirkt die Beschattung einen gewissen Schutz des Bodens gegen die intensive Sonnenbestrahlung (z. B. *Acacia albida*).

Beurteilung

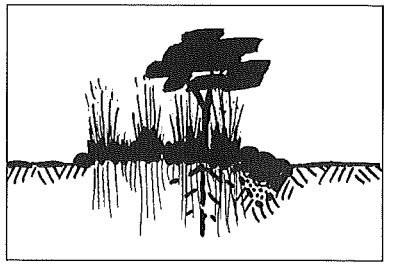


Problematisch ist trotz der offensichtlichen Vorteile der Konflikt zwischen dem Nutzen der Maßnahmen und der aktuellen Nutzung der Flächen. Die Bauern haben mit ihren Anbaumethoden die natürliche Vegetation als Konkurrenten nach und nach verdrängt. Durch die Anlage von Vegetationsbändern hat der Bauer einen Flächenverlust von etwa 5–10 % zu erwarten. Das freilaufende

Vieh (vor allem Ziegen) verhindert durch Verbiß in vielen Fällen eine erfolgreiche Anwendung der Begrünungsmaßnahmen. Eine Verbesserung der Bodenqualität und eine Nutzung der Pflanzen können erst ab dem zweiten oder dritten Jahr nach Anlage erwartet werden. Viele Bauern führen an, daß Gräser und Bäume zusätzliche Schädlinge und Vögel auf das Feld locken.

4.2 Vegetationsbänder auf feuchten Standorten

Definition



An feuchte Standorte angepaßte Vegetationsbänder werden vor allem durch das mehrjährige Gras *Andropogon gayanus* aufgebaut. Anlaß ist die fortschreitende Verschlechterung der Anbaubedingungen auf bereits längerfristig genutzten Anbauflächen feuchter Standorte:

- Bodenverlust durch Flächenerosion und rückschreitende Grabenerosion,
- Bodenverarmung durch Auswaschung der organischen und der Feinanteile des Bodens,
- erhöhter Schädlingsbefall und Auslaugung des Bodens durch Daueranbau und Monokultur von Sorgho (Übernutzung).

Bei zunehmender Intensivierung des Anbaus haben sich die Anbaubedingungen in den letzten 20–30 Jahren zum Teil erheblich verschlechtert. Die Degradierung oberhalb gelegener Flächen hat erhöhte Hochwasserabflüsse zur Folge; die fortschreitende Ausdehnung des Anbaus (in Tälern) und der Wegfall der Brache haben die natürliche Vegetation dieser Standorte radikal dezimiert. Verdrängt werden auch eine Reihe von Nutzpflanzen, die mittlerweile Mangelware geworden sind. *Andropogon gayanus* (Fulfulde: dadje) in verschiedenen Arten zählt zur

ursprünglichen natürlichen Vegetation der Talauen, bildet Horste und wird etwa 2–3 m lang. Das bereits trockene Gras wird nach der Regenzeit geschnitten und für die Herstellung von Strohmatten genutzt. Es gehört ebenso zu den wertvollsten Futterpflanzen. Vielerorts muß heute Andropogongras entweder von weither geholt oder teuer bezahlt werden. *Andropogon* ist im gesamten Überschwemmungsbereich, ausgenommen in tief eingeschnittenen Gewässerbetten, heimisch. Die tiefwurzelnden starken Horste der Gräser wiederstehen auch sehr starken Strömungen im Bereich der Ufer kleinerer Wasserläufe. Die Vegetationsdecke hat ursprünglich als abflußbremsender Faktor zur Bildung der Böden durch Sedimentablagerung geführt und ihn vor Erosion geschützt.

Die mehrere Meter breiten Bänder werden in regelmäßiger Folge quer zur Fließrichtung des Wassers angelegt, bei stärkerer Strömung werden sie verbreitert und schließlich auch entlang der Wasserläufe installiert.

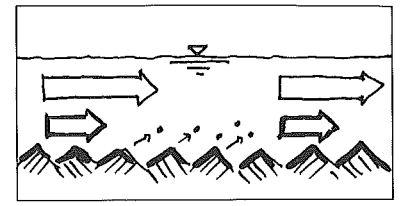
Bäume und Sträucher werden dazugepflanzt; einjährige Gräser schließen Lücken in der Vegetationsdecke. Die Anwendung von Andropogonbändern zum Zwecke des Erosionsschutzes hat vor allen in der Provinz Seno eine lange Tradition. Am weitesten entwickelt ist die Technik in der Region südlich von Sebba, wo Andropogonbänder von 2–5 m Breite ein fester Bestandteil der Anbauflächen sind. Besonderheit der Standorte in Sebba ist die extreme Staunässe in den Monaten Juli bis August, die nur von speziellen Sorghovarietäten mit langem Vegetationszyklus vertragen wird.

Die Bänder werden in der Regel nur temporär über mehrere Jahre (5–7) angelegt, was auch den relativ geringen Baumanteil erklärt. Der Grund für die Aufgabe und Neuanlage eines Bandes ist vor allem eine zunehmende Vernässung der oberhalb liegenden Flächen, die auf die bodenkonservierende Wirkung der Bänder zurückgeht. (Die Bänder bilden im Profil eine relative Erhöhung, vergleichbar mit einem extrem flachen Wall). Als weiterer Grund wird eine Überalterung der Pflanzen angeführt. Die Grasstreifen, die wieder in Kultur genommen werden, wirken somit als Teilbrache und führen zu einer deutlichen Bodenverbesserung. In der Bani-Region ist Andropogongras vielerorts nur noch auf den Feldrändern zu finden. Diese Randstreifen sind auch hier als flache Verwallungen ausgeprägt, die einen Erosionsschutzeffekt haben. An Schwachstellen der schmalen Streifen kann es allerdings leicht zu Brüchen und Kolkbildung kommen. In kleineren Talmulden der Region sind innerhalb der Felder auch bewußt angelegte Vegetationsbänder zu finden, die aus Andropogon sowie aus einjährigen Gräsern bestehen.

Ziele sind:

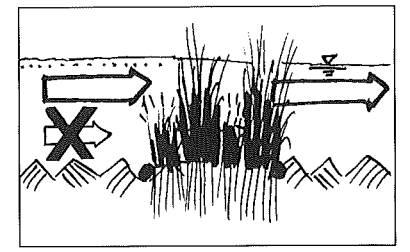
- Schutz der kultivierten Talauenböden vor Flächenerosion, Erhalt des fruchtbaren Bodens;
- Abschwächung des Hochwassers durch gleichmäßige Verteilung des Abflusses; Schutz der unterhalb liegenden Flächen;

- kleinflächiger Schutz der natürlichen Talauenvegetation (auf den Bändern) und nachhaltige Stabilisierung der Anbaubedingungen;
- Erleichterung und verbesserte Wirkung der Mistdüngung durch den Schutzeffekt;
- Bodenverbesserung bei Anwendung als Teilbrache (z. B. in Sebba);
- Nutzung der Gräser und Bäume als Baumaterial, Futterpflanzen etc.



Funktionsweise

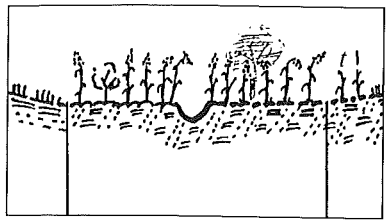
Bei Vegetationsbändern ist eine Mindestbreite erforderlich, um u. a. durch absterbende Pflanzen auftretende Lücken ausgleichen zu können. Bei dem in Horsten wachsenden Andropogon entstehen natürlicherweise Lücken, die bei zu schmalen Bändern leicht zu Düsen werden können. (Bei anderen Gräsern, die eine dichte Decke bilden, können die Streifen schmaler angelegt werden.)



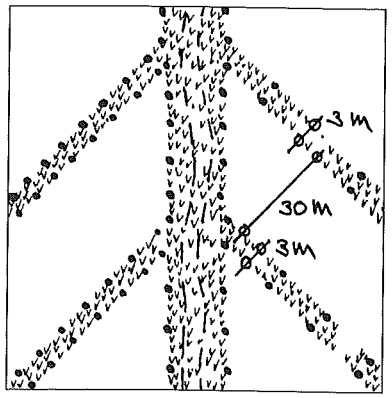
Die Pflanzen des Vegetationsstreifens durchwurzeln den Boden, die Pflanzenteile oberhalb behindern den Wasserabfluß. Die höchste Strömungsgeschwindigkeit des abfließenden Wassers wird vom Boden weg zur Wasseroberfläche verlagert und damit erosionsunwirksam.

Die gleichmäßige Umverteilung des Abflusses kann am ehesten über einen gebogenen Verlauf entlang der Höhenlinie erreicht werden. Wo das Messen und Befolgen der Höhenlinien nicht sinnvoll erscheint (Geländegefälle < 0,5 %), ist eine an die Höhenlinie angenäherte Form günstig. Auf Standorten, wo langfristig eine Verstärkung und Kombination der Bänder mit Steinwällen denkbar ist, sollte immer gemäß der Höhenlinie gearbeitet werden. Langfristig bilden die Bänder im Profil sehr flache Verwallungen, die den Schutz der hangwärts liegenden Flächen verstärken.

Bauanleitung



Standort: Standorte sind bereits langfristig genutzte Anbauflächen in den flachen Talbereichen. Sie sind gekennzeichnet durch alluviale Schwemmlandböden, die in kleineren Talmulden flachgründig sind und in den großen Tälern mehrere Meter mächtig sein können. Das Geländegefälle beträgt in der Regel weniger als 1 %.



Technische Angaben: Die Breite sollte 3 m nicht unterschreiten, wenn die Bänder vorwiegend aus Horstgräsern gebildet sind. Bei Verwendung anderer Gräser, die eine geschlossene Decke bilden, ist eine Breite von 2 m ausreichend. Wo stärkere Belastungen auftreten, sind die Bänder nach Bedarf zu verbreitern (Einmessen der Bänder).

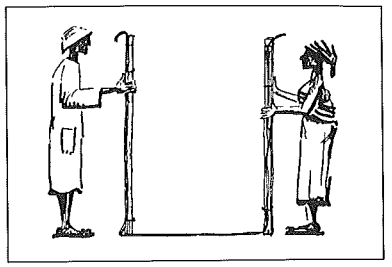
Eine gleichmäßige Wirkung auf die Fläche ist bei Abständen von 20–30 m zu erwarten, was einer Höhendifferenz von 10–15 cm bei flachem Gelände entspricht (0,5 % Gefälle). Dies führt zu einem Flächenbedarf von immerhin 10–15 %.

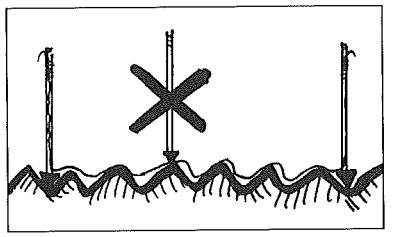
Arbeitsschritte: Eine allmähliche Einführung der Technik ist sinnvoll, um schrittweise die Umwidmung von Anbau zur Gras- und Baumnutzung vorzunehmen. Zwei Möglichkeiten bieten sich an:

1. Traditionell wird zunächst durch Repikieren der Gräser ein schmaleres Band (2 m) begründet und jedes Jahr etwas verbreitert. Die zuerst gepflanzten Gräser dienen als Grundstock für Aussaat und weitere Verpflanzung.

2. Um auch im ersten Jahr die spontan aufkommende Vegetation zu nutzen, kann die Breite von 3 m sofort angenommen werden, um die Bänder zunächst mit dem doppelten Abstand einzumessen (40–60 m) und im Folgejahr ein Band dazwischen anzulegen.

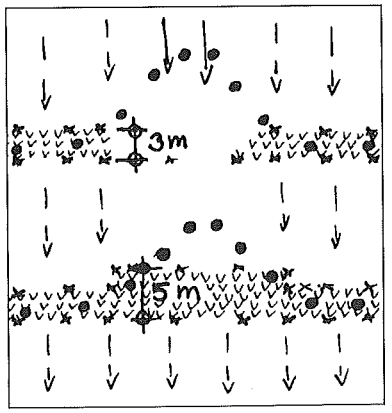
Verlauf und Trassierung der Bänder: Die Bänder sollen der Höhenlinie folgen und möglichst ununterbrochen quer durch den Abfluß- und Überschwemmungsbereich führen.





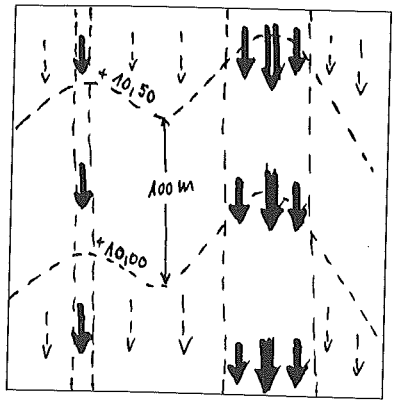
Auf der gesamten Länge sollen die Bänder auf gleicher Höhe liegen, so daß eine Vermessung für die Trassierung nötig ist. Nach Möglichkeit werden die Höhenlinien mit Hilfe der den Bauern bekannten Schlauchwaage ausgemessen. In Talauen erfordert die Benutzung der Schlauchwaage Übung und ein systematisches Vorgehen (Messen immer in den kleinen Mulden). Durch die flache Geländeneigung und die rauhe Feldoberfläche ist oft keine eindeutige Linie als Höhenlinie auffindbar.

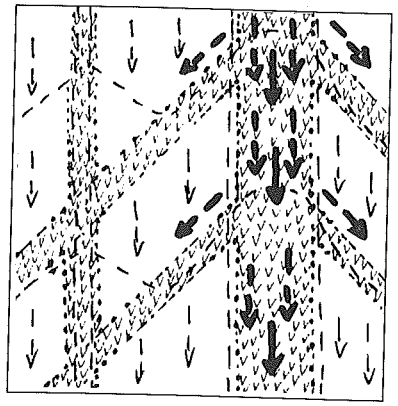
Aus anbautechnischen Gründen und um den Flächenverlust zu begrenzen, soll ein Vegetationsband **keine Zick-Zack-Linien** beschreiben, sondern in geraden und weichen Linien geführt werden. Ausgehend von den gemessenen Punkten ist dehalb ein **Ausgleich** vorzunehmen, um die gewünschte Form zu erhalten. Die Toleranzgrenze für vertretbare Abweichungen der Trasse von den Höhenpunkten ist vom Geländegefälle abhängig. Sie entspricht dem Höhenunterschied von 5 cm und beträgt in der Regel 5–10 m (0,5–1 %).



Bei einer Breite von 3 m ist oft nur ein geringer Ausgleich erforderlich, da die meisten Meßpunkte auf dem Band liegen. Im Bereich konzentrierter Strömungen und Abflußmulden weicht die Höhenlinie häufig so stark zurück (hangwärts entgegen der Fließrichtung), daß ihr nicht mehr gefolgt werden kann. In diesen Bereichen sollten Vegetationsbänder verstärkt und verbreitert und dabei gerade weitergeführt werden. (Das Band wird auf 5 m verbreitert oder der gesamte Bogen der Höhenlinie wird als Schutzfläche markiert und begrünt.)

Die Grenze der Meßbarkeit der Höhenlinie liegt bei einem Geländegefälle von 0,5 %, (z. B. in den





großen Tälern von Sebba). Um eine günstige Form für die Verteilung des Abflusses zu haben, sollten die Bänder hier in V-Form angelegt werden. Von der tiefsten Stelle (Talmitte) werden die Bänder schräg auf die Randbereiche zugeführt (Abb.). Die Höhen sollten auf jeden Fall mit der Schlauchwaage kontrolliert werden.

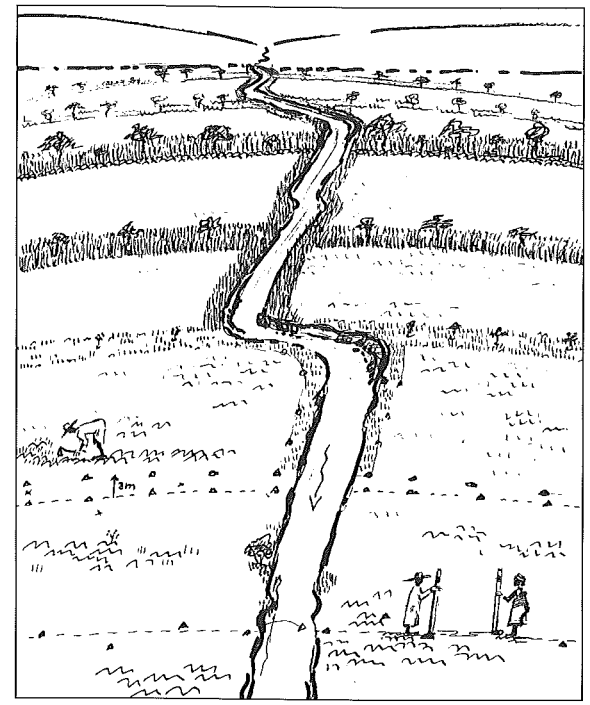
Markieren: Eine Markierung der Breite mit Steinen alle 5–10 m hat sich bewährt; wenn möglich, sind die Steine mit Farbe als Grenzsteine zu kennzeichnen. Handelt es sich um eine gemeinsame Maßnahme verschiedener beteiligter Bauern, dient die Markierung zur gegenseitigen Überwachung, ob die Abmachungen eingehalten werden.

Ansiedlung der Gräser: Um die Flächenverluste möglichst auszugleichen, ist die schnelle Begrünung mit Nutzpflanzen erwünscht. Die Ansiedlung des Andropogongrases erfolgt vor allem durch alternierendes Repikieren zu Beginn der Regenzeit. Eine weitere Technik, die weniger aufwendig ist, aber langsamer wirkt, ist die Aussaat unter einer Mulchschicht (z.B. aus Hirsestroh). Grasrispen und Samen werden flächig ausgebracht und abgedeckt. Das Stroh wird von dem Tieren im Feld gefressen, die gleichzeitig die Saat in den Boden treten. Reststroh dient als Mulch. Zu Beginn der Regenzeit werden andere Gräser durch das aufgekommene Andropogon verdrängt. Ist es einmal eingeführt, können Lücken im Band jederzeit durch Repikieren geschlossen werden.

Um Bäume anzusiedeln, erfolgt in der Regel deren Anzucht in Baumschulen. Im Talbereich bieten sich jedoch auch für Direktsaat gute Voraussetzungen. Ein mehrjähriger Schutz der Bäume ist allerdings erforderlich.

Unterhaltung und Pflege: Lücken in Bändern und besonders exponierte Stellen sollten durch Nachpflanzen oder eine Verbreiterung des Bandes ausgeglichen werden.

An einigen Standorten werden die Andropogonbänder aus folgenden Gründen zu Beginn der Regenzeit abgebrannt: Düngeeffekt; Vernichtung von Schädlingen; schneller Austrieb der Pflanzen.



Arbeitsschritte:

1. Abstimmung und Planung der Maßnahme mit allen Betroffenen und mit den zu beteiligenden Bauern;
2. Einmessen der Höhenlinie mit der Schlauchwaage, Markierung der Meßpunkte;
3. Messen oder Abschätzen des Geländegefälles und Ausgleich der Meßpunkte, Bestimmung der Trasse;
4. Markierung der Trassenbreite (Steine);
5. Trassieren im Bereich konzentrierter Strömung;

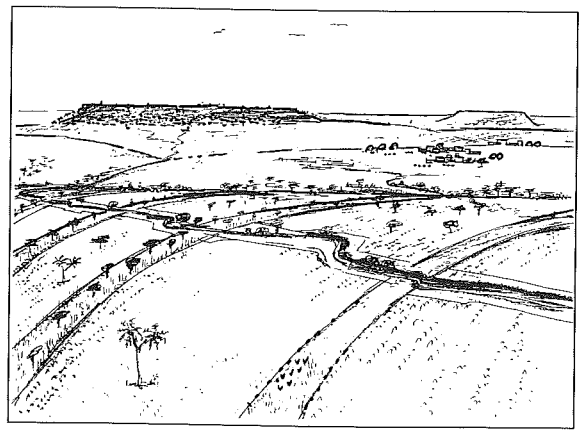
a) Verbreiterung auf 5 m,

b) Verbreiterung gemäß des Verlaufs der Höhenlinie,

c) Schutz der Abflußmulde auf ganzer Länge,

d) Uferschutzstreifen bei Graben und Rinnen.

6. Direktsaat vom *Andropogon gayanus* bei gleichzeitiger Abdeckung mit Hirsestroh;
7. Ansiedlung von *Andropogon* durch Repikieren;
8. Pflanzen oder Direktsaat von Bäumen und Sträuchern, Schutz der jungen Pflanzen;
9. Reparatur von Eintiefungen (Kolke), Unterhaltung.

