



# Klimaökologische Untersuchungen zur Erfassung und Bewertung des Weidepotentials an der Forschungsstation Ndare (Distrikt Isiolo, Kenia)

Rüdiger Mäckel, Jürgen Hagmann  
und Eberhard Parlow

***Correct citation:***

Rüdiger Mäckel, Jürgen Hagmann, Eberhard Parlow (1991)  
“Klimaökologische Untersuchungen zur Erfassung und  
Bewertung des Weidepotentials an der Forschungsstation  
Ndare (Distrikt Isiolo, Kenia)”, in W. Endlicher und H. Goßmann  
(eds.) Beiträge zur regionalen und angewandten Klimatologie,  
Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie der  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.,

ISSN 0071-0048

# Klimaökologische Untersuchungen zur Erfassung und Bewertung des Weidepotentials an der Forschungsstation Ngare Ndare (Distrikt Isiolo, Kenia)

Rüdiger Mäckel, Jürgen Hagmann  
und Eberhard Parlow

## Zusammenfassung

Um das Weidepotential in den Trockengebieten Kenias genauer erfassen und bewerten zu können, wurden zusätzlich zu den bisherigen Boden- und Vegetationsaufnahmen auf Testflächen klimatologische und hydrologische Meßwerte an der Station Ngare Ndare (Distrikt Isiolo) ermittelt und daraus landschaftshaushaltliche Kenngrößen bestimmt. Diese umfassen u.a. den wuchseffektiven Niederschlag, die Länge der Wachstumsperiode sowie den Wasserbedarf der Pflanzen. Die Produktion freßbarer Phytomasse betrug für die erste Regenzeit im Jahr 215 kg/ha. Verglichen mit Aufnahmen in anderen Weidegebieten Nordkenias handelt es sich um einen niedrigen Produktionswert. Als Grund dafür sind sowohl der geringe Niederschlag im Meßjahr als auch die starke Abnahme der Vegetation infolge Überweidung anzunehmen.

## 1 Fragestellung und klimaökologische Rahmenbedingungen

Ziel der klimaökologischen Untersuchungen in den nomadisch genutzten Trockengebieten Kenias ist die Bestimmung des Weidepotentials auf der Grundlage landschaftshaushaltlicher Kenngrößen. Die Geländearbeiten lehnen sich an frühere Boden- und Vegetationsaufnahmen auf Testflächen an, die zur Bestimmung der Biomasse und Tragfähigkeit mit Hilfe von Fernerkundungsdaten durchgeführt wurden (Mäckel u.a. 1986, Mäckel 1988, Dreiser u.a. 1989, Mäckel u.a. 1989). Bei den klimaökologischen Untersuchungen wurden folgende Arbeitsstufen berücksichtigt:

- die Erfassung des Standorthaushalts an repräsentativen Meßstationen,
- die Übertragung der Ergebnisse auf die Fläche, die bereits in der Vorerkundung als landschaftliche Einheit ausgewiesen wurde,
- die nutzungsbezogene Bewertung des Leistungsvermögens im Landschaftshaushalt und
- die Inwertsetzung der Ergebnisse für die Planung.

Als Beispiel für eine Meßstation und die Erfassung landschaftshaushaltlicher Kenngrößen wird die Forschungsstation Ngare Ndare herangezogen, die 17 km westlich der Distrikthauptstadt Isiolo in der Ostprovinz Kenias liegt (Abb.1). Das Untersuchungsgebiet ( $37^{\circ}23' - 37^{\circ}30' \text{ E}$ ,  $0^{\circ}17' - 0^{\circ}25' \text{ N}$ ) ist nach Jätzold (1981:69) durch ein warmtemperiertes, überwiegend vollarides tropisches Höhenklima gekennzeichnet, das zwei sehr kurze, meist semihumide Jahreszeiten im April/Mai bzw. im November/Dezember aufweist. Bei der äquatornahen Lage herrschen nur geringe saisonale Temperaturschwankungen vor. Das mittlere Maximum der Temperatur liegt ganzjährig über  $30^{\circ}\text{C}$ , das mittlere Minimum zwischen  $15^{\circ}\text{C}$  und  $18^{\circ}\text{C}$ .

