

Entwurf und Anlage von Erosionsschutzgräben im kleinbäuerlich strukturierten Machakos Distrikt von Kenia

Design and construction of storm water drains in the smallholder farming district of Machakos, Kenya

Von Michael A. Zöbisch*)

1. Einführung

Mit 23 Einwohnern/km² ist Kenia ein scheinbar dünn besiedeltes Gebiet mit hinreichenden Landressourcen für eine stark expandierende Bevölkerung. Berücksichtigt man jedoch, daß von der Landfläche Kenias nach Heyer (1976) nur ca 7% als gut geeignet für die landwirtschaftliche Nutzung angesehen werden können und daß weitere 4,5% begrenzt nutzbar für den Ackerbau sind, wird deutlich, daß ackerbaulich nutzbarer Boden in Kenia ein äußerst knapper Produktionsfaktor ist.

Seit der Kolonialzeit (Mitte der 20er Jahre) wird in den dichter besiedelten Gebieten Kenias daher dem Erosionsschutz besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Schon damals erkannte man die Notwendigkeit, den Boden vor Erosion zu schützen und langfristig diesen, Kenias wichtigsten Produktionsfaktor einer rasch wachsenden Bevölkerung zu erhalten.

Hinsichtlich des Erosionsschutzes fanden besonders die Gebiete mit ungünstigen Niederschlagsverhältnissen erhöhte Aufmerksamkeit. Hohe Niederschlagsintensitäten in Zusammenhang mit spärlich entwickelten Vegetationsdecken und falscher Landnutzung leisten hier der Bodenerosion Vorschub.

Zu diesen Gebieten zählt auch der Machakos Distrikt. Ab Mitte der 70er Jahre wurden besonders in diesem Distrikt erneut größere Anstrengungen unternommen, Erosionsschutzmaßnahmen in größerem Umfang durchzuführen.

*) Michael A. Zöbisch, Ing. agr. trop., MSc; Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Fachbereich Internationale Agrarwirtschaft der Gesamthochschule Kassel.
Anschrift: Steinstraße 19, D 3430 Witzenhausen 1, Deutschland

Für die Dienststellen, die mit der Bodenerhaltung und dem praktischen Erosionsschutz beauftragt sind, stellt sich der Mangel an Fachpersonal als ein wesentliches Problem dar. Dies traf und trifft besonders für die Lösung der kulturtechnischen Planungs- und Entwurfsaufgaben zu. Da die durchzuführenden Erosionsschutzmaßnahmen keinen Aufschub zuließen, mußten Mittel und Wege gefunden werden, die Arbeiten mit dem verfügbaren Personal, d. h. den technisch nicht vorgebildeten Agrarberatern durchzuführen. Ferner zeigte sich schon bald, daß das notwendige Bauvolumen die Finanzkraft des Staates weit übersteigen würde. Auch hier mußte ein Weg gefunden werden, der schnell und wirkungsvoll zum Ziele führt, den Staat zudem weitgehend finanziell entlastet.

Außerdem sollte die Landbevölkerung dazu angeregt werden, vermehrt an den notwendigen manuellen Arbeiten zum Erosionsschutz teilzunehmen. Dabei wurde das bei den im Machakos Distrikt ansässigen Wakamba traditionell verbreitete Selbsthilfe-System (Mwethya) ausgenutzt. Viele kulturtechnische Erosionsschutzmaßnahmen, wie Terrassierungen und Oberflächenentwässerungen wurden so in Selbsthilfe durchgeführt.

Bei dem enormen Bedarf an solchen Maßnahmen ist die Einbeziehung der lokalen Selbsthilfe zwar ein relativ langsames aber auch kostengünstiges Unterfangen, da keine Lohn- und Maschinenkosten entstehen. Hinzu kommt ein gewisser erzieherischer Effekt, Hilfe nicht nur passiv zu empfangen, sondern aktiv und kreativ an der Lösung von drängenden Problemen teilzunehmen und so Zuversicht, Verantwortungsgefühl und einen gewissen Stolz über das Erreichte zu entwickeln.

2. Bedeutung und Eigenschaften von Erosionsschutzgräben in Machakos

Eine der wichtigsten kulturtechnischen Maßnahmen zum Schutz des Ackerlandes vor Erosion in Machakos sind hangparallele Fanggräben, sogenannte Erosionsschutzgräben. Sie schirmen die ackerbaulich genutzten Flächen vor dem Zufluß von Oberflächenabfluß aus oberhalb gelegenen Bereichen ab. Es sind im Prinzip Entwässerungsgräben, die so bemessen sein müssen, daß Spitzenabflußwerte abgeleitet werden können. Sie werden quer zum Hanggefälle angelegt, so daß das oberflächlich abfließende Niederschlagswasser ungehindert einfließen kann. Zur Vergrößerung des effektiven Grabenquerschnitts und zur Erzielung eines ausreichenden Freibordes wird der Aushub auf die talwärts gelegene Grabenseite aufgebracht (s. Abb. 1). Bei der Grabenführung im Gelände wird darauf geachtet, daß im Verlauf des Grabens selbst oder am Auslaß in den Vorfluter keine Erosion durch fließendes Wasser entsteht. Besondere Aufmerksamkeit ist in diesem Zusammenhang der Böschungsbefestigung zu widmen.

In Gebieten, in denen die natürliche Ansiedlung von Gräsern erfahrungsgemäß nur spärlich ist und sich keine geschlossene, widerstandsfähige Narbe bildet, müssen die Grabenprofile systematisch mit Gräsern bepflanzt werden bzw. eine Rasensaat erfolgen. Hierzu sind lokale ausdauernde Gräser am besten geeignet.

Geeignete natürliche Vorfluter sind im allgemeinen Trockenflußbetten, gut bewachsene Senken, in denen das Wasser bis zum Flußbett ablaufen kann oder einfach dichtes Gras- oder Buschland, das entsprechende Wassermengen ohne zu erodieren

ren aufnehmen kann. Sind diese Möglichkeiten nicht gegeben, dann muß ein künstlicher Vorflutgraben angelegt werden, um die Ableitung der anfallenden Wassermengen zum Flußbett zu gewährleisten.

Dabei handelt es sich in Abhängigkeit vom Geländegefälle sowie der Sohlen- und Böschungsbeschaffenheit entweder um Schußgerinne oder Kaskadensysteme.