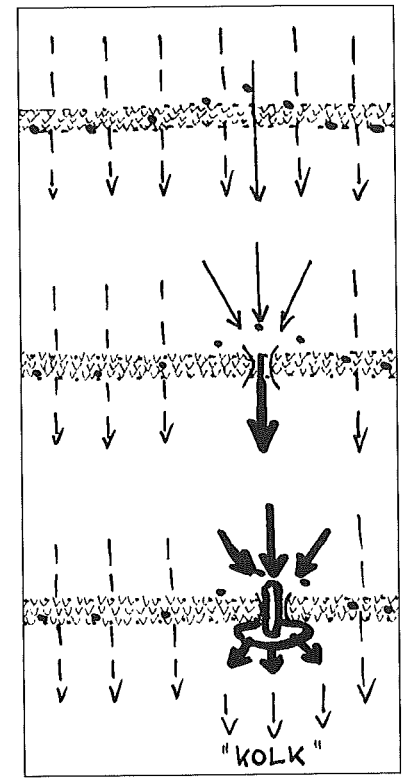


Beurteilung

Sobald die Bauern die Flächenerosion als akutes Problem ansehen und ihre Ursachen erkannt haben, ist ihr Interesse an Vegetationsbändern als erosionshemmende Maßnahme groß. Um wirksam den Wasserabfluß kontrollieren zu können, sind durchgehende Vegetationsbänder über die gesamte Talbreite erforderlich. In größeren Talauen erreichen einzelne Bänder mehrere hundert

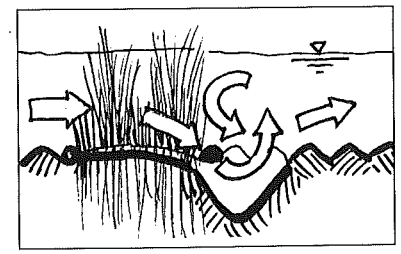
Meter Länge, die über die Feldgrenzen mehrerer Bauern hinausgehen.

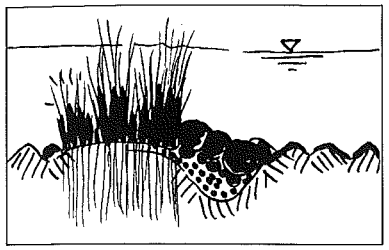
Die flächenhafte Anwendung der Maßnahme erfordert in diesem Fall eine gemeinsame Vorgehensweise aller betroffenen Feldbesitzer und Bauern, welche häufig aus unterschiedlichen Dorfvierteln (quartiers) oder verschiedenen Dörfern kommen. Zur Abstimmung der Interessen und für die Planung und Durchführung sind Versammlungen mit den Verantwortlichen (G.V., délégué homme, délégué femme, etc.) sowie mit den Betroffenen notwendig. Es müssen Fragen bezüglich der Besitzverhältnisse und des Nutzungsrechtes der Böden geklärt werden. Um Bedenken auszuräumen, müssen den Bauern Dringlichkeit und Nützlichkeit der Maßnahmen verständlich gemacht werden, ohne ihre Entscheidung vorwegzunehmen. Das Ausscheren einzelner beteiligter Bauern bei der Einrichtung von Vegetationsbändern kann die gesamte Maßnahme gefährden. Feldnachbarn werden demotiviert und nehmen den Anbau auf ihrem Bandabschnitt wieder auf. Der Wasserabfluß konzentriert sich auf die aufgegebenen Abschnitte und erhöht dort die Gefahr der Tiefenerosion!



Mit den sich ausbildenden Verwallungen wächst die Gefähr von „Brüchen" an Schwachstellen der Bänder (tiefer gelegenen Abschnitten, geringen Breiten, größeren Lücken). Hier ergeben sich konzentrierte Strömungen, die zur Bildung örtlich begrenzter Eintiefungen führen (kleine Tosbecken, Kolke). Einhalten der Mindestbreite, höhengleiche Anlage und Pflege der Bänder verhindern dies weitgehend.

Zusätzliche Maßnahmen: Es ist sinnvoll, die Vegetationsbänder langfristig mit flachen Steinwällen an der Talseite zu kombinieren, was der Bildung von Brüchen und Kolken entgegenwirkt (s. IV.3.3). Die Anlage dieser Steinwälle ist keine Alternative zu den Bändern, sie stellt eine Ergänzung dar. Bei der Anfrage nach Unterstützung für Steintransporte ist an Talstandorten

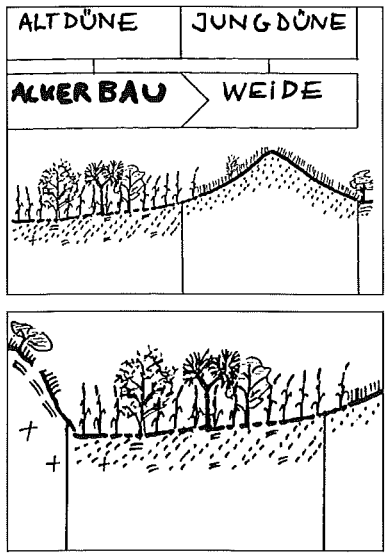




daher das Einrichten der Vegetationsbänder als notwendige Vorbedingung zu betrachten. Eine Dorfbaumschule kann die Produktion der gewünschten Nutzgehölze übernehmen.

4.3 Vegetationsbänder auf trockenem Standort

Definition



Vegetationsbänder auf trockenen Anbaustandorten sind quer zur Fließrichtung des Wassers angelegte, 1–2 m breite Streifen, die aus standortgerechten Gräsern und Pflanzen bestehen und nicht kultiviert werden.

Ideal zum Schutz einer Anbaufläche sind mehrere Bänder hintereinander, die jeweils der Höhenlinie folgen. Sie verlangsamen den Wasserabfluß und schützen den Boden. Vegetationsbänder auf trockenen Standorten werden traditionell selten bewußt als Bodenschutztechnik eingesetzt. Man findet alte Bänder auf den Feldgrenzen, die Schutzfunktion übernehmen. Sie weisen einen hohen Anteil an Bäumen und Sträuchern auf.

Ideal sind Vegetationsbänder auf den ackerbaulich genutzten Altdünenböden, die von Flächenerosion und Auslaugung betroffen sind. Langjährige Bemühungen von Bauern und Technikern, hier durch Erdwälle und deren Begrünung den Erosionsprozeß aufzuhalten, sind gescheitert; denn diese Maßnahme eignet sich nicht für sandige Böden. Die Alternative, der Steinwallbau, scheitert am Fehlen der Steine in den Anbaugürteln der Altdünen. Erosionsschutz durch Vegetationsstreifen ist die einzige Möglichkeit auf diesem Standort.[14)]

14) Zu diesem Ergebnis kommt auch E. Buzingo in seiner Studie: „Bandes enherbées":"Il faudra convaincre les paysans (et mème rendre obligatoire) de laisser sur les champs menacés par l'érosion, des bandes de terre larges de 1 à 1,5 m et implantées suivant les courbes de niveau. La distance entre deux bandes successives sera fonction de la pente du terrain et variera entre 1 à 30 m. Ces bandes de terre seront jamais cultiveés. Elles seront rapidement couvertes par une vegetation herbacée naturelle. Pour augmenter l'éfficacité des bandes enherbées naturellement et valoriser le champ aménagé il sera demandé aux paysans de planter progressivement de l'Andropogon et des arbustes sur ces bandes." (E. Buzingo, 1990)

Ziele sind Schutz des Bodens vor Flächenerosion und Erhalt seiner Fruchtbarkeit, partielle Wiederherstellung der Vegetationsdecke und Verbesserung von Anteil und Zustand der mehrjährigen Nutzpflanzen, Schutz vor Winderosion, Verlangsamung des Wasserabflusses und bessere Versickerung, Schutz der unterhalb liegenden Flächen.

Funktionsweise

Die Bänder wirken entsprechend den unter IV.4.2 beschriebenen Vegetationsbändern. Die Fixierung des Bodens erfolgt durch das Wurzelwerk einer dichten Grasnarbe. Die Verlangsamung und gleichmäßige Verteilung des Wasserabflusses durch die Gräser bewirkt einen leichten Aufstau und schützt so die oberhalb liegenden Flächen. Schäden durch Grabenerosion wird auf und unterhalb der Fläche vorgebeugt.

Aufgrund der Durchlässigkeit des Bodens und seiner hohen Wasserspeicherkapazität wird die Infiltration gesteigert. Der zur Düngung aufgebrachte Mist wird nicht fortgespült. Heugewinnung zum Ende der Regenzeit ist möglich.

Mittelfristig bilden sich leichte Verwallungen, welche die Schutzwirkung erhöhen.

Langfristig ist ein zusätzlicher Nutzen vor allem durch die Ansiedlung von Gräsern und Gehölzen zu erwarten (Gewinnung ihrer Produkte, z.B. *Andropogon,* Verbesserung des Standortes, z.B. mit *Acacia albida).*

Werden die Bänder nur temporär angelegt, entsprechen sie einer Teilbrache; zu einer Ansiedlung von Nutzbäumen kommt es dann allerdings kaum.

Bauanleitung

Standort: Es eignet sich jeder Standort, auf dem sich eine natürliche Grasvegetation entwickeln kann. Für die Sandböden der alten Dünen trifft dieses in besonderem Maße zu, da die ursprüngliche natürliche Vegetation dieses Standortes eine reiche, mit Bäumen durchsetzte Graslandschaft darstellte. Auf diesem Standort ist ursprünglich auch eine Varietät des Dauergrases *Andropogon gayanus* heimisch, welches weitgehend verdrängt wurde. Der Ackerbau erleichtert die Anlage von Vegetationsbändern durch die Bodenbearbeitung. Dadurch wird die Wasseraufnahme verbessert und durch Eintrag organischen Materials die Fruchtbarkeit des Bodens erhöht. Gras- und Baumsamen werden natürlich eingebracht.

Technische Angaben: Die Breite der Bänder ist geringer als in Talauen. Die Belastung durch den Wasserabfluß ist geringer, es kommt nicht zu Überstauung und in der Regel besteht die Pflanzendecke nicht aus Horstgräsern. Günstig für einen gleich-

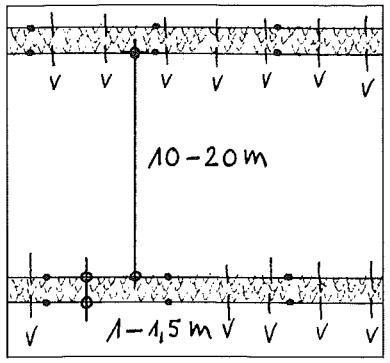
mäßigen Schutz der Fläche ist eine möglichst dichte Folge von Bändern. Die Abstände sollten mindestens wie bei Erdwällen üblich bemessen werden.

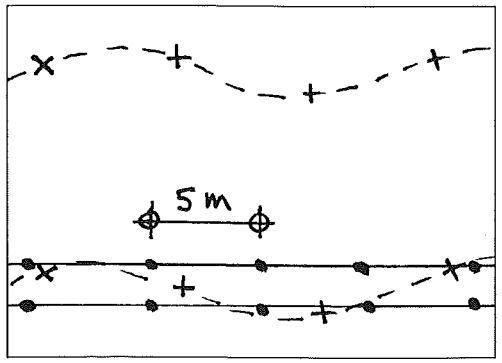
Breite: 1,0–1,5 m

1,0–2 m in gefährdeten Bereichen mit verstärktem Abfluß

Abstand: 10–20 m

10–30 m in sehr flachem Gelände.





Arbeitsschritte:

- Einmessen der Höhenlinien mit der Schlauchwaage, Ausgleich der Meßpunkte
- Markieren der Trasse und der gewählten Breite der Bänder (Steine im Abstand von ± 5 m)
- Gezielte Aussaat von Futtergräsern, Repikieren standortgerechter Dauergräser, gezielte Pflanzung von Bäumen.

Pflanzung von Bäumen: Auch wenn die Bänder nur einige Jahre als Brachestreifen genutzt werden, ist die Anpflanzung von Bäumen dann zu fördern, wenn diese nach der Brache im Feld bleiben und geschützt und unterhalten werden.

Für Altdünenstandorte sind folgende Arten geeignet: *Acacia albida, Hyphaene thebaica, Acacia seyal, Bauhinia rufescens, Balanites aegyptiaca.*

Auf lehmigen Sandböden wachsen bevorzugt: *Acacia seyal, Acacia senegal, Acacia nilotica.*

Beurteilung

Die Einführung dieser Bänder auf einzelnen Feldern ist organisatorisch weniger aufwendig und daher unproblematischer als in den großen Talauen. Zur Einführung der Maßnahme muß den Bauern das Prinzip der Höhenlinie bekannt sein, und sie müssen

von der Wirksamkeit natürlich wachsender Gräser für den Erosionsschutz überzeugt sein. Die Eignung der Vegetationsstreifen kann mit den Bauern am Beispiel der auf Feldgrenzen befindlichen Grünstreifen analysiert und diskutiert werden (Erhöhung des Streifens im Vergleich zum Feld, Gefährdung des nackten Bodens durch Wassererosion im Vergleich zu einer Grasfläche).

4.4 Begrünung von Bauwerken

Einführung

Bei der Vorstellung der einzelnen Erosionsschutzmaßnahmen wurde jeweils auf die Begrünung als wesentliche Unterhaltungsmaßnahme hingewiesen. Die technische Bedeutung der Begrünung wird vielfach unterschätzt. Sie wird als Nebensache betrachtet, da der Aufwand dafür relativ gering ist. Bei allen mechanischen Techniken hängen jedoch ausreichende Lebensdauer und somit Wirtschaftlichkeit und Nutzen entscheidend von der stabilisierenden Vegetation ab.

Seit Beginn der ersten Erosionsschutzaktivitäten (Erdwälle seit 1979) wurde versucht, die Begrünung der Erdwälle durch gezielte Maßnahmen zu beschleunigen. Weder die Pflanzung der in zentralen Baumschulen produzierten Bäumchen noch Versuche mit Direktsaat von Gräsern waren erfolgreich. Keine dieser Methoden zur Begrünung hat sich bisher praktisch durchgesetzt.

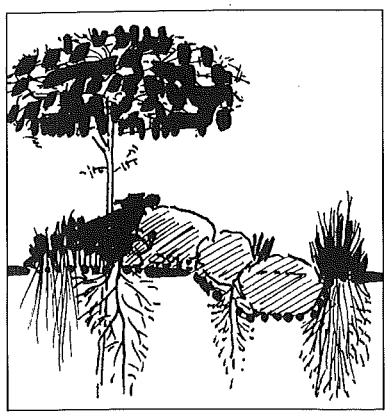
Ausnahmen bilden an geeigneten Standorten die Verbreitung des Dauergrases *Andropogon* durch Repikieren und das Pflanzen des von Tieren verschmähten Kamelkrautes (herbe de chameau; *Leptadenia hastata)* auf Steinwällen.

Die größte Bedeutung kommt dem Schutz der Vegetation zu, die sich durch natürliche Sukzession von selbst ansiedelt und sich langfristig dem Standort optimal anpaßt.

Geschützt werden müssen durch die Vegetation die Oberfläche und die am stärksten belasteten Teile der Bauwerke, vor allem Böschungen im Erdbau und Fußverankerungen der Steinbauwerke, die von Erosionskräften bedroht sind.

Funktionsweise

Der oberirdische Teil der Pflanze schützt das Bauwerk vor Schlagregen und verlangsamt den Abfluß. Vor allem bei außergewöhnlichen Belastungen wie der Überströmung eines Steinwalls, dämpft ein Vegetationsstreifen und eine Begrünung des Walls die erosive Kraft erheblich. Zusätzlich wird das Bauwerk durch das tiefreichende Wurzelwerk der Pflanzen im Untergrund verankert. Ein gleichmäßiger Schutz ist allerdings nur von einer geschlossenen Vegetationsdecke aus Gräsern zu erwarten. Die Pflanzen vermindern die Winderosion und verbessern durch Eintrag von Nährstoffen

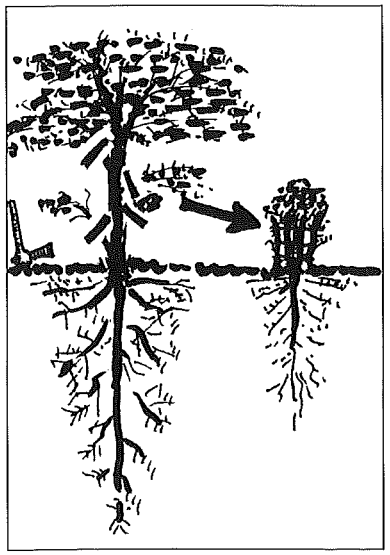


den Boden. Hierdurch und durch Nutzung der Pflanzen wird der Bodenverlust teilweise ausgeglichen.

Anleitung

Standort: Die Standortbedingungen sind bei allen Maßnahmen des Flächenschutzes auf den Anbauflächen günstig. In der Regel bieten gerade die verschiedenen Bauwerke des Flächenschutzes ideale Wachstumsbedingungen.

Technische Angaben: Bei allen Maßnahmen des Flächenschutzes ist sowohl hangwärts als auch talwärts ein etwa 25 – 50 cm breiter Streifen zu markieren, auf dem nicht mehr angebaut wird.



Jeder natürliche Aufwuchs von Gräsern, Bäumen und Sträuchern ist zunächst zu schützen. Das Pflanzen von jungen Bäumen kann erfolgen, wenn ausreichender Einzelschutz mit Dornenzweigen etc. möglich ist.

Bei großflächigen Anlagen ist ein temporäres Weideverbot durch Bewachung der Fläche oder Hüten der Tiere zu diskutieren.

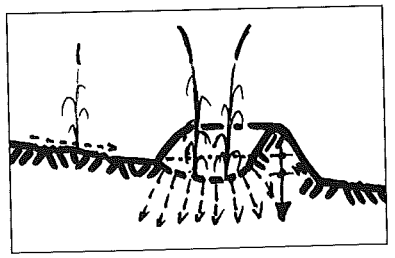
Bäume sollten aufgeastet werden, damit sie schnell Stamm und Krone ausbilden und der Verbißzone entwachsen.

Erdwälle sollten mit gejäteten Unkräutern gemulcht werden. Der Mulch bietet direkten kurzfristigen Schutz und begünstigt die Ansiedlung von Gräsern.

Pflanzung: Gute Erfahrungen wurden z.B. mit *Acacia senegal* auf lehmigen Sandböden (und sandigen Lehmböden) bei Pflanzung oberhalb der Erosionsschutzbauwerke gemacht (Beispiele: Tilla/Seno, Diguel/Soum). Auf ausgesprochenen Lehmböden eignen sich eher *Acacia seyal* und *Acacia nilotica.*

Direktsaat: Auch auf schwierigen Standorten wird in anderen Klimazonen viel mit Direktsaat zur Begrünung gearbeitet. Sie bedarf eines kurzfristigen Schutzes durch Mulch oder andere Hilfsmittel (siehe Faschinen IV.4.5). Versuche mit verschiedenen Mischungen (Gras- und Baumsamen) von vor Ort gesammelten Saatgut sollten auch im Sahel durchgeführt werden. Der grundsätzliche Vorteil der Direktsaat ist der geringe Arbeitsaufwand, der es ermöglicht, auch in der laufenden Anbauperiode größere Flächen zu bearbeiten. Aufgrund der bisher geringen Erfahrung mit der Verbauung von Erosionsgräben sind hier erst wenige Versuche der Begrünung unternommen worden. Gerade im Schutz der Überlaufbauwerke und Sohlschwellen, v.a. im Böschungsbereich, ist die Ansiedlung angepaßter Sträucher und Bäume für die langfristige Sicherung notwendig. Am geeignetsten scheint hier der sehr widerstandsfähige, gegen Trockenheit resistente Baum ***Piliostigma reticulatum*** (Fulfulde: Barkehi) zu sein, der an fast allen Wasserläufen natürlich vorkommt und eine große Rolle bei der Befestigung und Stabilisierung der Uferbereiche spielt. Ähnliches gilt für ***Leptademia hastata*** (Kamelkraut), eine ausdauernde, kriechende Pflanze, die praktisch überall wächst und rankt: Durch Pfahlwurzeln und verholzende Triebe ist sie widerstandsfähig in Trockenperioden und konkurriert nicht mit Kulturpflanzen. Sie kann gelegentlich zurückgeschnitten werden und ist eine der wenigen immergrünen Pflanzen des Sahel. Dort ist sie auf fast allen Standorten anzutreffen, bevorzugt aber sandige Böden. Gesicherte positive Erfahrungen bei der Befestigung von Bauwerken liegen mit in Baumschulen vorgezogenen *Leptadenia hastata* vor. Eine Direktsaat ist ebenfalls möglich; eine Selbstansiedlung findet langfristig statt.

Beurteilung



Die Bauern müssen von der Notwendigkeit und Wirksamkeit überzeugt sein. Hauptfeind bei der Begrünung mit wertvollen Nutzgehölzen ist die Ziege. Für die erfolgreiche Anpflanzung von Bäumen sind unbedingt über mindestens zwei bis

drei Jahre effektive Schutzvorkehrungen zu treffen. Ist der Schutz junger Bäume vor Ziegen nicht möglich, so wird von der Anpflanzung abgeraten.

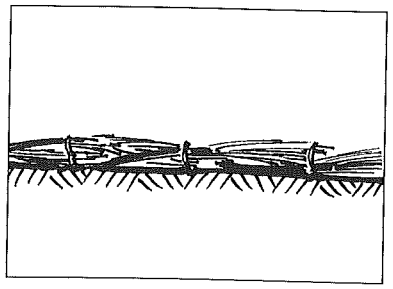
4.5 Faschinen und einfaches Flechtwerk

Definition

Faschinen (Faschines) sind Bündel aus Buschwerk (Zweigen und Ästen), die mit Draht oder ähnlichem zu beliebig langen Würsten zusammengeschnürt sind. Flechtwerk wird in der Region meist durch Verflechten mit Buschwerk oder Hirsestroh in einfacher Pflockreihe (seltener in doppelter Reihe) erzeugt. Faschinen aus Palmzweigen oder Hirsestroh werden nur vereinzelt traditionell zum flächigen Schutz des Bodens und Verbesserung der Anbaubedingungen eingesetzt. Meist kurze Flechtwerke werden zur Bekämpfung von beginnender Flächenerosion und Runsenbildung verwendet. Sie sind traditionell verbreitet und dienen auch als Hilfsmittel zur Begrünung von Vegetationsbändern (s. IV.4.1).