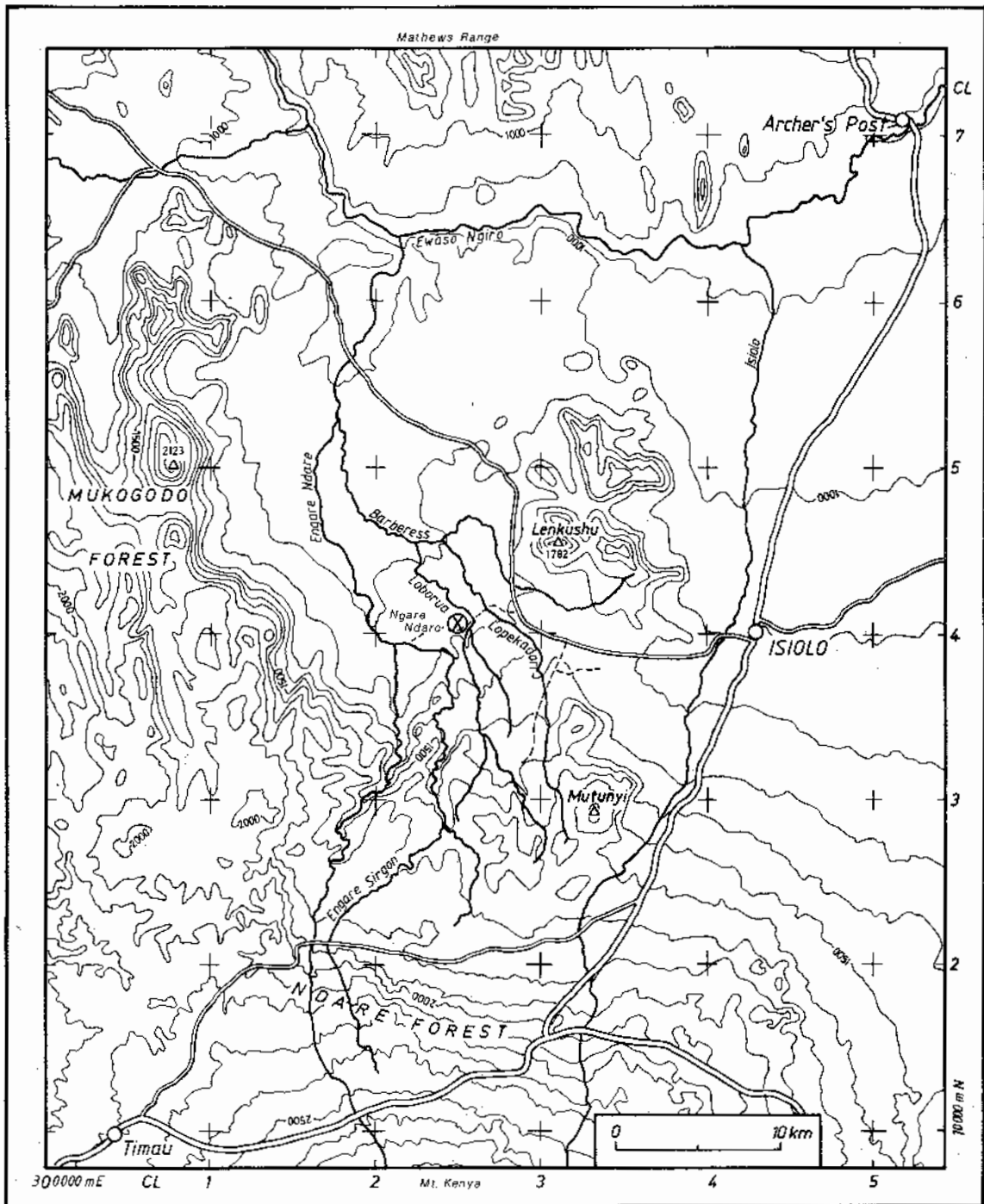


Abb. 1: Topographie des Untersuchungsgebiets und Lage der Klimastation Ngare Ndare (17 km westlich der Distrikthauptstadt Isiolo, Ostprovinz von Kenia)