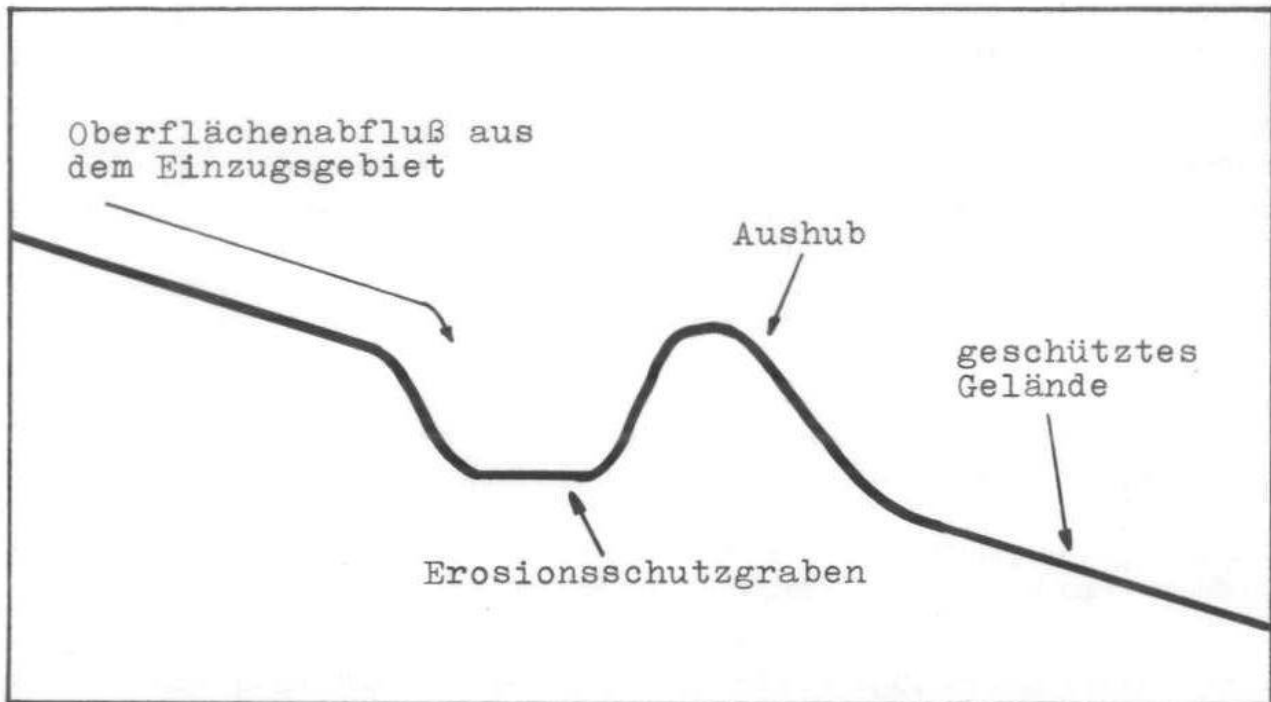


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines in Machakos gebräuchlichen Erosionsschutzgrabens im Querprofil.

Die primäre Aufgabe eines Erosionsschutzgrabens ist es, den anfallenden Oberflächenabfluß sicher abzuleiten. In Gebieten mit unzureichenden Niederschlägen kann es sinnvoll sein, zumindest Teile des anfallenden Abflusses am abfließen zu hindern und in den Boden infiltrieren zu lassen. Dieses Prinzip wird in Machakos zunehmend angewendet. Erreicht wird dies durch die Ausstattung der Gräben mit einfachsten Stauanlagen. Es handelt sich hier um quer zur Grabenachse angelegte Erdwälle, die ungefähr den halben Querschnitt des Grabens einnehmen und in Abständen von etwa 30–50 m angeordnet sind. Der Abfluß bei geringen Niederschlagsereignissen wird so völlig und bei mittleren bis hohen Niederschlagsereignissen teilweise durch diese Stauanlagen zurückgehalten. Bei größeren Abflußmengen werden diese Stauanlagen überströmt bzw. durch den Wasserstrom, d. h. durch das Auftreten einer hohen Schleppspannung zerstört. Sie müssen dann zwar neu errichtet werden; aber so ist gesichert, daß die Gräben auch bei maximalen Abflüssen ihre Funktion erfüllen können. Steuerbare Stauanlagen, wie die teilweise bei der Grabenentwässerung üblichen Kulturstau, sind hier nicht angebracht, da deren ordnungsgemäße Steuerung nicht gewährleistet ist.

3. Entwurf und Planung von Erosionsschutzgräben in Machakos

Die Planung der Erosionsschutzgräben umfaßt

- Trassenführung
- Ermittlung des Ausbauabflusses
- Querschnittsbemessung der Gräben

Da für die Planung und den Entwurf der Erosionsschutzgräben kein kultur- bzw. bautechnisch vorgebildetes Personal zur Verfügung steht, die zwingend notwendigen hydraulischen Berechnungen und Begutachtungen vorzunehmen, müssen diese Aufgaben folglich von Agrarberatern vor Ort durchgeführt werden. Es können deshalb nur einfach anzuwendende Planungs- und Entwurfsmethoden angewendet werden. Zur Ermittlung des Ausbauabflusses, d. h. des Abflusses, der dem Ausbau des jeweiligen Grabens rechnerisch zu Grunde gelegt wird, hat sich in Machakos das empirische Berechnungsverfahren zur Vorausschätzung des Oberflächenabflusses nach COOK (Hudson, 1981) bewährt. Die Querschnittsbemessung erfolgt nach DURBACH (Hudson, 1981). Beide Berechnungsverfahren wurden speziell für Süd- und Ostafrika entwickelt bzw. modifiziert.

3.1. Vorausschätzung des Oberflächenabflusses nach COOK

Das von COOK entwickelte Verfahren zur Vorausschätzung des Oberflächenabflusses war ursprünglich auf US-amerikanische Verhältnisse zugeschnitten. HUDSON modifizierte es für süd- und ostafrikanische Bedingungen (Hudson, 1981).

Das Verfahren sieht als ersten Schritt eine einfache Beurteilung verschiedener Eigenschaften des Einzugsgebietes vor, durch die das Aufkommen von Oberflächenabfluß entscheidend beeinflusst wird, wie Boden, Bodenbedeckung und Geländegefälle (siehe Tab.1).