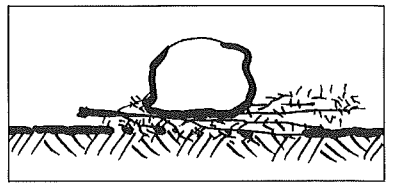
Ziele sind Verbesserung der Bodenwasserversorgung, Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch temporäre Brache, sowie Schutz im Pralluferbereich und Bekämpfung von Runsen mit Flechtwerk.

Funktionsweise

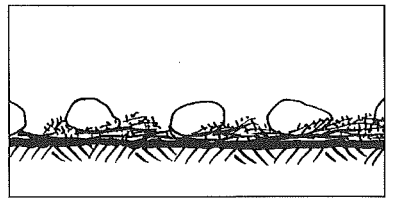


Zum Flächenschutz werden Zweige, Palmwedel oder Hirsestroh zu 20–50 m langen Bündeln aneinandergebunden und auf der Fläche quer zur Abflußrichtung fixiert. In der Regel reicht zur Fixierung das Beschweren mit einigen großen Steinen. Die Faschinen akkumulieren sehr schnell Sedimente (vor allem äolische) und lagern von oberhalb gelegenen Flächen abgespültes organisches Material, das mit Grassamen angereichert

ist, an. Sie bewirken einen flächigen Schutz vor Erosion und eine erhöhte Bodenfruchtbarkeit durch Wasserrückhalt und temporäre Brache. Durch die aufkommende Grasvegetation entsteht sehr schnell ein Vegetationsstreifen, der die Faschine fixiert. Bei zunehmender Verrottung des Buschwerks übernimmt die natürliche Vegetation allmählich die Rolle der Faschine. In Verbindung mit Vegetationsbändern stellen Faschinen sehr wirkungsvolle Abflußhindernisse dar. Neue Faschinen werden in der Regel neben die alten, verrottenden gesetzt.



Eine ähnliche Technik ist das Aufeinanderlegen kleinerer Dornenzweige, die beim Aufasten der Bäume anfallen. Sie müssen jeweils mit einem Stein beschwert werden, wodurch mehr Steinmaterial benötigt wird. Auch diese Maßnahme dient der Begründung eines Vegetationsstreifens.



Zur Bekämpfung von Runsen ist eine festere Verankerung durch Holzpflöcke üblich. Zwischen der doppelten Pflockreihe werden Zweige zusammengebündelt und mit den Hölzern verbunden. Zum Teil werden auch einfache Pflockreihen mit Zweigen und Hirsestroh verflochten. Diese Flechtwerke werden häufig durch repikiertes Andropogon oder Euphorbienstecklinge verstärkt, um einen dauerhaften Schutz zu erreichen. Das Verfüllen der Runsen durch Sedimentablagerung gelingt mit einer Folge mehrerer Flechtwerke entlang des Fließweges.

Bauanleitung

Standort: Die Maßnahmen sind geeignet für die Sandböden der Dünenstandorte und für Gebiete ohne Steinvorkommen.

Geeignetes Baumaterial muß zur Verfügung stehen. Ideal sind die nur langsam rottenden länglichen Palmwedel der Doum-Palme *(Borassus aethiopium),* die sich, ineinander verzahnt, zu gleichmäßigen Bündeln schnüren lassen. Bei Gebrauch von Hirsestroh ist mit Fraßschäden und schneller Verrottung (Termitenfraß) zu rechnen. Die Funktion des Erosions- und Bodenschutzes wird jedoch erfüllt.

Die Beschaffung des Baumaterials darf auf keinen Fall zu einer Dezimierung der intakten gesunden Baumvegetation führen!

Technische Angaben: Die Faschinen haben einen Durchmesser von etwa 15–20 cm, was im Endzustand ungefähr der Größe eines flachen Erdwalls von 15 cm Höhe entspricht. Die Länge der Bündel beträgt üblicherweise 20–50 m. Die Anlage erfolgt möglichst entlang der Höhenlinie.

Bei der bislang gebräuchlichen Verwendung ohne Schlauchwaage sollte mit kürzeren Längen (± 10 m) sowohl quer als auch längs der Fließrichtung gearbeitet werden, um einen möglichst gleichmäßigen Wasserrückhalt zu erzielen. Wenn ausreichend Material verfügbar ist, ist ein Abstand von 10–20 m angebracht (vgl. Erdwall).

Je nach Grundstoff können die Faschinen zwei bis vier Jahre halten, bevor sie verrotten. Ein Umsetzen oder Unterhalten ist nicht notwendig. Faschinen können auch zur langfristigen und dauerhaften Ansiedlung eines Vegetationsbandes mit gepflanzten Nutzbäumen dienen.

Arbeitsschritte: Das nötige Baumaterial sollte nach und nach gesammelt und nahe dem Feld gelagert werden, wo die Bündel in gleichbleibender Qualität zusammengeschnürt werden. Ebenso müssen ausreichend Steine zum Beschweren beschafft werden. Diese Arbeiten erfordern eine längerfristige Arbeitsvorbereitung und Organisation.

4.6 Uferschutzstreifen

Definition

Das Ufer ist der Grenzbereich eines Gewässers und durch die Wasserabflüsse besonders belastet. Charakteristisch ist für den Ufersaum eine sehr dichte Vegetation, die darauf schließen läßt, daß der Uferbereich ein das Pflanzenwachstum begünstigender Standort ist. Pflanzen, die sich hier besonders angepaßt haben und auch stärkeren Wasserströmungen standhalten, sind als Baum und Strauch *Piliosticma reticulatum* (Fulfulde: barkehi) und das Dauergras *Andropogon gayanus* (Fulfulde: dadje). Bei der Behandlung von Wasserläufen haben Maßnahmen zum Schutz der Ufer erste Priorität, da sie deren Funktion nicht beeinträchtigen und gleichzeitig einer unkontrollierten Vergrößerung entgegenwirken.

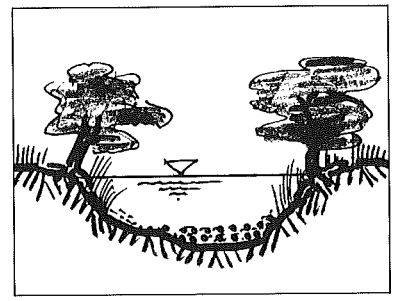
Ziele sind die **Stabilisierung der Uferstreifen** entlang der Wasserläufe im Bereich der Kulturflächen, der **Schutz** der Kulturflächen **vor rückschreitender Erosion** und die **Verminderung der Entwässerung** der Anbauflächen.

Funktionsweise

Die gewünschte Stabilisierung der Uferbereiche auf der ganzen Länge kann nicht mit arbeits- und materialintensiven Maßnahmen geleistet werden, sondern ausschließlich durch die Ausnutzung der stabilisierenden Eigenschaften der natürlichen Vegetation. Der Schutz der Bodens erfolgt sowohl durch den oberirdischen Teil der Pflanzen auch durch ihr Wurzelwerk.

Die besonders belasteten Böschungsbereiche werden vor allem von den tief verwurzelten Bäumen und Sträuchern festgehalten und geschützt.

Einrichtung der Schutzstreifen (vgl. IV.4.2)



Die Problematik entspricht grundsätzlich der des Vegetationsbandes in Talauen. Auch das Fehlen der natürlichen Ufervegetation ist in der Regel allein auf den Anbau zurückzuführen. Es muß somit bei allen betroffenen Bauern Einvernehmen erzielt werden, den zu definierenden Uferstreifen nicht mehr zu beackern. Neben dem Hacken ist auch der Holzeinschlag zu untersagen. Hilfreich ist das eindeutige Markieren der Schutzstreifen für eine Selbstkontrolle und die gegenseitige Überwachung bei der Einrichtung und Unterhaltung. Die Begrünung kann ohne weiteres Zutun durch die natürliche Sukzession erfolgen. Die Breite des Streifens richtet sich nach der Größe des Wasserlaufes, seiner Gefährdung und der Art der Gräser. Sie sollte normalerweise 1,50 – 3,0 Meter betragen.

5 Gesamtkonzept – Systematische Behandlung ganzer Wassereinzugsgebiete

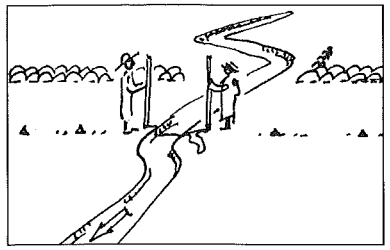
5.1 Verknüpfung der Techniken

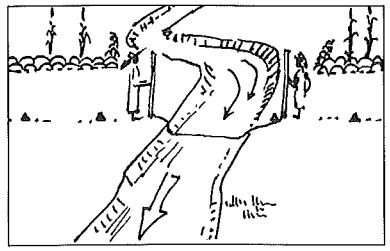
Es gelingt nur dann, Erosionsschäden zu minimieren, die Anbaubedingungen zu optimieren und das ökologische Gleichgewicht zu stabilisieren, wenn die einzelnen Techniken sinnvoll kombiniert und in Beziehung gesetzt werden. Die konzeptionelle Verbindung der Einzelmaßnahmen ist dabei eng an die Betrachtung der Abflußverhältnisse und des Erosionsgeschehens der jeweiligen **Wassereinzugsgebiete** geknüpft.

Die Techniken zum Schutz der Anbauflächen sind individuell und parzellenweise ohne Gesamtkonzept anwendbar. Da immer mit der Vermittlung einfacher Einzelmaßnahmen auf den Ackerflächen begonnen und die Kompetenz schrittweise von den Betroffenen erworben wird, ist die Entwicklung eines Konzeptes erst mit der **Bekämpfung von Erosionsgräben** erforderlich. Der Verbau von Gerinnen ist zwangsläufig nur mit kollektiver Planung und Durchführung zu lösen.

Erosionsschutzkonzepte müssen den örtlichen Bedingungen angepaßt werden. Sowohl die Interessen aller Betroffenen als auch die unterschiedlichen Nutzungen sind zu berücksichtigen. Bei der Entwicklung eines Konzeptes muß eine kompetente technische Beratung gewährleistet sein. Der Weg sollte dabei immer von der einfachen zur komplexen Maßnahme führen, von Abkürzungen wird abgeraten.

Durch die in diesem Handbuch gewählten Unterscheidungsmerkmale können die einzelnen Maßnahmen den verschiedenen Standorten und Erosionsproblemen zugeordnet und in eine **zeitliche Reihenfolge** gebracht werden.



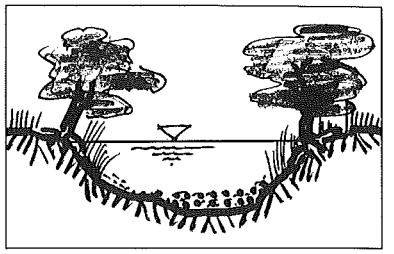


5.2 Doppelstrategie des Grabenverbaus

Die technischen Möglichkeiten sind begrenzt durch die Knappheit von Arbeitszeit, Mitteln und Material sowie durch die Größe der Wasserläufe und Erosionsgräben.

Ziel ist es, mit möglichst geringem Aufwand einen Erosionsgraben zu stabilisieren, seine schädlichen Auswirkungen zu reduzieren und dabei seine Funktion zu erhalten. Wasserläufe, die keine schädliche Wirkung auf die Kulturflächen ausüben, sind nicht zu verbauen.

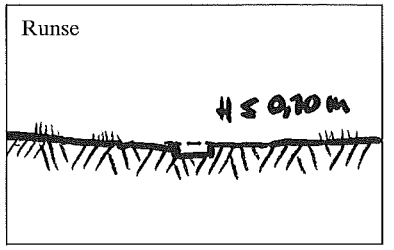
- Um zusätzliche Risiken auf den Feldern zu vermeiden, sind immer zuerst die an den Wasserlauf angrenzenden Flächen zu schützen.
- Mit Bauwerken zur Sohlsicherung wird talwärts bei stabilen Abmessungen des Gerinnes begonnen. Die Einzelbauwerke werden kaskadenartig von unten nach oben angelegt.



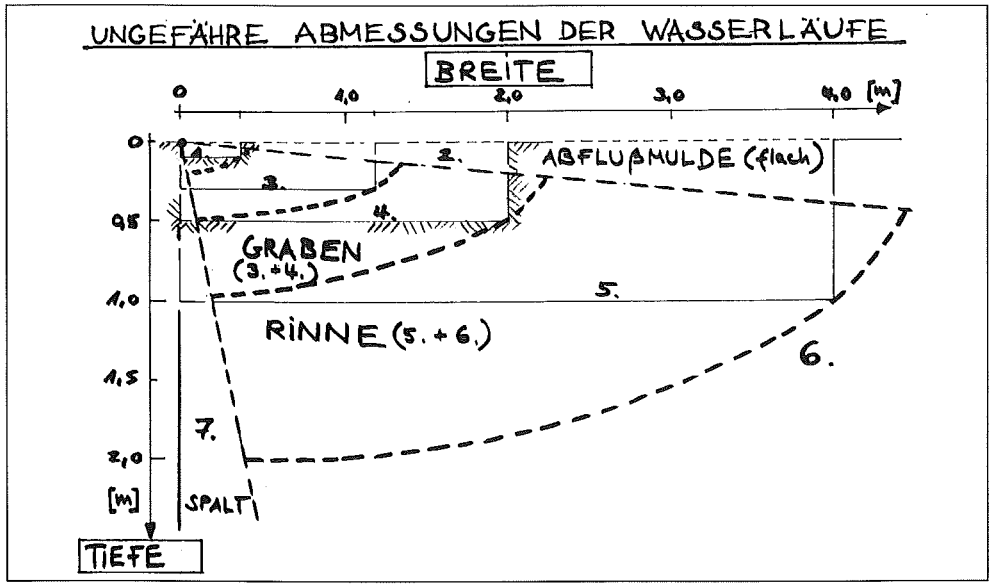
5.3 Unterscheidungskriterien

Für die Auswahl der geeigneten Maßnahmen ist sowohl eine Unterscheidung nach der Gestalt der Wasserläufe (Breite und Tiefe) als auch nach der Größe der höchsten Wasserabflüsse erforderlich. Diese Abflüsse, die die entscheidende Kraft bei der Entstehung der Wasserläufe darstellen, hängen maßgeblich von der Größe der Wassereinzugsgebiete ab.

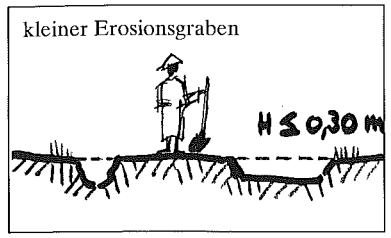
Die folgende Aufstellung gibt für die gebräuchlichen Bezeichnungen von Wasserläufen in Anlehnung an die französischen Begriffe ungefähre Abmessungen an, die als Anhaltspunkt für die Auswahl geeigneter Techniken anzusehen sind:

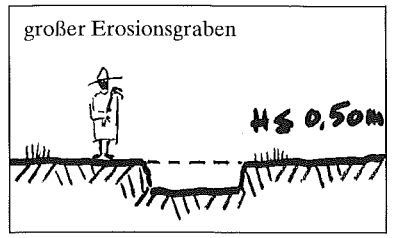


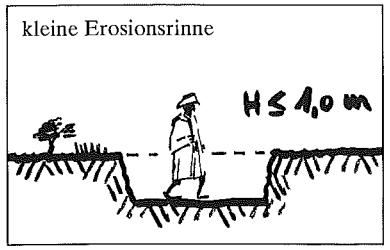
1. Runse (ruissellet)[15)]
2. flache Abflußmulde (dépression)

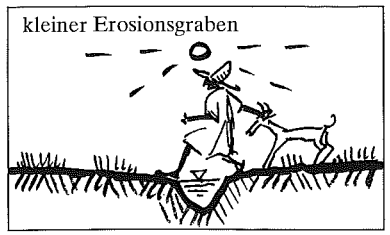


15) In der Literatur sind nur für den Begriff Runse Abmessungen angegeben. Im Alltagsgebrauch sind die Begriffe zum Teil austauschbar; eine kleine Rinne kann auch als großer Graben bezeichnet werden. In deutschen Fachkreisen findet zunehmend der Begriff Rille – bis 40 cm Tiefe – Verwendnng.





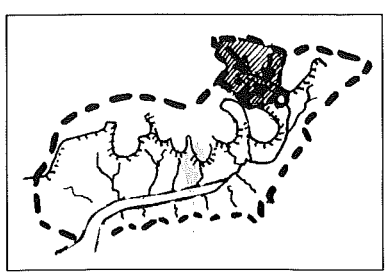




3. kleiner Erosionsgraben (petite rigole)
4. großer Erosionsgraben (rigole, fossé)
5. kleine Erosionsrinne (petite ravine)
6. große Erosionsrinne (grande ravine)
7. spaltförmiger Einschnitt (fente)

Vereinfachend werden große und kleine Wassereinzugsgebiete durch die wichtigsten Standorte dargestellt. **Trockene Standorte** sind die Unterhänge der Berge, die Anbauflächen außerhalb der Talauen und die alten Dünen. Diese Standorte **repräsentieren die kleineren Wassereinzugsgebiete** und sind die typischen Anbauflächen der Kolbenhirse (petit-mil).

Feuchte Standorte sind Talauen und größere Abflußmulden mit tiefgründigen alluvialen Böden, die großen Wassereinzugsgebieten zuzuordnen sind. Dazu zählen ausgeprägte Taleinschnitte im Bereich der alten Düne (Beispiel: das Oued von Tintaborak/ Oudalan).



5.4 Trockener Standort (Kleines Wassereinzugsgebiet)

Typisch sind kleinere Wasserläufe von unterschiedlich stabiler Form sowie Erosionsgräben, die die Anbauflächen durchschneiden.

Grabenbildung und Eintiefung haben durch die starke Dränung des Bodens oft zum Verlust der Flächen für den Anbau geführt; das Regenwasser

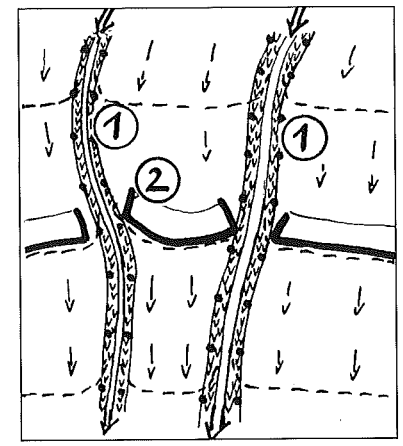
kann auch bei geringem Geländegefälle nicht ausreichend versickern. Zur Rückgewinnung dieser Flächen für den Anbau sind die Erosionsgräben in Kombination mit höhenliniengleichen Steinwällen zu verbauen.

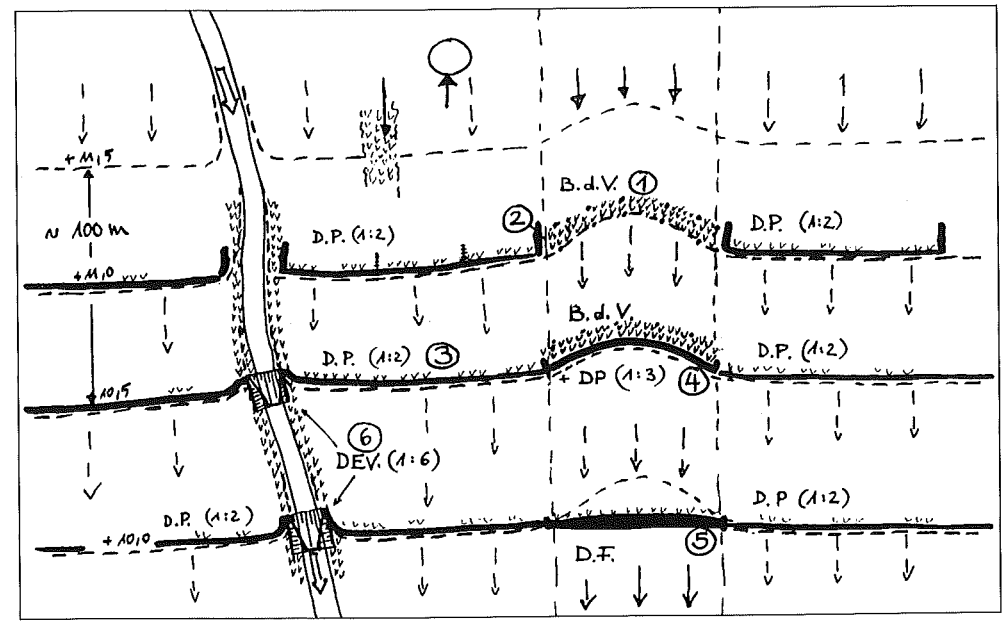
Kurzfristige Maßnahmen: Kurzfristig sind einfache Maßnahmen zu ergreifen, die zur Stabilisierung des Wasserlaufs und zum Schutz der Flächen beitragen:

1. Uferschutzstreifen (s. IV.4.6)
2. Steinwälle und Bau von Flügeln entlang des Wasserlaufs (s. IV.3.2).

Mittelfristige Maßnahmen: Mittelfristig ist ein Verbau zur Stabilisierung des Erosionsgrabens und die Anhebung der Grabensohle möglich. Kombiniert mit Steinwällen ist eine Folge mehrerer einzelner Bauwerke erforderlich:

3. Steinwälle in Kombination mit
4. flachen Steinwällen (1:3) und
5. Sickerdamm oder
6. Steinüberlauf.

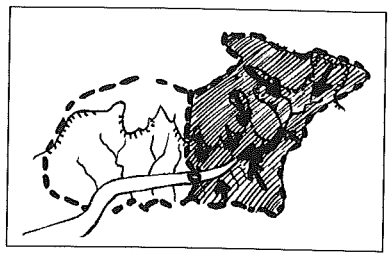


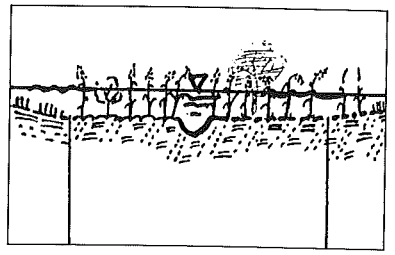


Langfristige Maßnahmen: Wenn es nach einem Grabenverbau mit gleichzeitiger Flächenbehandlung zu Schäden kommt, sind Maßnahmen oberhalb des Grabens zur Verminderung der Zuflüsse notwendig.