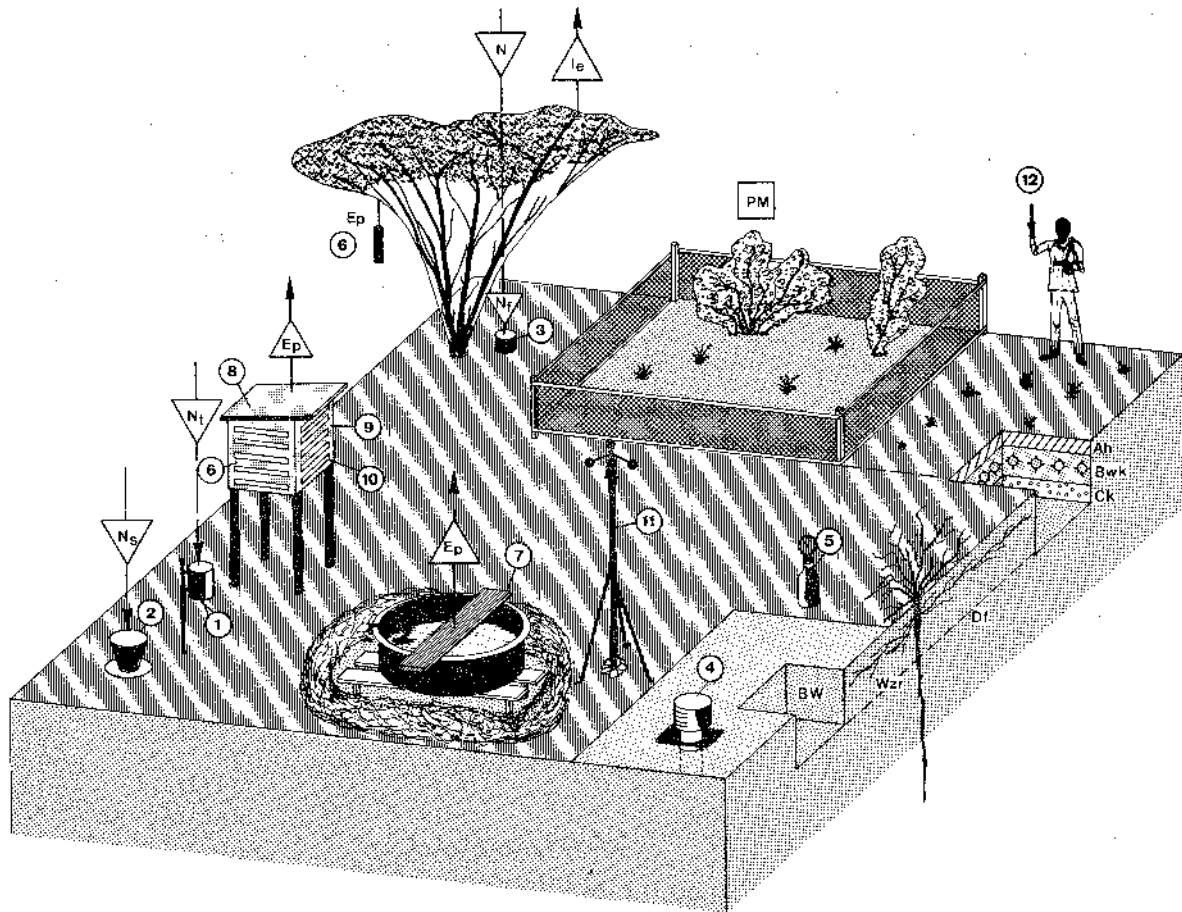


Abb. 2: Die Klimastation in Ngare Ndare mit folgender Geräteausstattung: Regenmesser nach Hellmann (1); Meßtrichter für Starkregen (2); Meßzylinder für durchfallenden Niederschlag (3); Einring-Infiltrrometer (4); CM-Gerät (5); Piche-Evaporimeter (6); Verdunstungstank (7); Wetterhütte (8) mit Evaporimeter (6), Thermometer (9) und Thermohygrographen (10); Windmesser nach Wölfle (11) und Sekunden-Hygrometer (12). Abkürzungen nach Kartieranleitung GÖK 25 (Leser u. Klink 1988:316)

Bedingt durch die Höhenlage (1100 m - 1300 m NN) wird das Klima von Jätzold (1981:69) nicht den heißen Tropenklimate sondern den wärmtemperierten tropischen Höhenklimate mit mäßig kühlen Nächten zugerechnet.