Tabelle 1: Ermittlung des Einzugsgebieteswertes (EW)*

Bodenbedeckung	Wert A	Boden und Entwässerungseigenschaften	Wert B	Durchschnittliches Geländegefälle	Wert C
Dichte Grasdecke	10	tiefe, gut entwässernde Böden	10	sehr flach bis mäßig (0 - 3 %)	5
Busch oder mäßige bis mittlere Grasdecke	15	tiefe, mittel-mäßig durchlässige Böden	20	mäßig (3 - 5%)	10
Kultivierte Fläche	20	Böden mäßiger Durchlässigkeit und Tiefe	25	wellig bis hügelig (5-10%)	15
unbedeckt oder stark erodiert	25	Flache Böden mit erschwerter Entwässerung	30	hügelig bis steil (10 - 30 %)	20
		Mittelschwere Tone oder steinige Oberflächen	40	steil (> 30 %)	25
		Undurchlässige Oberflächen und verhärtete Böden	50		

* Einzugsgebieteswert (EW) = Wert A + Wert B + Wert C

Diesen Einzelmerkmalen sind laut Tab. 1 je nach Beschreibung Zahlenwerte zugeordnet, deren Summe den sogenannten Einzugsgebietswert (EW) ergibt. Dieser Einzugsgebietswert stellt das relative Abflaufkommen dar. Je höher der Wert ist, um so größer ist der zu erwartende Abflauf. Auf die direkte Einbeziehung von Niederschlagsdaten in das Verfahren wird bewußt verzichtet, da solche Informationen unter den Bedingungen der Entwicklungsländer erfahrungsgemäß oft nicht oder nur sehr unvollständig zur Verfügung stehen.

Mit Hilfe der Tabelle 2 wird dann der zu erwartende Ausbauabflauf in erster Annäherung anhand des jeweiligen Einzugsgebietswertes (EW) und der Größe des Einzugsgebietes ermittelt.

Tabelle 2: Spitzenabflauf kleinerer Einzugsgebiete (erste Annäherung) in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

EW F	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
10	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.4	2.8	3.2	3.7
15	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.4	2.9	3.4	4.0	4.6	5.2
20	0.6	1.0	1.4	1.8	2.2	2.7	3.2	3.8	4.4	5.1	5.8	6.5
30	0.8	1.3	1.8	2.3	2.9	3.6	4.4	5.3	6.3	7.3	8.4	9.5
40	1.1	1.5	2.1	2.8	3.5	4.5	5.5	6.6	7.8	9.1	10.5	12.3
50	1.2	1.8	2.5	3.5	4.6	5.8	7.1	8.5	10.0	11.6	13.3	15.1
75	1.6	2.4	3.6	4.9	6.3	8.0	9.9	11.9	14.0	16.4	18.9	21.7
100	1.8	3.2	4.7	6.4	8.3	10.4	12.7	15.4	18.2	21.2	24.5	28.0
150	2.1	4.1	6.3	8.8	11.6	14.7	18.2	21.8	25.6	29.9	35.0	40.6
200	2.8	5.5	8.4	11.7	15.3	19.1	23.3	28.0	33.1	38.5	45.0	52.5
250	3.5	6.5	9.7	13.2	17.2	21.7	27.0	32.9	39.6	46.9	55.0	63.7
300	4.2	7.0	10.5	14.7	18.6	25.2	31.5	38.5	46.2	54.6	63.7	73.5
350	4.9	8.4	12.6	17.2	23.2	30.2	37.8	46.3	53.8	62.5	71.5	81.0
400	5.6	10.0	14.4	19.4	25.6	33.6	42.2	51.0	60.0	69.3	79.5	90.0
450	6.3	10.5	15.5	21.5	28.5	36.5	45.5	55.5	65.5	76.0	86.5	97.5
500	7.0	11.0	17.0	23.5	31.0	40.5	51.0	62.0	73.0	84.0	95.0	106.5

EW = Einzugsgebietswert
F = Fläche des Einzugsgebietes (ha)

Dieser aus Tab. 2 entnommene Wert gilt für eine Wiederholungsperiode von 10 Jahren und für Einzugsgebiete mit annähernd quadratischer Flächenform. Für Abweichungen von diesen Bedingungen müssen Korrektur- bzw. Ausgleichsfaktoren nach Tab. 3 und Tab. 4 ermittelt und der in erster Annäherung ermittelte Ausbauabflauf entsprechend korrigiert werden. Eine Verlängerung der Wiederholungsperiode läßt höhere Spitzenabflaufwerte erwarten. Ebenso beeinflusst die Flächenform die Abflaufwerte. Je kürzer der Fließweg ist, um so größer ist der zu erwartende Spitzenabflauf.

Tabelle 3: Angleichungsfaktoren für verschiedene Flächenformen der Einzugsgebiete

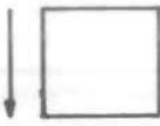

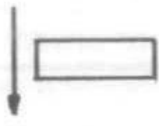
Form : (Pfeil in Haupt- fließrichtung)			
Bezeichnung:	annähernd quadratisch	annähernd lang und schmal	annähernd kurz und breit
Angleichungs- faktor	1.0	0.8	1.25

Tabelle 4: Korrekturverfahren für verschiedene Wiederholungsperioden bei Anwendung des COOK-Verfahrens

Wiederholungsperiode (Jahre)	Korrekturfaktor
2	0.90
5	0.95
10	1.00
25	1.25
50	1.50

In Machakos wird nur für die Flächenform eine Korrektur vorgenommen, da die Wiederholungsperiode hier aus Gründen der Vereinheitlichung auf 10 Jahre festgelegt wurde.

Eine kurze Beispielrechnung soll die Anwendung dieses Verfahrens verdeutlichen: Für das nachfolgend beschriebene Einzugsgebiet ist der Spitzenabfluß vorzuschätzen.