Auch wenn es nicht möglich ist, einen Graben zu verbauen (Mangel an Arbeitskraft, Material, zu große Grabentiefe), sollte dieser vor der weiterschreitenden Erosion geschützt werden. Hierzu sind Maßnahmen zu ergreifen, die im Oberhang Wasserrückhalt und eine Verlangsamung des Abflusses bewirken:

- Steinwälle, Erdwälle,
- Unterschutzstellung der Vegetation,
- Einzelbaumschutz mit Halbmonden.





5.5 Feuchter Standort (Großes Wassereinzugsgebiet)

Auf den feuchten Standorten gibt es eine breite Palette unterschiedlicher Formen des Wasserabflusses und der Erosion:

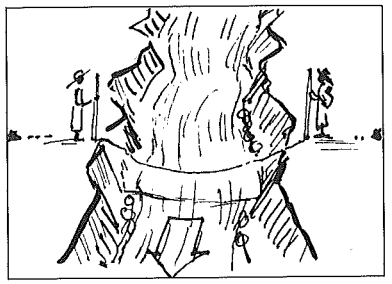
- breiter gleichmäßiger Abfluß,
- breiter Abfluß mit einzelnen stabilen Wasserläufen,
- lokal konzentrierter Abfluß in Gräben und Rinnen,
- starke Rinnenerosion.

Probleme der Rinnenerosion in Talauen sind sehr komplex und haben ihre Ursachen in verschiedenen Veränderungen innerhalb des Einzugsgebietes:

- Rückgang der Vegetation und Verkrustung der Böden im Hangbereich,
- weitgehende Abholzung der Talauen und Verschwinden der Dauergräser sowie Anbau ohne Brachen.

Eine befriedigende Lösung ist nur durch eine langfristige komplexe Strategie möglich, die

sowohl im Tal- als auch im Hangbereich den erosiven Kräften entgegenwirkt.



Anlaß für die **Behandlung eines Wasserlaufes** ist meistens der Wunsch der Bauern, gegen sehr aggressive Formen der Rinnenerosion vorzugehen. Die sich stark verändernden großen Erosionsrinnen sollen aufgehalten und unschädlich gemacht werden (s. IV.5.7).

Da es keine kurzfristige Lösung für dieses Problem gibt, ist eine Situationsanalyse gemeinsam mit den Betroffenen erforderlich. Die Ursachen der Erosion sind dabei zu besprechen und Lösungsmöglichkeiten abzuwägen, um so mit allen Beteiligten eine langfristige Strategie zu entwickeln.

Kurzfristige Maßnahmen: Schutz der bedrohten Kulturfläche oberhalb des Grabenkopfes (Rinne):

1. Vegetationsbänder entlang der Höhenlinie (s. IV.4.2)

2. Flache Steinwälle (s. IV.3.2)

Schutz der bedrohten Kulturflächen im Bereich der Wasserläufe und Rinnen:

3. Uferschutzstreifen entlang flacher Wasserläufe (s. IV.4.6)

4. Pralluferschutz bei Uferabbrüchen (s. IV.3.9)

Mittelfristige Maßnahmen: Maßnahmen zur Verminderung des Zuflusses aus den oberhalb gelegenen Flächen des Wassereinzugsgebietes:

- Behandlung von Feldern und Gräben (s. IV.3.2, IV.3.5, IV.3.6, IV.2.2, IV.2.3)

Verstärkung vorhandener Vegetationsbänder durch Steinwälle und Verbau von Gräben:

5. flache Steinwälle (s. IV.3.3),

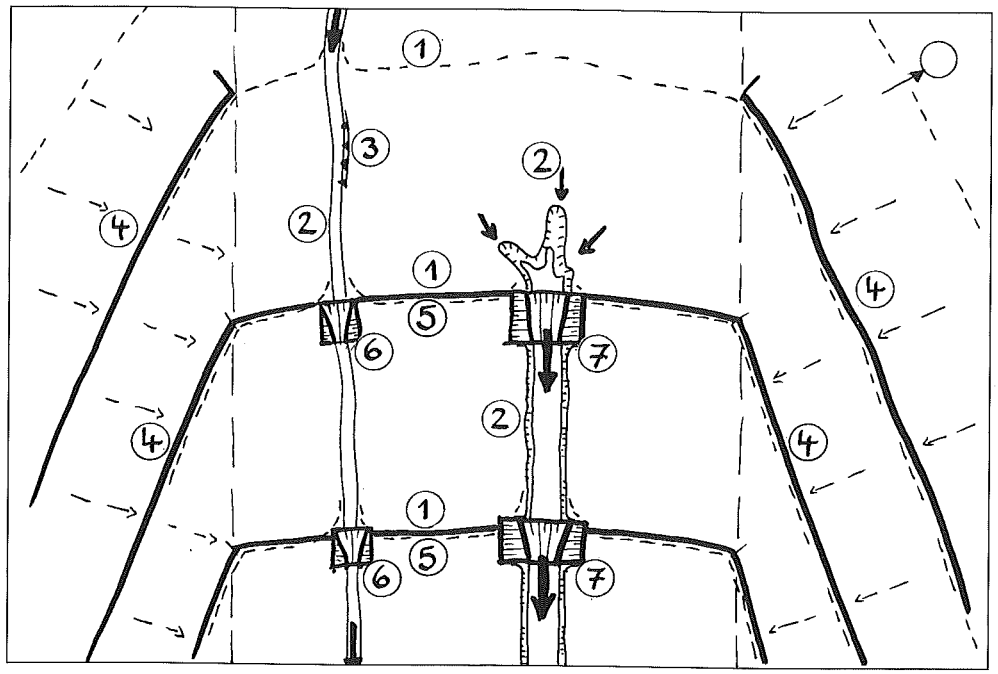
6. Überlaufschwellen bei Grabentiefe < 0,50m; (s. IV.3.6)

Langfristige Maßnahmen:

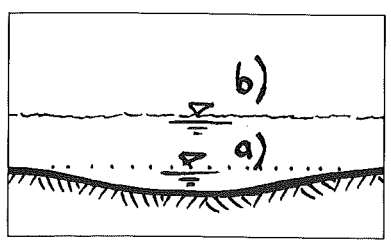
7. Verbau einer Rinne (Tiefe < 1,0–2,0 m) durch Sohlschwellen, in Verbindung mit Vegetationsbändern und Steinwällen, zur Stabilisierung des Bettes und zur Bekämpfung der rückschreitenden Erosion (s. IV.3.7+8).

Verbau im Bereich der nichtkultivierten Standorte im oberen Einzugsgebiet zur Regeneration der natürlichen Weide- und Baumvegetation:

- Halbmond und Einzelbaumschutz (s. IV.2.3)
- Unterschutzstellung der Vegetation, temporäres Weideverbot
- Steinwälle und Erdwälle (s. IV.3.2, IV. 2.2)



5.6 Unterscheidung der Maßnahmen nach Form und Größe des Wasserlaufs



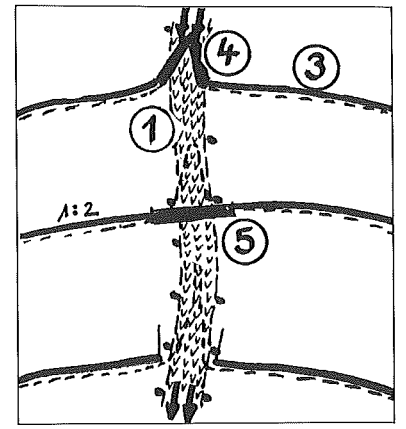
Abflußmulde (T < 0,25 m flach)

a) trockener Standort:

kurzfristig:

1. Vegetationsschutzstreifen (s. IV.3.3)

2. Begrenzung vorhandener Stein- und Erdwälle durch Flügel



mittelfristig:

3. Steinwall (1:2) (s. IV.3.2)

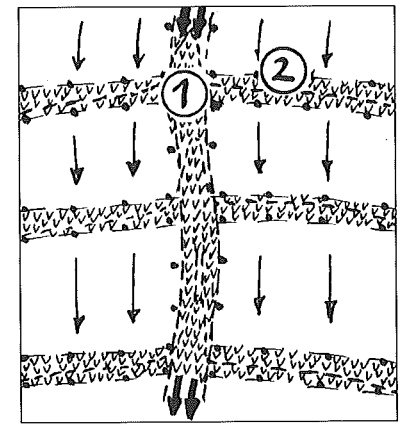
4. Steinwall (1:3) (s. IV.3.3)

5. Sickerdamm (1:3) (s. IV.3.5)

langfristig:

6. Maßnahmen im Einzugsgebiet oberhalb.

b) feuchter Standort (großes Einzugsgebiet):



kurzfristig:

1. Vegetationsschutzstreifen (s. IV.4.6)

2. Vegetationsbänder (s. IV.4.2)

mittelfristig:

3. Maßnahmen auf oberhalb gelegenen Anbauflächen des Wassereinzugsgebietes

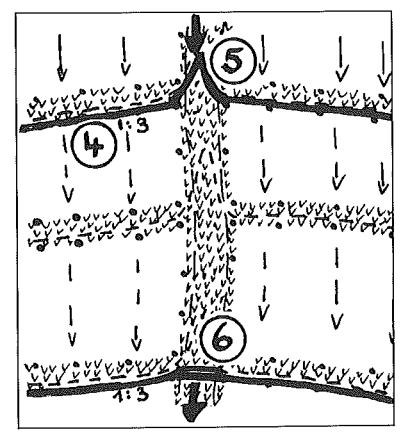
4. flache Steinwälle, zur Verstärkung der Vegetationsbänder (s. IV.3.4)

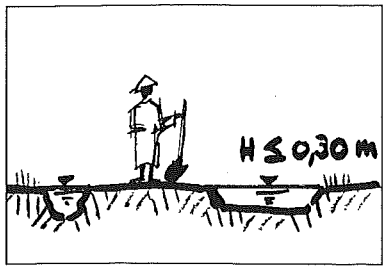
5. Überlaufschwelle (1:6) (s. IV.3.5)

6. kurzer Sickerdamm (s. IV.3.6)

langfristig:

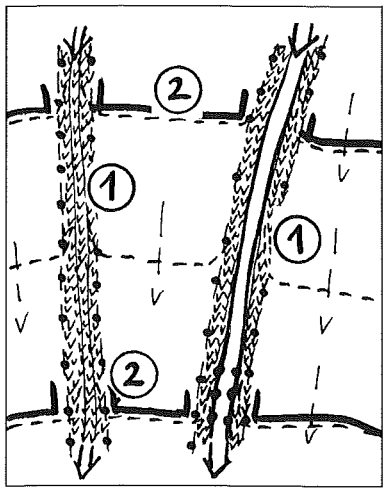
7. Maßnahmen auf nichtkultivierten Standorten im oberen Einzugsgebiet.





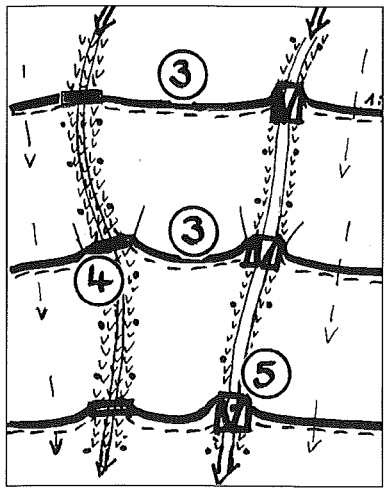
Graben (Tiefe T < 0,50 m; Breite B < 2,0 m)

a) trockener Standort:



kurzfristig:

1. Uferschutzstreifen (s. IV.4.6)
2. Begrenzung vorhandener Stein- und Erdwälle durch Flügel



mittelfristig:

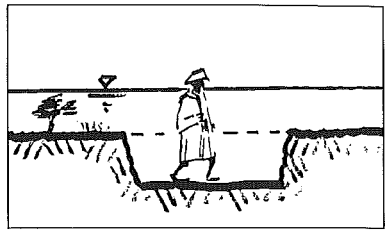
3. Steinwälle (s. IV.3.2)
4. kurzer Sickerdamm; Grabentiefe T < 0,30 m (s. IV.3.5)
5. Überlaufschwellen; Grabentiefe T < 0,50 (–1,0 m) (s. IV.3.6)

langfristig:

6. Maßnahmen im Wassereinzugsgebiet oberhalb.

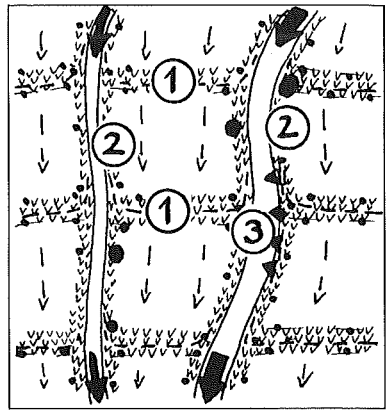
Graben und Rinne (Tiefe T < 1,0 (–2,0)m)

b) feuchter Standort (großes Einzugsgebiet)



kurzfristig:

1. Vegetationsbänder (3–5 m) (s. IV.4.2)
2. Uferschutzstreifen (s. IV.4.6)
3. Pralluferschutz an einzelnen Teilbereichen (s. IV.3.9)

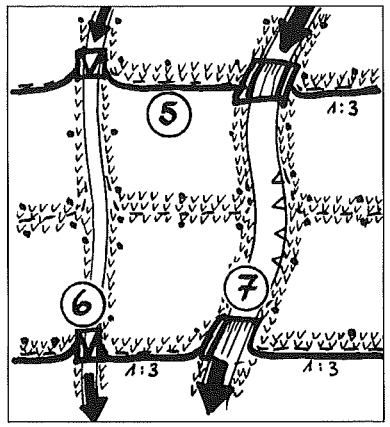


mittelfristig:

4. Maßnahmen auf oberhalb gelegenen Kuturflächen
5. flache Steinwälle (s. IV.3.3)
6. Überlaufschwellen (1:6) zum Verbau kleinerer Gräben Tiefe T < 0,50 m (s. IV.3.6)

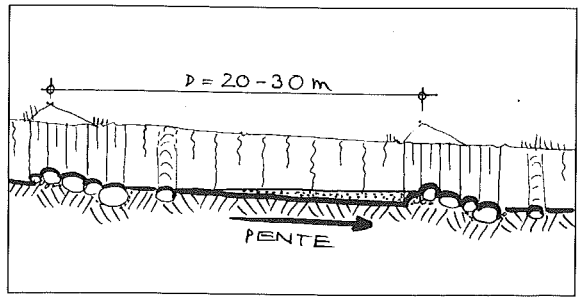
langfristig:

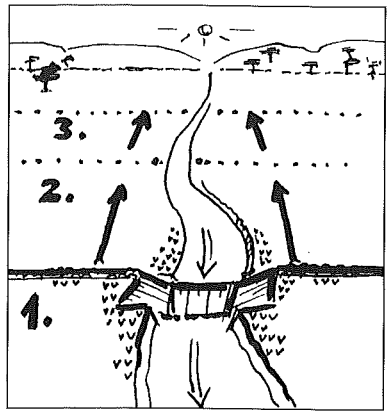
7. Sohlschwellen (1:10) bei Rinnen Tiefe T < 1,0 m (–2,0 m) (s. IV.3.7+8)
8. Maßnahmen auf nichtkultivierten Flächen im oberen Einzugsgebiet.



5.7 Die Entwicklung eines Grabenverbaus

Um die rückschreitende Erosion eines Grabens oder einer Erosionsrinne zuverhindern, ist ein schrittweises Vorgehen notwendig:





- Der Rinnenverbau muß unterhalb des Kopfes beginnen. Es ist dafür so weit talwärts zu gehen, bis der Wasserlauf eine möglichst stabile Form hat. (flaches Sohlgefälle, flache Böschungen, geringe Tiefe).
- Die am weitesten unten gelegene Schwelle ist am stärksten belastet und muß dementsprechend stark verankert werden.
- Die Plazierung der zweiten Schwelle sollte sich nach der Höhenlinie des zugehörigen Steinwalls richten.
- Die Krone der jeweils unterhalb liegenden Schwelle sollte möglichst auf Niveau der Sohle der nächsten Schwelle liegen. Dies entspricht auch etwa den Abständen der entsprechend anschließenden Steinwälle.

Als Resultat wird eine Erhöhung der Sohle oberhalb der Überläufe durch Ablagerung von Sedimenten erwartet.

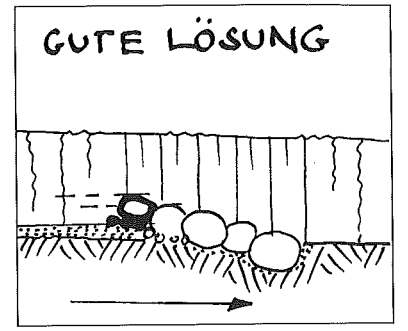
Zeitliche Entwicklung

1. Jahr: Die Grabenstrecke wird mit mehreren einzelnen Überlaufschwellen von nur 0,30 m Höhe nach dem Kaskadenprinzip verbaut. Nach

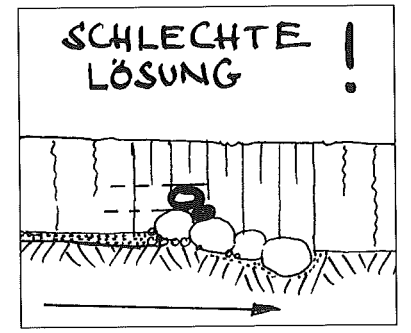
der ersten überstandenen Regenzeit werden die Bauwerke und ihre Funktion auf:

- Stabilität der Fußverankerung,
- Löcher und Sackung im Böschungsbereich,
- Sedimentation und Aufhöhung der Sohle und
- Schäden, die durch seitlichen Wasserabfluß auf dem Feld entstanden sind, kontrolliert.

Werden Mängel und Schäden festgestellt, sind diese zu beheben.



2. Jahr: Sind nach der ersten Regenzeit keine Schäden aufgetreten, können in gleicher Arbeitsweise die einzelnen Bauwerke auf insgesamt 0,50 m erhöht werden, um eine weitergehende Verteilung des Wasserabflusses auf die Flächen zu erreichen.



Aufbauend auf den Ablagerungen werden die Überlaufschwellen unter Beibehaltung der Neigung hangwärts verlängert.

Die Steine dürfen nicht direkt auf die vorhandene Schwelle gesetzt werden. Dadurch wird die Neigung zu steil, die Steine sind nicht verankert und die Schwelle wird instabil.

EXKURS

Konflikt zwischen dem Wunsch, Erosionsrinnen zu eliminieren und der technischen Machbarkeit und Notwendigkeit

Häufig wird von Bauern der Wunsch geäußert, einen Wasserlauf durch Absperrung mit einem Steinwall zu eliminieren, um gleichzeitig einen Aufstau zu erreichen. In der Regel handelt es sich um Erosionsrinnen, welche die angrenzenden Ackerböden oder Gartenbauflächen elementar bedrohen. In Diskussionen mit den Betroffenen ist eine technisch machbare, gemeinsam leistbare Lösung zu suchen und eine Strategie zu erarbeiten. Dazu können folgende Leitfragen behilflich sein:

Warum ist der Wasserlauf entstanden und wozu dient er? Wann ist er tiefer und breiter geworden? Welche Bedingungen haben sich verändert?

Mit den Fragen soll herausgearbeitet werden,

- daß der Wasserlauf die Funktion hat, Hochwasser abzuführen und
- die Ursachen für erhöhten Wasserabfluß in den veränderten Umweltbedingungen zu suchen sind.

Wenn der Zusammenhang Erosionsrinne und Wassereinzugsgebiet diskutiert und verstanden ist, müßte man zu folgender Schlußfolgerung kommen:

- Die Funktion des Wasserlaufs muß erhalten bleiben, wenn man die Bedingungen nicht ändern kann.
- Will man die Funktion durch Verbau ändern, müssen auch alle Zuflüsse verringert werden (durch Erosionsschutzmaßnahmen oberhalb).