Im Untersuchungszeitraum 1986-89 erreichten die maximalen Tagestemperaturen regelmäßig über  $30^{\circ}\text{C}$  (mit Höchstwerten von  $36,2^{\circ}\text{C}$ ), während die Nachttemperaturen immer unter  $20^{\circ}\text{C}$  blieben (tiefster Wert  $15,8^{\circ}\text{C}$ ). Die saisonalen Temperaturschwankungen liegen hier in Äquatornähe unter  $5^{\circ}\text{C}$ . Die Relative Feuchte (rF) betrug am frühen Morgen infolge des Temperaturabfalls auf  $15^{\circ}\text{C}$  -  $18^{\circ}\text{C}$  etwa 50-70%. Tagsüber fiel sie aber schnell auf unter 30% (in den Mittagsstunden) bzw. 20% (am frühen Nachmittag). Auch an windigen Tagen sank die Feuchte auf unter 20% rF. Extremwerte betragen 70,0% am 31.1.1986 um 07°Uhr bzw 11,7% am 11.2.1986 um 15°Uhr. Taubildung wurde nicht beobachtet. Die extrem niedrigen Luftfeuchtwerte während der Regenzeit sind wahrscheinlich eine Folge der topographisch bedingten Leelage (s.u.).

Unter allen Klimafaktoren ist der Niederschlag am bedeutendsten, da die Jahreszeiten nicht thermisch sondern hygrisch, d.h. durch die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge charakterisiert sind. Der mittlere Jahresniederschlag (1929-66) beträgt für die nächstgelegene Klimastation in Isiolo 639 mm (Kenya Meteor. Dept. 1984:17). Aufgrund der topographisch bedingten Leelage bei vorherrschender östlicher Windrichtung ist er jedoch in Ngare Ndare geringer und wird von Schultka u. Schwartz (1987) mit 510 mm angegeben. Die Niederschläge in der ersten Regenzeit (April-Mai) sind länger und heftiger als die der zweiten Regenzeit (November-Dezember). Die Niederschlagsbildung ist überwiegend konvektiver Natur, was dazu führt, daß die Regenfälle sehr oft am Nachmittag fallen. Die sehr hohe Variabilität des Niederschlags äußert sich in der unterschiedlichen Niederschlagsmenge und -verteilung gegenüber dem längerfristigen Mittel, in der Konzentration des Niederschlags auf wenige Starkregen und dem unterschiedlichen Beginn und der Dauer der Regenzeit. Die Abweichung vom längerfristigen Mittel wird auf dem Niederschlagsdiagramm (Abb.3) deutlich, das vor und nach der Regenzeit hohe