Größe des Einzugsgebietes	– 15 ha
Flächenform in Hauptfließrichtung	– annähernd lang und schmal
Bodenbedeckung	– Buschland und mäßige Grasdecke
Bodenbeschreibung	– tief, mittelmäßig durchlässig
Geländegefälle	– mäßig (etwa 5%)
Wiederholungsperiode des Entwurfs	– 10 Jahre

Lösungsschritte

- Ermittlung des Einzugsgebieteswertes (EW) aus Tab. 1

Wert A	(Bodenbedeckung)	= 15
Wert B	(Boden- und Dräneigenschaften)	= 20
Wert C	(Gefälle)	= 10
Einzugsgebieteswert		EW = 45
- Ermittlung des Spitzenabflusses (erste Annäherung) aus Tab. 2.
Für eine Fläche von 15 ha und einem Einzugsgebieteswert (EW) von 45 beträgt der Spitzenabfluß $1,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- Korrektur für Flächenform nach Tab. 3 und Wiederholungsperiode nach Tab. 4.
Spitzenabfluß = $1,7 \times 0,80$ (Tab. 3) $\times 1,00$ (Tab. 4)
= $1,36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

3.2. Querschnittsbemessung der Erosionsschutzgräben nach dem Verfahren DURBACH

Das Verfahren DURBACH zur Querschnittsbemessung von Erosionsschutzgräben wurde in Zambia entwickelt. Es stellt eine Vereinfachung der bekannten Verfahren zur Kanalberechnung dar. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist die Querschnittsbestimmung im Felde ohne komplizierte Berechnungen möglich. Der Grabenquerschnitt wird dabei als muldenförmig (parabelförmig) vorausgesetzt.

Bei der Anwendung des Verfahrens ist es zunächst notwendig, aus Tab. 5 die maximale Fließgeschwindigkeit zu ermitteln, bei der im Bereich der Grabensohle und -böschung keine Erosion durch fließendes Wasser zu erwarten ist. Sie ist abhängig vom anstehenden Bodenmaterial im Grabenbereich und der Vegetationsdichte im Graben, die nach zwei Regenzeiten erwartet werden kann. Je erosionsresistenter der Boden und je dichter die zu erwartende Vegetationsdecke im Graben ist, um so höhere Fließgeschwindigkeiten können zugelassen werden, ohne daß Erosion auftritt.

Als nächster Lösungsschritt ist die Tiefe des Grabens anhand der vorher ermittelten maximalen Fließgeschwindigkeit und dem vorgesehenen Grabengefälle aus Tab. 6 zu entnehmen.

Das Grabengefälle richtet sich in erster Linie nach den Gegebenheiten im Gelände. In Machakos wurde ein einheitliches Gefälle von 0,5% (1/200) empfohlen.

Als vorletzter Lösungsschritt wird dann der Abfluß pro Meter obere Grabenbreite, der sogenannte „F-Wert“, aus Tab. 7 entnommen.

Tabelle 5: Maximal zulässige Fließgeschwindigkeiten in Erosionsschutzgräben

Boden im Grabenbereich	Erwartete Grasnarbe im Graben (nach etwa 2 Regenzeiten)		
	schlechte Grasnarbe/unbedeckt	mittelmäßige Grasnarbe	gute Grasnarbe
	$m s^{-1}$	$m s^{-1}$	$m s^{-1}$
sehr leichter, schluffiger Sand	0.30	0.75	1.50
leichter, loser Sand	0.50	0.90	1.50
grober Sand	0.75	1.25	1.70
sandiger Boden	0.75	1.50	2.00
toniger Lehm	1.00	1.70	2.30
fester Ton oder fester Kies	1.50	1.80	2.50
grober Kies	1.50	1.80	-
Schieferton, Ortstein, weicher Fels, etc.	1.80	2.10	-
harte zementierte Konglomerate	2.50	-	-

Anm: Zwischenwerte können gewählt werden

Tabelle 6: Maximale Tiefe des ausgehobenen Grabens (m)

Grabengefälle		Fließgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)						
%	1/x	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
1.00	100					0.30	0.45	0.60
0.66	150	Minimaltiefe =			0.20	0.40	0.60	0.85
0.50	200	0.20 m		0.25	0.50	0.75	0.90	
0.40	250		0.20	0.30	0.60	0.90		
0.33	300		0.25	0.35	0.65	1.00		
0.25	400		0.30	0.45	0.85			
0.20	500		0.35	0.50	1.00			
0.17	600	0.20	0.40	0.60				unge-eignete Kombination

Tabelle 7: „F“-Werte

Graben- tiefe (m)	Grabengefälle								
	(%)	1.00	0.66	0.50	0.40	0.33	0.25	0.20	0.17
	(1/x)	100	150	200	250	300	400	500	600
0.20		0.35	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15
0.30		0.60	0.45	0.40	0.35	0.30	0.35	0.25	0.25
0.40		0.90	0.74	0.65	0.60	0.55	0.45	0.40	0.35
0.50		1.30	1.15	0.95	0.85	0.80	0.65	0.60	0.75
0.60		1.80	1.55	1.30	1.20	1.10	0.95	0.80	0.75
0.70		2.25	2.00	1.70	1.50	1.35	1.20	1.05	1.00
0.80		2.80	2.45	2.15	1.90	1.70	1.50	1.30	1.25
0.90		3.40	3.00	2.65	2.35	2.10	1.80	1.60	1.50
1.00		4.05	3.60	3.15	2.75	2.50	2.15	1.90	1.85

F = Abfluß pro m Grabenbreite ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$)

Es bleibt nunmehr nur noch, den erwarteten Spitzenabfluß (auch Ausbauabfluß), des jeweiligen Einzugsgebietes, der nach COOK (siehe 3.1.) ermittelt wurde, durch den „F-Wert“ zu dividieren, um die endgültige obere Breite des Grabens zu ermitteln.

$$\frac{\text{Spitzenabfluß (m}^3 \text{s}^{-1}\text{)}}{\text{F-Wert (m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}\text{)}} = \text{Grabenbreite (m)}$$

Ein weiteres Beispiel soll die Anwendung dieses Verfahrens verdeutlichen:

Der in der vorausgegangenen Beispielsrechnung ermittelte Ausbauabfluß von $1,36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ soll durch einen Erosionsschutzgraben bei 0,5% Gefälle abgeleitet werden. Das Bodenmaterial ist fester Ton, die erwartete Vegetationsdecke im Graben ist schlecht.