Was geschieht, wenn in einem größeren Wasserlauf ein Aufstau erzeugt wird (vergleiche Kapitel IV.2.6)?

- Bei Hochwasser sind die Abflüsse enorm groß. Die Belastung des Bauwerks durch Wasserdruck und Überströmung ist hoch.
- Materialaufwand sowie Bedarf an Arbeitskraft und technischer Beratung sind hoch.
- Technisch ist ein Trockensteinmauerwerk für große Wasserläufe nicht geeignet.

Resultat eines radikalen Aufstaus ist eine Verlagerung des Gewässerbettes. Das Wasser wird zum Ausufern gebracht, und strömt in den Wasserlauf zurück, wobei es sich erneut eingräbt.

Baut man nach den technischen Möglichkeiten eine flache überströmbare Schwelle, so ist der gewünschte Staueffekt gering und das kleine Volumen wird schnell von Sedimenten aufgefüllt (s. III.2.7).

Die Diskussion soll dazu führen, daß die Bauern ihre Vorstellungen und Pläne überdenken, soll sie aber trotzdem zum Handeln ermutigen. **Bei Erosionsrinnen kann man nicht zum früheren Zustand zurück, aber man muß heute weiteren Schäden vorbeugen, damit nicht zukünftig noch größere Verluste entstehen.**

V Wasserbauliche Berechnung

1 Abflußberechnung

1.1 Faktoren

Ziel ist die möglichst genaue rechnerische Ermittlung des höchsten an einem bestimmten Ort maßgeblichen Hochwasserabflusses. Wegen mangelnder Daten und Meßwerte ist eine Berechnung der genauen Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwassers mit einfachen Mitteln nicht möglich. Unter der Annahme der jeweils ungünstigsten Bedingungen ist trotzdem eine Berechnung der Größenordnung des höchsten Hochwassers möglich, die als sichere Grundlage für die Bemessung größerer Bauwerke (Sohlschwellen, Rückhaltebecken) dient. Für die Abflußberechnung sind die starken Gewitterregen ausschlaggebend, die sowohl durch die **Regenintensität I** (I [mm/min]) wie auch durch die **Regenmenge P** (P[m^3/m^2]) die höchsten Abflüsse erzeugen. Für kleine Einzugsgebiete unter 3 km^3 ist die Regenintensität, für größere Einzugsgebiete die Regenmenge maßgeblich. Während für ein Regenereignis die Eintrittswahrscheinlichkeit benannt werden kann, ist dieses für den Abfluß nicht möglich, insbesondere der Abflußkoeffizient K_R [%] ist nicht exakt bestimmbar. Das Fehlen von Meßwerten ist vor allem für die Bestimmung der Fließzeit bei größeren Einzugsgebieten problematisch.

Auf die Abflußberechnung größerer Wassereinzugsgebiete wird hier verzichtet, da diese nur für größere Bauwerke zum Tragen kommt und immer von Fachleuten für den Einzelfall durchgeführt werden sollte.[16)]

Regen

Kurz dargestellt werden einige allgemeine Daten.[17)]

16) Die gebräuchlichsten Verfahren basieren auf den Auswertungen des ORSTOM; Hydraulische Grundlagen sind in den Veröffentlichungen von Puech (1984), sowie Rodier/Auvray (1964) zufinden. Empfohlen werden kann die daraus abgeleitete Berechnung aus dem Dokument Tiefenerosionsschutz... von Matz/Lüdemann. Eine andere Aufbereitung der Berechnungsmethode von Rodier für die praktische Anwendung findet sich bei Berton „la maitriese des crues..." die wegen des etwas umständlichen Weges eingeschränkt empfohlen wird.

17) Rodier, J. Orstom '75

Regenmengen [1 mm = 0,001 m³/m²]

		P_{min}	P_{moyen}	P_{max}	$P_{(n = 0,1)}$
	n = 0,1 ***(n = 0,01)**	[mm / anno]	[mm / anno]	[mm / anno]	[mm / jour]
Nord	OUDALAN	150 (70)*	250	450	80
	nördl. SENO + nördl. SOUM	225 (130)*	400	600	
	SENO + SOUM	300 (200)*	500	700	
Süd	SEBBA	400 (290)*	600	800	100

[Eintrittswahrscheinlichkeit: n = 0,1, einmal in 10 Jahren; (n = 0,01, einmal in 100 Jahren)]

Die höchsten Regenintensitäten erreichen kurzzeitig 2,5 – 3,0 mm/min. Aussagekräftiger ist der Wert nach der Wahrscheinlichkeit. Danach beträgt die Intensität eines 30-minütigen Regens der einmal in 10 Jahren auftritt 1 mm/min. (Ein Regen 60-minütiger Dauer und gleicher Wahrscheinlichkeit hat eine geringere Intensität; *bzw.* bei 60-minütiger Dauer ist ein Regen der Intensität von 1 mm/min wesentlich seltener).[18)]

Bei den vorherrschenden geographischen Bedingungen kann der Abfluß für kleine Einzugsgebiete über diese Regenintensität berechnet werden. Es wird davon ausgegangen, daß die Fließzeit des Wassers vom entferntesten Punkt aus die Regendauer nicht überschreitet.

Die Regenintensität kann in eine Regenspende umgerechnet werden:

$$q_{pluie} = 167\ l/(s \times ha)$$
$$= 0{,}167\ m^3/(s \times ha)$$

$$1\ mm/min \times 0{,}001\ m^3/m^2/(1\ mm) \times 1\ min/60\ s \times 10.000\ m^2/ha = 0{,}167\ m^3/(s \times ha)$$

Abflußkoeffizient, K_R

Der Koeffizient K_R ist ein dimensionsloser Faktor, der den Anteil des Niederschlagswassers angibt, welcher oberflächlich abfließt. Praktisch hängt er von sehr vielen Faktoren ab, so daß hier nur ungefähre Angaben gemacht werden können.

K_R/anno = 0,50 = 50 % (Dori)[19)]

18) Memento des travaux ruraux, Ministere de la Cooperation. Francaise
19) Rodier, J., Orstom '75

Auf den mittleren Jahresniederschlag bezogen kommen 50 % zum Abfluß. Diese Aussage kann jedoch weder für die einzelnen Standorte noch für das einzelne Regenereignis verallgemeinert werden:

- Regen mit hoher Intensität erzeugen relativ höhere Abflüsse;
- wegen fehlender Vegetation kommt es zu Beginn der Regenzeit zu größerem Abfluß;
- die Durchlässigkeit des Bodens und das Gelände beeinflussen den Abfluß.

Auch abhängig von Bodenart und Feuchteregime verändert sich der Anteil des Oberflächenabflusses deutlich:

	K_R [%/anno] normales Jahr	feuchtes Jahr
Sandboden (in Kultur)	8 – 12	20 – 30
lehmiger Sandboden (verkrustet)	15 – 20	50 – 70
Tonböden (z. T. mit Trockenrissen)	40 – 50	70

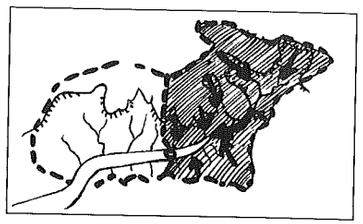
Zur Abschätzung und überschläglichen Berechnung des maximalen Abflusses können die für feuchte Jahre genannten Werte herangezogen werden. Diese Koeffizienten betreffen den jährlichen Abfluß.

Um die Situation eines einzelnen Starkregens besonderer Intensität zu berechnen, ist unter Annahme der jeweils höheren Werte eine gewisse Sicherheit gegeben.

max. K_R:	Sand	30 – 40 %
	Lehm	40 – 70 %
	Ton	60 – 80 %

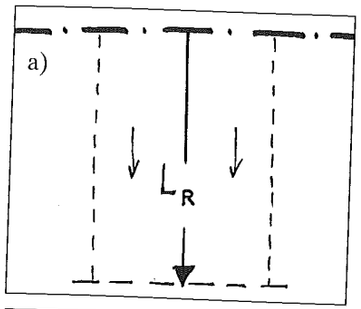
Wassereinzugsgebiet

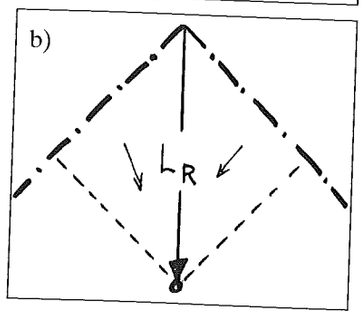
Zur Berechnung des höchsten Abflusses ist die Größe des Wassereinzugsgebietes zu bestimmen. Die Fläche des Einzugsgebietes A [ha] kann sowohl im Feld geschätzt als auch über eine Fotoauswertung genau berechnet werden.



Schätzung

a) Rechteckform: Das Wassereinzugsgebiet wird bei flächenhaftem Wasserabfluß als Rechteck angenommen (s. Bemessung des Bouli):





(1.1) **A [m²]** $= \mathbf{L_R \times a}$; L_R [m]; a [m]

A [ha] = A [m²]/10.000

Die Länge des Fließweges vom Standort bis zur Wasserscheide kann durch Abschreiten, Abfahren oder Schätzen bestimmt werden.

b) Rhombe: Das Einzugsgebiet wird auf einen Punkt bezogen als **Quadrat** beschrieben bei dem der Fließweg L_R der Diagonale entspricht:

(1.2) **A [m²]** $= \mathbf{L_R^2 / 2}$

A [ha] = A [m²]/10.000

c) Ermittlung über Luftbilder durch Planimetrieren: Für dieses Verfahren soll nur der Ablauf beschrieben werden. Die Arbeiten können auf Grundlage von Luftbildern im Maßstab 1:50.000 vorgenommen werden.[20)]

Bei der Auswahl der Bilder muß anhand der Numerierung der Bilder und mittels der topographischen Karte 1:200.000 die ungefähre Ortsbestimmung und die Bestimmung der Himmelsrichtung erfolgen. Entscheidend sind die Standortbestimmung auf dem **Luftbild** und die richtige Ausrichtung. In der Regel ist ein Studium des Bildes im Gelände erforderlich, bei dem man sich an Charakteristika der Umgebung orientiert (Straßen und Wege, Wasserläufe und Hügel, Häuser und Siedlungen, markante Bäume). Die Ausrichtung des Bildes ist erforderlich.

Zur Bestimmung des dem Standort zugehörigen Wassereinzuggebietes müssen die Grenzen markiert werden. Bei schwierigem Gelände sollte zur eindeutigen Festlegung ein räumliches Bild mit

20) Beim SAER der CRPA du Sahel ist eine fast vollständige Sammlung von Luftbildern im Maßstab 1/50.000 vorhanden. Grundsätzlich können alle Bilder beim Institut Géographique du Burkina beschaft werden.

einem Stereoskop erzeugt werden. (Markierungen können direkt auf dem Foto mit einem speziellen Fettstift erfolgen.)

In der Regel ist es ausreichend, dem deutlich erkennbaren Netz feiner Linien der Wasserläufe hangwärts zu folgen, um sich so der **Wasserscheide** zu nähern. Die so gefundenen Grenzen werden nun auf ein Transparentpapier durchgezeichnet (eventuell kopiert). Bei dem exakten Verfahren wird der Umfang der Fläche mit dem Polarplanimeter „abgefahren", um daraus die Fläche in Quadratzentimetern auf dem Papier zu ermitteln: (Zur Kontrolle werden jeweils drei Umfahrungen gemessen.)

$A_{(1/50.000)}$ [cm²]

Als genügend genaue Methode ist auch die Übertragung der Flächenkontur auf kariertes Papier möglich, bei der die Anzahl der innerhalb der Fläche gelegenen Karos (0,5 cm × 0,5 cm) gezählt wird (halbe Karos werden geschätzt).

Anzahl der Karos: N

Die tatsächliche Fläche ergibt sich durch Umrechnung unter Berücksichtigung des Maßstabes der Kartengrundlage (Luftbild **1:50.000**):

1 cm² (4 Karos): 1 cm = 500 m

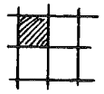
A = 500 m × 500 m = 250.000 m²

= 25 ha

1 Karo: 0,5 cm = 250 m

A = 250 m × 250 m = 62.500 m²

= 6,25 ha



$A_{\text{Bassin Versant}}$: Die Größe des Einzugsgebietes ergibt sich aus der Multiplikation der Anzahl der Karos mit dem Faktor 6,25 ha oder der Multiplikation der Anzahl der Quadratzentimeter mit dem Faktor 25,0 ha.

$A_{\text{Bassin Versant}}$ [ha] = $A_{(1/50.000)}$ × **25 ha/cm²**

$A_{\text{Bassin Versant}}$ [ha] = $N_{(\text{Anzahl der Karos})}$ × **6,25 ha/Karo**

1.2 Abflußberechnung für Kleinere Einzugsgebiete

Überschlägige Berechnung von Hochwasserabflüssen für Wassereinzugsgebiete:

A < 3 km² = 300 ha

Eingangswerte:

Größe des Wassereinzugsgebietes: $A_{\text{Bassin Versant}}$ [ha]

Regenintensität: **I** [mm/min] = **1 mm/min** (über 30 min Dauer)

Abflußkoeffizient:

K_R [--] = 0 – 100

max K_R = 0,30 – 0,80;

gewählt z. B. **K_R = 0,60**

Regenspende:

max q_P [l/(s × ha)] = 150–200 l/(s × ha),

gewählt: **max q_{pluie} = 170 l/(s × ha)**

Abflußspenden:

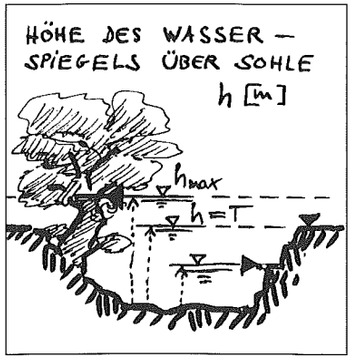
max q_R [l/(s × ha)] = max q_{pluie} [l/(s × ha)] × **max K_R**

Abfluß

(1.3) **max Q [l/s] = $A_{Bassin\ Versant}$ [ha] × max q_R** [l/(s × ha)]

(1.4) max Q [m³/s] = $A_{Bassin\ Versant}$ [ha] × max q_R [l/(s × ha)]**/1000**

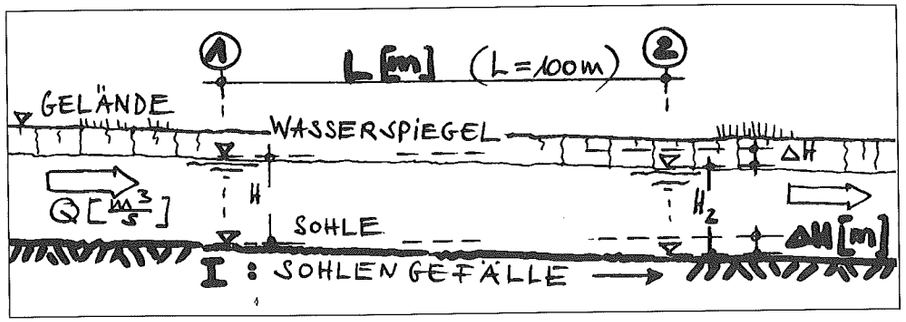
2 Gerinneabfluß



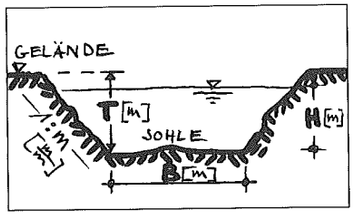
Die Berechnung des Wasserabflusses eines Wasserlaufs mit der Formel von **Manning-Strickler** (offene Gerinne) gliedert sich in:

- Formel und Faktoren der Gleichung,
- Darstellung als einfaches Rechnerprogramm,
- Messungen im Gelände.

Die weltweit verbreitete empirische Formel wird zur Ermittlung der Größe des Wasserabflusses eines Wasserlaufes bei verschiedenen Wasserständen benutzt. Vor allem für größere Erosionsgräben und Rinnen ermöglicht die Formel die überschlägliche Ermittlung der höchsten Hochwasserabflüsse. Voraussetzung ist die Kenntnis des Gewässerprofils im Querschnitt, des Längsgefälles der Sohle und eine realistische Einschätzung des höchsten möglichen Wasserstandes. Eine Bedingung ist die Betrachtung eines möglichst gleichförmigen Gewässerabschnittes, der ein ungefähr gleiches Querschnittsprofil und eine



gleichmäßig geneigte Gewässersohle (ohne Stufen) aufweist. Eine exakte Berechnung ist nicht möglich, weil dafür vergleichende Abfluß- und Wasserstandsmessungen erforderlich wären, die unter den gegebenen Umständen nicht machbar sind.



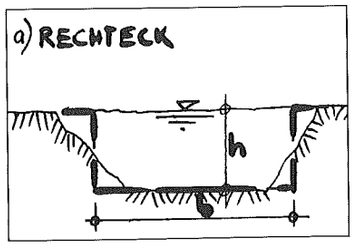
Formel und Faktoren der Gleichung

Q [m³/s]; der Wasserabfluß (auch Q_{max}; der höchste mögliche Abfluß) wird berechnet als Produkt aus mittlerer Fließgeschwindigkeit und dem mittleren Abflußquerschnitt:

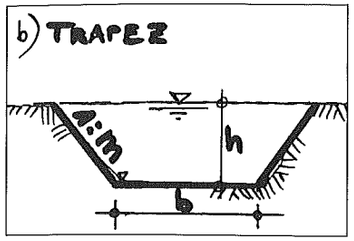
(2.1) **Q = v × A**; v [m/s], A [m²]

v [m/s]; **die mittlere Fließgeschwindigkeit** wird errechnet über die Rauhigkeit (K_{St}), das Längsgefälle (I) und den von der Form des Querschnitts abhängigen hydraulischen Radius (R_{hy}):

(2.2) **$v = K_{St} \times I_R^{1/2} \times R_{hy}^{2/3}$**;
K_{St} [m^1/3/s], I_R [m/m], R_{hy} [m]



A [m²]; der Durchflußquerschnitt vergrößert sich mit höherem Wasserstand und ist abhängig von der Form des Gewässerbettes. Dieses muß für die Rechnung zu einem Rechteck



oder Trapez vereinfacht werden. Für komplexere Profile muß Fachliteratur zu Rate gezogen werden. Auch für eine überschlägliche Rechnung sollten mehrere Abfluß-Profile gemessen und Mittelwerte gebildet werden.

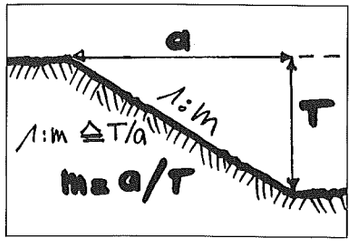
a) $\mathbf{A = b \times h}$; b [m], h [m]

b) $\mathbf{A = b \times h + m \times h^2}$; b [m], h [m], m [–]

Festlegen der Eingangsgrößen:

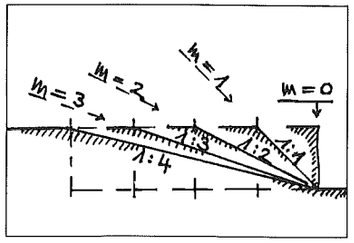
b [m]; die **mittlere Sohlbreite** wird als Mittelwert aus mindestens zwei Profilen gemittelt:

b = (b2+b2)/2; b1, b2 sind gemessen



m [–]; **der Faktor [m]** beschreibt das Böschungsgefälle, das im allgemeinen mit 1:m angegeben wird. (Für einen Rechteckquerschnitt ist m = 0). Der Faktor kann geschätzt oder als Quotient aus Tiefe und Böschungsbreite (a) berechnet werden.

m = a/T; a = (a1 + a2)/2; a[m], T[m]



I[m/m]; **das Sohlgefälle** wird mit einem Gefällemesser, der Schlauchwaage oder einem Nivelliergerät gemessen oder geschätzt.

(in der Regel: I = 0,01 – 0,001)

K_{St} [$m^{1/3}$/s], **der Rauhigkeitsfaktor** muß nach Tabellenwerten geschätzt werden (nach Press/Bretschneider).

Erfahrungswerte für natürliche Flußbetten:

mit fester Sohle	40 $m^{1/3}$/s

mit massigem Geschiebe	33–35 $m^{1/3}$/s
mit Geröll	30 $m^{1/3}$/s
stark geschiebeführend	28 $m^{1/3}$/s

Mittelwert: $\mathbf{K_{St} = 35\ m^{1/3}/s}$

U_{hy} [m]; **der hydraulische „benetzte" Umfang** beschreibt die Reibungsflächen zwischen Wasser und Erdreich:

a) Rechteck

$\mathbf{U = b + 2 \times h}$; b [m]; h [m]

b) Trapez

$\mathbf{U = b + 2 \times (1 + m^2)^{0,5} \times h}$; b [m], h [m], m [m/m]

R_{hy} [m]; **der hydraulische Radius** ist ein Rechenwert.

