

6. FELDUNTERSUCHUNGEN

Für die Feld- und Laboruntersuchungen wurden die Perimeter sowie die Erweiterungsfläche in Teilabschnitte gegliedert. In den beiden Perimetern bot sich als kleinste Einheit die Parzelle an. Die Parzellen wurden durchnummeriert. Unstimmigkeiten hinsichtlich des existierenden Planes aus der Planungsperiode und der tatsächlichen Parzelleneinteilung auf dem Gelände wurden in den Abb. 5., 15., 18., 19. und 22. berücksichtigt.

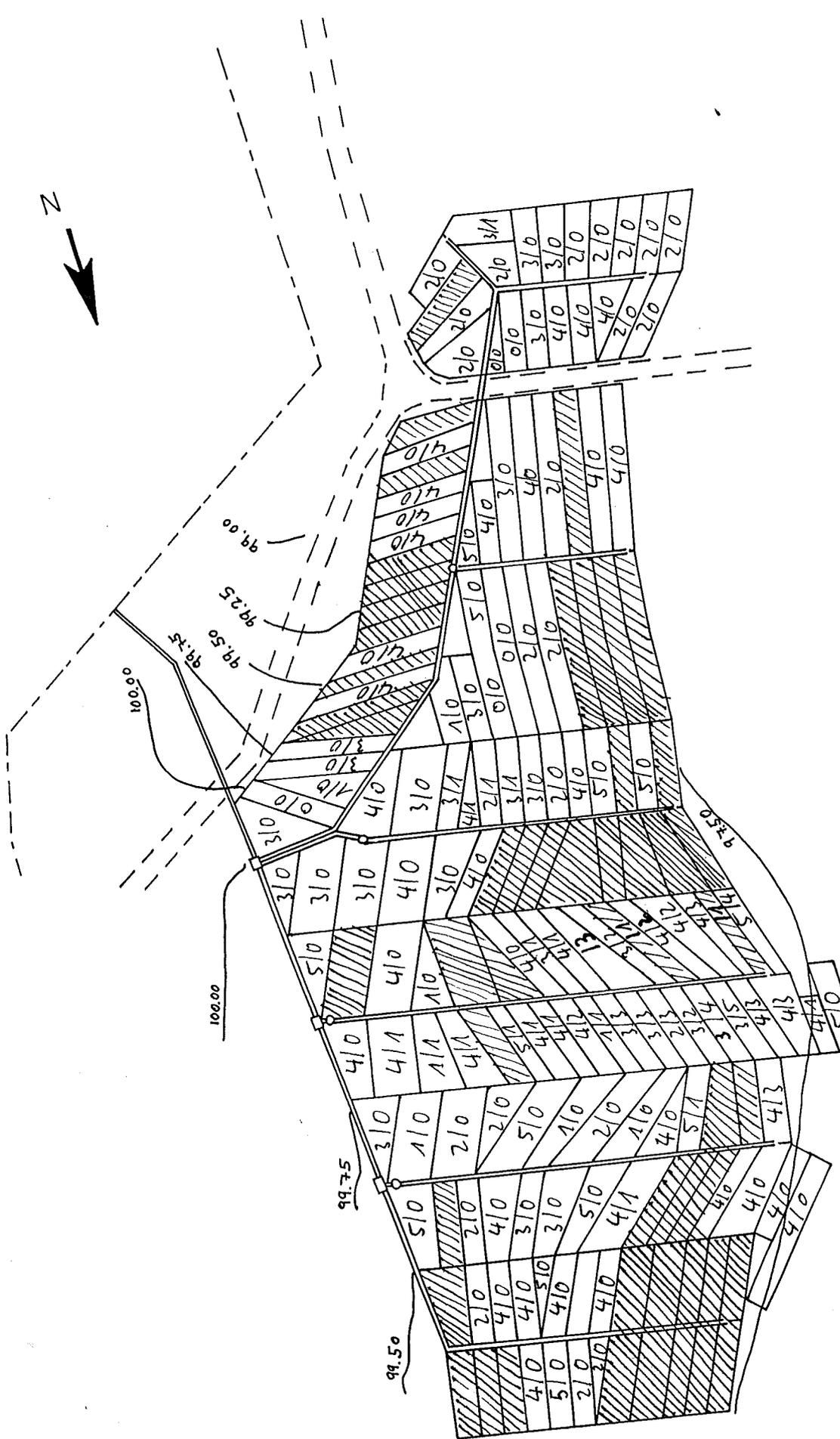
Damit sich die Kosten und der Aufwand der Bodenanalysen in einem angemessenen Rahmen hielten, wurden die Parzellen zur Entnahme der Bodenproben in Gruppen zu 1-6 zusammengefaßt. Diese Einteilung wurde für die Ermittlung der Leitfähigkeit der gesättigten Bodenpasten am Ort genutzt. Zur Ermittlung aussagekräftiger Gradienten der Salzkonzentrationen, erschien hier eine feine Untergliederung notwendig (s. Abb. 22.). Zu weitergehenden, später in der Bundesrepublik durchgeführten Analysen, wurden die entstandenen Einheiten weiter zusammengefaßt. Der Probenentnahmeschlüssel in Anhang 3 zeigt eine Aufgliederung des Perimeters Tégourou rechts in 14, 7 bzw. 2 Teile.

Im Perimeter Tégourou links schien aufgrund des weniger problematischen Zustandes eine solche, zuvor beschriebene starke Unterteilung nicht notwendig. Der Perimeter wurde in 6 Teilabschnitte gegliedert. Die Erweiterungsfläche erfuhr eine Einteilung in nur 4 Einheiten.

6.1 Pflanzenbonitierung

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurde in den Perimetern Tégourou rechts und links Batate (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) angebaut. Diese Kultur stellt regelmäßig einen großen Anteil der Gartenkulturen der Dörfer Tégourou und Anakanda (s. Kap. 4.1., Tab. 1 u. Abb. 4.). In beiden Perimetern wird nur die Batate als zweite, dem Reis folgende Kultur gesetzt. Laut Projektleiter blieben alle Anstrengungen hinsichtlich einer Diversifizierung erfolglos.

Im Zuge der Untersuchungen wurde eine Bonitierung des Pflanzenbestandes von Tégourou rechts vorgenommen. Beurteilt wurden die oberirdischen Pflanzenteile. Kriterien waren Habitus, Wuchshöhe und Farbe der Blätter bzw. Mangelsymptome. Eine Vielzahl der schlecht bonitierten Parzellen in der nördlichen Hälfte des Perimeters wurde aufgrund von Kahlfraß durch Ziegen abgewertet. Zusätzlich wurden die nicht bestellten



X/Y

Grad der Schädigung von 0 (keine Schädigung) bis 5 (kein Wachstum möglich).

Grad des Auftretens von Salzausblühungen. 0 = keine sichtbaren, 5 = Maximum an beobachteten Salzausblühungen.

Abb. 18. Perimeter Tégourou rechts, Bonitierung der Pflanzenbestände und Salzausblühungen.

Parzellen (54 von 172, entspr. 31,4 %) aufgenommen. Die Anteile der einzelnen Parzellen an den 5 gebildeten Klassen sowie die nicht bebauten Parzellen sind Abb. 18. zu entnehmen.

6.2 Salzausblühungen

Eine Zuordnung der Parzellen zu 5 verschiedenen Klassen, die den Grad des Auftretens von auskristallisierten Salzen kennzeichnen, ist Abb. 18. zu entnehmen. Bestätigt wird hier im wesentlichen das Ergebnis der Untersuchungen zur Leitfähigkeit in Kap. 7.2.

6.3 Gründigkeit

Zur Bestimmung der Mächtigkeit der anstehenden Schwemmlandböden stand eine 70 cm tief messende Sonde zur Verfügung. So konnte die Gründigkeit von 107 der 174 Parzellen des Perimeters Tégourou rechts bestimmt werden. Die restlichen Parzellen wiesen eine Mächtigkeit des anstehenden Schwemmlandbodens größer als 70 cm auf. Durch das Ausheben von Schürfguben konnten jedoch 3 Werte über 70 cm bestimmt werden. Die Gesamtheit der ermittelten Bodenmächtigkeiten liegt in Abb. 19. vor und beträgt zwischen 0 und 160 cm.

6.4 Schürfguben

Im Zuge der Felduntersuchungen wurden im Perimeter Tégourou rechts drei Schürfguben angelegt. Die Plazierung fand wie folgt statt:

- Schürfgube 1 wurde im Bereich der höchsten Salzkonzentrationen angelegt (Parzelle 66).
- Die Schürfguben 2 und 3 wurden in Parzelle 80 bzw. 120 angelegt. Diese Parzellen weisen keine Versalzungserscheinungen auf, sind jedoch permanentem Stauwasser ausgesetzt.

Das Ausheben der Gruben wurde durch die, bei Schürfgube 2 und 3 bis an die GOK heranreichende Grundwasseroberfläche erschwert. Schürfgube 1 wies einen Stauwasser-Flurabstand von 40 cm auf. Eine eingehende und intensive Untersuchung der Profile war, angesichts des in sehr kurzer Zeit steigenden Wassers, stark erschwert. Darüberhinaus waren die Profile der Schürfguben verschmiert. Folgende Aussagen sind zu treffen:

- Schürfgube 1 konnte 1,60 m tief ausgehoben werden, bevor der anstehende Fels ein weiteres Eindringen unmöglich machte. Der einziger Kontrast zur gleichförmigen Profilfläche mit der Munsell-Farbe 7,5 YR 4/4 waren grauschwarze Flecken, die ab einer Tiefe von 60 cm zu beobachten waren. Sie wiesen einen Farbwert von 7,5 YR 4/0 auf. Wurzeln konnten bis zu einer Tiefe von 70 cm festgestellt werden.
- Schürfgube 2 konnte bis zum Fels auf 1,05 m ausgehoben werden. Das anstehende Profil wies gleichfalls die im Profil der Schürfgube 1 angetroffenen Farbwerte auf. Die grauschwarze Marmorierung konnte über das gesamte Profil beobachtet werden, wobei sie zur GOK hin zunahm. Wurzeln waren bis zu einer Tiefe von 50-60 cm zu finden.
- Schürfgube 3 legte das Profil einer 50 cm mächtigen, auf dem Fels aufliegenden Bodenschicht frei. Ansonsten ließen sich keine Unterschiede zum Profil der Schürfgube 2 feststellen.

6.5 Durchlässigkeit

Die Felddurchlässigkeit wurde anhand des in den Schürfgruben beobachteten Wasserandranges geschätzt.

Die Grundwasseroberfläche pegelte sich in allen 3 Schürfgruben nach weniger als 2 Stunden ein. Hierbei wurde, um ein direktes Zurückfließen zu vermeiden, das ausgeschöpfte Wasser ca. 25 m geländeabwärts transportiert. Diese Zeitdauer entspricht nach EGGELSMANN (1988) einer mittleren Durchlässigkeit. In diesem Zusammenhang wird auf die ermittelten Infiltrationsdaten in Kap. 6.7 verwiesen.

6.6 Bodenansprache

Über die angelegten Schürfgruben hinaus wurde auch bei der Entnahme von Bodenproben eine Bodenansprache durchgeführt. Das im Bohrstock angeschnittene Profil wurde hinsichtlich Farbe, Textur, Wassergehalt, Horizontierung und Wurzeltiefgang untersucht. Textur und Wurzeltiefgang variierten kaum. Bei den Charakteristika Bodenfarbe (insbesondere dem Grad der Marmorierung bzw. dem Vorkommen der schon in den Schürfgruben beobachteten grauschwarzen Flecken), Horizontierung und Feuchtezustand konnten starke Abweichungen innerhalb des Perimeters festgestellt werden.

Feuchtezustand:

Abgesehen von den, im östlichen Bereich des Perimeters gelegenen, überfluteten Parzellen, nahm der Feuchtezustand der Proben kontinuierlich mit der Nähe zum Vorfluter zu. Während der Boden der östlichen Parzellen sehr trocken und hart war, kam es in den westlichen, dem Vorfluter benachbarten Parzellen zu Kernverlusten. Der Übergang zwischen diesen beiden Extremen erfolgte stufenlos. In einem von Nord-Ost nach Süd-West verlaufenden Streifen im mittleren Bereich des Perimeters waren die oberen 20 cm feucht. Im Gegensatz dazu wies der Probenanteil 20 bis 70 cm freies Wasser auf. Auch hier kam es teilweise zu Kernverlusten. Beim Herausziehen des Bohrstockes konnte das Eindringen von Wasser in den entstandenen Hohlraum wahrgenommen werden.

6.7 Infiltrationsraten

Im Zuge der Beurteilung der Bodeneigenschaften wurden in den Perimetern Tégourou rechts und links sowie auf der geplanten Erweiterungsfläche Tégourou links die Infiltrationsraten bestimmt. Die Bestimmung erfolgte mit Hilfe des Doppelring-Infiltrometers (DIN 19682, 1972), da ein solches Gerät durch den in Bandiagara ortsansässigen Schmied gefertigt werden konnte.

In Tégourou rechts war es lediglich notwendig und sinnvoll eine Messung der Infiltrationsraten in den Bereichen vorzunehmen, in denen das Stauwasser nicht an die Geländeoberkante heranreichte. Von besonderem Interesse waren hier die Parzellen mit erhöhter Salzkonzentration in der Bodenlösung.

Entgegen der DIN konnte kein Bewässerungswasser aus der Sperre Tégourou verwendet werden. Zur Bereitstellung der notwendigen Wassermenge mußte die Messung in einer 15 m großen Entfernung von der in Parzelle 82 angelegten Schürfgrube 1 vorgenommen werden.

Bedingt durch das Schließen der Auslässe des Staudamms Daga, sank der Wasserstand des Staubeckens Tégourou wenige Tage vor der Messung. Zum Zeitpunkt der Messung war der Einlauf des Perimeters Tégourou rechts bereits 5 Tage trocken. Die Grundwasseroberfläche lag an diesem Tag im Bereich der genannten Schürfgrube 80 cm unterhalb der Geländeoberkante (s. Abb. 7.).

Die Infiltrationsintensitäten sind in Anhang 5 aufgeführt und innerhalb der Abb. 20. grafisch dargestellt.

Im Perimeter Tégourou links sowie auf der zugehörigen Erweiterungsfläche wurden die Infiltrationsraten in gleicher Weise bestimmt. Die Messung fand an den in Anhang 3 näher bezeichneten Orten statt. Das für die Messung notwendige Wasser wurde dem Staubecken Kokodjogou entnommen. Die Meßergebnisse sind in Anhang 5 sowie innerhalb der Abb. 20. aufgezeichnet.