Lösungsschritte:

1. Ermitteln der maximalen Fließgeschwindigkeit (v) aus Tab. 5. $v = 1,50 \text{ m s}^{-1}$
2. Ermitteln der Grabentiefe aus Tabelle 6.
Bei 0,50% Gefälle und einer Fließgeschwindigkeit (v) von $1,50 \text{ m s}^{-1}$ beträgt die Grabentiefe 0,50 m
3. Ermitteln des „F-Wertes“ aus Tab. 7.
Bei einer Grabentiefe von 0,50 m und einem Grabengefälle von 0,50% ist $F = 0,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{m}^{-1}$
4. Errechnen der Grabenbreite aus dem Spitzenabfluß dividiert durch den „F-Wert“.

$$\text{Grabenbreite} = \frac{1,36}{0,95} = 1,43 \text{ m} \rightarrow 1,45 \text{ m}$$

3.3. Die Durchführung der Entwurfsarbeiten

Zum Entwurf wird zunächst vom Agrarberater zusammen mit den beteiligten Bauern eine Feldbegehung vorgenommen. Soweit Karten oder Luftaufnahmen des Geländes vorhanden sind, werden diese zur Hilfe genommen.

Nach einem ersten Geländeüberblick wird in Übereinstimmung mit den Grundstückseigentümern die ungefähre Linienführung des Grabens festgelegt. Der Graben wird so nahe wie möglich an das Ackerland gelegt, um zu vermeiden, daß zwischen Ackerland und Graben Oberflächenabfluß entsteht, der Schaden anrichten kann. Durch die Festlegung der Linienführung wird das Einzugsgebiet des Erosionsschutzgrabens talseits begrenzt. Mit Hilfe einer Karte, eines Luftfotos oder aber auch mit dem Meßband wird dann die ungefähre Größe des Einzugsgebietes bestimmt.

Nachdem der zu erwartende Ausbauabfluß nach 3.1. ermittelt ist wird nach einem Auslaßpunkt gesucht, der geeignet ist, diese Wassermenge gefahrlos aufzunehmen. Dabei wird natürlichen Flußbetten der Vorzug gegeben. Es sind aber auch, wie schon oben beschrieben, gut bewachsene Senken oder dichtes Gras und Buschland geeignet. Der Mangel an einem geeigneten Auslaßpunkt kann dazu führen, daß der Graben wesentlich verlängert werden muß, um an einen geeigneten Vorfluter zu gelangen. Bei sehr großen Einzugsgebieten kann es dann sinnvoll sein, das Gelände in mehrere kleine Teilgebiete zu unterteilen. Dies verkleinert die resultierenden Grabenquerschnitte und verringert u. U. den notwendigen Gesamtaushub. In den meisten Fällen aber erleichtert es erfahrungsgemäß die Erdarbeiten, wenn nur geringe Tiefen ausgehoben werden müssen.

4. Bauausführung

Bei der Bauausführung wird darauf geachtet, daß Geländehindernisse, wie größere vorstehende Felsen oder Bäume möglichst umgangen werden. Es würde einen zu großen manuellen Arbeitsaufwand erfordern, diese Hindernisse zu entfernen, da maschinelle Hilfsmittel nicht zur Verfügung stehen und ihr Einsatz aus Kostengründen nicht wirtschaftlich ist. Hindernisse müssen also durch veränderte Linienführung oder durch einfache Absturzbauwerke umgangen werden.

4.1. Abstecken der Gräben im Gelände

Nachdem der Entwurf fertiggestellt ist, steckt der zuständige Agrarberater den Graben mit Hilfe der beteiligten Bauern im Gelände ab.

Als Hilfsmittel wird dazu eine Schnurwaage (auch Maurerwaage genannt) verwendet (siehe Abb. 2). Sie besteht aus einer Schnur von 10 m Länge, die zwischen zwei identische, 1,50 m lange Meßhölzer gespannt wird. An dieser Schnur wird eine kleine Wasserwaage befestigt. Mit ihrer Hilfe wird die Schnur waagrecht ausgerichtet.