R_{hy} = A/U; A [m^2], U [m]

Rechnerprogramm

Während die schrittweise Rechnung nach der Formel sehr mühsam und abschreckend ist, ist sie als Programm auch mit sehr kleinen programmierbaren Rechnern leicht zu entzaubern. Sie wird hier als einfaches BASIC-Programm dargestellt (für Rechteck und Trapez):

```
                    100  „Abflußberechnung nach Manning-Strickler"
                    200  „Eingabe"
                    210  INPUT „Sohlbreite_B(m) = _.";B
bei Rechteck, m = 0 220  INPUT „Böschung_m = _.";M
I = 0,01_0,001      230  INPUT „Gefälle_I(m/m) = _.";I
Kst = 35–40         240  INPUT „Kst-Wert_K = _.";K
                    250  INPUT „Wasserhöhe_h = _";H
                    300  „Rechnung"
                    310  A = B × H + M × H^2
                    320  U = B + 2 × H × (M^2 + 1)^0,5
                    330  R = A / U
```

```
340   V = K × I^0,5 × R^(2/3)
350   Q = V × A
400   „Ausgabe“
410   PRINT „Geschwindigkeit_ v = _“;V;“m/ s“
420   PRINT „Abfluß_ Q = _“;Q;“_m^3/ s“
430   GOTO 250
440   END
```

Messungen in Gelände

Für den hier dargestellten Zweck einer Abschätzung möglicher Hochwasserabflußmengen erscheinen Messungen mit einfachen Mitteln angemessen und vertretbar. Für die **Querschnittsgrößen** ist ein **Metermaß** (2 m Länge) geeignet und die Angabe der Maße auf 0,1 m genügend genau. Der tatsächliche Querschnitt muß zu einem Trapez oder Rechteck vereinfacht werden; für die Berechnung sind jeweils Mittelwerte zu bilden. Zweckmäßig ist das Auftragen der Querschnittsmaße auf kariertes Papier, um dann das vereinfachte Rechteck oder Trapezprofil zeichnerisch zu bestimmen:

Böschungsneigung (1:m): 1:m = T/a

---

m = a/T; T [m]

a = (a1 + a2)/2

T [m]; mittlere Tiefe von Geländeoberfläche bis auf Gewässersohle.

T = (T1 + T2)/2

Das Sohlgefälle kann mit der Schlauchwaage durch die Messung der **Höhendifferenz** auf einer 100 m langen Fließstrecke bestimmt werden. Für Längenmessungen ist ein einfaches Bandmaß vorteilhaft. Die Einzeldifferenzen müssen bei jedem Meßschritt mit Hilfe von Metermaß oder Lineal festgestellt und zur Gesamtdifferenz aufsummiert werden. Der angenommene Meßfehler (Versuche) von 5 cm auf 100 m ist mit 0,5 0/00 noch vertretbar. Der Fehler ist durch eine zweite Kontrollmessung zu begrenzen.

Längsgefälle:

$\mathbf{I_R = H/L}$; H [m], L [m]

---

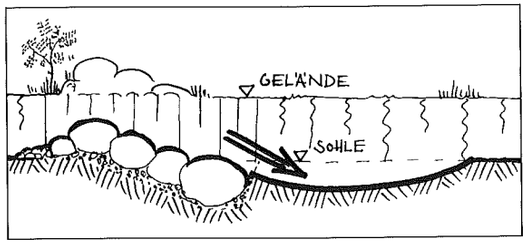
z. B. L [m] = 100 m

H = 0,63 m

I_R = 0,63 m/100 m = 0,0063 m/m

3 Berechnung eines Überfalls

Das Überströmen eines Bauwerks wird dann als Überfall bezeichnet, wenn das abfließende Wasser auf ein niedriges Niveau herabstürzt. Ein Überfall stellt sich nicht nur bei Steinüberläufen ein, sondern auch bei kleinen Steinwällen mit hohen Abflüssen (max Q). Grundlage der Berechnung ist die vereinfachte Wehrformel nach Poleni für den vollkommenen Überfall:



$\mathbf{Q[m^3/s]} = \mu \times 2/3 \times (2 \times 9{,}81)^{0,5} \times h^{1,5}$; l[m], h[m]

μ ist ein Faktor, der die Form der Bauwerkskrone sowie dessen Beschaffenheit und Rauhigkeit berücksichtigt.

gewählt: **μ = 0,56**

Unter Annahme diese Wertes werden alle Zahlenwerte der Formel zu einem Faktor f zusammengefasst und die Formel vereinfacht:

$f = 0{,}56 \times 2/3 \times (2 \times 9{,}81)^{0,5} = 1{,}65$; **1/f = 0,60**

(3.1) $\mathbf{Q[m^3/s] = L \times H^{1,5}/0{,}60}$; l [m], h [m]

---

h [m] bezeichnet die Höhendifferenz von der Bauwerkskrone bis zur Höhe des Wasserspiegels. Für die dargestellten Bauwerke wurden folgende maximale Wasserspiegelhöhen angenommen:

Maßnahme	Neigung	h [m über der Krone]
Steinwall	1:2	0,05 m
	1:3	0,15 m
Überlauf	1:4	0,20 m
	1:6	0,30 m
Schwelle	1:10	0,50 m

l [m] ist die Breite des Überfalls. Bei einem Steinwall ist die betrachtete Länge des Walls mit der Überfallbreite identisch. Bezogen auf einen Meter eines Walls gilt:

(3.2) **Q [m³/s/m] = h^1,5/0,60;** h [m]

Eine Berechnung ist für 3 Fragestellungen möglich:

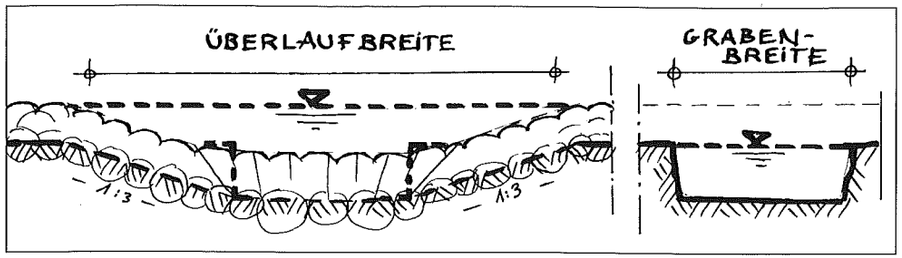
Abfluß, Q: *Wie groß ist die Leistung Q bei bekannten Abmessungen (h und l)?* Formel (3.1)

Überfallbreite, l (largeur): *Wie groß ist die erforderliche Überfallbreite, damit bei einer angenommenen (höchsten) Wasserhöhe der maximale Abfluß (Q_{max}) abfließen kann?*

l [m] = 0,60 × Q_{max}/$h^{1,5}$; Q_{max} [m³/s], h [m]

Überfallhöhe, h: *Wie hoch staut sich das Wasser über der Krone, wenn für eine gegebene Breite (l) der maximale Abfluß (Q_{max}) abfließt?*

h [m] = (Q_{max} / l × 0.60)^{0,67}



4 Leistungsfähigkeit der Bauwerke

Die Unterschiede der Techniken des Flächenschutzes sollen durch einen Vergleich ihrer Leistungsfähigkeit verdeutlicht werden. Das höchste **Rückhaltevermögen** (bei maximalem Aufstau) V_{Ret} [m³/ m] und der höchste Abfluß pro Meter Q_{max} [m³/s/m] werden unter gleichen Voraussetzungen überschlägig berechnet. Den Abflußgrößen können dann Einzugsgebiete zugeordnet und verglichen werden. Betrachtet wird jeweils ein Abschnitt von 100 m Länge. Es werden vereinfachend die idealen Abmessungen angenommen.

4.1 Erdwall

Annahmen:

Höhe des Walls: h = 0,30 m

normale Stauhöhe: h = 0,10 m

höchste Stauhöhe: h = 0,20 m

Geländegefälle: IR = 0,01 = 1 %

Durchlässe (ebenerdiger Abfluß)

(4.1) **Q [m³/s] = Q_{max} [m³/s/m] × L [m]**

Die erforderlichen **Durchflußbreiten** (L [m])können für verschieden große Einzugsgebiete über den **maximalen Abfluß der Durchlässe** (Q_{max} [m³/s/m]) und den **höchsten Flächenabfluß** (qR [m³/s × ha]) berechnet werden.

Q_{max} Für die Erdwälle wird der Abfluß durch eine höchstmögliche Abflußhöhe von h = 0,10 m begrenzt. Durch Einsetzen einer großen Abflußbreite von B = 100 m wird der ebenerdige Abfluß mit der Formel von Manning-Strickler berechnet (siehe V.2, Wasserbauliche Berechnung, Gerinneabfluß):

B = 100 m

1:m = 1:0

K_{St} = 25 (20–30)

H_{max} = 0,10 m

Ergebnis:

V = 0,5 m/s

Q_{max} = 5,4 m³/s/100 m

Q_{max} = 0,054 m³/s/m

Höchster Flächenabfluß q_R [m³/(s × ha)]:

Annahmen:

q_{pluie} = 0,150 m³/(s × ha)

K_R = 0,80; (Höchstwert für Glacisflächen)

q_R = 0,80 × 0,150 m³/(s × ha)

q_R = 0,120 m³/(s × ha)

(4.2) **Q [m³/s] = A [ha] × q_R [m³/s × ha]**

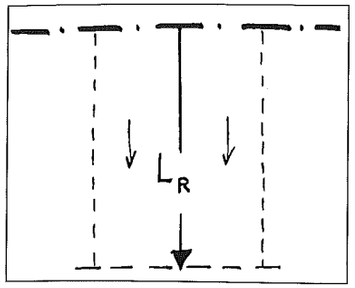
Wassereinzugsgebiet:

Q [m³/s] = Q_{max} [m³/s/m] × L [m]

Q [m³/s] = A [ha] × q_R [m³/s × ha]

A [ha] × q_R [m³/s × ha] = **Q_{max}** [m³/s/m] × L [m]

(4.3) **A [ha] = Q_{max} [m³/s/m] × L [m]/q_R [m³/s × ha]**



Unter der Annahme eines rechteckförmigen Einzugsgebietes kann den ermittelten Durchlaßbreiten eine Fließstrecke zugeordnet werden, die dem Abstand zur Wasserscheide entspricht.

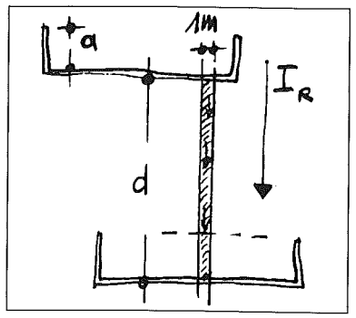
$A\ [m^2] = l_R \times a;\ l_R[m],\ a = 100\ m$

$\mathbf{l_R\ [m] = A\ [m^2]/100\ m}$

Tabellarische Berechnung von Wassereinzugsgebiet und der zugehörigen Fließstrecke:

	Breite	**Wallänge**	**Abfluß**	**Einzugsgebiet**	**Fließstrecke**
	L [m]	**[m]**	**Q [m³/s]**	**A [ha]**	**l_R [m]**
Formel	L	100m – L	$Q_{max} \times L$	Q/qR	A [ha] × 100
NR			0,054 m³/s/m × L	Q/0,120 m³/(s × ha)	
	3 × 3 = 9 m	91	0,49	4,05	405
	3 × 5 = 15 m	85	0,81	6,75	675
	3 × 6 = 18 m	82	0,97	8,10	810
	3 × 10 = 30 m	70	1,62	13,50	1350
Regelfall 3 × 6 m			**1 m³/s/100 m**	**< 10 ha**	**< 1000 m**

Ergebnis: Wegen der Zuflüsse aus dem oberhalb gelegenen Wassereinzugsgebiet sollte die Entfernung von Erdwällen zur Wasserscheide höchstens 1000 m betragen. Dabei sind Durchgangsöffnungen von 3 × 6 m Breite auf einer Wallänge von 100 m vorzusehen.



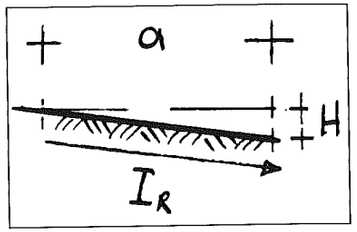
Speichervolumen, V_{Ret} [m³/m]

Speichervolumen und Länge des Rückstaus sind abhängig vom Geländegefälle (die Länge a entspricht der Flügellänge für H = 0,1 m):

Gefälle: I_R [m/m] = H [m]/a [m]

a [m] = H [m]/ I_R [m/m]

Das Volumen wird hier ohne Berücksichtigung des Grabens berechnet (allmähliche Verfüllung des Grabens mit Sedimenten). Für das höchste Rückhaltevermögenwerden für H 0,20 m angenommen.



$v_{Ret}\ [m^3/m] = a \times H/2;\ a\ [m] = H/I_R;\ h\ [m]$

$= H/IR \times H/2$

$v_{Ret}\ [m^3/m] = H^2/(2 \times I)$

$\mathbf{V_{Ret}\ [m^3] = l \times H^2/(2 \times I);\ l\ [m]}$

Ergebnis für I_R = 1%:

$V_{Ret}\ [m^3] = 1 \times 0{,}12/(2 \times 0{,}01) = 0{,}50\ m^3/m$

$\mathbf{maxV_{Ret}\ [m^3] = l \times 0{,}22/(2 \times 0{,}01) = 2{,}0\ m^3/m}$

Für den oben genannten Regelfall (L = 3 × 6 m) ergibt sich ein Normalstau von V_{Ret} = 0,5 m³/m. Beim höchsten Aufstau kann kurzzeitig (V_{Ret} = 2 m³/m) die vierfache Menge des normalen Speichervolumens (V_{Ret} = 0,5 m³/m) aufgestaut werden. Das höchste Rückstauvolumen auf 100 m Länge ergibt 200 m³.

Abstand zwischen zwei Wällen: Über das Speichervolumen kann der theoretisch optimale Abstand zwischen zwei Wällen errechnet werden. Ziel ist es dabei, bei einem normalen Regenfall eine Füllung des Walls zu erreichen. Weitere Zuflüsse werden ausgeschlossen und der Streifen von einem Wall zum nächsten stellt das Einzugsgebiet dar.

Annahme: Die Höhe des abflußwirksamen Niederschlags $\mathbf{v_R}$[m³/m²] wird errechnet.

P = 20 mm/jour = 0,02 m

K_R = 0,50; (Durchschnittswert)

$v_R[m^3/m^2] = K_R \times P$

$= 0{,}01\ m^3/m^2$

$\mathbf{A\ [m^2/m] = V_{Ret}\ [m^3/m]/0{,}01\ m^3/m^2}$

$\mathbf{d\ [m] = A\ [m^2/m]}$

Ergebnis für I_R = 1%:

d[m] = 0,50 m³/m / 0,01 m³/m² = 50 m

4.2 Steinbau

Bei den Steinwällen kann die untere Hälfte als undurchlässig und die obere Hälfte als durchlässig erachtet werden. Die Filterleistung wird mit V = 0,2 m/s angenommen (Durchlässigkeit von Kies 1 m/s – 0,1 m/s). Zum Vergleich werden jeweils die Abflüsse pro Meter Wallänge betrachtet.

Formeln:

$Q(x) = Q_{filter} + Q_{dev}$

Q_{dev} [m³/s] $= L \times H_2^{1,5}/0,60$; H_2 [m], L [m]

Q_{dev} [m³/s/m] $= H_2^{1,5}/0,60$; H_2 [m]: max. Höhe Wasserspiegel über Krone

Q_{Filter} [m³/s] $= A$ [m²] $\times V$ [m/s]; A [m²] $= H \times L$

Q_{Filter} [m³/s/m] $= H$ [m] $\times V$ [m/s]; H [m]

Technik	Bauwerks-höhe	Q_{filter}	max. Höhe Wasserspiegel über Krone	$Q_{dev.}$ (deversoir)	Abfluß
	H_1	Q_F	H_2	Q_{dev}	
	[m]	[m³/s/m]	[m]	[m³/s/m]	[m³/s/m]
Steinwall (1:2)	0,25	**0,025**	0,05	**0,02**	**0,045**
Steinwall (1:3)	0,25	**0,025**	0,10	**0,10**	**0,125**
Steinwall (1:4)	0,25	**0,025**	0,20	**0,15**	**0,175**
Überlauf (1:6)	0,30	**0,025**	0,30	**0,30**	**0,275**
Schwelle (1:10)	0,50**)	**0,020**	0,50	**0,60**	**0,620** *)

*) Zum Vergleich Berechnung über Manning-Strickler (V.2):

$Q = A \times V$;

$A = 0,5 \times 10 = 5$ m²

$V = Ks \times I^{1/2} + R^{2/3}$

Annahme:

$I = 0,005$, $B = 10$ m, $1:m = 1:0$, $K_{St} = 30$

Rechnung:

$V = 30 \times 0,005^{0,5} \times 0,454^{0,67} = 1,254$ m/s

$Q = 5$ m² $\times 1,254$ m/s

$= 6,27$ m³/s/10 m

= 0,63 m³/s/m

**) Bei Stein-Gabion-Bauweise sind aus Erfahrung kurzeitige höhere Abflüße (H_1 = 1,0 m) unschädlich.

Relative Größe des zugehörigen Wassereinzugsgebietes pro Meter Wallänge

Technik	Abfluß	Flächenabfluß	Fläche des Einzugsgebietes	
	Qmax	qR	A = Q_{max}/qR	A
	[m³/s/m]	[m³/s/ha]	[ha]	[m²]
Steinwall (1:2)	0,045	0,120	0,375	**4000**
Steinwall (1:3)	0,125	0,120	1,04	**10.000**
Steinwall (1:4)	0,175	0,120	1,46	**15.000**
Überlauf (1:6)	0,275	0,120	2,50	**25.000**
Schwelle (1:10)	0,620	0,120	5,17	**50.000**

4.3 Vergleich der Erdwälle und Steinwälle

Wasserrückhaltung und ihre Belastbarkeit bei Hochwasser werden für Erdwälle und Steinwälle auf trockenen Standorten anhand der zuvor berechneten Größen verglichen (I = 0,01) und bewertet ([++], [+], [–]):

		Erdwall:	Steinwall:
Annahmen:	**Wallhöhe**	0,30 m	0,25 m
	Stauhöhe	0,10 m	0,125 m
	höchste Stauhöhe	0,20 m	0,30 m
Rechnung **Bewertung** [+/–]			
Rückhaltevolumen	V_{ret} [m³/m]	**0,5** m³/m [+]	**0,78** m³/m [+]
	maxV_{ret} [m³/m]	**2,0** m³/m [+]	**4,5** m³/m [++]
höchster relativer Abfluß	Q_{max} [m³/s/m]	0,05 m³/s/m **< 1,5 m³/s/100 m**	0,045 m³/s/m **4,5 m³/s/100 m**
Abflußcharakteristik		**Konzentration im Durchlaß!**	**gleichmäßige Verteilung**
	Konzentrations-faktor	*** 3 – 6** [–]	[+]
Grabenverbau		**nicht möglich** [–]	**möglich** [++]

5 Bemessung des Bouli (IV.2.5)

Für die Planung oder die Prüfung vorhandener Abmessungen eines Bouli wird hier eine einfache überschlägige Berechnung vorgestellt. Beschrieben werden die Ermittlung von Wasserbedarf und Verlusten, Abmessungen, Arbeitsaufwand und der Optimierung von Wallänge und Einzugsgebiet.

1.) Wasserbedarf

Näherungsweise wird für Mensch und Tier ein durchschnittlicher Bedarf (B) von 10 l pro Tag angenommen und daraus das erforderliche nutzbare Speichervolumen errechnet:

B = 10 l/j

B = 0,01 m³/j

Die Anzahl der Nutzer und die Kopfzahl der Tiere müssen geschätzt werden:

N = Anzahl Menschen und Tiere.

Die gewünschte Nutzungsperiode muß festgelegt werden. In der Regel sind dies mindestens 60 Tage oder 100 Tage. Anzahl der Nutzungstage P:

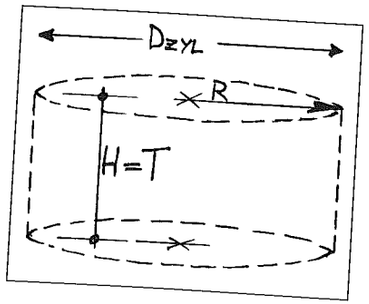
P = Anzahl der Nutzungstage [–]

Erforderliches Speichervolumen:

$$V_{nutz}\,[m^3] = N \times B \times P$$

Wasserverluste: Die Wasserverluste aus Verdunstung und Versickerung werden bei dichtem Lehmboden mit 10 mm pro Tag angenommen (die Versickerung wird dabei praktisch vernachlässigt). Aufgrund der Nutzungsperiode (P) ergibt sich daraus eine Verlusthöhe, Hv [m], die der erforderlichen Beckentiefe zuzuschlagen ist;

$$H_{verlust} = P \times 0{,}01\ m$$



2.) Bemessung

Aufgrund der meist flachen Form kann das Speicherbecken für die Berechnung in der Regel als zylindrischer Körper angenommen werden. Der Zylinder wird durch einen mittleren Durchmesser ∅ [m], sowie die mittlere Tiefe T [m] bestimmt. Zylindervolumen V_{zyl} [m³]:

$$V_{zyl} = \pi \times R^2 \times H;\quad V_{Bouli} = V_{zyl}$$

Überprüfung der Beckengröße: Beckentiefe, sowie oberer und unterer Durchmesser sind für mindestens zwei Querschnitte zu messen. Um die Abmessungen eines Zylinderkörpers von gleichem Volumen zu erhalten, erweist sich die zeichnerische Skizze auf kariertem Papier als einfachste und zugleich anschaulichste Methode: mittlerer Durchmesser und mittlere Tiefe werden als Rechteck aufgetragen (z. B. 1 Kästchen = 1 m), und der Radius in der Zeichnung abgelesen.