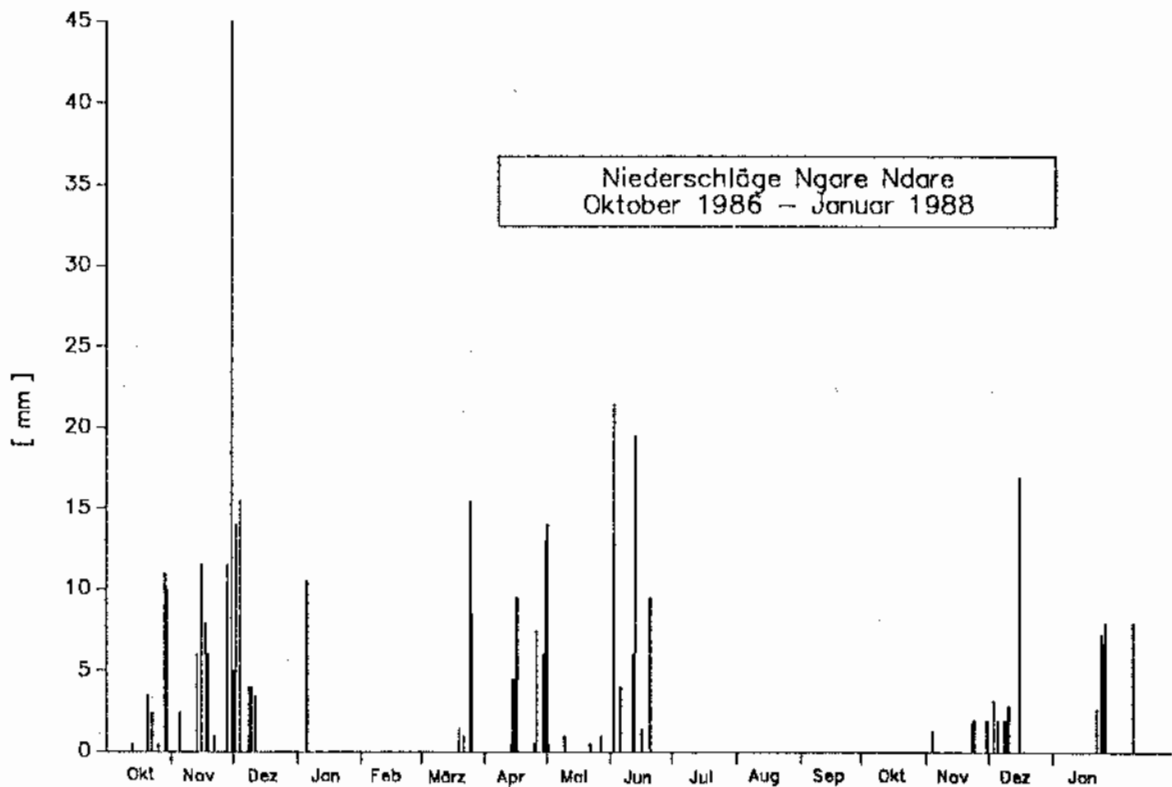


Abb. 3: Tagesniederschläge von Oktober 1986 bis Januar 1988, Station Ngare Ndare. Der Monat Mai weist typische Trockenphasen auf; besonders hohe Niederschläge fielen auch außerhalb der Regenzeit (z.B. im Juni 1987 oder im Januar/Februar 1988).

Niederschläge verzeichnet (z.B. Oktober 1986 bzw. Januar/Februar 1988) oder innerhalb der Regenmonate lange Trockenintervalle (z.B. Mai 1987). Mitunter bleiben in einer Regenzeit die Niederschläge ganz aus. Trifft dies für zwei aufeinanderfolgende Regenzeiten zu, bedeutet es Dürre und somit eine Existenzbedrohung für die Nomaden. Im Gegensatz zur Regenzeit kommt es in der Trockenzeit trotz der stärkeren Konvektion durch die "Heizflächen" aufgrund der geringen absoluten Wasserdampfmenge in der Luft nicht zur Wolkenbildung. Stattdessen treten hier besonders auf degradierten Flächen mit lichten Ve-

getationsbeständen vermehrt Windhosen (Kleintromben) oder Staubstürme auf, die zur Verlagerung von Feinmaterial (bis einschließlich Grobsand) führen und die auch bei der Verbreitung von Pflanzensamen eine besondere Rolle spielen (Hilger u. Schultka 1988:402).

Besondere Bedeutung für die Niederschlagsmengen haben nach Weischet (1988:202) die Niederschläge zu Beginn der Regenzeiten. Je höher diese Anfangsniederschläge sind, um so leichter kommt es zu weiterer Konvektion mit Niederschlägen. Dieses Selbstverstärkungsprinzip erklärt sich aus der Tatsache, daß durch Verdunstung der bereits gefallenen Niederschläge der Wasserdampfgehalt der Luft steigt und dadurch eine erneute Wolkenbildung eintritt. Bei schwächerer Wolkenbildung kommt es oft zu geringen Niederschlägen, die aufgrund des hohen Sättigungsdefizits schon in der Luft verdunsten und den Boden nicht erreichen.

Eine häufige Erscheinung in den Trockengebieten Kenias stellen orographisch bedingte Wolkenbahnen dar (Edwards u.a. 1979: 13, Mäckel 1986:95). Entlang dieser kommt es bevorzugt zum Abregnen und zur Ausbildung einer anspruchsvolleren Vegetation. Solche Wolkenbahnen wurden von Hagmann (1988:14) zwischen April und Juni 1987 in nordwestlicher Richtung entlang der Nyambeni Range (2514 m NN), Ol Doinyo Lenkiyo, Mathews Range (2245 m NN) und weiter nordwestwärts, sowie vom Mount Kenya über Loldaika zum Mukogodo-Bergland (2123 m NN) beobachtet. Das Untersuchungsgebiet in Ngare Ndare wurde von diesen beiden Wolkenbahnen umrahmt und lag dadurch im Regenschatten.