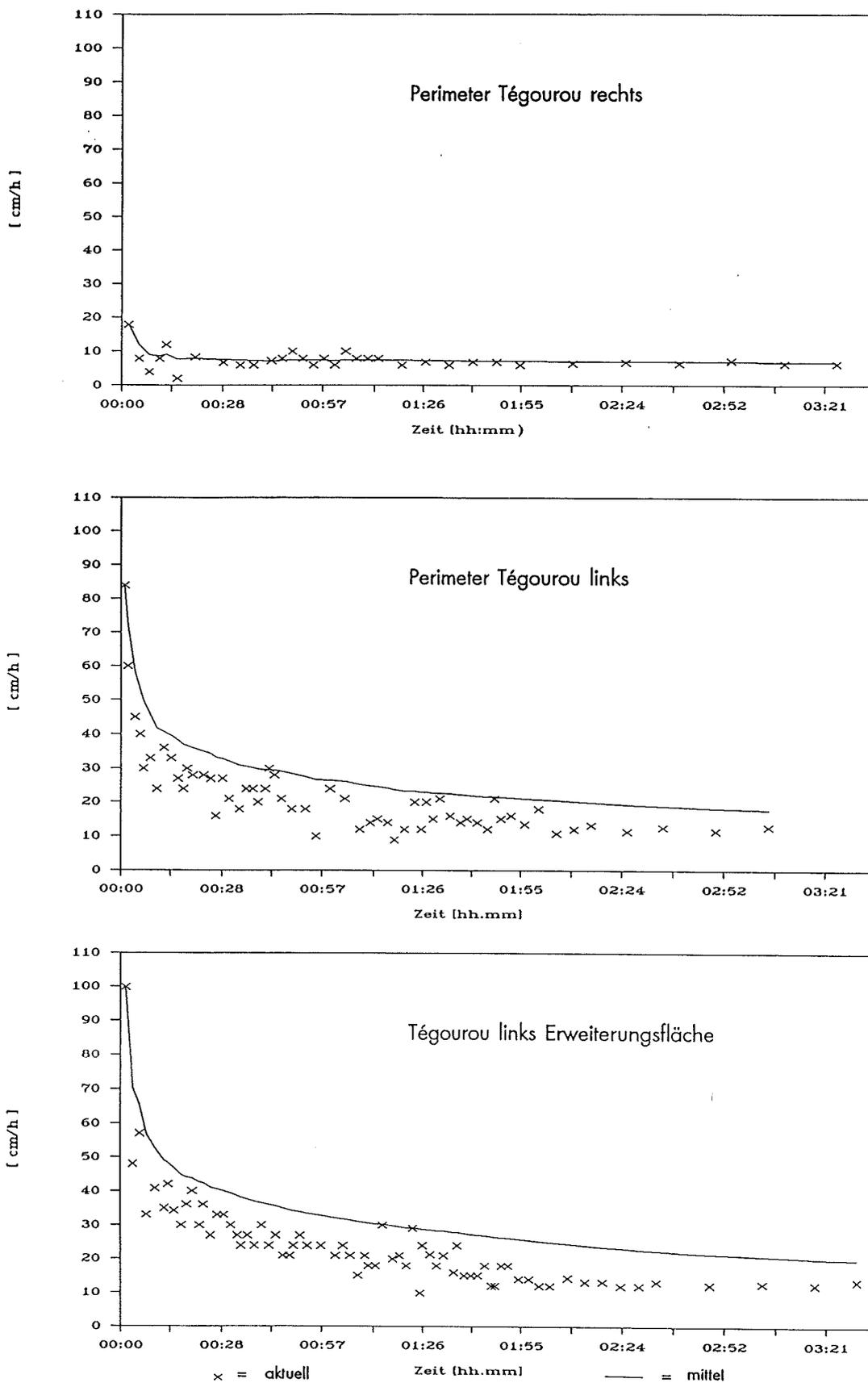


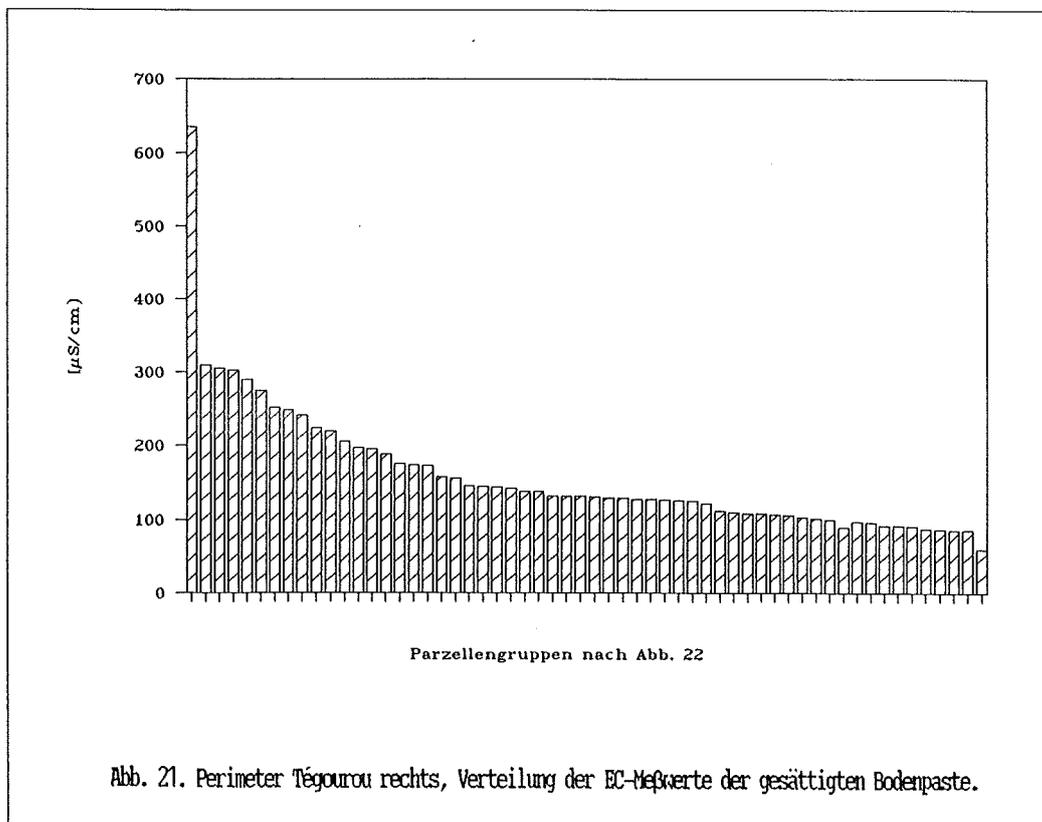
Abb. 20. Infiltrationsintensitäten in den Perimetern sowie in der Erweiterungsfläche.

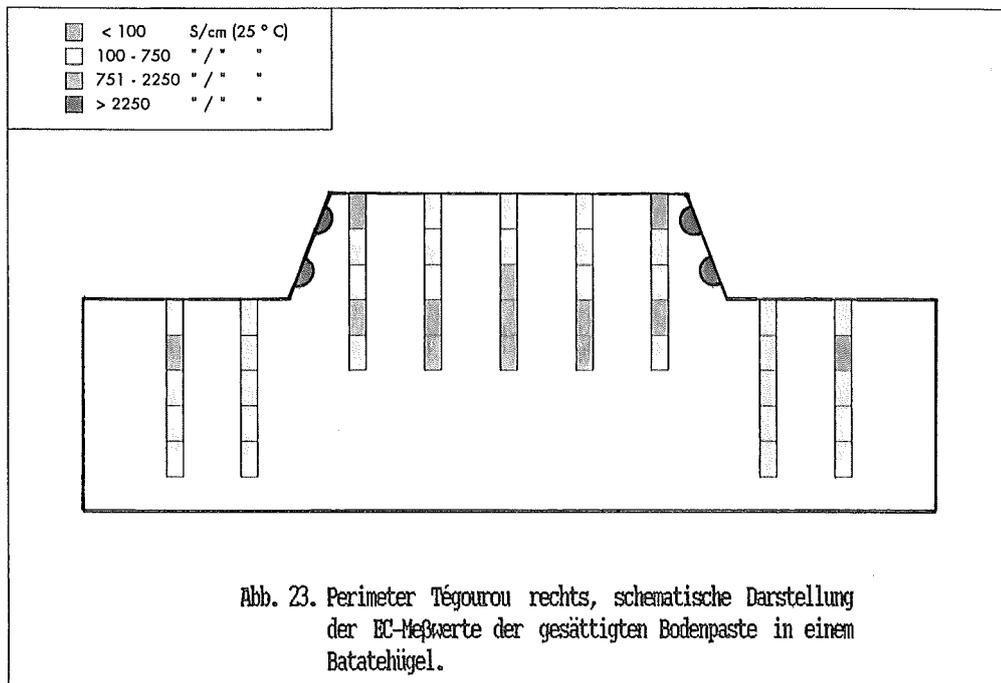
6.8 Leitfähigkeiten

Von größtem Interesse für die Abschätzung einer Versalzungsproblematik ist die Bestimmung der Leitfähigkeit der Bodenpaste. Diesbezügliche Messungen vor Ort waren möglich, da ein geeignetes Gerät sowie destilliertes Wasser von der 'Mission Catholique' zur Verfügung gestellt wurden.

Abb. 21. zeigt die Verteilung der gemessenen Werte. In Abb. 22. erfolgt die Zuordnung der Meßwerte zu den einzelnen Parzellen bzw. Parzellenblöcken.

Abb. 23. zeigt schematisch die Verteilung der Leitfähigkeit des gesättigten Bodens in einem Batate-Hügel. An den Mantelflächen der Hügel wurde eine max. Leitfähigkeit von 4,35 mS/cm in der Bodenpaste gemessen.





7. LABORUNTERSUCHUNGEN

7.1 Bewässerungswasserqualität

Im Rahmen der Untersuchung des Versalzungsproblems im Perimeter Tégourou rechts war eine dortige Entnahme und Analyse von Wasserproben unerlässlich. Dabei wurden zum einen Proben aus der Sperre Tégourou, zum anderen aus den 3 Schürfgruben sowie aus dem Vorfluter des Perimeters Tégourou rechts entnommen. Bis auf eine Leitfähigkeitsanalyse vor Ort erfolgte die Bestimmung der Inhaltsstoffe in der Bundesrepublik. Die Ergebnisse sind in Anhang 2 aufgeführt.

7.2 Boden- und Pflanzenanalysen

Die Bodenproben wurden mit einem 70 cm messenden Pürkauer entnommen. Dieser erwies gute Dienste, konnte aber in den durch Stauwasser stark beeinflussten Böden nicht zufriedenstellen. Hier trat regelmäßig Kernverlust auf, so daß die Entnahme einer quantitativ ausreichenden Probe mit stark erhöhtem Aufwand verbunden war.

Die Proben wurden wie folgt entnommen:

Perimeter Tégourou rechts:

Oberboden: Einstich im Batatehügel zwischen Mitte und Rand, 0-30 cm,
bei unkultivierten Parzellen 0-10 cm; 1000 Einstiche/ha

Unterboden: Zwischen den Hügeln 0-50 cm, bei unkultivierten Parzellen
10-60 cm; 100 Einstiche/ha

Perimeter Tégourou links:

Oberboden: Einstich im Batatehügel zwischen Mitte und Rand, 0-30 cm;
100 Einstiche/ha

Unterboden: Zwischen den Hügeln 0-50 cm; 100 Einstiche/ha

Perimeter Tégourou links,

Erweiterungsfläche:

Oberboden 0-30 cm; 100 Einstiche/ha

Auf wenigen Parzellen innerhalb der Gartenflächen rund um den See von Kokodjogou mußten erhebliche Schäden an den Schalotten festgestellt werden. Entweder unterblieb die Keimung, oder die Pflanzen starben im Anschluß an das Keimblattstadium ab. Auf vier

solcher Parzellen wurden separate Bodenproben entnommen. Sie werden im folgenden als 'Problemgärten' 1 - 4 bezeichnet.

Eine Darstellung des Entnahmeplans der Bodenproben findet sich in Anhang 3.

Die Analysen der Makro- und Mikroelemente wurden von der LUFA Rheinland erstellt. Die tabellarische Auflistung der Untersuchungsergebnisse mit der daraus resultierenden Klassifizierung der Böden und Pflanzen nach Gehalts- bzw. Versorgungsstufen findet sich in Anhang 3 und 4.

Sämtliche untersuchten Proben zeichnen sich durch geringe bis sehr geringe Nährstoffgehalte aus. Im einzelnen ergibt sich folgendes:

PH-Wert

Der pH-Wert der untersuchten Proben schwankt zwischen 4,6 und 8,5 (pH CaCl). PH-Werte unter 5,5 bzw. über 7,9 finden sich nur in den 'Problemgärten' 1 - 4. Davon abgesehen sind die niedrigsten pH-Werte in der Erweiterungsfläche zu finden (5,5 - 6,0 pH CaCl). Die pH-Werte des Perimeters Tégourou links liegen zwischen 5,6 und 7,3, die des Perimeters Tégourou rechts zwischen 5,8 und 7,9.

Stickstoff

Die Gehalte an Gesamtstickstoff liegen zwischen 0,02 und 0,04%. Nach PAGEL (1982) sind diese Werte der Versorgungsstufe gering bzw. sehr gering zuzuordnen.

Phosphor

Mit Phosphat-Gehalten zwischen 1 und 9 mg P_2O_5 /100 g Boden sind alle untersuchten Proben nach PAGEL (1982) in die Versorgungsstufe 'niedrig' einzuordnen. Der maximale Wert von 9 mg P_2O_5 /100 g Boden wird in den traditionell bewässerten Gemüsegärten, am Ufer des Stausees von Kokodjogou, erreicht.

Kalium

Die analysierten Böden sind bezüglich des Vorrates an austauschbarem Kalium als 'niedrig' (< 5 mg/100 g Boden) bzw. 'mäßig versorgt' (5-12 mg/100g Boden) zu bezeichnen (PAGEL 1982). Grundsätzlich weisen sowohl die Hirsefelder als auch die Gärten der Erweiterungsfläche in den oberen 30 cm die höchsten Werte auf. Sehr niedrige Gehalte an austauschbarem Kalium wurden in den tieferen Bodenschichten der Perimeter festgestellt.

Auch die sandigen Sedimente im Vorfluter des Perimeters Tégourou rechts enthalten sehr wenig Kalium (25 mg K_2O /100 g Boden).

Magnesium

Die Werte für das austauschbare Magnesium variieren zwischen 0,8 und 8,3 mg Mg/100 g Boden. Unter Einbeziehung der ermittelten Mg-Gehalte der Pflanzenanalyse (0,57-0,80 % Mg in der Trockenmasse, s. Anhang 4) sind die Werte bzw. der Versorgungsgrad der Pflanzen als ausreichend zu bezeichnen.

Kalzium

Kalzium ist das vorherrschende Ion der untersuchten Böden. Die Ca-Gehalte der untersuchten Böden (zwischen 50 und 80 mval% Ca-Sättigung) sind ausreichend. Gemäß Ca-Gehalten der Pflanzenanalyse können die untersuchten Batatepflanzen als ausreichend bzw. gut versorgt angesehen werden.

Natrium

Die Bodenanalysen zeigen, daß die Gehalte an austauschbarem Natrium im Bereich von 0 - 30 cm Bodentiefe zwischen 0,01 und 0,10 mval/100 g schwanken. Der Na-Anteil am Sorptionskomplex beträgt zwischen 0,30 und 2,40 mval Vol%.

Davon abweichend wurden hohe Na-Gehalte (4,30 mval/100 g Boden) in den Seitenflächen der im Kap. 6.8 untersuchten Batatehügel festgestellt. Die Auswertung erfolgt in Kap. 8.4.

Die Na-Gehalte in den Pflanzen liegen bei ca. 0,05 % Na. Im Entnahmebereich 3 können in den untersuchten Pflanzen Na-Gehalte von 0,2 % nachgewiesen werden. Selbst diese höheren Gehalte sind noch als unbedenklich zu betrachten.

Eisen

Eisen liegt in den untersuchten Böden im Bereich von 8 - 20 mg/100 g Boden vor. Die Böden des Perimeters Tégourou rechts weisen die höchsten Gehalte auf.

Die Ergebnisse der Pflanzenanalyse zeigen deutlich den hohen Eisengehalt der untersuchten Batatepflanzen. Im Entnahmebereich 2 weisen die Pflanzen Fe-Gehalte von max. 1996,60 ppm in der Trockenmasse auf. Proben des Entnahmebereiches 1 und 3 zeigen Fe-Gehalte von 1343,60 bzw. 855,80 ppm.