Das vorhandene nutzbare Speichervolumen errechnet sich aus der Nutztiefe unter Abzug der Verluste:

$$T_{nutz} = T - H_{verlust}$$

$$V_{nutz}[m^3] = \pi \times R_{zyl}^2 \times T_{nutz}$$

Das errechnete Volumen ist mit dem ermittelten Bedarf (4.1) zu vergleichen.

Berechnung der Beckengröße: Der Rechengang ist analog der Überprüfung. Über den Bedarf **($V_{nutz}[m^3]$)** und die Verluste **($H_{verlust}[m]$)** wird das erforderliche Nutzvolumen ermittelt. Für ein günstiges Verhältnis von Nutzen zu Verlusten sollte die Nutztiefe mindestens der Verlusthöhe entsprechen! (Bei einer Nutzungsperiode von 100 Tagen und Verlusten von 1,0 m sollte das Becken mindestens 2,0 m tief sein).

Zur Berechnung wird zunächst als Mindestnutztiefe die Verlusthöhe (oder die doppelte Verlusthöhe) gewählt.

$$T_{nutz} \geq H_{verlust}$$

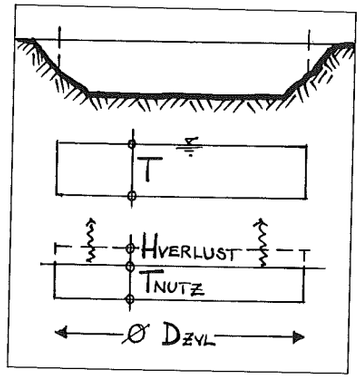
Die Zylinderfläche und der Radius sind damit bestimmt;

$$A_{zyl} = V_{nutz}[m^3]/T_{nutz}$$

$$R_{zyl} = (A_{zyl}/\pi)^{0,5}$$

die Gesamttiefe wird gebildet;

$$T = T_{nutz} + H_{verlust}$$



und das Volumen berechnet:

$$V_{Bouli}[m^3] = \pi \times R_{zyl}^2 \times T$$

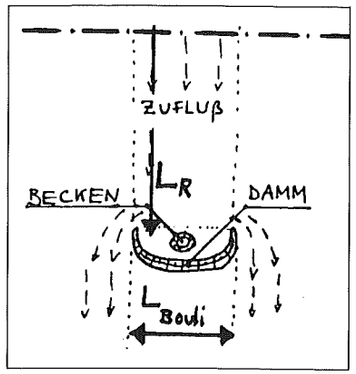
3.) Arbeitsaufwand

Die tatsächlichen Arbeitsleistungen sind sehr unterschiedlich und stark von der Motivation sowie der Ausstattung mit Grabwerkzeug abhängig. Zudem ist die Anzahl der täglichen Arbeitsstunden von Dorf zu Dorf verschieden. Unter günstigen Bedingungen kann man jedoch eine Mindestleistung von 0,50 m³ Erdbewegung pro Kopf und Tag annehmen. Als optimal kann eine Ausstattung für je 10 Arbeitskräfte mit 2 Schubkarren, 3 Schaufeln und 3 Spitzhacken angesehen werden. (Eine Eselskarre (330 l) entspricht etwa dem Volumen von 4,5 Schubkarren.) Ist weniger Material vorhanden, so ist die Arbeit umschichtig zu organisieren. Der Arbeitszeitbedarf kann durch die Annahme einer geschätzten Tagesleistung pro Kopf und Anzahl der verfügbaren Arbeitskräfte, aus dem zu bewegenden Erdvolumen, ermittelt werden.

Dauer D in Tagen:

$$D\,[j] = V_{erde}\,[m^3]/(0{,}5\ m^3/Hj \times \text{Anzahl Arbeiter})$$

Gegebenenfalls ist jetzt bei einer relativ langen Dauer zu überlegen, wie das Arbeitsvolumen verringert oder auf mehrere Jahre verteilt werden kann. (Die Annahmen und Schätzungen, die zum Ergebnis führen, sind zu überprüfen.)



4.) Optimierung

Für die Optimierung der Wallänge kann für das Wassereinzugsgebiet in vorherrschend flachem Gelände näherungsweise ein Rechteck angenommen werden (Formel 1.1). Diese Fläche läßt sich durch das Produkt der Länge des Fließweges L_R und die Länge des Erdwalls L_{Bouli} darstellen: A [m²].

$$A = L_R \times L_{Bouli};\ A\ [m^2],\ L\ [m]$$

R: Ruissellement

Ein längerer Erdwall erschließt somit ein größeres Wassereinzugsgebiet. Um eine annähernd optimale Größe zu ermitteln, müssen folgende **Ausgangswerte** bekannt sein:

a) Die Länge des Fließweges: L_R [m]. Der Fließweg ist die Entfernung des Standortes zur Wasserscheide, und er kann durch Abschreiten, Abfahren oder Schätzen bestimmt werden.

b) Das Speichervolumen: V_{Bouli} [m³]. Das Volumen wird als tatsächliches Volumen oder gewünschtes Volumen angenommen oder berechnet.

c) Die Mindest-Abflußmenge in Trockenjahren: V_{pluie} [m³/m²]. Zugrunde gelegt wird eine Abflußhöhe pro Jahr, die nur 20 mm Niederschlag entspricht (Angabe nach Orstom für kleine Einzugsgebiete und eine mittlere Niederschlagsmenge von ca. 350 mm/anno.) 20 mm = 0,02 m³/m².

$$V_R = 0{,}02\ m^3/m^2$$

Rechnung: Berechnung der idealen Größe des Einzugsgebietes, bei welcher der Speicher bei einem Flächenabfluß von 20 mm genau gefüllt wird:

$$A_{BV}\,[m^2] = V_{Bouli}\,[m^3]/V_R\,[m^3/m^2] = V_{Bouli}\,[m^3]/0{,}02\ m^3/m^2$$

Berechnung der zugehörigen Wallänge, die als Breite des Einzugsgebietes angenommen wird:

$$L_{Bouli}\,[m] = A\,[m^2]/L_R\,[m]$$

Folgerungen: Ist die erforderliche Wallänge technisch oder praktisch nicht realisierbar, so ist ein Standortwechsel zu erwägen. Bei einem deutlich zu großen Wassereinzugsgebiet sollten Maßnahmen zur Verringerung des Zuflusses getroffen werden.

Beispielrechnung für die Bemessung: Überprüfung der Relation von Speichervolumen zur Größe des Wassereinzugsgebietes für eine eventuelle Korrektur der Länge des Erdwalls. Die Wallänge beträgt 50 m.

Angaben:

Bouli:	mittlerer Durchmesser	D [m]:	D = 20 m
	mittlere Tiefe	T [m]:	T = 2 m

Einzugsgebiet: Fließweg (abgeschritten) L_R [m]: L = 800 m

Rechnung:

Das Speichervolumen:

$V_{Bouli}\,[m^3] = 3{,}14 \times R^2 \times T$;

$R = D/2 = 10\,m$

$V_{Bouli} = 3{,}14 \times (10\,m)^2 \times 2\,m = \mathbf{628\ m^3}$

Die Mindestabflußmenge:

$V_R = 0{,}02\ m^3/m^2$

Die Größe des Einzugsgebietes:

$A_{BV}\ [m^2] = V_{Bouli}\ [m^3]/0{,}02\ m^3/m^2$

$= 628\ m^3/0{,}02\ m^3/m^2 = 31.416\ m^2$

Die erforderliche Wallänge: L_{Bouli} [m]:

$\mathbf{L_{Bouli}}\ [m] = A_{BV}\ [m^2]/LR\ [m]$

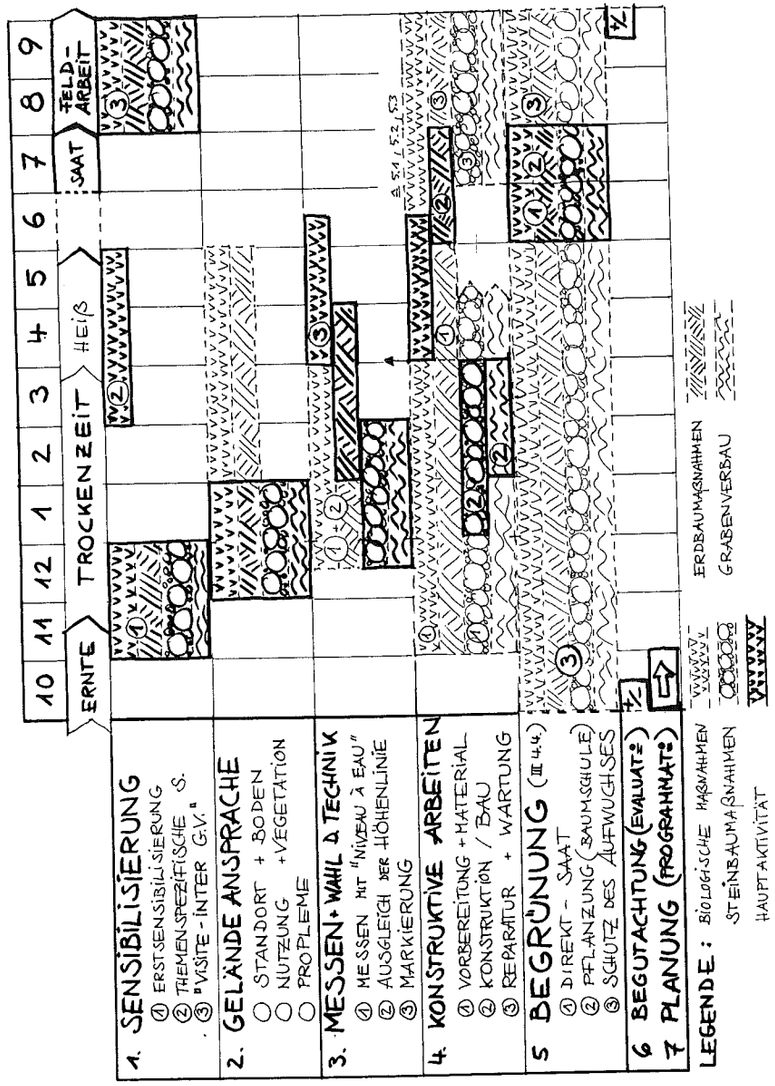
$= 31.416\ m^2/800\ m = 39{,}3\ m$

= 40 m

Folgerung: Vereinfacht stellt sich das Einzugsgebiet als Streifen von 40 m Breite und 800 m Länge dar. Die vorhandene Wallänge von 50 m müßte ausreichen, um das Speicherbecken in einem extremen Trockenjahr mindestens einmal zu füllen.

VI Annex

1 Jahresplanung



2 Dokumentation

Die abgebildeten Tabellen sind als Dokumente aus dem PAE/Sahel unverändert übernommen. Beispielhaft werden ein technisches Merkblatt (fiche technique), sowie die Dokumentation von Geländedaten und Arbeitsergebnissen dargestellt. Diese Tabellen bilden die Grundlage für die Steuerung weiterer Aktivitäten und eine kritische Bewertung der Arbeitsergebnisse (Monitoring und Evaluation).

2.1 Fiche technique: Diguette en Pierres

Projet Agro-Ecologie du Sahel PAE/S; Dori, Burkina Faso

Les étapes de confection (voir l'image)

1. La diguette doit suivre la courbe de niveau.

- Mesurer les courbes de niveau à l'aide d'un niveau à eaux (NàE). Les NàE sont à la disposition de tout les villages encadré par le CRPA du Sahel; les diguettes jusqu'à une longueur continue de 800 m ont été réalisé.
- Matérialiser les points trouvés.

2. Le besoin en pierres et en gravier varie entre 14 m³/100 m diguette et 7 m³/100 m diguette (voir annexe).

- Rassembler des pierres et du gravier.
- Transporter les pierres et le gravier avec le moyen adéquate.
- Faire les dépôts de pierres/gravier le longue de la courbe de niveau (coté amont).

3. Creuser le fossé aval

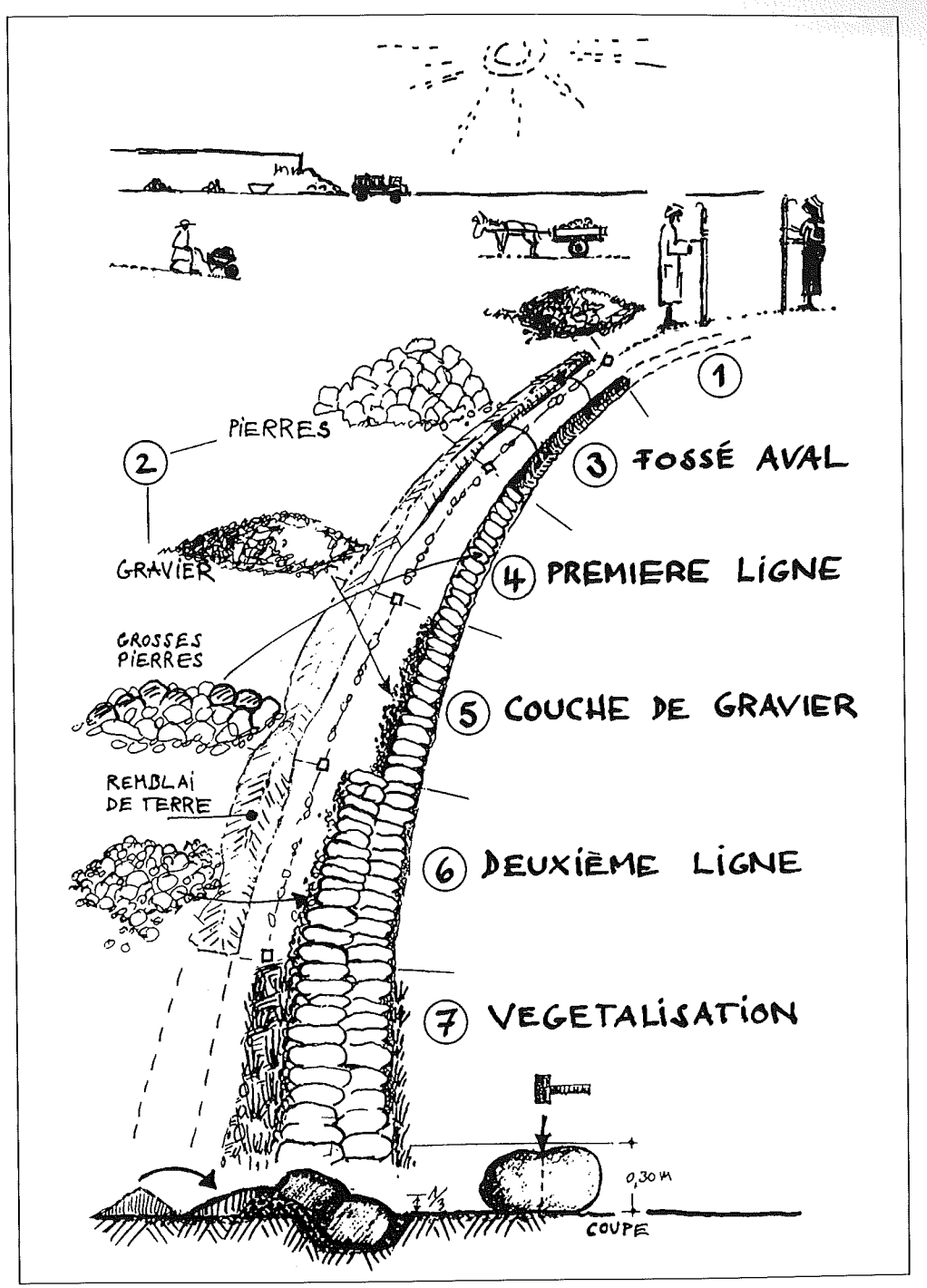
- Creuser le fossé à l'aide de la pioche/dabba et la pelle (largeur d'une pelle).
- Déposer le remblai de terre en amont de la diguette.

4. La première ligne des grosses pierres dans le fossé

- Les pierres de la taille de env. 20 cm sont à choisir et à poser sur le lit du fossé. La moitié ou deux tiers des pierres doit être enfoncée!

5. La couche de gravier

- Le fossé et les espaces entre les pierres sont à remplir avec du gravier ou des morceaux latéritiques. Des marteaux de 1-4 kg sont outil indispensable. Le gravier forme aussi la base de la deuxième ligne des pierres.



6. La deuxième ligne

- La deuxième ligne des pierres doit atteindre la hauteur prévue de la diguette. Pour atteindre la hauteur prévue la sous-construction se fait en utilisant le restant des petites pierres.

7. La végétalisation

- La végétalisation des diguettes doit amenée a une stabilisation et fixation des ouvrages en longue terme.
- Le remblai de terre est ramené envers la diguette.
- Un espace de à peut prêt 0,25 m en amont et en aval de la diguette n'est pas à cultiver.
- Le repiquage d'andropogon gayanus est recommandé au début de l'hivernage.

Autres aspects

En utilisant les mêmes elements (fossé d'ancrage en aval, déposition des pierres en pente, base avec une couche filtrante en gravier) il est possible de traiter des rigoles et des petits ravines après avoir mis en place les diguettes en pierres. La construction dans les bas-fonds et le traitement des ravines n'est pas recommandé sans étude hydraulique (bassin versant, lame d'eau déversante). La ou la construction croise un cours d'eau la confection des ailes est indispensable.

Expériences des aménagements CES au seins du CRPA Sahel

Les premiers ouvrages de CES en pierre/gravier ont été introduit dans la région dans les années 1987/88 dans le cadre des activités du Projet Agro-Ecologie du Sahel (PAE/S).

Il a été l'objectif de rechercher et améliorer les techniques déjà connues au Sahel,

- qui peuvent être maîtrisé par la population paysanne,
- qui aident à mieux exploiter les eaux de pluies par une augmentation de l'infiltration,
- qui peuvent protéger les terres cultivées contre les effets de l'érosion hydrique.

Les caractéristiques de la Région du Sahel à prendre en compte sont surtout:

- Des écoulements importants sur les sols cultivés dû à:
  1. des grandes superficies des bassins versants par rapport aux superficies cultivées,
  2. des pluies de grande intensité et
  3. une couche végétale protectrice moins développée.

- La manque d'humidité continue dû à une pluviométrie très mal répartie constitue le plus grand goulot d'étranglement de la production agricole et de la sécurité alimentaire au Sahel.

Les aménagements en pierre type 'cordon pierreux' ont été testé au Sahel avec moins de succès. La construction des cordons laisse des espaces à la base de l'ouvrage qui le rendent semi-perméable. Les eaux sont ralenties et étalées sur les superficies traitées et l'ouvrage ne provoque pas une stagnation nuisible des eaux. Cela est important pour la zone sudanienne.

Par contre dans la zone sahélienne une augmentation maximale de l'infiltration est cherché et il se posent guère des risques de stagnation nuisible des eaux. En plus de cela l'écoulement élevé sur des sols très érodibles cause facilement un détachement des pierres qui ne sont pas enfoncées.

A partir de ces constats l'étude hydrologique a mené les intervenants au Sahel à un autre type d'ouvrage qui est appelé **Diguette en Pierres**. Elle réunit l'avantages du cordon pierreux avec une rétention élevée des eaux et sa résistance aux fortes écoulements.

Seul pendant la campagne d'aménagement 1992-93 plus que 1600 ha ont été traité dans la région du Sahel avec l'appui du PAE/S.