Eine weitere Besonderheit der Niederschläge ist ihr phasenweises Auftreten innerhalb der Regenzeiten. Solche Phasen dauern meist mehrere Tage an und sind durch täglich auftretende Regenfälle gekennzeichnet. Zwischen diesen Regenphasen treten oft mehrwöchige Trockenintervalle auf, in denen die im Wachstum befindliche Vegetation infolge der hohen Verdunstung wieder austrocknet (Abb.3). Das Wachstum der Pflanzen beginnt dann beim folgenden Niederschlag von vorne. Die Verdunstung ist im Untersuchungsgebiet sehr hoch. Die mittlere, jährliche potentielle Evaporation  $E_p$  beträgt nach Pratt u. Gwynne (1978:64) im Gebiet um Isiolo 2561 mm und nach Hagmann (1988:89) 1946 mm. Die Messungen zur Verdunstung auf der Forschungsstation Ngare Ndare werden in Abs. 2.3 besprochen.

Bei den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist eine agrarische Nutzung des Untersuchungsgebiets nicht mehr möglich. Nach Jätzold (1979:88) wird der Verdunstungswert von  $0,4 \times E_p$ , der als untere Grenze für die agrare Vegetationsperiode gilt, lediglich in feuchten Jahren in den Monaten April und November von der Niederschlagsmenge überschritten. Die Nutzung beschränkt sich daher auf die Subsistenzweidewirtschaft geringer Bevölkerungsdichte. Die Nomaden im Untersuchungsgebiet gehören überwiegend zu den Samburu (Spencer 1973). Ngare Ndare liegt im Quarantänegebiet von Isiolo, ist also für die Nomaden gesperrt. Es dient der Abteilung Rindervermarktung im Ministerium für Viehzucht als Sammelgebiet für die zum Verkauf anstehenden Tiere, die am Tiefbrunnen von Ngare Ndare getränkt und ausgewählt werden. An manchen Tagen sind dann Hunderte von Tieren in Ngare Ndare. Infolgedessen sind Vegetation und Boden um den Tiefbrunnen herum und an den Pisten dorthin stark beeinträchtigt (Mäckel u. Schultka 1988). Seit 1984

dringen trotz der Einschränkungen Nomadenfamilien (u.a. Turkana) in das Gebiet ein und setzen sich nahe der Wasserstellen in semi-permanenten Wohnstätten fest. Diese illegale Siedlungstätigkeit führt zu einer zusätzlichen Belastung des Naturhaushalts.

## 2 Die Klimastation und das Meßnetz

Die Klimastation in Ngare Ndare (1179 m NN) zeigt einen Gerätebestand, der im allgemeinen aus klimaökologischen Untersuchungen bekannt ist (Abb.2). Neben den gängigen Geräten wie Wetterhütte mit Thermohygrographen, Evaporimeter und Thermometer, Regenschirm usw. fallen jedoch die selbstkonstruierten und selbstgebauten Geräte auf, z.B. der Verdunstungstank und der Einring-Infiltrimeter. Die Messungen konnten zum Teil keine gesicherte Quantifizierung erbringen, jedoch stets Anhaltspunkte oder Hinweise geben, die von anderen Messungen und Beobachtungen bestätigt werden konnten (z.B. Niederschlag, Interzeptionsverlust, Bodenfeuchte). Viele Messungen bleiben Punktmessungen und sind nur schwer auf die Fläche zu übertragen, z.B. der Interzeptionsverlust wegen der unterschiedlichen Wuchsformen und des Bedeckungsgrads bzw. des Belaubungszustands (z.B. immergrüne *Boscia*-Arten mit regengrünen Akaziensträuchern wie *Acacia mellifera*). Zusätzlich zu den klimaökologischen Messungen wurden phänologische Vegetationsbeobachtungen an verschiedenen Testpflanzen, vornehmlich an Weidepflanzen durchgeführt (Bronner 1989, Hagmann 1988).

### 2.1 Niederschlagsmessung

Als Regenschirm wurde 1986 auf der Meßstation ein Pluviometer vom Typ Hellmann aufgestellt (Abb.2). Erst zwei Jahre später kam ein Regenschreiber hinzu. Starkregen wurden mit skalierten Plastikregenschirmen erfaßt, wobei in regelmäßigen Abständen von drei bis fünf Minuten während des Regens abgemessen wurde. Die Verteilung von Starkregen und Trockenintervallen für die Meßzeit von Oktober 1986 bis Juni 1987 wird aus Abbildung 3 deutlich. Der gemessene Niederschlag wurde in Zusammenhang mit der Verdunstung (Abb.8), dem Feuchtegang des Bodens und der Länge der Wachstumsperiode der Vegetation ausgewertet (Abb.11 und 12).