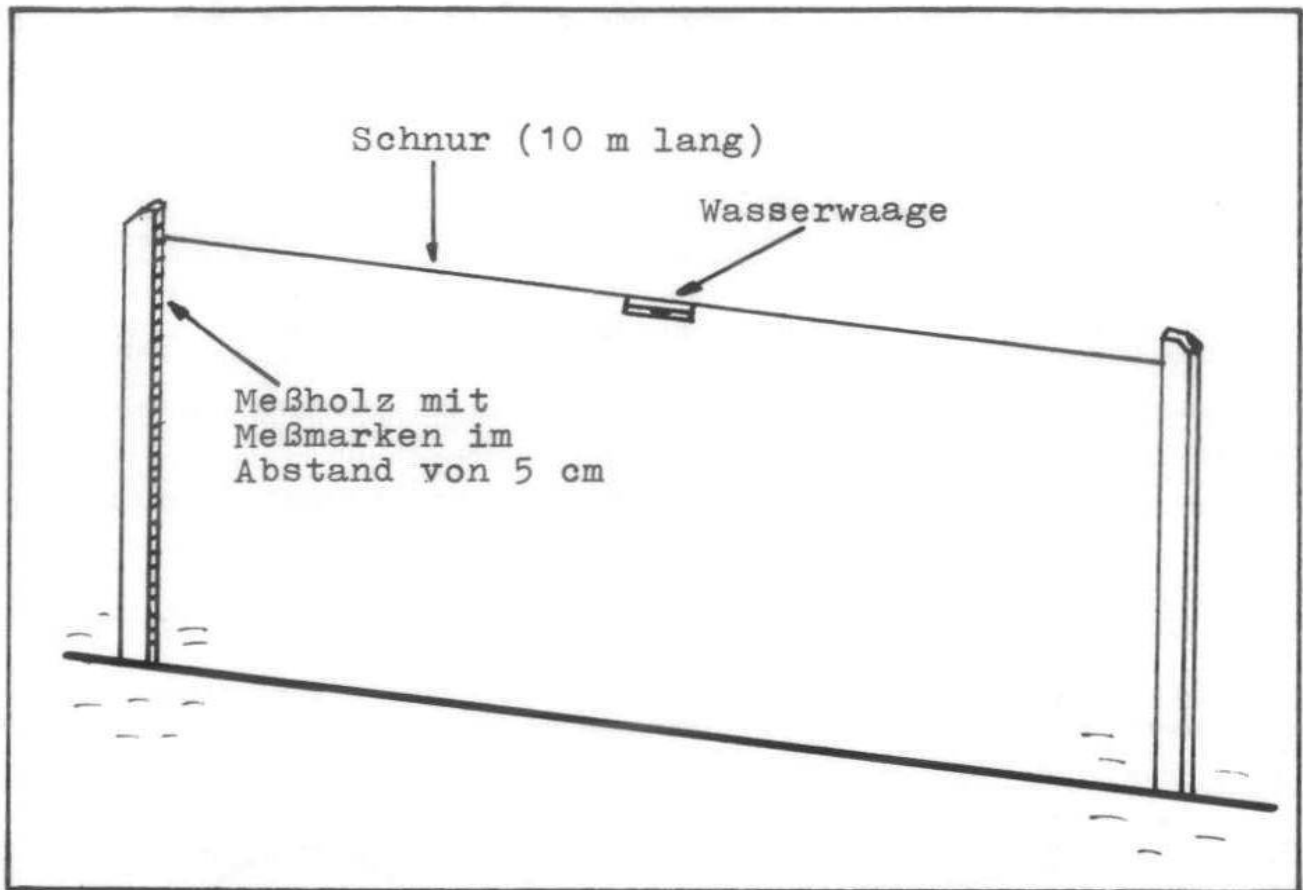


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Schnurwaage wie sie zum Abstecken von Erosionsschutzgräben verwendet wird

An den Meßhölzern befinden sich im Abstand von 5 cm eingekerbte Meßmarken. Bei Befestigen der Schnur an identischen Meßmarken befinden sich die Meßhölzer nach Ausrichten der Schnur auf gleicher Höhe. Der Verlauf der Schnur stellt in diesem Falle eine Konturlinie dar. Bei Befestigen der Schnur an unterschiedlichen Meßmarken wird nach Ausrichten der Schnurwaage im Gelände ein Höhenunterschied zwischen den Meßhölzern dargestellt. Bezogen auf die Länge der Schnur ergibt dies ein bestimmtes Gefälle. Bei einer Schnurlänge von 10 m ergibt z. B. ein so dargestellter Höhenunterschied von 5 cm zwischen den Meßhölzern ein durchschnittliches Gefälle von 0,5% (1/200) in Schnurrichtung.

Auf diese Weise werden die Erosionsschutzgräben in Machakos abgesteckt. Es sind im allgemeinen vier Personen dazu notwendig. Zwei Bauern halten die Meßhölzer mit der gespannten Schnur, der Agrarberater richtet sie mit der Wasserwaage aus und ein weiterer Bauer steckt die einzelnen Abschnitte mit vorbereiteten Stöcken ab. So wird der Verlauf des Grabens im Gelände markiert.

Beim Abstecken im Gelände ist zu beachten, daß immer am Auslaßpunkt des Grabens begonnen werden muß. Damit wird erreicht, daß der Oberflächenabfluß auch dort ankommt wo er hingeleitet werden soll. Würde am oberen Ende des Grabens begonnen und in Fließrichtung vorgegangen, wäre bei der beschriebenen Methode nicht sicher, an welcher Stelle im Gelände der Graben endet. Dies trifft besonders bei sehr langen und gewundenen Grabenführungen zu und wenn

unvorhersehbare Hindernisse im Feld wie z. B. im Boden versteckte Felsen auftreten. Der Verlauf des Grabens muß dann unter Umgehung dieser Hindernisse entsprechend geändert werden.

4.2. Ausheben der Gräben

Das Ausheben der Gräben geschieht meist während der arbeitsärmeren Trockenzeiten. Dies ist auch für eine ungehinderte Bauausführung vorteilhaft, da während dieser Zeit keine Behinderungen durch vorhandenen Abfluß auftreten.

Die Erdarbeiten werden in Handarbeit durch die Selbsthilfegruppen der beteiligten Bauern und unter Anleitung ihres Agrarberaters durchgeführt. In der Regel treffen sich die Gruppen ein- bis zweimal pro Woche zu dieser Gemeinschaftsarbeit.