Besoin en pierre/gravier pour la confection d'un cordon pierreux et d'une diguette

Type d'ouvrage	hauteur en cm	largeur base en cm	pente aval	ecartement standart en m	m longuer/ m^3	m^3/ 100m	m^3/m longuer
Cordon pierreux	20	30	néant	25–30	20	5	0,05
Diguette simple	20–25	60	1:1	40–50	14	7	0,07
Diguette standart	25	75	1:2	50	7	14	0,14
Diguette bas-fonds	20	60	1:3	–	3,3	30	0,3

2.2 Fiche de suivi, Tableau récapitulatif

Village/Quartier: _____
An: 19____/____ UEA: _____

Tableau récapitulatif
Lutte Anti-Erosive

PAE du Sahel, B.P.97, Dori
Fiche de Suivi No. 5

Maitre d'œuvre collectif = c individuel = i ramassage = ra, transport = tr, mesure topo = me, construction = co	Date de suivi	Localisation du site			Traitement mecanique				Traitement biologique		Investissement		Obvservations et remarques sur la degrée de maitrise technique et l'organisation sociale
		amont du champ	au champ	autre	diguette en terre m	diguette en pierre m	dever-soir m	Zai ha	Bande de vege-tation m	Vegetali-sation des diguettes m	Homme/ jours	Camion m^3	

2.3 Fiche de suivi, Site d'ouvrage

Village/Quartier: _____
UEA: _____

Lutte Anti-Erosive:
Site d'ouvrage

PAE du Sahel, B.P.97, Dori
Fiche de Suivi No. 6

Gemorphologie: bas fonds [ ], plaine [ ], dune ancienne [ ], dune récente [ ]
Type de sol doninant: argileux [ ], limoneux [ ], sablo-limoneux [ ], sableux [ ]
Pente: faible < 1% [ ], mediocre 1–2% [ ], forte > 2% [ ]
Utilisation: jardin [ ], paturage [ ], champ [ ],
Dégats de l'erosion: en nappe [ ], en rigole [ ], ravinement [ ],
Vegetation naturelle: dense [ ], affaibli [ ], dénudé [ ],

Bassin versant: _____km^2
Debit max.: _____m^3 (10 ans) _____m^3 (25 ans)
Excavation: _____m^3 details: _____
> culture: _____

> details: _____

Année	**Maitre d'œuvre** (Nom d'individu/ Groupe de travail/ Groupement villageois	Type d'jouvrage	Mesures				Homme-jours		Camion		Observations et remarques sur la degrée de maitrise technique, l'organisation sociale, des mesures accom-pagnants et l'entretien
			long. m	larg. m	haut. m	volume totale m^3	Hommes Nbr. en moyen	Jours Nbr. totale	m3	jours	

3 Abkürzungen

Organisationen, technische Dienste, Projekte

ACP	Action des Cooperatives Paysannes
CIEH	Comité Interafricain d'Études Hydrauliques
CRPA	Centre Regional de la Promotion Agro-Pastorale
DED	Deutscher Entwicklungsdienst
DPET	Direction Provinciale de l'Environnement et du Tourisme
FEER	Fonds de l'Eau et de l'Equipement Rural
GRAAP	Groupe de Récherche et d'Appui pour l'Autopromotion Paysanne; ONG
GTZ	Gesellschaft für technische Zusammenarbeit
ORD	Organisation Régionale du Dévelopement
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (Ouagadougou)
PAE	Projet Agro Ecologie
PEF	Projet-Economie-Familiale
PSB	Programme Sahel Burkinabé
SAER	Service de l'Aménagement de l'Espace Rural

Attribute

hy	hydraulique
m	moyen
max	maximal
pluie	Regen
R	Ruissellement
Ret	Retention
St	Strickler
dev	Überlauf

Einheiten

mm	Millimeter
m	Meter
m^2	Quadratmeter
ha	Hektar
m^3	Kubikmeter
l	Liter
s	Sekunde
min	Minute
h	Stunde
%	Prozent

Größen/Kürzel

	Einheit	Französisch	Deutsch
1:m	[/]	pente/berge *(f)*	Böschungsneigung
A	[m^2, ha]	superficie *(f)*	Fläche
a, b, d	[m, km]	distance *(f)*	Länge/Strecke
b, l	[m]	base *(f)*	Breite, la largeur
B.V.	[ha]	bassin versant *(m)*	Wassereinzugsgebiet
H	[m]	l'hauteur *(f)*	Höhe
ΔH	[m]	différence de niveau *(f)*	Höhenunterschied
I	[mm/h]	l'intensité de pluie *(f)*	Regenintensität
$\mathbf{I_R}$	[m/m, %, ‰]	pente du ruissellement *(f)*	Fließgefälle
$\mathbf{K_R}$	[–]	coefficient de ruissellement *(m)*	Abflußvolumen
$\mathbf{K_{St}}$	[–]	coefficient de rugosité *(m)*	Beiwert der Rauhigkeit
$\mathbf{L_R}$	[m]	distance de ruissellement *(f)*	Fließweg
N	[–]	nombre *(m)*	Anzahl
P	[1mm=1l/m^2]	pluie *(f)*	Regen (Niederschlag)
Q	[m^3/s]	débit *(m)*	Abfluß
q	[m^3/(s × m)]	debit par metre *(f)*	Abfluß pro Meter
$\mathbf{q_{pluie}}$	[l/(s × ha)]	débit de pluie *(m)*	Regenspende
$\mathbf{q_R}$	[l/(s × ha)]	débit par ha *(m)*	Abflußspende
$\mathbf{R_{hy}}$	[$m^{1/3}$]	rayon hydraulique *(m)*	hydraulischer Radius
T	[s, min, h]	temps *(m)*	Zeit/Dauer
T	[m]	profondeur *(f)*	Tiefe
U	[m]	circonference hydraulique *(f)*	benetzter Umfang
v	[m/s]	vitesse *(f)*	Geschwindigkeit
$\mathbf{V_R}$	[m^3]	volume de ruissellement *(m)*	Abflußvolumen
$\mathbf{V_{Ret}}$	[m^3]	volume de rétention *(m)*	Rückhaltevolumen

4 Begriffe Deutsch-Französisch

Deutsch	Französisch	Definition
Abfluß	débit	strömende Wassermenge pro Zeiteinheit
Abflußfaktor (-koeffizient)	taux de ruissellement	Quotient aus Niederschlags- und Abflußhöhe
Alte Düne	dune ancienne	
Anbauflächen	lieux de culture	
Auskolkung	affouillement	durch hohe Wassergeschwindigkeit verursachte ausgeprägte örtliche Erosion oder Vertiefung an Wasserbauwerken
Auswaschung von Nährstoffen	lessivage des éléments nutritives	
Baumweide	pâturage aeréenne	
Blocksteinrampe	(etwa: *rampe hydrique* à moëllons libres)	in Österreich entwickelte, einer natürlichen Stromschnelle nachempfunde Verbauweise für Wildbäche mit unverbundenen Steinen
Bodenfruchtbarkeit	productivité	
Bodenverarmung	dégradation du sol	
Bouli		im burkinischen Sahel benutzter Begriff für ein kleines Staubecken für den Rückhalt von abfließendem Regenwasser
Brache	jachère	
Daueranbau	culture permanente	
Deflation	déflation	durch Wind ausgelöste Erosion
Erosion, rückschreitende	érosion régressive	
Erosionsgraben	rigole	
Erosionsrinne	ravine	im westafrikanischen Französisch benutzter Ausdruck für Erosionsrinne, eigentlich: kleine Schlucht
Feldansprache	étude de terrain	Beurteilung eines Standortes durch sinnliche Wahrnehmung (ohne Hilfsmittel)

Ferralitisierung	ferralitisation	durch Silikatauswaschung entstandene Konzentration von Eisen und Manganoxyden in einem bestimmten Horizont des Bodens, der zu dessen „Verbackung" führt
Filterschicht	couche filtrante, tapis filtrant	Schicht aus verschiedenen Lagen Sand und Kies, die auf Grundlage der Filterregel ein Auswaschen von Boden unter einem Wasserbauwerk verhindert
Flächenerosion	érosion en nappe	
fruchtbarer Oberboden	couche arable du sol	
Furt	radier	sohlgleiche, in der Regel befestigte Querung eines Wasserlaufes o.Tales
Gabionen	gabion	Steindrahtkästen; mit Bruchsteinen gefüllte Drahtkästen, die im Wasserbau oder der Hangsicherung Verwendung finden; auch als Drahtschotterkästen
Geländegefälle	pente du terrain	
Geländetypen	types de terrain	
Geschiebetransport	charriage	Transport von Feststoffen über der Fließgewässersohle
Gewitterregen	orage	
Glacis-Fläche	clairiaire, glacis	vegetationsfreie oberflächlich verkrustete Fläche
Graben-Rinnenerosion	ravinement	international: Gully-Erosion, bezeichnet große und tief eingeschnittene Erosionsgräben
Grabenerosion	érosion en rigole	
Gräser; einjährig, mehrjährig	herbes annuels, perennes	
Grasweide	pâturage herbacé	
Hirse	mil	
Hochebene	haute plaine	
Höhenlinie	courbe de niveau	
Infiltrationsvermögen	perméabilité	Versickerungseigenschaft eines Bodens

Jäten	sarclage	
junge Düne	dune récente	
Kleine Wälle	diguettes	nach Höhenlinien ausgerichtete Wälle aus Bruchsteinen oder Erde zur Reduzierung der Flächenerosion
Kohäsion	cohésion	Zusammenkleben von Partikeln „bindigen" Bodens durch die Oberflächenspannung des im Boden enthaltenen Wassers
Kolbenhirse	petit mil	
Kolk	affouillement	durch turbulenten Wasserabfluß ausgespülte Vertiefung im Boden, auch bei Abstürzen als natürliches Tosbecken
Kompostierung	compostage	
Konzentrationszeit	temps de concentration	Zeitdauer zwischen dem Beginn und dem Maximum eines Abflußereignisses an einem beobachteten Punkt
Laterit	latérite	
Lateritkruste	cuirasse latéritique	Endzustand der Ferralitisierung; harte, tiefrote Kruste
Lateritplateau	plateau latéritique	
Lebendhecke	haie vive	
Lehmboden	sol argileux	
Mischfruchtanbau	association des cultures	
Mist	fumier	
Monokultur	monoculture	
Mulchen	paillage	Abdeckung der landwirtschaftlich genutzten Flächen z.B. durch Stroh (frz.: paille)
Nachtpferch	parc de nuit	
Niébébohne	haricot niébé	wichtigste Leguminose im Mischfruchtanbau mit Hirse
Oberflächenabfluß	écoulement	
Oberhang	haute pente	

Oued	Oued (arab.:)	Trockenwasserlauf, der nur bei Regenereignissen Wasser führt
Rauhe Sohlgleite		in etwa „Blocksteinrampe"
Rispenhirse	sorgho	
Runse	ruisselet	kleines Rinnsal auf landwirtschaftlich genutzter Fläche
Sand	sable	Boden der Korngrößen 0,063 – 2,0 mm
Schädlingsbefall	envahissement par parasites	
Schluff	limon	feinkörniger, bindiger Boden im Korngrößenbereich zwischen 0,002 mm und 0,063 m
Schub- oder Schleppspannung	force tractrice	durch Wasser oder Wind auf einzelne Bodenpartikel ausgeübte, flächenbezogene „Kraft"
Schutz der natürlichen Verjüngung	protection des répousses naturels	
Schwemmfächer	alluvionnement	im Grundriss einem Fächer ähnelnde Form einer Auflandungsfläche
Schwemmlandboden	sol alluvial	Boden der Niederungen und Talauen, der durch vom Wasser transportierte Sedimente entsteht
Sickerdamm	digue filtrante	quer zu Wasserläufen angelegtes Erosionsschutzbauwerk aus Bruchsteinen
Staunässe	eau stagnante	
Stecklinge, Stecklingsvermehrung	bouture, bouturage	
Suspensionstransport		schwebender Feststofftransport kleinster Partikel (Tone etc.)
Süßkartoffel	patate douce	
Talaue	bas-fond	abflußführende Talauen, Niederung
Tiefenerosion		die Eintiefung der Sohle von Wasserläufen/ Erosionsgräben
Ton	argile	Boden der Korngrößen < 0,002 mm

Tosbecken	bassin de dissipation	hydraulischen Absturzbauwerken (Wehre, Sohlstufen etc.) unterwasserseitig nachgeordnetes Becken zur Umwandlung von kinetischer Energie in unschädliche Bewegung/ Reibung (=Tosen) zum Schutz des Bauwerks
Überlauf	passage des eaux excédentaires	
Überschußwasser	eaux excédentaires	
Überschwemmung	submersion	
Überweidung	surpâturage	
Unkraut	herbe, mauvaise herbe	
Unterhang	bas-pente	
Vegetationsbänder	bandes de végétation	Erosionsschutzmaßnahme, vorwiegend aus Gräsern bestehend
Verschlämmung	colmatation	
Viehtriebweg	passage d'animaux	
Wahrscheinlichkeit	probabilité	statistischer Wert für die Auftrittshäufigkeit eines Ereignisses; Kehrwert des Wiederkehrintervalls
Wasserabfluß	ruissellement	
Wasseraufnahmevermögen	capacité d'infiltration	
Wassereinzugsgebiet	bassin versant	= Einzugsgebiet
Wasserscheide	ligne de partage des eaux	Grenze des Wassereinzugsgebiets; führt immer entlang der höchsten Geländepunkte
Wasserspeicherkapazität	capacité de stockage d'eau	
Wasserspeicherung	stockage d´eau	
Winderosion	érosion éolienne	
Windschutzhecke	brise vent	

5 Literatur

Autor	Titel; Auflage, Ort, Jahr	Stichwort, Hinweise
1. **Berton,** S.	La Maîtrise des Crues dans les Bas-Fonds, Le Point Sur, Paris 1988	**Wasserbau, Abflußberechnung;** vereinfachte Darstellung.
2. **Blind** (Hrsg)	Bericht Nr. 41 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Obernach bei München 1979	**Wasserbau, Blocksteinrampe** von Jost Knauss.
3. **Boulet,** R.	Topséquences des Sols Tropicaux en Haute Volta, Paris 1978	**Böden** in Burkina Faso, Standardwerk
4. **Bretschneider,** K. u. A., (Hrsg.)	Taschenbuch der Wasserwirtschaft; 6. Auflagen Hamburg 1988	**Wasserwirtschaft**
5. **Brunet-Moret,** Y.	Etude génerale des Averses Exceptionnelles en Afrique occidentale, Ouagadougou 1963	**Hydrologie,** Beziehung Niederschlagshöhe zu -dauer in Westafrika; CIEH
6. **Buzingo,** E.	Evaluation des Programmes de Lutte Contre l'Erosion Réalisés dans le Sahel Burkinabé, Ouagadougou, 1990	**Erosionsschutz** Projektbericht (Bkf/87/052), Ministère de l'Eau
7. **Chleq,** J.L. & **Dupriez,** H.	Eau Et Terres En Fuite, Collection Terres Et Vie Harmattan/Enda 1984	**Erosionsschutz,** praktische Anleitungen
8. **Chri,** R.	L'Etat Actuel de la Conservation des Eaux et du Sol dans le Sahel. In: Documents de Base Rencontre Régional de Ségou sur la Gestion des Terroirs Villageois du Sahel. Ségou 1989	**Erosionsschutz** (Autor ist tätig an der Freien Universität Amsterdam)
9. **DVWK** (Hrsg)	Multilingual Technical Dictionary On Irrigation And Drainage; Bonn 1983	**Fachwörterbuch,** Definitionen in Deutsch-Englisch, Begriffe auch in Französisch und Spanisch
9a. **Engelberg,** W.	Fiches de Suivi, Fiches Techniques, PAE/S, Dori 1991 – 1994	

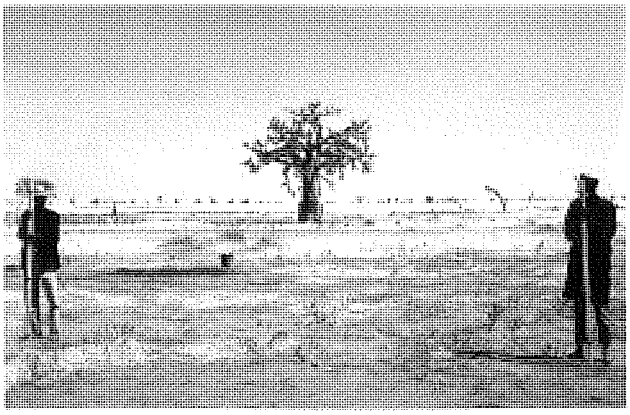
10. **GTZ** Abt. 402	Hinweise auf Schlüsseldokumente für die Anwendung von Beteiligungs- und Selbsthilfeansätzen im Ressourcenmanagement; Bonn 1994	**Basistext;** Pilotvorhaben Ressourcenschutz über Selbsthilfeansätze
11. **Gueye,** B.+K. Schoonmaker Freudenberger	Introduction à la méthode accelerée de recherche participative (MARP), London 1991	Partizipative **Methoden der Erhebung und Planung** (International Institute for Environment and Development IIED)
12. **Krings,** T.	Kulturgeographischer Wandel in der Kontaktzone von Nomaden und Bauern im Sahel von Obervolta, Institut für Geographie und Wirtschaftsgeographie der Universität, Hamburg 1980	**Basistext** für die Region Sahel, Burkina Faso
13. **Lange,** G. & **Lecher,** K.	Gewässerregelung, Gewässerpflege; naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern; 2. Auflage, Hamburg/Berlin 1989	**naturnaher Gewässerausbau**
14. **Lecher,** K., u. a.	Wasserwirtschaft- Umwelt in den Tropen und Subtropen; Hannover 1989	Ermittlung des **Bodenabtrages;** Fernstudienmaterial zum Kurs VW17 der Universität Hannover
15. **Maniak,** U.	Hydrologie und Wasserwirtschaft; Berlin/ Heidelberg/ New York 1988	Grundlagen für **Hydrologie** und Wasserwirtschaft mit hohem Anspruch an vorhandene Kenntnisse
16. **Matz,** M. & **Lüdemann,** F.	Tiefenerosionsschutz in semi-ariden Gebieten; Berlin 1993	Stabilisierung von **Erosionsrinnen, Abflußberechnung,** DED-Dokumentation, Aus der Praxis 4/93
17. **Müller-Sämann,** K.	Bodenfruchtbarkeit und standortgerechte Landwirtschaft; Eschborn 1986	Untersuchungen über Maßnahmen + Wirkungen des biologischen Ressourcenschutzes; GTZ

18. **Ouedraogo,** T.	Les Systemes de Production dans le Sahel Burkinabé, Ouagadougou 1991	Daten zur Region
19. **Puech,** C. & **Chabi-Gonni,** D.	Méthode de Calcul des Débits de Crue Décennale pour les Petits et Moyens Bassins Versants en Afrique de l'Ouest et Centrale; Ouagadougou 1984	**Abflußberechnung** für kleine Einzugsgebiete anhand umfangreicher empirischer Untersuchungen; CIEH
20. **Réseau Récherche Developpement**	Groupe Gestion de Terroirs: Gestion de terroirs, des solutions aux problémes identifiés par les opérateurs de terrain. Des idées des pistes et quelques solutions, Paris 1993	**Landnutzungsplanung;** Dossiers GRET
21. **Ribstein,** P. & **Rodier,** J.	Fortes crues des petits cours d'eau du sahel , Forme de l'hydrogramme; in: Série Hydrologique Vol 4, N°1. S. 33-47 ff., Paris 1989	**Abflüsse** kleinster Einzugsgebiete, ORSTOM
22. **Rochette,** R. (Hrsg)	Le Sahel en Lutte contre la Désertification; Weikersheim 1989	**Grundlagen,** Praktische Erfahrungen, Bibliographien, Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS)
23. **Rodier,** J. & **Auvray,** C.	Estimation des débits de crues decennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km^2 en Afrique Occidentale; Ouagadougou 1965	**Abflußberechnung;** kleiner Einzugsgebiete im Sahel; ORSTOM oder CIEH in Ouagadougou
24. **Rogg,** R.	Contribution à L'Etude sur la Foresterie au Sahel Burkinabé; Dori 1990	Ministère de l'Environnement et du Tourisme, Burkina Faso
25. **Rogg,** R.	Standorte und ihre Desertifikationsproblematik in der Region Sahel; Dori 1989	unveröffentliches Dokument; PAE- Dori
26. **Roose,** E.	Erosion et Ruisellement en Afrique de L'Ouest", Paris 1977	ORSTOM

27. **Schneider,** K. (Hrsg.)	Bautabellen; 9. Auflage Düsseldorf 1990	Tabellenbuch für das Bauingenieurwesen, **wasserbauliche Formeln** und Berechnungsmethoden.
28. **Schönhuth,** M. & **Kievelitz,** U.	Partizpative Erhebungs- und Planungsmethoden in der Entwicklungszusammenarbeit: Rapid Rural Appraisal – Participatory Appraisal; Eschborn 1993	Partizipative **Methoden der Erhebung und Planung,** Schriftenreihe der GTZ
29. **Schoonmaker,** K.	Tree and land tenure. Rapid appraisal tools; Rom 1994	Partizipative **Methoden der Erhebung und Planung,** FAO (Community Forestry Field Manual 4)
30. **Toulmin,** C.	Gestion de terroirs. Principles, first lessons and implications for action. Discussion paper prepared for UNSO; London 1993	**Landnutzungsplanung;** UNSO, Drylands Programme, IIED
31. **Vlaar,** J. (Hrsg)	Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel; Wageningen 1992	**Erosionsschutz,** Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH)
32. **Wibbe-Rogg,** B.	Neuerungsverbreitung und Sensibilisierung; Dori 1989	**Sensibilisierung,** unver öffentlichtes Dokument; PAE-Dori
33. **Wittenberg,** H.	Bemessungshochwasser von kleineren Einzugsgebieten in Westafrika; in Wasserwirtschaft Nr.68 (1978), S. 133 ff.	**Abflußberechnung;** Beschreibung einer einfachen, programmierfreundlichen Methode in Anwendung auf die Region Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
34. **Wright,** P.	La gestion des Eaux de Ruissellement. London 1984	**Erosionsschutz,** publiziert bei OXFAM

VII Register

Margraf Verlag



Das vorliegende Handbuch stellt Maßnahmen zur Bekämpfung der Wassererosion im Sahel vor und beschreibt ihre praktische Anwendung in bäuerlicher Selbsthilfe. Mit detaillierten Darstellungen und vielen Illustrationen wendet es sich an Beraterinnen und Berater unterschiedlicher Fachrichtungen.

Das Konzept der Erosionsbekämfung geht auf überlieferte Techniken der Region zurück und wurde gemeinsam mit Bauern in der Praxis entwickelt und erprobt. Vor allem biologische Maßnahmen sind gebräuchlich, während sich die „modernen" Techniken des Erdbaus und Steinbaus aus dem mechanischen Erosionsschutz und dem Wasserbau entwickelt und in der Region bewährt haben.

ISBN 3-8236-1252-2