### 2.2 Das Temperatur-/Feuchte-Meßgerät Hygrotest

Das Meßgerät Hygrotest 6200 der Firma Testoterm/Lenzkirch wurde während der Feldarbeiten eingesetzt, um schnell, genau und zuverlässig Daten der Lufttemperatur und der Relativen Luftfeuchte zu erhalten. Es handelt sich bei diesem Gerät um einen kombinierten Sensor mit einem Pt100 Meßwiderstand zur Messung der Lufttemperatur sowie mit einem kapazitiven Dünnschichtsensor zur Messung der Relativen Luftfeuchte. Die Ansprechzeiten sind ausreichend hoch ( $t_{90\%} = 20$  sec bei 2 m/s Luftgeschwindigkeit), so daß auch mobile Messungen (Meßfahrten, Meßgänge) durchgeführt werden können. Die Meßgenauigkeit beträgt bei der Luftfeuchte  $\pm 3\%$  bzw. bei der Lufttemperatur  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ . Durch die Größe, das geringe Gewicht und die einfache Handhabung bei hinreichender Meßgenauigkeit eignet sich das Gerät vorzüglich zum Einsatz in Gebieten wie dem vorgestellten Raum Ostafrikas. Während die Temperaturmessung, abgesehen von einem an der unteren Grenze des zulässigen Bereichs liegenden Strahlungsschutz, problemlos sehr gute Ergebnisse liefert, muß dem

Feuchtesensor mehr Beachtung geschenkt werden, indem er häufiger nachkalibriert werden muß. Bereits geringe Verschmutzungen des relativ exponiert angebrachten Dünnsfilmsensors führen zu deutlichen Meßungenauigkeiten. Für diese Kalibrierung existieren auf dem Markt geeignete Geräte, z.B. das Hygrometereichgerät der Firma Vaisala in Finnland.

Mit den gewonnenen Daten können bereits ökologisch wichtige Aussagen über das Wachstum, die Entwicklung und Regeneration der Pflanze gemacht werden. Die Relative Feuchte kennzeichnet die "ausdörrende Wirkung" für die Pflanze und den Boden (Blüthgen u. Weischet 1980:194). In diesem Zusammenhang wird der Jahresgang der Relativen Feuchte, vor allem der Wechsel zwischen den kurzen hygrischen Jahreszeiten und den langen Trockenzeiten diskutiert, während der Tagesgang und singuläre Niederschlagsereignisse in der Trockenzeit bisher über die Relative Feuchte nicht erfaßt wurden. Weitere wichtige ökologische Aussagen zum Wasserhaushalt der Pflanze liefern Angaben zur absoluten Feuchte, wie z.B. der Sättigungsdampfdruck der Luft (hPa), da die Differenz zwischen dem

Tab 1: Hygrotestdaten der Station Ngare Ndare vom 29.1.1986

STATION : Ngare Ndare  
 DATUM : 29.1.1986  
 LUFTDRUCK : 900 hPa

Uhrzeit:	Temperatur:	Rel. Feuchte:	Dampfdruck:	Misch.verh.:	Taupunkt:	Sätt.defizit:	Abs. Feuchte:	Äquiv.temp.
:	°C	%	hPa	g/kg	°C	hPa	g/m <sup>3</sup>	°C
3	21.3	47.4	12.0	8.4	9.7	13.3	8.9	41.2
6	20.2	53.8	12.8	9.0	10.6	11.0	9.4	41.3
7	19.6	47.6	10.9	7.6	8.2	12.0	8.1	37.6
8	21.3	40.3	10.2	7.2	7.3	15.1	7.5	38.3
9	25.0	40.2	12.8	9.0	10.5	19.0	9.3	46.0
10	28.7	32.0	12.6	8.9	10.4	26.8	9.1	49.4
11	30.6	28.6	12.6	8.8	10.3	31.4	9.0	51.2
12	31.2	27.8	12.6	8.9	10.4	32.9	9.0	51.9
13	32.2	24.1	11.6	8.1	9.1	36.5	8.3	51.2
14	32.0	25.3	12.0	8.5	9.7	35.6	8.6	51.7
15	32.7	24.5	12.1	8.5	9.8	37.4	8.6	52.5
16	30.6	28.1	12.4	8.7	10.1	31.6	8.8	50.8
17	25.6	54.6	18.0	12.7	15.8	14.9	13.0	54.9
18	26.0	52.1	17.5	12.4	15.4	16.1	12.7	54.6
19	26.3	48.0	16.4	11.6	14.4	17.8	11.9	53.2
20	25.0	50.2	15.9	11.2	13.9	15.8	11.6	51.1
21	24.0	54.5	16.3	11.5	14.3	13.6	11.9	50.7
22	23.5	56.2	16.3	11.5	14.3	12.7	11.9	50.2