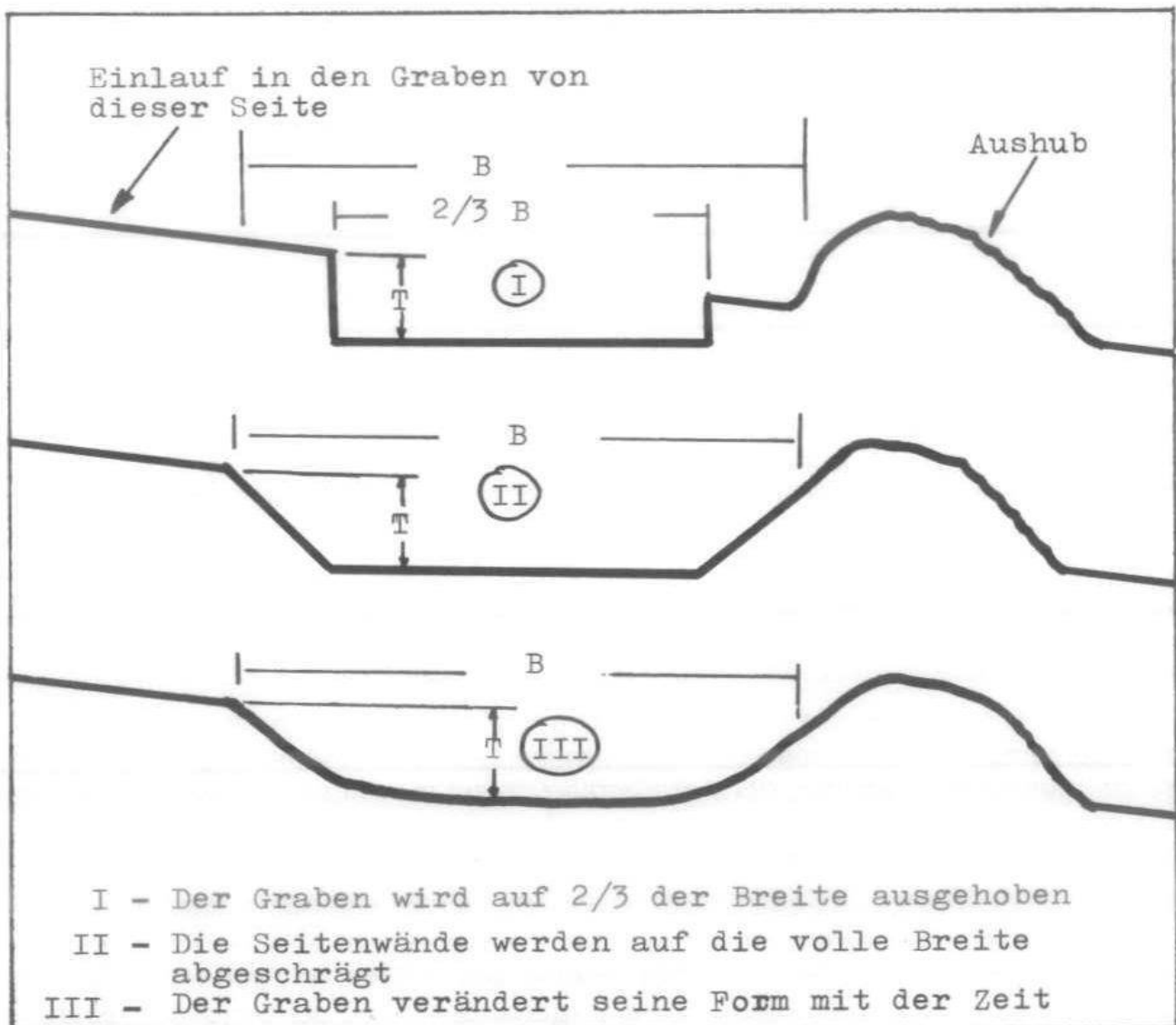


Abbildung 3: Ausbaustufen von Erosionsschutzgräben (B = Breite; T = Tiefe)

Der Graben wird nach dem Entwurf in trapezförmigem Querschnitt (Trapezprofil) ausgehoben. Diese Form ist aus arbeitstechnischen Gründen und mit einfachen Handwerkzeugen einfacher auszuheben als das Parabolprofil nach DURBACH (siehe 3.2.). Dazu wird auf zwei Dritteln ($2/3$) der Endbreite die vorgegebene Tiefe ausgegraben. Dann wird, wie in Abb. 3 dargestellt, auf die volle Oberbreite eine Schrägung von der Grabensohle ausgehend, hergestellt. Der Aushub wird hangabwärts dammförmig aufgeschüttet. Eine besondere Befestigung oder Sicherung des Grabenprofils erfolgt im Regelfall nicht. Das aufgeschüttete Material schafft zugleich den erforderlichen Freibord.

Erfahrungsgemäß ändert sich der Grabenquerschnitt im Laufe weniger Jahre durch Sedimentation von eingeschwemmten Bodenteilchen. Der Querschnitt entwickelt sich dann zu einem annähernd parabelförmigen (muldenförmigen) Profil, das dann die Bedingungen des Verfahrens DURBACH voll erfüllt.

Wenn die Einschwemmung von Boden oder der Graswuchs überhand nehmen wird die Abflußleistung des Grabens wesentlich eingeschränkt. Es besteht dann die Gefahr, daß der Graben nach einem Starkregen überläuft. Aus diesem Grund wird der Graben von Zeit zu Zeit von den Bauern und dem Agrarberater überprüft und gegebenenfalls von übermäßigem Bewuchs bzw. Sedimenten befreit.

5. Felderhebungen zu Erosionsschutzgräben in Machakos

Durch die dezentrale Planung von Erosionsschutzgräben war das Ausmaß der durch die Bauern bewältigten Arbeiten nicht im Einzelnen bekannt. Zum Zwecke der Gebietsplanung war es jedoch notwendig, Schlüsselzahlen über die Anlage dieser Gräben zu erarbeiten. Dabei interessierte vor allem die Grabenlänge und der Grabenaushub pro ha geschützten Ackerlandes.

Anhand von Felderhebungen wurden deshalb die Dimensionen von Erosionsschutzgräben, die in Selbsthilfeaktionen der Bauern angelegt wurden, ermittelt.

Zu diesem Zweck erfolgte eine Vermessung bereits fertiggestellter Anlagen und die Einholung von Informationen über die Größe der geschützten Flächen und die Anzahl der beteiligten landwirtschaftlichen Betriebe.

Im Zuge dieser Erhebung wurden in 12 Gemeinden insgesamt 338 Projekte mit einer Gesamtgrabenlänge von 368 km und 3456 direkt beteiligten landwirtschaftlichen Betrieben erfaßt. Die Ergebnisse zeigten, daß im Durchschnitt eine Länge von ca. 17 m Graben pro ha geschützten Ackerlandes notwendig waren. Wie in Tab. 8 dargestellt, waren die für die einzelnen Gemeinden ermittelten Werte recht unterschiedlich. Dies hing in erster Linie mit den Entfernungen der Gräben von geeigneten Vorflutern zusammen.

Die Querschnittsform der Gräben war einheitlich trapezförmig. In kleineren Einzugsgebieten bzw. in Gebieten mit wenig Oberflächenabfluß waren, wie erwartet, die Querschnittsflächen geringer als in Gebieten mit großem Wasseraufkommen.

Tabelle 8: Durchschnittliche Grabenlänge und Aushubmenge in den verschiedenen Gemeinden (gerundete Werte).

Nr.	Gemeinde	Anzahl der Projekte	Grabenlänge und Aushub pro ha geschütztes Ackerland		Grabenlänge und Aushub pro Bauer	
			m/ha	m ³ /ha	m/Bauer	m ³ /Bauer
1	Muputi	6	20	13	49	32
2	Kalama	13	55	37	452	307
3	Kilungu	26	19	13	79	56
4	Mbiuni	57	119	74	117	73
5	Mwala	30	16	26	61	98
6	Muthetheni	4	349	251	349	251
7	Mbooni	2	111	26	111	26
8	Kisau	17	77	58	43	32
9	Okia	34	56	87	123	191
10	Kinyaata	47	29	26	121	109
11	Wamunyu	88	25	20	250	198
12	Kibauni	14	61	24	77	30
Gesamt-durchschnitt		338	17	15	107	96

Die Variabilität der gemessenen Querschnitte war entsprechend (siehe Tab. 9). Die mittlere Querschnittsfläche aller gemessenen Gräben betrug 0,90 m².

Trotz der so unterschiedlichen Grabendimensionen ist der Wirkungsgrad der verschiedenen Gräben bei fachgerechtem Entwurf und sachgerechter Anlage gleich. Auf den einzelnen Bauern hochgerechnet bedeutet dies jedoch unterschiedlichen Arbeitsaufwand. Während in einigen Gemeinden durchschnittlich nur 30 m³ Aushub zu bewältigen waren, mußten in anderen bis zu 307 m³ pro Bauer ausgehoben werden (Tab. 8).