Kupfer, Mangan, Zink

Die Spurenelemente Cu, Mn, Zn sind, hinsichtlich ihrer Konzentration im Boden bzw. ihrer Gehalte in der Trockenmasse der Pflanzen, als unauffällig zu bezeichnen. Weder liegt ein Mangel, noch eine Toxizität vor.

8. ANALYSE UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

8.1 Gesamtbewirtschaftung der Sperrenkette Daga - Kokodjogou

Die Speicherkapazität des Stausees Daga ermöglicht zur Zeit die Bewässerung von insgesamt 43,3 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche. Diese Fläche teilt sich in die durch Schwerkraftbewässerung und die traditionell bewässerte Fläche auf (s. Abb. 3.). Der Bewirtschaftungsplan aller Anlieger der Sperrenkette soll eine möglichst störungsfreie Bewässerung aller vom Staudamm Daga und den nachfolgenden Sperren Tégourou und Kokodjogou zu versorgenden Flächen garantieren. Besonderes Gewicht muß hier auf die Durchführung der 2. Kultur gelegt werden, da sich in diesem Zeitraum die Konkurrenz um das zur Neige gehende Wasser verstärkt. Daher wird eine gute Organisation der Wasserverteilung absolut notwendig. Mit Bezug darauf hat sich im Untersuchungszeitraum folgende Problematik abgezeichnet:

Es besteht eine ernste Konfliktsituation zwischen den Bewirtschaftern der Perimeter Tégourou rechts und Tégourou links einerseits und denjenigen des Perimeters Kokodjogou andererseits.

Die gegenwärtig betriebene Steuerung der Gesamtanlage gewährleistet nicht die ausreichende Wasserversorgung aller 3 Perimeter. Dies ist vor allem im Hinblick auf eine Erweiterung der Perimeterfläche bedeutsam.

Streitpunkt der am Stauwehr Tégourou beobachteten Auseinandersetzungen zwischen den Bauern ist die Wasserabgabe des Stausees Tégourou an den Stausee Kokodjogou, dessen unzureichender Wasserstand keine Bewässerung des angeschlossenen Perimeters zuläßt. Um ein Auffüllen des Stausees Kokodjogou zu erreichen, versuchen die Bauern des Perimeters Kokodjogou das Stauwehr Tégourou zu öffnen. Hierzu werden am Stauwehr Tégourou Dammbalken entfernt. Eigentlich die Aufgabe des landwirtschaftlichen Beraters, wird dies oft genug von den Bauern selbst vorgenommen. Das Entfernen der Dammbalken bedingt das Fallen des Wasserstandes im Stausee Tégourou. Dadurch können die beiden an den Stausee angeschlossenen Perimeter Tégourou rechts und links nicht ausreichend mit Wasser versorgt werden. Der Grad der Unterversorgung schwankt in Abhängigkeit der Zahl der entfernten Dammbalken sowie dem Zufluß vom Staudamm Daga. Werden 2 übereinanderliegende Dammbalken entfernt, sinkt der Wasserspiegel im Stausee Tégourou so tief, daß er die Sohle der Einlaßbauwerke nicht mehr erreicht. Nach 3 bis 5 Tagen wird die

Sperre Tégourou wieder geschlossen und der Kreislauf beginnt von neuem. Eine sofortige Bewässerung der Kulturen in den Perimetern Tégourou rechts ist nicht jederzeit gewährleistet, da der notwendige Zufluß vom Staudamm Daga nicht immer erfolgt. Der Verfasser beobachtete eine auf diese Weise verursachte 7tägige Bewässerungspause. Die Kulturen leiden also unter Wassermangel, sofern sie nicht unter Stauwassereinfluß stehen.

Der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, daß die einzige mit verschiedenen Gemüsesorten kultivierte Parzelle des Perimeters Tégourou rechts aufgrund der erwähnten Bewässerungspause umgebrochen werden mußte. Im Hinblick auf die anzustrebende Diversifizierung sind solche Auswirkungen besonders bedauerlich.

Der Idealfall, nämlich die gleichzeitige und kontinuierliche Wasserversorgung der 3 Perimeter, kann nicht immer gewährleistet werden. Dieser Mißstand ist vor dem Hintergrund zu betrachten, daß erst 13 ha Perimeterfläche, mithin 21 % der geplanten Gesamtfläche (62 ha), ausgebaut und in Betrieb genommen wurden. Der endgültige Wasserbedarf wird sich bei vollständigem Ausbau noch vervielfachen.

STEINGRUBER (1984) läßt diesbezüglich die Frage der Durchführung der 2. Kultur im Nutzungsbereich des Stausees Kokodjogou offen, schlägt aber 2 Varianten vor:

1. Anbau einer 2. Kultur im Perimeter Kokodjogou; dadurch bedingter Volleinstau des Stausees Kokodjogou
2. Kein Anbau einer 2. Kultur im Perimeter Kokodjogou; jedoch eine Inkulturnahme der durch Verdunstung und Wasserentnahme frei werdenden Flächen im Stausee Kokodjogou.

Die Praktizierung der 2. Variante würde das Problem wesentlich entschärfen, da die notwendige Füllung des Stausees Kokodjogou zur Bewässerung des Perimeters Kokodjogou dabei entfällt. Es wird die versuchsweise Durchführung der zweiten Variante vorgeschlagen.

Eine Sicherstellung der Wasserversorgung der Perimeter Tégourou kann relativ einfach erfolgen, indem man das als frei überströmbar konzipierte Stauwehr Tégourou entsprechend nutzt. STEINGRUBER (1984) gibt in seinem Nutzungsmodell an, daß die einzige im Rahmen der Bewässerung anfallende Arbeit das tägliche Öffnen und Schließen der Hauptschieber ist. Die Wasserabgabe an das Wehrbecken Kokodjogou erfolgt automatisch durch Überströmen des Stauwehres Tégourou, also durch kontrollierte Wasserabgabe aus dem Stausee Daga.

Es wird empfohlen diesem Nutzungsplan zu folgen. Die Dammbalken würden demnach nur zur Spülung des Wehres entnommen. Es bleibt abzuwarten, inwieweit die Dogon diese Regelung akzeptieren. Notfalls sollten die Dammbalken verschlossen werden.

Die z.Zt. praktizierte 1. Variante erzeugt über das oben beschriebende Problem hinaus folgenden Mißstand:

Die Stauwurzel des Stausees Kokodjogou reicht bei Volleinstau in den Vorfluter des Perimeters Tégourou hinein. Der Wasserstand im Stausee steht so in direkter Beziehung zum Grundwasserspiegel des Perimeters Tégourou rechts. Inwieweit dies jedoch eine Beeinträchtigung der Entwässerung des Perimeters verursacht, kann hier mit Bestimmtheit nicht geklärt werden, da z. Zt. keine Messungen der relevanten Wasserstände vorliegen. Auch erschwert die durch eine Piste aufgestaute Vorflut (s. Kap. 5.1.1 und Kap. 8.2) eine exakte Beurteilung. Im Rahmen der Festlegung der endgültigen Bewirtschaftungsform muß diese unbedingt erfolgen.

8.2 Bewirtschaftung der Perimeter

Vorflut Tégourou rechts

Es bleibt unverständlich, daß die im Zuge der Bauarbeiten des Stauwehres Kokodjogou notwendige Straße, die die Vorflut absperrt, bisher nicht entfernt worden ist. Bei der Auswertung der Literatur von STEINGRUBER (1974 a, 1974 b, 1974 c, 1978, o.J.) wurde ein entsprechender Hinweis nicht gefunden. Festzuhalten bleibt:

- Die Piste hat die Notwendigkeit ihrer Existenz verloren, da das Stauwehr Kokodjogou ausschließlich über die südlich des Stausees Kokodjogou verlaufende neue Piste angefahren wird.
- Die Vorflut wird durch die Piste aufgestaut; das gestaute Wasser drückt somit in die benachbarten Perimeterbereiche und wirkt einer Entwässerung entgegen.
- Die Piste verursacht eine Verlandung der Vorflut. Der Marigot ist bis zur Oberkante der Piste mit Sand gefüllt, der sich in der Regenzeit dort ablagert.
- Die Bauern beziehen die aufgestaute Vorflut in die Bewirtschaftung des Perimeters mit ein. Im Marigot wird Batate angebaut. Weiterhin wird das aufgestaute Wasser zur Bewässerung von Schalotten genutzt, die auf der dem Perimeter gegenüberliegenden Seite des Marigots angebaut werden (s. Kap. 4.2.3.3). Die Sicherstellung der

Wasserversorgung dieser traditionell bewässerten Parzellen erfordert einen genügend hohen Wasserstand in der Vorflut. Ansonsten können die Kalebassen nicht gefüllt werden. Damit die Wasserversorgung der genannten Kulturen gesichert ist, haben die Bauern im Marigot kleine Erddämme errichtet. Diese bewirken eine abflußverlangsamende Wirkung. Fällt der Wasserstand dennoch zu weit, wird über das Kanal- und Rohrsystem des Perimeters Wasser direkt in den Marigot geleitet. Es wird so versucht, den Grundwasserspiegel konstant hoch zu halten (s. Kap. 4.2.3.3).

Demzufolge wird dringend geraten die die Vorflut absperrende Piste zu entfernen. Es ist anzunehmen, daß der Marigot von den sedimentierten Sanden durch die in der Regenzeit einsetzenden Hochwasserwellen befreit wird. Sollte sich diese Annahme nicht bestätigen, so ist alternativ ein Vorfluterkanal mit einer Sohlenbreite, nicht unter 0,5 m, auszuheben. Die Tiefe des unbefestigten Erdkanals wird durch den anstehenden Fels begrenzt sein.

Wasserzuleitung, -verteilung und Bemessung der Wassergabe

Seit Jahrhunderten ist dem Dogon der sparsame Gebrauch des Rohstoffes Wasser vertraut. Es stellt sich daher die Frage nach

1. der Ursache, der in Kap. 4.2.3.3 beschriebenen Wasserverschwendung und
2. den Gründen, der in Kap. 5. beschriebenen Mißstände.

Zu 1.:

Die anstehenden leichten Böden fordern aufgrund ihrer hohen Infiltrationsintensitäten (Kap. 6.7) und mittleren Durchlässigkeiten (Kap. 6.5) einen hohen Wasserzulauf um einen möglichst gleichzeitigen Beginn der Infiltration zu erreichen (ACHTNICH, 1980). Das ist gleichbedeutend mit einer Minimierung der Bewässerungszeit. Die beobachteten langen Bewässerungszeiten (bis zu 2 Std. 15 Min.) sind u.a. in Zusammenhang mit den Verlusten innerhalb des Systems zu sehen. Diese zwingen den Bauern die Bewässerungszeiten auszu dehnen um die entsprechende Menge Wasser auf sein Feld zu leiten. Die dadurch bedingten höheren Infiltrationsraten verursachen weitere Verluste und sind insofern mitverantwortlich für das im Perimeter anstehende Stauwasser.

Das Wasser wird aus o.a. Gründen nicht nur zu langsam, insgesamt wird auch zu viel Wasser auf die Parzellen geleitet. Dies löst folgende Vorgänge aus:

Bei zu großer Wassergabe brechen Parzellendämme, bzw. diese werden unterhöhlt. Das Wasser läuft in die nächste Parzelle, von dort fließt es weiter in Richtung Vorfluter, bis es diesen schließlich erreicht. Das verursacht Erosionsrillen. Nicht

oberflächlich abfließendes Wasser versickert im Boden, bis es auf den anstehenden Fels stößt. Auf dessen Oberfläche strömt es ebenfalls dem Vorfluter zu. Auf diese Weise werden die ohnehin knappen Nährstoffvorräte durch Auswaschung weiter vermindert. Allerdings wird damit im gleichen Zuge eine schädliche Anreicherung von Salz verhindert (s. dazu Kap. 8.4).

Es ist hier kritisch zu hinterfragen, ob

- der Dogon mit den Anforderungen, die ein Schwerkraftbewässerungssystem hinsichtlich der Bemessung der Wassergaben stellt, schlichtweg überfordert ist,
- die landwirtschaftliche Beratung in der Vermittlung der erforderlichen Kenntnisse versagt hat.

Diese Fragestellungen werden am Ende des Kapitels diskutiert.

Eine Verbesserung der beschriebenen Zustände ist nur über eine Regelung der Bewässerungsrotation zu erreichen. Nach STEINGRUBER (1984) ist für den Dogon "...als extremer Individualist die Einordnung in ein Wasserverteilungssystem mit festgelegten Bewässerungszeiten ... nicht akzeptabel...". Hier ist ein Kompromiß denkbar, der dem Dogon zum einen die Kenntnis über die schädlichen Folgen eines Überschusses an Wasser vermittelt. Darauf aufbauend kann der Bevölkerung zudem verständlich gemacht werden, daß eine geregelte Rotation sinnvoll ist. Nach entsprechenden Vorgaben wären die Dogon u.U. dazu in der Lage mit dem landwirtschaftlichen Berater einen Rotationsplan auszuarbeiten. Zumindest muß begreiflich gemacht werden, daß die Mißachtung der Rotation die Ernte aller gefährdet. Bei der Durchführung des Rotationsplanes ist eine stichprobenartige Kontrolle von seiten des landwirtschaftlichen Beraters sehr zu empfehlen.

Zu 2.:

Die in Kapitel 5. u.a. beschriebenen Mißstände innerhalb der Perimeter, sind die Folge einer mangelhaften Instandhaltung. Hieraus resultiert die generelle Undichtigkeit der Verschlusseinrichtungen innerhalb der Perimeter. Die Verluste betragen bis zu 100 % (s. Kap. 5.1.3); sie sind für das im Vorfluter und im Perimeter anstehende Stauwasser mitverantwortlich. Nahezu an jeder Stelle des Rohr- und Kanalsystems sind diese Verluste zu beobachten (Kap. 5.2, s. dazu auch Abb. 10. - 14. u. Abb. 16.). Mangels Abflußmöglichkeit durch den aufgestauten Vorfluter (Kap. 5.1.1) setzen sie in ihrer Gesamtheit die westliche Hälfte des Perimeters unter Wasser. Selbst während der Nacht fließt, bei eigentlich geschlossenem Hauptschieber, ständig Wasser in das System.

Ein mangelhaftes Engagement der Bevölkerung hinsichtlich der Instandhaltung des Systems ist nicht zu übersehen. Allerdings ist auch offenkundig, daß die verantwortliche landwirtschaftliche Beratung in dieser Beziehung wenig erfolgreich war. Der mittlerweile abgelöste Berater der Station Tégourou war über die Mißstände innerhalb der Perimeter nur teilweise informiert, unternahm jedoch keine Anstrengungen hinsichtlich ihrer Behebung. In der Zukunft muß eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Anlagen gewährleistet werden. Hierfür bietet sich die Zeit zwischen Bewässerungsperiode und Regenzeit an.

Darüber hinaus weisen die Perimeter in Teilbereichen Bauelemente auf, die Verluste unumgänglich machen:

- Entgegen den Aussagen von STEINGRUBER (o.J.) sind die Verluste in der Rohrbevässerungsanlage jetzt gravierender als in den Mauer- und Fertigteilkanälen. Die Auslaßschächte sind nicht zufriedenstellend konstruiert, sie können mit den bei STEINGRUBER (o.J.) beschriebenen Mitteln nicht abgedichtet werden. Es wird empfohlen, die Auslaßschächte mit Gummistopfen zu verschließen. Die Verwendung von Holz könnte aufgrund der Quellfähigkeit bei Wassereinwirkung Schäden anrichten.
- Die Metallschieber der Perimeter sind z.T. nicht in den richtigen Maßen angefertigt worden. Sie sind für den Felddauslaß zu klein; zudem werden Schieber von der Bevölkerung vertauscht.
- Die Verluste am ersten Verteilerbauwerk des Perimeters Tégourou links (Kap. 5.2) hätten vermieden werden können, indem die Öffnung, die den Zuleiter der Blöcke der Erweiterungsfläche eines Tages aufnehmen soll, zugemauert worden wäre. Stattdessen wurde sie notdürftig und wenig dauerhaft mit Brettern verschlossen. Solange die Erweiterung des Perimeters noch in Frage steht, wird die o.g. Maßnahme unbedingt empfohlen.

Batatehügel

Bei der Batatekultur konnte sich Furchenbewässerung (hier Furcheneinstau) gegenüber dem traditionellen Verfahren der Hügelkultur bisher nicht durchsetzen. In den Perimetern Tégourou rechts und Tégourou links wurde zur Demonstration jeweils eine Parzelle mit Furchenbewässerung angelegt. Die Resonanz darauf ist jedoch gering.

Die Bauern geben an, daß bei der Furchenbewässerung mehr Wasser benötigt wird. Diese nicht näher begründete Angabe wird vom Verfasser nicht geteilt, da sie die im folgenden erklärte schlechte Flächenausnutzung der Hügelkultur nicht mit einbezieht.

Abb. 9. zeigt die ungünstige Flächenaufteilung bei der Hügelkultur. Folgende Berechnung zeigt den Anteil nutzbarer Fläche bei beiden Verfahren. Den Berechnungen wird eine $5 \text{ m} \times 20 \text{ m} = 100 \text{ m}^2$ große Parzelle zugrunde gelegt. Die Maße der vereinfacht als Kegelstümpfe aufzufassenden Hügel (mit Deck-, Grund- und Mantelfläche) schwanken in weiten Bereichen. Für das nachstehende Beispiel wurden mittlere, im Perimeter festgestellte Maße angenommen.

Bei einem Radius der Grundfläche der Hügel von 0,65 m und Strecken zwischen den Grundflächen von 0,25 m können in der Parzelle 36 Hügel errichtet werden. Ein Radius der Deckfläche von 0,5 m ergibt eine Gesamtfläche von

$$36 \times (0,50\text{m})^2 \times \pi = 28,27 \text{ m}^2$$

Demgegenüber ergibt die Berechnung bei Furcheneinstau, bei 25 cm breiten Furchen und 35 cm breiten Dämmen, eine maximale Anzahl von 7 Furchen die bei einer Länge von 19 m

$$7 \times 0,35 \text{ m} \times 19,00 \text{ m} = 46,55 \text{ m}^2$$

Dies entspricht einer Steigerung der nutzbaren Oberfläche von 64,66 %.

Zwecks Erhöhung der Flächenproduktivität ist eine Etablierung der Furchenbewässerung unumgänglich. Bei Anlage und Bewirtschaftung von Demonstrationsparzellen sollte in der Zukunft sorgfältig vorgegangen werden. Ein Vergleich der Furchenbewässerung mit der traditionellen Anbauweise war bisher nicht möglich, da in den Versuchs- und Kontrollparzellen kein zeitgleiches Setzen der Batateknollen vorgenommen wurde. Darüberhinaus wurden unterschiedliche Wasser- bzw. Düngergaben aufgebracht.

Zusammenfassung

Im Vergleich zur traditionellen Kalebassenbewässerung versetzt die Nutzung der Perimeter den Dogonbauern in die Lage, mit wenig Arbeitseinsatz genügend Wasser auf seine Parzelle leiten zu können. Zusätzlich zu den Parzellen im traditionellen Gartenbau, kann er weitere Flächen in Kultur nehmen, und dabei eine höhere Arbeitsproduktivität erreichen.

Diese an sich bemerkenswerte und fortschrittliche Umwälzung in der Bewässerungswirtschaft der Dogon kann, angesichts der in dieser Arbeit beschriebenen, nicht sachgerechten Nutzung der Perimeter und der daraus erwachsenen Mißstände, in der Praxis nicht

überzeugen. In diesem Zusammenhang wird auf den starken Bruch in der landwirtschaftlichen Entwicklung hingewiesen, den der Bau der Sperrenkette Daga - Kokodjogou mehr als jeder andere Staudambau auf dem Dogon-Plateau, verursacht hat. Die große Speicherkapazität des Stausees Daga zwingt zu effizienten Bewässerungsverfahren, die mit der traditionellen Kalebassenbewässerung nicht zu vergleichen sind. So wundert es nicht, daß der Dogonbauer Schwierigkeiten bei der Anpassung an die neue Bewässerungstechnik hat. Dies bezieht sich z.B. auf die Bemessung der Wassergaben, da seitens der Bauern dahingehend keine Erfahrungen bestanden. Der Dogon kann auch die Notwendigkeit der Entwässerung, die bei der traditionellen Bewässerungsweise nicht besteht, kaum nachvollziehen. Treten dazu Defizite in der landwirtschaftlichen Beratung auf, wie es bei den Perimetern der Sperre Tégourou der Fall ist, sind die beschriebenen Mißstände unvermeidlich. Offen ist, ob eine Verbesserung und Intensivierung der Beratung die bestehenden Zustände korrigieren kann. Die Klärung dieser Frage muß vor einem weiteren Ausbau der Perimeter erfolgen. Anhand ihrer Beantwortung kann festgestellt werden, ob das bestehende Bewässerungssystem eine für die Dogon 'angepaßte Technologie' darstellt oder nicht. Sollte letzteres der Fall sein, wäre ein weiterer Ausbau der Perimeter nach den ursprünglichen Plänen nicht zu verantworten.

8.3 Feld- und Laboruntersuchungen

8.3.1 Boden

Die untersuchten Schwemmlandböden der Perimeter Tégourou rechts und links, der Erweiterungsfläche Tégourou links und der daran angeschlossenen Gartenfläche sind als leichte, durchlässige, nährstoff- und humusarme Böden zu bezeichnen. Im einzelnen ergibt sich folgendes:

Infiltrationsintensitäten

Nach BURGHARDT (1970) sind die gemessenen Versickerungsintensitäten (s. Abb. 20.) wie folgt zu beurteilen:

Tégourou rechts:	mittel bis hoch
Tégourou links:	hoch
Tégourou links, Erweiterungsfläche:	hoch

Die hohen Infiltrationsraten im Perimeter Tégourou links sowie auf der zugehörigen Erweiterungsfläche weisen auf die feinschluffig sandige Textur des anstehenden

Schwemmlandbodens hin. Die trotz gleicher Textur im Perimeter Tégourou rechts geringer ausfallende, aber immerhin noch mittlere Infiltrationsrate wird auf das anstehende Stauwasser zurückgeführt. Abb. 20. zeigt für den Perimeter Tégourou rechts die typische Kurve der Versickerungsintensität eines wassergesättigten Bodens. In Anbetracht der gemessenen Werte können den anstehenden Bodenschichten keine stauenden Eigenschaften zugeordnet werden. Selbst im Perimeter Tégourou rechts verringert das anstehende Stauwasser offensichtlich nicht die Durchlässigkeit der oberen Bodenschichten in einer den Bewässerungsbetrieb gefährdenden Art und Weise.

Angemerkt wird, daß im Perimeter Tégourou rechts bei normalem Bewässerungsbetrieb, wenn der Grundwasserspiegel auf 25 cm unter GOK aufsteigt, die in Tab. 3 aufgeführten Infiltrationsraten mit Sicherheit unterschritten werden.

Bodenansprache

Die Untersuchungen bestätigen die Angaben in der Literatur, wonach es sich bei den anstehenden Schwemmlandböden um schwach horizontierte Böden handelt (HIPPEL und SCHWEMER 1983; N.N./GTZ o.J.). Allerdings ist im Perimeter Tégourou rechts durch das in Kap. 5. beschriebene Stauwasser eine Verringerung des Sauerstoffgehaltes und damit auch des Redoxpotentials zu verzeichnen. Dies wird u.a. mit den stark erhöhten Eisengehalten der untersuchten Pflanzen belegt (Kap. 8.3.3). Weiterhin ist eine deutliche Korrelation zwischen Feuchtegrad der Böden und Auftreten einer grauschwarzen Marmorierung zu erkennen. Ein im östlichen Teil des Perimeters angesprochener trockener Boden wies eine einheitliche Bodenfarbe auf, die in etwa dem Munsell-Farbwert 7,5 YR 4/4 entsprach. Je höher der Wassergehalt der angesprochenen Proben war, desto ausgeprägter ließ sich die Marmorierung der Profile beobachten. Hier wurden Munsell-Farbwerte von 7,5 YR 4/4 bis 4/0 festgestellt. Die Marmorierung belegt die reduktiven Verhältnisse in den überstauten Böden. Dabei ist bemerkenswert, daß die Schürfgrube 1 ab einer Tiefe von 60 cm, die Schürfgruben 2 und 3 dagegen über das gesamte Profil die beschriebene Marmorierung aufweisen. Ursache dessen ist die im Bereich der Schürfgrube 1 größere Bodenmächtigkeit, die ein Aufsteigen des Grundwasserspiegels und damit einen Transport der unter reduktiven Bedingungen leichtlöslichen Spurenelemente (Fe, Mn) in die oberen Bodenschichten verhindert. Die Profile der Schürfgruben 1 und 2 weisen dagegen die Spuren wechselfeuchter Wasserverhältnisse bis zur GOK auf; dies entspricht der Beobachtung der Wasserverhältnisse.

PH-Wert

Die festgestellten schwach sauren bis schwach basischen pH-Werte liegen bis in einem für den Pflanzenbau günstigen Bereich. Jedoch wird angemerkt, daß die Bodenproben der 'Problemgärten' 1, 2 und 4 hohe pH-Werte aufweisen (8,1 - 8,5 pH CaCl). Nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1984), PAGEL (1982), und POLETSCHNY (1990) ist bei diesen pH-Werten eine geringe Verfügbarkeit der Spurenelemente anzusetzen. Hier liegt eine Ursache für die in Kap. 7.2 aufgeführten Schädigungen des Pflanzenbestandes. Diesbezüglich gilt weiter: Bei hohen Kalzium-Gehalten, wie sie in den untersuchten Böden zu finden sind (1,95 - 3,00 mval K/100 g Boden), liegt das Phosphat nach PAGEL (1982) vorwiegend als Kalziumphosphat vor. Dessen Löslichkeit nimmt nach PAGEL (1982) und SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1984) mit steigendem pH-Wert ab. Insofern ist mit einer Fixierung der ohnehin geringen Phosphatgehalte zu rechnen. Dies wurde von POLETSCHNY (1990) bestätigt.

Die extrem niedrigen pH-Werte im 'Problemgarten' 3 (4,6 pH CaCl) sind aufgrund seiner direkten Nachbarschaft zum 'Problemgarten' 4 nicht erklärbar. Beide Flächen liegen im Uferbereich des Stausees Kokodjogou und sind nur wenige Quadratmeter groß; sie weisen einen nahezu abgestorbenen Pflanzenbestand bei extrem unterschiedlichen pH-Werten auf. Die Salzgehalte liegen mit 0,04 und 0,09 % nach KOVDA et.al. (1973) im unbedeutenden Bereich. Die Nährstoffgehalte sind unauffällig.

Nährstoffgehalte und organische Substanz

Sämtliche untersuchten Böden weisen geringe bis sehr geringe Nährstoffgehalte auf. Dies gilt nicht für die Elemente Kalzium und Magnesium, die in ausreichendem Maße vorhanden sind.

Die relativ hohen (absolut gesehen aber niedrigen) Phosphatgehalte in den Gärten sind Auswirkung der dort durchgeführten Düngung. Wie bereits in Kapitel 4.2.3.2 dargelegt, wird der Großteil der NPK-Dünger (19 kg/ha insgesamt) in den Gärten verarbeitet.

Der Gehalt an organischer Substanz ist entsprechend den niedrigen N-Gehalten (0,02-0,04 mg/100 g Gesamt-N) ebenfalls sehr gering. Dies bestätigt die Untersuchung von RIEFFEL (1987), der bei Bodenproben des Perimeters Tégourou rechts 0,34 - 1,50 % organische Substanz feststellte (Mittel: 0,87 %).

Da die anstehenden Böden zudem nur geringe Gehalte an Tonmineralien aufweisen, ist die Kationen-Austauschkapazität sehr gering (3,1 - 4,2 mval/100 g Boden). Eine Erhöhung der Gehalte an organischer Substanz ist deshalb zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit dringlich.

Eine Zunahme der Bodenfruchtbarkeit über vermehrten Einsatz von mineralischen Düngern ist angesichts der sehr beschränkten finanziellen Mittel der Bauern nicht durchführbar und aus pflanzenbaulicher Sicht nicht vorrangig zu empfehlen.

Die Basensättigung der untersuchten Böden beträgt 100 %. Eine Vergrößerung der geringen Kationen-Austauschkapazität kann nur über höhere Gehalte an organischer Substanz erreicht werden. Dies gilt für alle untersuchten Böden. Ob zur Erreichung dieses Zieles die Kompostwirtschaft der Dogon weiter intensiviert werden kann, ist angesichts der begrenzt vorhandenen organischen Masse fraglich, aber unbedingt zu prüfen.

8.3.2 Wasser

Das Wasser der Sperre Tégourou ist hinsichtlich seines Gesamtsalzgehaltes ($107 \mu\text{S/cm}$, 25°C) und SAR-Wertes (<1) als unbedenklich einzustufen. Es erfüllt die Anforderungen der jeweils besten Güteklasse (Schädigung nach Gesamtsalzgehalt bzw. nach dem Natriumabsorptionswert unter Berücksichtigung des Gesamtsalzgehaltes mit Hilfe des elektrischen Leitwertes) nach den gebräuchlichsten Klassifizierungen (RICHARDS, 1954; KOVDA et. al. 1973; THORNE und PETERSON, 1954).

Das Wasser in den Schürfgruben besitzt im Vergleich zum Wasser der Sperre eine erhöhte Konzentration an Natrium-, Magnesium-, Kalzium- und Chlorionen. Zwar können die Wässer der Schürfgruben 1 und 3 nicht in die Güteklassen C1 (RICHARDS, 1954) bzw. 1 (THORNE und PETERSON, 1954) eingeordnet werden, sie überschreiten den Grenzwert von $250 \mu\text{S}$ um 28 Einheiten, jedoch erfüllen sie sämtlich die Anforderungen der Güteklasse A (TAYLOR und ASHCROFT, 1972) bzw. 'Wasser bester Qualität' (KOVDA et.al. 1973). Die Wasserprobe der Schürfgrube 1 läßt sich aufgrund des niedrigen SAR-Wertes in die Güteklasse S1 (RICHARDS, 1954) einordnen.

Die übrigen bestimmten Konzentrationen sind durchweg gering und wenig auffällig.

Hingewiesen wird allerdings auf die in der Schürfgrube 1 ermittelten geringeren Fe- und NO_3 -Konzentrationen (s. Anhang 2). Der geringere Nitrat-Gehalt ($0,1$ statt $0,6 \text{ mg/l}$ im Wasser der Sperre) weist auf eine Denitrifikation zu gasförmigen N_xO_x -Verbindungen durch fakultativ anaerobe Bodenorganismen hin. Demgegenüber wird der gleichfalls gesunkene Eisengehalt mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Ausfällungen der Wasserproben zurückgeführt, die vor der Analyse routinemäßig abfiltriert wurden (POLETSCHNY 1990). Hier sind verschiedene chemische Umsetzungen möglich, beispielsweise eine Bindung durch Humate.

In diesem Zusammenhang wird auf die in Kap. 5.1.1 beschriebenen Eigenschaften des Wassers in der stehenden Vorflut hingewiesen. Auch hier kam es zur Ausfällung von Eisenverbindungen.