Tabelle 9: Ermittelte größte und kleinste Querschnittsbemessungen im Erhebungsgebiet

	Querschnittsfläche (m ²)	Oberbreite (m)	Sohlenbreite (m)	Tiefe (m)
Kleinster Querschnitt	0,05	0,30	0,20	0,20
Größter Querschnitt	1,75	2,00	1,50	1,00

Durch die Lage der Felder waren in den meisten Fällen mehrere Bauern an einem Vorhaben beteiligt. Außerdem wurden durch die Selbsthilfegemeinschaften die Arbeitsbelastungen ausgeglichen, so daß im Grunde jeder Bauer innerhalb einer Selbsthilfegruppe die gleiche Arbeitsleistung erbrachte.

Der Bewuchs der Gräben war durchweg unzureichend, da in keinem Falle ein Bepflanzen der Grabensohle oder auch nur des unteren Böschungsbereiches mit Gras vorgenommen wurde. Dies mag an dem erheblichen Arbeitsaufwand, aber auch am Unwissen der Bauern über die Notwendigkeit einer solchen Böschungs- und Sohlensicherung gelegen haben.

Durch natürliche Ansiedlung von Gräsern oder das Überwachsen der Vegetation aus den angrenzenden Einzugsgebieten wird sich dieses Problem nach den bisherigen Erfahrungen in Machakos im Laufe einiger Jahre von selbst lösen.

6. Diskussion

Mit der Anlage von Erosionsschutzgräben ist in den meisten Fällen erst eine der Voraussetzungen für die Bodenerhaltung auf Ackerflächen erfüllt. Die bodenerhaltenden agronomischen und kulturtechnischen Maßnahmen auf dem Acker selbst können durch Erosionsschutzgräben nicht ersetzt werden.

Die Anlage der Erosionsschutzgräben in Machakos wird durch eigentumsrechtliche Vorbehalte bei der Trassenführung nicht behindert. Dies ist ein erheblicher Vorteil für die Durchführung dieser Maßnahmen, der andernorts nicht unbedingt gegeben sein muß.

Der Arbeitsaufwand für die Anlage von Erosionsschutzgräben kann erheblich sein. Durch die Organisation der Bauern in lokalen Selbsthilfegruppen, die gemeinsam die notwendigen Arbeiten durchführen, wird der Arbeitsaufwand des Einzelnen jedoch in erträglichen Grenzen gehalten.

Erhebliche Bedeutung fällt den Agrarberatern bei der Vorbereitung, Planung, Bauausführung und Unterhaltung der Erosionsschutzanlagen zu. Von der Qualität ihrer Entwurfsarbeiten hängt die Produktionsfähigkeit der Anlagen ab. Darüber hinaus besitzen sie oft auch maßgeblichen Einfluß auf die Arbeit der Selbsthilfegruppen.

Wie Erfahrungen in Machakos zeigen, sind die beiden vorgestellten Entwurfsverfahren geeignet, Erosionsschutzgräben auf einfache Weise so zu planen, daß sie den jeweiligen Anforderungen gerecht werden. Zum einen werden die Gräben mit den Verfahren so bemessen, daß ein vorausschätzbarer Spitzenabfluß abgeleitet werden kann. Zum anderen wird der Aushub, also der direkte Arbeitsaufwand durch die Bauern, auf ein Mindestmaß begrenzt. Durch die fachgerechte Anwendung der Verfahren wird ausgeschlossen, daß die Gräben willkürlich dimensioniert und angelegt werden und so den Bauern evtl. mehr schaden als nützen.

7. Zusammenfassung

Dem Erosionsschutz wird in Kenia seit langem erhebliche Beachtung zuteil. Zum Schutze der Ackerflächen vor Oberflächenabfluß von Fremdfächen werden in zunehmendem Maße Erosionsschutzgräben angelegt.

Planung und Entwurf der Gräben werden von den Agrarberatern in Zusammenarbeit mit den Bauern direkt im Felde vorgenommen. Dazu werden die in Kenia adoptierten Verfahren von COOK (Vorausschätzung des Oberflächenabflusses) und DURBACH (Querschnittsbemessung der Gräben) angewendet. Mit einer einfachen Schnurwaage wird der Verlauf der Gräben dann im Gelände abgesteckt.

Unter Ausnutzung des in Machakos traditionellen Selbsthilfesystems werden die Erdarbeiten aus kommunalem Interesse in freiwilliger Gemeinschaftsarbeit von den Bauern durchgeführt.

Felderhebungen ergaben, daß der Grabenaushub pro ha geschützter Ackerfläche erheblich variiert. Dies hängt mit der Größe des jeweiligen Einzugsgebietes, den topographischen Gegebenheiten und der Entfernung des entwässerten Gebietes zu einem geeigneten Vorfluter zusammen.

Summary

In Kenya soil conservatuon has, since long, gained high recognition. To protect arable land from external surface runoff storm water drains are frequently constructed. The design of the drains is done directly in the field by agricultural extension workers in cooperation with the farmers. Design methods used are Cook's method of surface runoff estimation and Durbach's method of channel design. A simple line level is used to lay out the drains in the field. The excavations are done by self help groups which are popular in Machakos.

A survey of storm water drains showed that volumes of excavations per ha protected arable land varied significantly. This was found to be due to sizes of the catchments, topography, and distance of the drained areas to suitable outlets.

Literaturverzeichnis

1. HEYER, J. et al., 1976: Agricultural Development in Kenya; An Economic Assessment. – Oxford University Press, Nairobi
2. HUDSON, N. W., 1981: Soil Conservation. – Batsford Academic and Educational Ltd., London
3. Technische Universität Berlin, Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, 1983: Appropriate Land Use Systems for Small Holder Farms – a survey of ecological and socio-economic conditions in the Machakos District (Kenya). – Selbstverlag, Schriftenreihe des Fachbereiches Internationale Agrarentwicklung, Reihe Studien Nr. IV/39, Technische Universität, Berlin
4. WENNER, C. G., 1981: Soil Conservation in Kenya. – Ministry of Agriculture (Manuskript), Nairobi
5. ZÖBISCH, M. A., 1982: Concise Report on a Survey of Resource Conservation Catchments in Machakos (Kenya). – Ministry of Agriculture (M.I.D.P.) Manuskript, Nairobi