Es läßt sich mit Bestimmtheit feststellen, daß die analysierten Wasserproben insgesamt keine, für den Betrieb des Perimeters bedenklichen Konzentrationen aufweisen.

8.3.3 Pflanzen

Die Ergebnisse der Pflanzenanalysen bestätigen in weiten Teilen die Resultate der Bodenanalysen. Die N-Gehalte der untersuchten Süßkartoffelpflanzen sind sehr gering, sie spiegeln die Verhältnisse im Boden wider. Dies gilt auch für die Hauptnährstoffe Phosphor und Kalium. Zink ist ebenfalls nicht ausreichend vorhanden. Die Gehalte an Kalzium, Magnesium, Mangan und Kupfer sind hingegen ausreichend. Auffällig ist der sehr hohe Fe-Gehalt in den durch Stauwasser beeinflussten Parzellen. Die Verfügbarkeit des Spurenelementes Eisen ist in besonderer Weise von pH-Wert und Redoxpotential des Bodens abhängig (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1984; PAGEL 1982; MENGEL 1984). Hohe Fe-Konzentrationen in der Pflanze, im Zusammenhang mit Stauwasser im Wurzelraum, weisen auf reduzierende Bedingungen im Boden hin. Aufgrund mangelnder Daten in der Literatur können Toxizitäts-Grenzwerte des Eisengehaltes für die Süßkartoffel hier nicht angegeben werden. POLETSCHNY (1990) bezeichnet die festgestellten Fe-Gehalte über 1800 ppm als sehr hoch und hält bei diesen Gehalten eine Fe-Toxizität für wahrscheinlich. Eine Beseitigung des Stauwassers ist so über die Versalzungsproblematik hinaus von hohem pflanzenbaulichem Interesse.

GOLDSWORTHY und FISHER (1984) wiesen u.a. für die Batate nach, daß Sauerstoffmangel infolge von Wasserüberschuß Zellteilung und -wachstum im Wurzelbereich sowie die Bildung von Knollen negativ beeinflusst. Bei der Entnahme von Pflanzenproben im Perimeter Tégourou rechts konnte festgestellt werden, daß im Entnahmebereich 4 die Batatepflanzen keine oder nur wenige kleine Knollen entwickelt hatten.

8.4 Versalzungsproblematik

Die Ergebnisse aller in Zusammenhang mit diesem Bericht vorgenommenen Untersuchungen und Erhebungen sprechen gegen eine akute Versalzung der anstehenden Schwemmlandböden. Jedoch wird eindeutig eine potentielle Versalzungsgefahr offengelegt.

8.4.1 Akute Versalzung im Perimeter Tégourou rechts

Die oberflächlichen Salzausblühungen in Teilbereichen des Perimeters Tégourou rechts (Abb. 18.) und die Leitfähigkeiten und Salzgehalte der Mantelfläche eines Batatehügels (Abb. 23.) weisen ebenso wie Teile der Analysen von RIEFFEL (1987) auf eine Versalzung der anstehenden Schwemmlandböden hin. Eine eingehende Betrachtung der im Verlaufe dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigt aber, daß die Salzkonzentrationen im Oberboden des Perimeters grundsätzlich keine für den Pflanzenbau bedenklichen Werte aufweisen:

- Das Bewässerungswasser des Djounjourous führt den Perimetern keine nennenswerten Quantitäten Salz zu. Insbesondere die Na-Gehalte des Bewässerungswassers sind für den Bewässerungsbetrieb unbedenklich; die SAR-Werte sind kleiner 1 und damit hervorragend (Kap.8.3.2).
- Die untersuchten Pflanzen weisen nur geringe Gehalte an Natrium auf (max. 0,2 % in der Trockenmasse). Diese können eine Bodenversalzung nicht bestätigen. Nach PAGEL (1982), SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1984), MENGEL (1984) ist Natrium in diesen Gehalten als nützliches Element zu betrachten.
- Die Leitfähigkeit des oberflächlichen Stauwassers im Perimeter entspricht der Leitfähigkeit des Wassers im Stausee Tégourou, evtl. liegt sie geringfügig darüber.
- Die ermittelten Leitfähigkeiten der Bodenpaste im Perimeter Tégourou rechts bewegen sich zwischen 59,6 und 635,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nach KOVDA et.al. (1973) bzw. THORNE und PETERSON (1954) sind diese Leitfähigkeiten den Güteklassen 'gering' und 'mittel' zuzuordnen. TAYLOR und ASHCROFT (1972) ordnen diese Gehalte der Güteklasse 'gering' zu. Nach BERNSTEIN (1977) tritt bei einem elektrischen Leitwert des Sättigungsextraktes von 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eine Ertragssenkung der angepflanzten Batate von 10 % auf. Dieser Wert wird, wie in Abb. 21. und 22. ersichtlich, vom größten Teil der untersuchten Proben eingehalten. Mit 51 von 58 der Proben entspricht dies einem Flächenanteil am gesamten Perimeter von ca. 95 %. In Abb. 21. fällt der höchste Wert von 635 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durch das Ausbrechen aus der Reihe der sonst kontinuierlich steigenden, der Größe nach sortierten Meßwerte auf. Die Vermutung, es könnte sich bei dieser Probe um einen 'Ausreißer' handeln konnte sich im weiteren Verlauf der Untersuchungen nicht bestätigen. Die Messung dieser Probe er-

brachte auch nach mehrmaliger Wiederholung sowohl der Entnahme als auch der Messung keine Änderung mit sich. Es wird in diesem Zusammenhang auf die schon erwähnte, in diesem Bereich relativ stark ausgeprägte Auskristallisierung von Salz hingewiesen.

- Die Analyseergebnisse des Unterbodens (bis 70 cm) lassen eine Versalzungsgefahr aufgrund von anstehendem salzreichem Stauwassers nicht zu. Damit kann auch ausgeschlossen werden, daß salzreiches Grund- oder Stauwasser im Untergrund seitlich in den Perimeter verlagert wird.
- Die Wasser- und Bodenanalysen von Proben die innerhalb des Vorfluters entnommen wurden zeigen ebenfalls keine hohen Salzkonzentrationen bzw. Leitfähigkeiten. Das im Marigot fließende Wasser weist eine dem Wasser der Sperre ähnliche Leitfähigkeit auf (ca. $100 \mu\text{S}/\text{cm}$). Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Wasserproben gegen Ende der Bewässerungsperiode (Ende März) entnommen wurden, also zu einem Zeitpunkt, an dem sich die Konzentration der im Wasser gelösten Ionen ihrem Maximum näherte.

Die eingangs erwähnten Hinweise auf eine Versalzung, insbesondere die Analysen von RIEFFEL (1987), sollen an dieser Stelle diskutiert werden. Die vorgenannten Analysen der Proben des Perimeters Tégourou rechts weisen insgesamt moderate Leitfähigkeiten des Sättigungsextraktes ($0,1 - 1,2 \text{ mS}/\text{cm}$) auf. Allerdings sind die Proben 6 und 7 hinsichtlich der Leitfähigkeiten des Sättigungsextraktes (32 und $8 \text{ mS}/\text{cm}$) sehr auffällig.

TOLLE (1989) gibt an, daß er für die Proben 6 und 7 reine Salzausblühungen entnommen hat; die Untersuchungsergebnisse liefern somit Aufschluß über die Zusammensetzung der im Perimeter Tégourou rechts an der Oberfläche vorhandenen Salzausblühungen, ihre hohen Leitfähigkeiten und Salzgehalte, insbesondere die hohen Gehalte an Na, SO_4 und Cl.

Allerdings können diese Ergebnisse nicht als repräsentativ für eine generelle Versalzung der oberen Bodenschichten des Entnahmebereiches angesehen werden.

In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse der Analyse der Verteilung der EC-Werte innerhalb der im Perimeter aufgeschichteten Hügel zu sehen (Kap. 6.8 und Abb. 23.). Hier wird deutlich, daß hohe, für den Pflanzenbau bedenkliche Leitfähigkeiten nur an den seitlichen Randflächen der Hügel auftreten:

Die in Abb. 23. erkennbare Verteilung der Leitfähigkeiten resultiert aus der Bewässerungstechnik: Nach Einstau der Parzellen werden die Hügel mit Hilfe einer Kür-

bisschale von oben mit Wasser begossen. Die durch dieses Wasser gelösten Elektrolyte werden senkrecht bzw. seitlich nach unten verlagert. Sie werden dort durch das im Rahmen der Bewässerung der Parzelle aufgebrauchte Wasser, durch Wasser aus Verlusten in anderen Teilen des Perimeters oder durch lokales Stauwasser ausgewaschen. Da die Seitenflächen der Hügel nicht in gleicher Weise begossen werden, reichern sich die Elektrolyte dort an.

Bei Betrachtung der Abb. 22. stellt sich die Frage, warum der Perimeter Tégourou rechts im Bereich der Parzellen 45-50, 61-69 und 84-86 höhere Leitfähigkeiten aufweist als in den übrigen Teilen. Zur Beantwortung dieser Frage müssen die Ergebnisse der Kap. 6.3 und 6.4 herangezogen werden. In Übereinstimmung mit den relativ mächtigen Bodenschichten der genannten Bereiche (1,60 m bei Schürfgrube 1) erreicht der Grundwasserspiegel dort zu keiner Zeit die GOK. Hier reichern sich, verursacht durch Kapillarität und Evapotranspiration Salze in den obersten Bodenschichten an. Im Gegensatz dazu steht in der verbleibenden Westhälfte des Perimeters Tégourou rechts der Fels in geringerer Tiefe an (s. Abb. 19.). Als Folge davon erreicht das Stauwasser die GOK bzw. übersteigt diese zum Teil. Die dort anstehenden Böden unterliegen einer beständigen Auswaschung, bei der eine Anreicherung von Salz unmöglich ist. Die Analysen spiegeln diesen Sachverhalt wider.

8.4.2 Gefahr einer zukünftigen Bodenversalzung

Obwohl die Salzkonzentrationen in den oberen Bodenschichten des Perimeters Tégourou rechts, abgesehen von den Seitenflächen der Hügel, keine wachstumsbeeinträchtigenden Werte aufweisen, kann die Gefahr einer zukünftigen Bodenversalzung nicht ausgeschlossen werden:

"Bei oberflächennahen Grundwasserständen von weniger als 2 m Flurabstand verursacht die aufsteigende Wasserbewegung während warmer Trockenzeiten ebenfalls eine Salzanreicherung in der Wurzelzone - ganz unabhängig von der Qualität des Bewässerungswassers" (MANN 1982).

Die beobachteten Salzanreicherungen resultieren aus diesem Prozeß. Zum Zeitpunkt der Untersuchung ergeben sich diesbezüglich nur geringe Auswirkungen, da die jährliche Zerstörung der Hügel, die erst nach der Regenzeit und damit nach der Reis- bzw. Erdnußkultur wieder errichtet werden, dieser Form der Salzanreicherung direkt entgegen wirkt. Durch die Planierung wird das lokal angereicherte Salz mit dem weniger belasteten

Boden vermischt. Während des Reisanbaus erfolgt eine weitgehende Auswaschung der Salze durch Niederschläge und Bewässerungswasser.

Die Änderung einzelner Bestimmungsfaktoren dieses Prozesses kann eine fortschreitende Versalzung verursachen. Dazu zählen neben einer Veränderung des Grundwasserspiegels auch zu hohe Gaben mineralischer Dünger oder eine weniger starke Durchmischung des Oberbodens aufgrund geänderter Kulturverfahren.

Das im Perimeter Tégourou rechts lokal angereicherte Salz ist entsprechend den obigen Ausführungen für den Pflanzenbau ungefährlich und auf das im Perimeter anstehende Stauwasser zurückzuführen. Sowohl die ausgezeichnete Qualität des Bewässerungswassers, als auch das Fehlen salzreicher Grund- und Stauwässer lassen keine andere Aussage zu. Die Höhe - nicht die Qualität - des anstehenden Stauwassers ist der bestimmende Faktor der Salzanreicherungen. Eine fachgerechte Entwässerung kombiniert mit einer Reduzierung der Wasserverluste ist Voraussetzung für eine Beseitigung des Stauwassers und eine weitgehende Ausschließung der Versalzungsgefahr. Aufgrund der ermittelten hohen bis mittleren Infiltrationsraten und der mittleren Durchlässigkeit der anstehenden schluffigen Feinsande ist der Ausbau bzw. die Instandsetzung des Vorfluters für eine Dränung ausreichend.

Das Bewässerungswasser des Djounjourous führt den Perimetern keine nennenswerten Quantitäten Salz zu. Insbesondere die Na-Gehalte des Bewässerungswassers sind für den Bewässerungsbetrieb unbedenklich.

Sowohl die EC-Werte der Bodenpaste als auch die Gesamtsalzanteile zeigen, daß eine Bodenversalzung nicht besteht.

Die untersuchten Pflanzen weisen nur geringe Gehalte an Natrium auf, die eine Bodenversalzung ebenfalls nicht bestätigen.

Demgegenüber ist festzuhalten, daß im Perimeter Tégourou rechts erhöhte - wenn auch nicht bedenkliche - Salzkonzentrationen im Boden festzustellen sind. Diese finden sich dort, wo die Stauwasseroberfläche nicht bis an die GOK heranreicht. In diesen Bereichen ermöglichen Kapillarität und Evapotranspiration eine Anreicherung der Elektrolyte. Andere Gebiete des Perimeters Tégourou rechts weisen zwar Stauwasser im Bodenkörper auf, jedoch ist eine Anreicherung von gelösten Ionen nicht möglich, da das bis an die GOK und noch darüber reichende Stauwasser eine ständige Auswaschung des anstehenden Schwemmlandbodens gewährleistet.

8.5 Erweiterung der Perimeterfläche

Ob das vorliegende System der Schwerkraftbewässerung eine 'angepaßte Technologie' für die Bevölkerung darstellt oder nicht, ist zur Zeit vor allem hinsichtlich des geplanten Ausbaus der Perimeter auf insgesamt 60 ha zu beurteilen. Auch vor dem Hintergrund der begrenzten Dauer des Projektes ist es zumindest fraglich, ob der reibungslose Betrieb einer solchen Anlage gewährleistet werden kann, insbesondere wenn das bisherige Konzept der Schwerkraftbewässerung beibehalten wird.

Der große Vorteil der Schwerkraftbewässerung gegenüber der traditionellen Bewässerung, nämlich die enorme Steigerung der Arbeitsproduktivität, muß im Zusammenhang mit folgenden Daten bewertet werden:

- hohe Investitionskosten (mindestens DM 5000.-/ha, bei Verlegung von PVC-Rohren und Mitarbeit der Bevölkerung)
- hohe Unterhaltungskosten (aufgrund mangelnder Instandhaltung in der Vergangenheit ohne Vergleichswerte)
- hohe Anforderungen an die landwirtschaftliche Beratung
- keine Aussagen über die Lebensdauer der Anlage möglich.

Eine weitere Erhöhung der nutzbaren Flächen ist angesichts der vorhandenen Wasser- und Bodenressourcen möglich und im Hinblick auf die Einkommenssituation der Bevölkerung notwendig. Abweichend vom Ausbau der Perimeter in der ursprünglich konzipierten Form wird hier ein System vorgeschlagen, das die Hebung des Wassers durch die beiden Stauwehre ebenfalls nutzt, aber bei der folgenden Wasserverteilung alternativ vorgeht:

- Die Erweiterungsfläche wird mittels eines Rohrsystems (PVC) wasserwirtschaftlich erschlossen.
- Die PVC-Rohre verbinden zahlreiche gemauerte Wasserreservoirs nach dem Prinzip kommunizierender Gefäße. Innerhalb des Perimeters wären so nur wenige Regulierungs- oder Verschlusseinrichtungen erforderlich. Diese würden einen relativ geringen Wartungsaufwand erfordern und somit eine nicht zu hohe Anforderung an den Bauern stellen.
- Um auf weitere Bauelemente der Wasserzuleitung zu verzichten, bewässern die Bauern aus diesen Wasserreservoirs traditionell mit Kalebasse.

- Bei einem kreisförmigen Radius der Bewässerungsfläche von 50 m kann jedes Reservoir

$$(50 \text{ m})^2 \times \pi = 7853,98 \text{ m}^2$$

Gartenfläche mit Wasser versorgen. Zur Erschließung der 24,5 ha großen Erweiterungsfläche wären demzufolge 32 Wasserreservoirs nötig.

Diese überschlägige Berechnung berücksichtigt nicht die Tatsache, daß der ca. 50 m breite Gürtel der traditionell bewässerten Gärten dann keine Reservoirs benötigt, wenn die Variante 1 des Nutzungsplanes von STEINGRUBER (1984) beibehalten wird. Das Wasser wird dort weiterhin aus dem Stausee Kokodjogou entnommen. Weiterhin ist ein Nivellement des Geländes vonnöten, da die bestehende Höhenaufnahme nicht hinreichend genau ist (TOLLE 1989). Unter Berücksichtigung der vorgenannten Bedingungen müßte eine exakte Berechnung die aufgrund der kreisförmigen Nutzfläche entstehenden Überschneidungs- bzw. Freiflächen einbeziehen.

Darüber hinaus ist eine Messung der Bodenmächtigkeit erforderlich. Anhand dieser Daten könnten die Lage der PVC-Rohre sowie die Platzierung der Reservoirs auf der Erweiterungsfläche definitiv ermittelt werden.

Im Perimeter Kokodjogou existieren bereits 2 durch PVC-Rohre mit Wasser versorgte Reservoirs. Nach Auskunft der bewirtschaftenden Bauern funktionieren diese zufriedenstellend.

VERZEICHNIS DER ANHÄNGE

Anhang 1	Leistungsbeschreibung
Anhang 2	Ergebnisse der Wasseranalysen
Anhang 3	Ergebnisse der Bodenanalysen
Anhang 4	Ergebnisse der Pflanzenanalysen
Anhang 5	Meßprotokolle der Infiltrationsratenbestimmung

Anhang 1

Leistungsbeschreibung



LEISTUNGSBESCHREIBUNG

Das Gutachten umfaßt zwei Teile:

- die Analyse der Versalzungserscheinungen im Bewässerungsperimeter Tégourou und
- Erarbeitung von Empfehlungen zu Ihrer Beseitigung.

1. Erfassung der Standortfaktoren

- 1.1 Klima
- 1.2 Hydrologie und Wasserhaushalt
 - 1.2.1 Niederschlag
 - Höhe
 - Intensität
 - Verteilung
 - 1.2.2 Abfluß
 - 1.2.3 Verdunstung
 - 1.2.4 Grundwasser
 - Tiefe der Grundwasseroberfläche
 - Schwankungen
 - Qualität
- 1.3 Geologie und Pedologie
 - 1.3.1 Ausgangsgestein
 - 1.3.2 Verwitterung
 - 1.3.3 Bodentypen
 - 1.3.4 Textur
 - 1.3.5 Gefüge
 - 1.3.6 Durchlässigkeit
 - 1.3.7 kapillarer Aufstieg
 - 1.3.8 nutzbare Feldkapazität
 - 1.3.9 natürliche Bodenfruchtbarkeit
 - 1.3.10 Salzgehalte
 - EC
 - differenziert nach Ionen
 - SAR
 - ESP
- 1.4 Bewässerungswasserqualität (Variabilität im Chemismus
 - im Verlauf des Projektes
 - saisonal)

2. Bewässerungsfeldbau

- 2.1 angebaute Kulturen (Salztoleranz)
- 2.2 ackerbauliche Praktiken
 - Bodenbearbeitung
 - Fruchtfolge
 - Düngung

- 2.3 Bewässerung / Entwässerung
 - 2.3.1 Technik
 - 2.3.2 Methoden
 - 2.3.3 Bewässerungshöhe
 - Frequenz
 - Rotation
 - 2.3.4 Auswaschwasser - Höhe (Soll / Ist)
- 2.4 soziokulturelle Aspekte

3. Analyse der Ursachen der Versalzungserscheinungen

Die Untersuchungsergebnisse der Kap. 1. und 2. werden ausgewertet und analysiert. Hieraus ergeben sich die Hauptursachen für die Versalzung. Eine wesentliche Aufgabe ist die Gewichtung der Einflußfaktoren, ihre Ergründung von allem hinsichtlich der Vorschläge zu ihrer praxisrelevanten Behebung. Gegebenenfalls sind die Untersuchungen in Kap. 1. und 2. zu spezifizieren.

4. Vorschläge / Empfehlungen zur Beseitigung der Versalzung bzw. zur Vermeidung zukünftiger Versalzungsgefahren

- Methoden der Landwirtschaft
- Meliorationen

Anhang 2

Ergebnisse der Wasseranalysen

Anhang 3

Ergebnisse der Bodenanalysen

Bodenanalysen, Gesamtergebnisse 1									
Perimeter	Zuordnung	Pr. Nr.	Tiefe [cm]	pH CaCl	P2O5	K2O	Mg	Salz %	Ges. N %
					mg/100g				
Tég. rechts	I	1	Hügel	6,2	1	8	7	0,01	-
Tég. rechts	II	2	Hügel	5,8	1	6	10	0,01	-
Tég. rechts	III	3	Hügel	6,8	2	5	5	0,01	-
Tég. rechts	IV	4	Hügel	7,3	2	10	11	0,01	-
Tég. rechts	V	5	Hügel	7,8	2	10	15	0,04	-
Tég. rechts	VI	6	Hügel	7,5	1	2	4	0,01	-
Tég. rechts	VII	7	Hügel	7,1	1	8	11	0,01	-
Tég. rechts	VIII	8	Hügel	7,8	1	7	12	0,03	-
Tég. rechts	IX	9	Hügel	7,0	1	8	11	0,01	-
Tég. rechts	X	10	Hügel	7,6	1	5	10	0,02	-
Tég. rechts	XI	11	Hügel	7,7	2	5	13	0,04	-
Tég. rechts	XII	12	Hügel	7,1	1	8	10	0,01	-
Tég. rechts	XIII	13	Hügel	7,3	1	5	10	0,01	-
Tég. rechts	XIV	14	Hügel	6,6	2	7	10	0,01	-
Tég. rechts	Unterboden VIII	15	0-50	6,2	1	4	10	0,01	-
Tég. rechts	Unterboden I	16	0-50	7,6	8	5	12	0,02	-
Tég. rechts	Unterboden III	17	0-50	7,8	2	3	16	0,02	-
Tég. rechts	Unterboden II	18	0-50	7,5	2	3	12	0,01	-
Tég. rechts	Unterboden IV	19	0-50	7,9	2	4	13	0,02	-
Tég. rechts	Unterboden VI	20	0-50	7,9	2	3	11	0,01	-
Tég. rechts	Unterboden V	21	0-50	7,5	1	3	10	0,01	-
Tég. rechts	Unterboden VII	22	0-50	7,9	3	3	10	0,03	-
Tég. links	'Problemgarten' 3	23	0-30	4,6	2	13	12	0,04	-
Tég. links	I	24	Hügel	5,6	2	6	7	0,01	-
Tég. links	II	25	Hügel	7,0	3	10	8	0,02	-
Tég. links	III	26	Hügel	6,5	2	10	7	0,01	-
Tég. links	IV	27	Hügel	7,3	2	8	7	0,01	-
Tég. links	V	28	Hügel	7,3	2	8	6	0,01	-
Tég. links	VI	29	Hügel	6,9	1	7	10	0,01	-
Tég. links	Unterboden I	30	0-50	5,9	2	6	11	0,01	-
Tég. links	Unterboden II	31	0-50	6,8	4	7	8	0,01	-
Tég. links	Unterboden III	32	0-50	5,9	4	6	11	0,01	-
Tég. links	Unterboden IV	33	0-50	6,4	3	6	9	0,01	-
Tég. links	Unterboden V	34	0-50	6,4	2	6	7	0,01	-
Tég. links	Unterboden VI	35	0-50	6,6	3	4	10	0,01	-
Tég. links	Erweiterung 1	36	0-30	5,8	2	11	11	0,01	0,04
Tég. links	Erweiterung 2	37	0-30	5,5	2	15	8	0,01	0,03
Tég. links	Erweiterung 3	38	0-30	5,5	2	8	11	0,01	0,03
Tég. links	Erweiterung 4	39	0-30	6,4	5	20	7	0,01	0,04
Tég. links	Erweiterung 5	40	0-30	6,0	5	15	7	0,01	0,03
Tég. links	Erweiterung Gärten	41	0-30	7,4	9	15	10	0,02	0,03
Tég. links	'Problemgarten' 1 + 2	42	0-30	8,2	6	20	12	0,09	-
Tég. links	'Problemgarten' 1 + 2	43	30-70	8,1	4	6	17	0,08	-
Tég. links	'Problemgarten' 4	44	0-30	8,5	6	12	11	0,09	-

Bodenanalysen, Gesamtergebnisse 2

Perimeter	Zuordnung der einzelnen Perimeter - Teilbereiche zu den Prob. Nr.	Proben Nr.	pH CaCl	P2O5	K2O	mg/100g				Mn	Cu	B	Ges. N %
						Mg	Na	Fe	Mn				
Täg. links	Mischprobe [Proben.Nr. 24,25,26,27,28,29]	45	7,0	7	9	8	10	11	4	7	0,36	0,02	
Täg. rechts	Mischprobe [Proben. Nr. 1,4,7,9,12]	46	7,0	4	8	11	6	12	5	5	0,34	0,03	
Täg. rechts	Mischprobe [Prob. Nr.2,5,8,10,13]	47	7,7	3	8	13	54	20	6	7	0,36	0,02	
Täg. links	Mischprobe [Prob. Nr. 36,37,38,39]	48	5,8	4	13	9	8	9	5	5	0,38	-	
Täg. rechts	Mantelfläche Batalehügel (s. Abb. 23)	49	6,7	3	9	18	180	8	3	5	0,42	-	

Perimeter	Zuordnung der einzelnen Perimeter - Teilbereiche zu den Prob. Nr.	Proben Nr.	Na	K	Ca	mg/100g		T-Wert	V-Wert	Na	K	Ca	Mg
						S-Wert	mval/100g						
Täg. links	Mischprobe [Prob.Nr. 24,25,26,27,28,29]	45	0,01	0,40	2,60	0,82	3,82	3,1	123,2	0,32	12,9	83,87	26,45
Täg. rechts	Mischprobe [Prob. Nr. 1,4,7,9,12]	46	0,06	0,40	3,00	2,18	5,64	4,2	134,3	1,43	9,52	71,42	51,90
Täg. rechts	Mischprobe [Prob. Nr.2,5,8,10,13]	47	0,10	0,35	3,25	1,82	5,52	4,1	134,6	2,44	8,53	79,26	44,39
Täg. links	Mischprobe [Prob. Nr. 36,37,38,39]	48	0,01	0,60	1,95	1,02	3,57	3,1	115,2	0,32	19,3	62,90	32,90
Täg. rechts	Oberfläche But	49	4,30	0,35	1,60	3,25	9,50	3,0	316,7	143,33	11,6	53,33	108,3

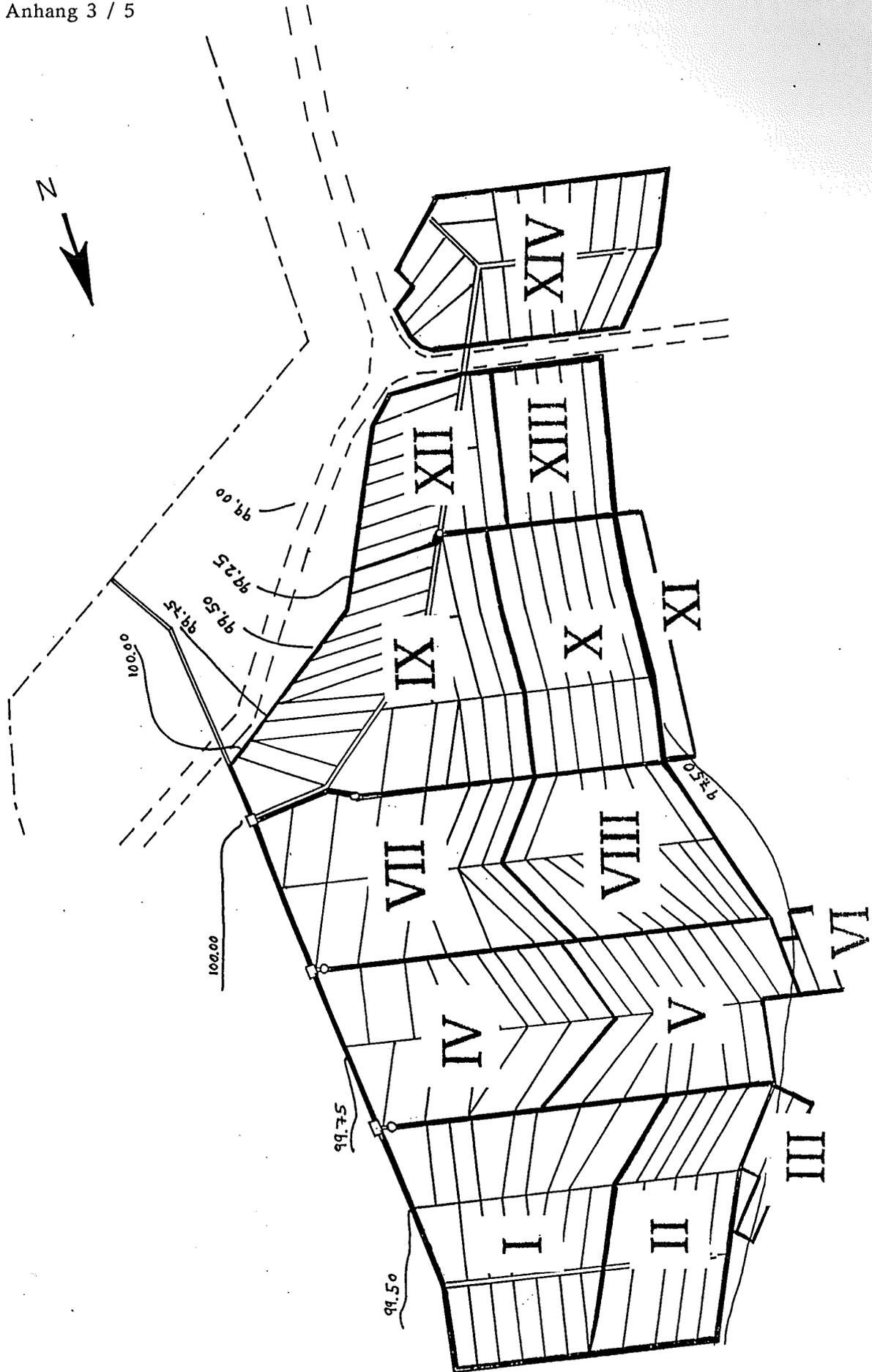
Kaliumgehalte				
Perimeter	Zuordnung	Pr.	K	Bewertungsschema nach PAGEL (1982):
		Nr.	mg/100g	
Tég. links	Erweiterung 4	39	8,3	< 5 mg K/100g: Böden niedrig versorgt,
Tég. links	'Problemgarten' 1 + 2	42	8,3	
Tég. links	Erweiterung 5	40	6,2	K-Düngerwirkung bei allen Nutzpflanzen sicher
Tég. links	Erweiterung 2	37	6,2	
Tég. links	Erweiterung Gärten	41	6,2	5-12 mg K/100g: Böden mäßig versorgt,
Tég. links	'Problemgarten' 3	23	5,4	
Tég. links	'Problemgarten' 4	44	5,0	K-Düngerwirkung in Verbindung mit NP-Düngung bei den meisten Nutzpflanzen zu erwarten.
Tég. links	Erweiterung 1	36	4,6	
Tég. links	III	26	4,1	
Tég. links	II	25	4,1	
Tég. rechts	IV	4	4,1	
Tég. rechts	V	5	4,1	
Tég. links	IV	27	3,3	
Tég. rechts	IX	9	3,3	
Tég. links	V	28	3,3	
Tég. rechts	XII	12	3,3	
Tég. rechts	I	1	3,3	
Tég. links	Erweiterung 3	38	3,3	
Tég. rechts	VII	7	3,3	
Tég. links	VI	29	2,9	
Tég. rechts	XIV	14	2,9	
Tég. rechts	VIII	8	2,9	
Tég. links	Unterboden II	31	2,9	
Tég. links	Unterboden IV	33	2,5	
Tég. rechts	II	2	2,5	
Tég. links	I	24	2,5	
Tég. links	'Problemgarten' 1 + 2	43	2,5	
Tég. links	Unterboden III	32	2,5	
Tég. links	Unterboden V	34	2,5	
Tég. links	Unterboden I	30	2,5	
Tég. rechts	III	3	2,1	
Tég. rechts	VIII	10	2,1	
Tég. rechts	XI	11	2,1	
Tég. rechts	Unterboden I	16	2,1	
Tég. rechts	XIII	13	2,1	
Tég. links	Unterboden VI	35	1,7	
Tég. rechts	Unterboden X	15	1,7	
Tég. rechts	Unterboden IV	19	1,7	
Tég. rechts	Unterboden VI	20	1,2	
Tég. rechts	Unterboden II	18	1,2	
Tég. rechts	Unterboden VII	22	1,2	
Tég. rechts	Unterboden V	21	1,2	
Tég. rechts	Unterboden III	17	1,2	
Tég. rechts	VI	6	0,8	

Gesamtstickstoffgehalte			
Perimeter	Zuordnung	Pr. Nr.	Ges. N %
Tég. links	Erweiterung 1	36	0,04
Tég. links	Erweiterung 2	37	0,03
Tég. links	Erweiterung 3	38	0,03
Tég. links	Erweiterung 4	39	0,04
Tég. links	Erweiterung 5	40	0,03
Tég. links	Erweiterung Gärten	41	0,03
Tég. links	Mischprobe [Nr. 24 - 29]	45	0,02
Tég. rechts	Mischprobe [Nr. 1,4,7,9,12]	46	0,03
Tég. rechts	Mischprobe [Nr. 2,5,8,10,13]	47	0,02

Bewertung der Gesamt-N-Gehalte nach Pagel (1982):

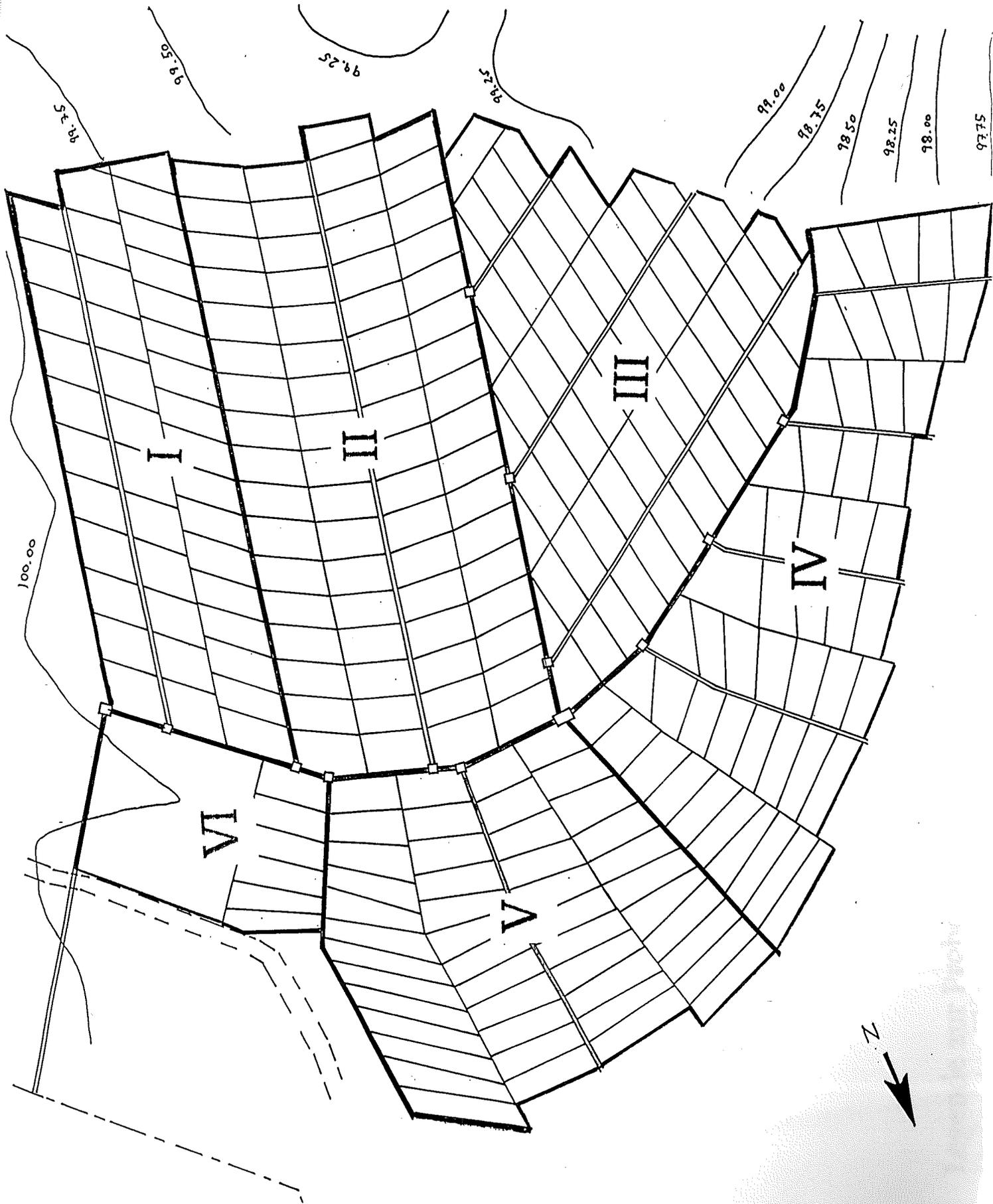
 = sehr gering

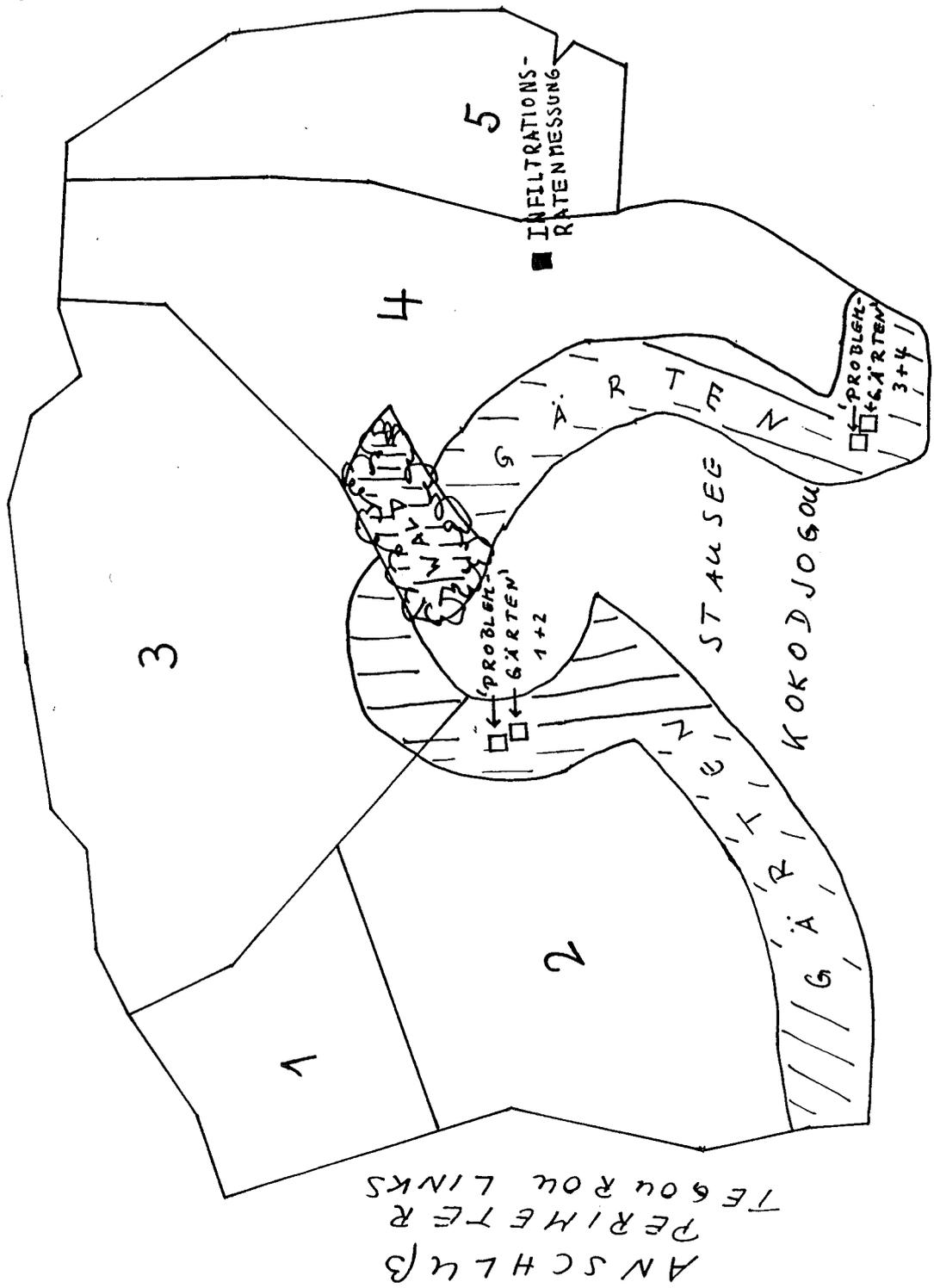
 = gering



Legende zur Probenentnahme Perimeter Tégourou rechts, Batatehügel bzw. 0-10 cm bei unkultivierten Parzellen

Legende zur Probenentnahme Perimeter Tégourou links



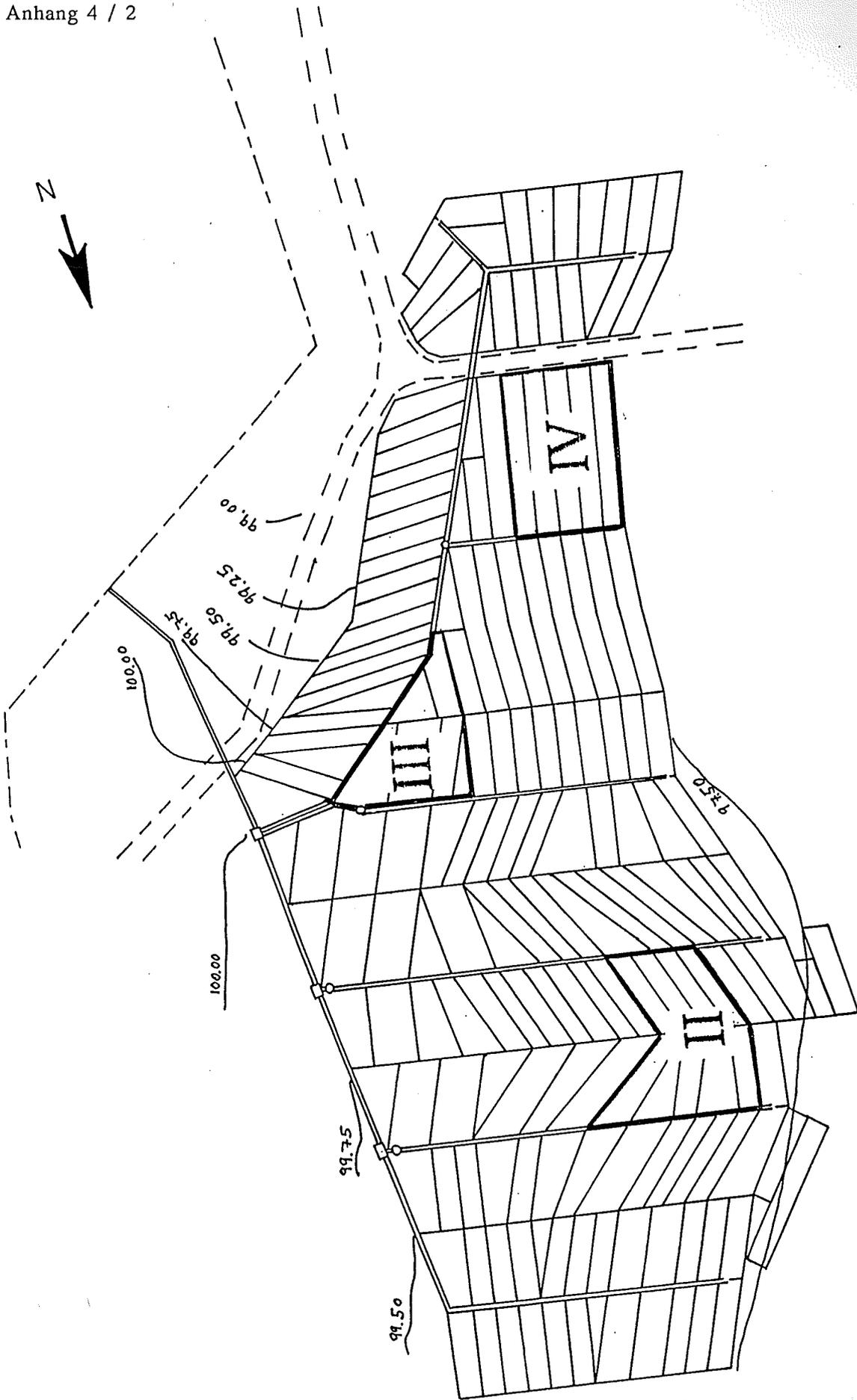


Legende zur Probenentnahme
Perimeter Tégourou links, Erweiterungsfläche

Anhang 4

Ergebnisse der Pflanzenanalysen

Ergebnisse der Pflanzenanalyse von ganzen Batatepflanzen ohne Knollen, ca. 2 Wochen vor der Ernte				
Entnahmebereich	Perimeter Tégourou links	Perimeter Tégourou rechts		
	I	II	III	IV
Gehalte in der Trockenmasse				
Stickstoff [%]	1,49	0,89	0,84	1,44
Asche [%]	17,90	31,70	19,90	29,90
Calcium [%]	1,29	2,06	3,50	1,79
Phosphor [%]	0,19	0,19	0,19	0,37
Kalium [%]	2,40	1,70	2,33	3,10
Natrium [%]	0,07	0,20	0,05	0,05
Magnesium [%]	0,75	0,74	0,80	0,57
Zink [ppm]	13,90	10,80	13,20	14,90
Kupfer [ppm]	7,60	8,30	10,00	14,20
Mangan [ppm]	79,00	50,10	60,20	65,60
Eisen [ppm]	855,80	1996,60	1343,60	1873,50



Legende zur Pflanzenprobeentnahme
Perimeter Tégourou rechts.

Anhang 5

Meßprotokolle der Infiltrationsratenbestimmung

Infiltrationsrate Tégourou rechts, Meßprotokoll								
Uhrzeit [hh:mm:ss]	aufaddierte Zeit [hh:mm:ss]	Intervall [s]	Wasserhöhe im Infiltrrometer		Infiltrations- rate [cm]	Kumulative Infiltrations- rate [cm]	Infiltrationsintensität [cm/h]	
			h1 [cm]	h2 [cm]			aktuell	mittel
07:30:00	00:00:00		19,0					
07:32:00	00:02:00	120	18,4	22,7	0,6	0,6	18	18
07:35:00	00:05:00	180	22,3	24,0	0,4	1,0	8	12
07:38:00	00:08:00	180	23,8		0,2	1,2	4	9
07:41:00	00:11:00	180	23,4		0,4	1,6	8	9
07:43:00	00:13:00	120	23,0		0,4	2,0	12	9
07:46:00	00:16:00	180	22,9		0,1	2,1	2	8
07:51:00	00:21:00	300	22,2		0,7	2,8	8	8
07:59:00	00:29:00	480	21,3	23,5	0,9	3,7	7	8
08:04:00	00:34:00	300	23,0		0,5	4,2	6	7
08:08:00	00:38:00	240	22,6		0,4	4,6	6	7
08:13:00	00:43:00	300	22,0		0,6	5,2	7	7
08:16:00	00:46:00	180	21,6		0,4	5,6	8	7
08:19:00	00:49:00	180	21,1		0,5	6,1	10	7
08:22:00	00:52:00	180	20,7		0,4	6,5	8	8
08:25:00	00:55:00	180	20,4		0,3	6,8	6	7
08:28:00	00:58:00	180	20,0		0,4	7,2	8	7
08:31:00	01:01:00	180	19,7	24,5	0,3	7,5	6	7
08:34:00	01:04:00	180	24,0		0,5	8,0	10	8
08:37:00	01:07:00	180	23,6		0,4	8,4	8	8
08:40:00	01:10:00	180	23,2		0,4	8,8	8	8
08:43:00	01:13:00	180	22,8		0,4	9,2	8	8
08:50:00	01:20:00	420	22,1		0,7	9,9	6	7
08:57:00	01:27:00	420	21,3		0,8	10,7	7	7
09:04:00	01:34:00	420	20,6		0,7	11,4	6	7
09:11:00	01:41:00	420	19,8		0,8	12,2	7	7
09:18:00	01:48:00	420	19,0		0,8	13,0	7	7
09:25:00	01:55:00	420	18,3		0,7	13,7	6	7
09:40:00	02:10:00	900	16,7		1,6	15,3	6	7
09:55:00	02:25:00	900	15,0	24,0	1,7	17,0	7	7
10:10:00	02:40:00	900	22,4		1,6	18,6	6	7
10:25:00	02:55:00	900	20,6		1,8	20,4	7	7
10:40:00	03:10:00	900	19,0		1,6	22,0	6	7
10:55:00	03:25:00	900	17,4		1,6	23,6	6	7

Infiltrationsrate Tégourou links, Meßprotokoll								
Uhrzeit [hh:mm:ss]	aufaddierte Zeit [hh:mm:ss]	Intervall [s]	Wasserhöhe im Infiltrrometer		Infiltrations- rate [cm]	Kumulative Infiltrations- rate [cm]	Infiltrationsintensität [cm/h]	
			h1 [cm]	h2 [cm]			aktuell	mittel
15:10:00	00:00:00		17,7					
15:11:00	00:01:00	60	16,3	20,5	1,4	1,4	84	84
15:12:00	00:02:00	60	19,5		1,0	2,4	60	72
15:14:00	00:04:00	120	18,0		1,5	3,9	45	58
15:15:30	00:05:30	90	17,0		1,0	4,9	40	53
15:16:30	00:06:30	60	16,5	21,6	0,5	5,4	30	50
15:18:30	00:08:30	120	20,5		1,1	6,5	33	46
15:20:30	00:10:30	120	19,7		0,8	7,3	24	42
15:22:30	00:12:30	120	18,5		1,2	8,5	36	41
15:24:30	00:14:30	120	17,4		1,1	9,6	33	40
15:26:30	00:16:30	120	16,5		0,9	10,5	27	38
15:28:00	00:18:00	90	15,9	21,5	0,6	11,1	24	37
15:29:00	00:19:00	60	21,0		0,5	11,6	30	37
15:30:30	00:20:30	90	20,3		0,7	12,3	28	36
15:33:30	00:23:30	180	18,9		1,4	13,7	28	35
15:35:30	00:25:30	120	18,0		0,9	14,6	27	34
15:37:00	00:27:00	90	17,6	20,7	0,4	15,0	16	33
15:39:00	00:29:00	120	19,8		0,9	15,9	27	33
15:41:00	00:31:00	120	19,1		0,7	16,6	21	32
15:44:00	00:34:00	180	18,2		0,9	17,5	18	31
15:46:00	00:36:00	120	17,4	21,5	0,8	18,3	24	31
15:48:00	00:38:00	120	20,7		0,8	19,1	24	30
15:49:30	00:39:30	90	20,2		0,5	19,6	20	30
15:51:30	00:41:30	120	19,4		0,8	20,4	24	29
15:52:30	00:42:30	60	18,9		0,5	20,9	30	30
15:54:00	00:44:00	90	18,2		0,7	21,6	28	29
15:56:00	00:46:00	120	17,5		0,7	22,3	21	29
15:59:00	00:49:00	180	16,6	22,2	0,9	23,2	18	28
16:03:00	00:53:00	240	21,0		1,2	24,4	18	28
16:06:00	00:56:00	180	20,5		0,5	24,9	10	27
16:10:00	01:00:00	240	18,9		1,6	26,5	24	27
16:14:00	01:04:00	240	17,5		1,4	27,9	21	26
16:18:00	01:08:00	240	16,7		0,8	28,7	12	25
16:21:00	01:11:00	180	16,0		0,7	29,4	14	25
16:23:00	01:13:00	120	15,5		0,5	29,9	15	25

Infiltrationsrate Tégourou links Erweiterungsfläche, Meßprotokoll									
Uhrzeit [hh.mm.ss]	aufaddierte Zeit [hh.mm.ss]	Intervall [s]	Wasserhöhe im Infiltrometer		Infiltrations- rate [cm]	Kumulative Infiltrations- rate [cm]	Infiltrationsintensität [cm/h]		
			h1 [cm]	h2 [cm]			aktuell	mittel	
10:55:30	00:00:00		17,7						
10:57:00	00:01:30	90	15,2	21,0	2,5	2,5	100	100	
10:59:00	00:03:30	120	19,4		1,6	4,1		48	
11:01:00	00:05:30	120	17,5	19,8	1,9	6,0		57	
11:03:00	00:07:30	120	18,7		1,1	7,1		33	
11:05:30	00:10:00	150	17,0	21,6	1,7	8,8		41	
11:08:15	00:12:45	165	20,0		1,6	10,4		35	
11:09:15	00:13:45	60	19,3		0,7	11,1		42	
11:11:00	00:15:30	105	18,3	21,9	1,0	12,1		34	
11:13:00	00:17:30	120	20,9		1,0	13,1		30	
11:14:30	00:19:00	90	20,0		0,9	14,0		36	
11:16:00	00:20:30	90	19,0		1,0	15,0		40	
11:18:00	00:22:30	120	18,0		1,0	16,0		30	
11:19:00	00:23:30	60	17,4	22,3	0,6	16,6		36	
11:21:00	00:25:30	120	21,4		0,9	17,5		27	
11:23:00	00:27:30	120	20,3		1,1	18,6		33	
11:25:00	00:29:30	120	19,2		1,1	19,7		33	
11:27:00	00:31:30	120	18,2		1,0	20,7		30	
11:29:00	00:33:30	120	17,3	21,4	0,9	21,6		27	
11:30:00	00:34:30	60	21,0		0,4	22,0		24	
11:32:00	00:36:30	120	20,1		0,9	22,9		27	
11:34:00	00:38:30	120	19,3		0,8	23,7		24	
11:36:00	00:40:30	120	18,3		1,0	24,7		30	
11:38:00	00:42:30	120	17,5		0,8	25,5		24	
11:40:00	00:44:30	120	16,6		0,9	26,4		27	
11:42:00	00:46:30	120	15,9		0,7	27,1		21	
11:44:00	00:48:30	120	15,2		0,7	27,8		21	
11:45:00	00:49:30	60	14,8	22,2	0,4	28,2		24	
11:47:00	00:51:30	120	21,3		0,9	29,1		27	
11:49:00	00:53:30	120	20,5		0,8	29,9		24	
11:53:00	00:57:30	240	18,9		1,6	31,5		24	
11:57:00	01:01:30	240	17,5		1,4	32,9		21	
11:59:00	01:03:30	120	16,7		0,8	33,7		24	
12:01:00	01:05:30	120	16,0		0,7	34,4		21	
12:03:00	01:07:30	120	15,5		0,5	34,9		15	
12:05:00	01:09:30	120	14,8		0,7	35,6		21	
12:06:00	01:10:30	60	14,5	21,9	0,3	35,9		18	
12:08:00	01:12:30	120	21,3		0,6	36,5		18	
12:10:00	01:14:30	120	20,3		1,0	37,5		30	
12:13:00	01:17:30	180	19,3		1,0	38,5		20	
12:15:00	01:19:30	120	18,6		0,7	39,2		21	
12:17:00	01:21:30	120	18,0		0,6	39,8		18	
12:19:00	01:23:30	120	17,0		1,0	40,8		29	
12:21:00	01:25:30	120	16,7		0,3	41,1		10	
12:21:45	01:26:15	45	16,4	21,4	0,3	41,4		24	
12:24:00	01:28:30	135	20,6		0,8	42,2		21	
12:26:00	01:30:30	120	20,0		0,6	42,8		18	
12:28:00	01:32:30	120	19,3		0,7	43,5		21	
12:31:00	01:35:30	180	18,5		0,8	44,3		16	
12:32:00	01:36:30	60	18,1		0,4	44,7		24	
12:34:00	01:38:30	120	17,6		0,5	45,2		15	
12:36:00	01:40:30	120	17,1		0,5	45,7		15	
12:38:00	01:42:30	120	16,6		0,5	46,2		15	
12:40:00	01:44:30	120	16,0		0,6	46,8		18	
12:42:00	01:46:30	120	15,6		0,4	47,2		12	
12:43:00	01:47:30	60	15,4	20,3	0,2	47,4		12	
12:45:00	01:49:30	120	19,7		0,6	48,0		18	
12:47:00	01:51:30	120	19,1		0,6	48,6		18	
12:50:00	01:54:30	180	18,4		0,7	49,3		14	
12:53:00	01:57:30	180	17,7		0,7	50,0		14	
12:56:00	02:00:30	180	17,1		0,6	50,6		12	
12:59:00	02:03:30	180	16,5		0,6	51,2		12	
13:04:00	02:08:30	300	15,3	23,0	1,2	52,4		14	
13:09:00	02:13:30	300	21,9		1,1	53,5		13	
13:14:00	02:18:30	300	20,8		1,1	54,6		13	
13:19:00	02:23:30	300	19,8		1,0	55,6		12	
13:24:00	02:28:30	300	18,8		1,0	56,6		12	
13:29:00	02:33:30	300	17,7		1,1	57,7		13	
13:44:00	02:48:30	900	14,6	22,4	3,1	60,8		12	
13:59:00	03:03:30	900	19,2		3,2	64,0		13	
14:14:00	03:18:30	900	16,1		3,1	67,1		12	
14:26:00	03:30:30	720	13,4		2,7	69,8		14	

Literaturverzeichnis

- ACHTNICH, W. (1980) Bewässerungslandbau: Agrotechnische Grundlagen der Bewässerungslandwirtschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1980.
- BERNSTEIN, L. (1977): Quantitative assessment of irrigation water quality. Amer. Soc. Testing and Materials, Spec. Tech. Publ. 416, 51 - 65, 1977.
- BÖHM, G. P. (1988): Zur Baugeologie von Staudämmen zu Bewässerungszwecken im Dogonland, Rép. du Mali., DED Mali unveröffentlicht 1988.
- BROUWER, C. J. und SCHWEMER, C. E. (1988): Rapport d'Evaluation, Projet No. 84.2027.5-01.100, "Projet Vulgarisation Agricole en Pays Dogon", Mali, Instrupa, Bad Homburg 1988.
- BURGHARDT, W. (1970): Untersuchungen mittels der Doppelringinfiltrationsmethode über die Infiltrationseigenschaften der Böden des südlichen Hochlandes von Jordanien. Diss. Gießen 1970.
- DEMBELE, A. (1989): (ehemaliger Berater Station Tégourou), Interview , Bandiagara 1989.
- DIN 19682, (1973): Deutsches Institut für Normung, Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau (Felduntersuchungen), Beuth Verlag, Berlin 1973.
- KOVDA, V. A., VAN DEN BERG, C., HAGAN, R. M. (Hrsg.), (1973): Irrigation, drainage and salinity. 1. Aufl. Hutchinson 2 Co., London 1973.

- MACHER, H. (1976): Die landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung der Überschwemmungszonen der Staudämme des Bandiagaragebietes, GTZ-Verlag, Eschborn 1976.
- MENGEL, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, 6. Auflage, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1984.
- N.N./GTZ (o.J.): Zwischenbericht über den landwirtschaftlichen Teil des Projektes "Bau von Kleinstaudämmen im Dogonland" (unvollständig).
- POLETSCHNY (1990): (LUFA Rheinland), Gespräch mit dem Berichterstatter, unveröffentlicht 1990.
- RICHARDS, L. A. (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Dept. Agric., Agric. Handb. No. 60.
- SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1984): SCHACHTSCHABEL. P., BLUME, H.-P., HARTGE, K.-H., SCHWERTMANN, U., Lehrbuch der Bodenkunde, 11. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1984.
- STEINGRUBER, R. (1978 a): Problematik von Bewässerungsspeichern im Dogonland (Mali), Wien 1978.
- STEINGRUBER, R. (1978 b): Bau von Bewässerungsspeichern im Dogonland, Republik MALI , GTZ Eigenverlag, Eschborn 1978.
- STEINGRUBER, R. (1978 c): Abschlußbericht des 2. Bauabschnittes, Kleinstaudämme im Dogonland, Republik MALI, GTZ Eigenverlag, Eschborn 1978.

- STEINGRUBER, R. (1984): Landwirtschaftliche Nutzung der Kleinstaudämme im Djounjouroutal zwischen Daga und Kokojouguou, unveröffentlicht 1984.
- STEINGRUBER, R. (o.J.): (ohne Titel), Beschreibung der Kanalbauformen, GTZ, unveröffentlicht.
- TAYLOR, S. A., ASHCROFT, G.L. (1972): Physical Edaphologie, W. H. Freeman and Company, San Francisco 1972.
- THORNE, D. W., PETERSON H. B., (1954):. Irrigated soils, their fertility and management. 2.Aufl. The Blakiston Co., Philadelphia/Toronto 1954.
- TOLLE, K. (1989): Verschiedene Gespräche mit dem Berichterstatter, Bandiagara 1989.
- WALTER, H. u. LIETH, H. (1960-1967): Klimadiagramm Weltatlas, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1960-1967.
- HIPPEL u. SCHWEMER(1983): Bericht der Projektprüfungskommission, Landwirtschaftlicher Teil des Projektes "Kleinstaudämme im Dogonland/Mali", PN 64.2023.6, Instrupa 1983.