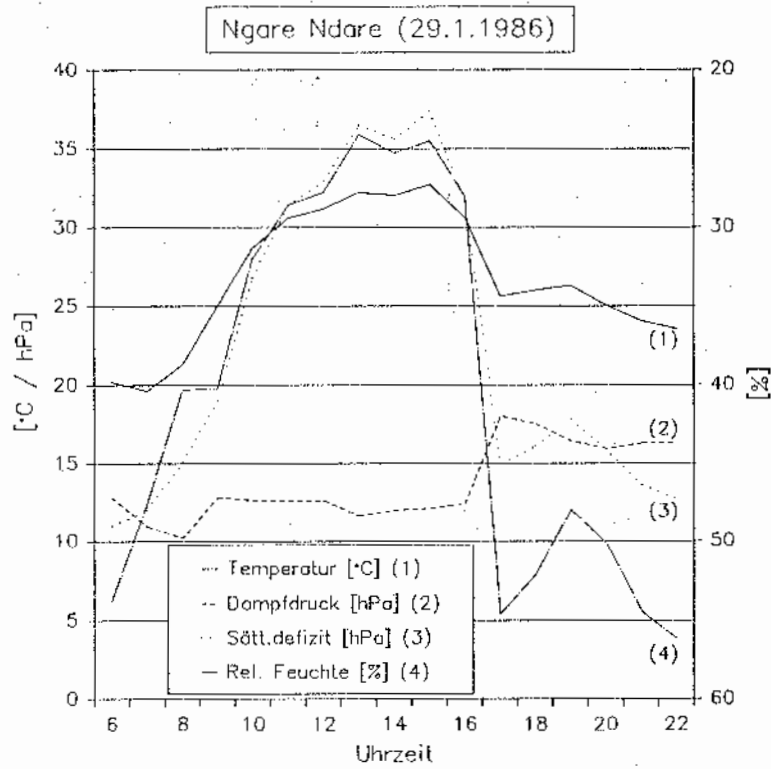


Abb. 4: Temperatur, Dampfdruck, Sättigungsdefizit und Relative Feuchte aus Hygrotestdaten (Stundenmessungen am 29.1.1986)

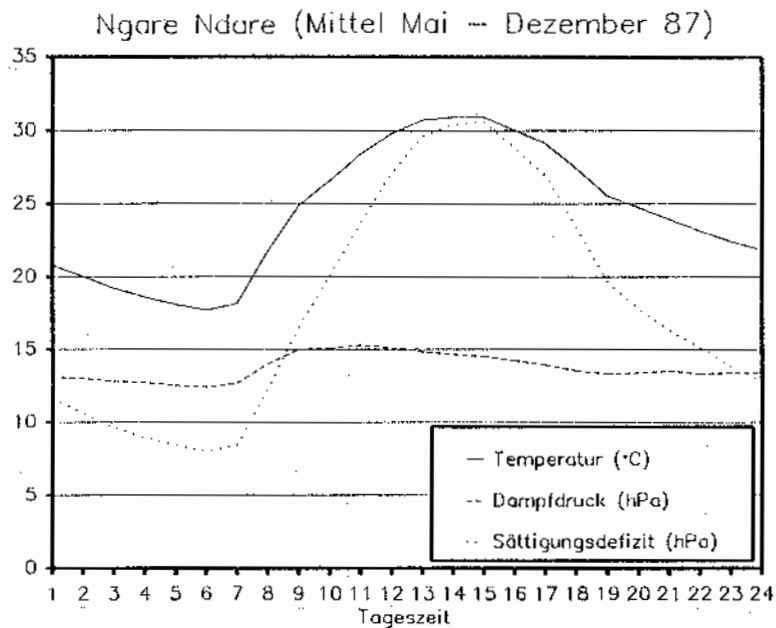


Abb. 5: Mittelwerte für Temperatur, Dampfdruck und Sättigungsdefizit von Mai bis Dezember 1987

Sättigungsdampfdruck und dem tatsächlich vorhandenen Wasserdampfdruck (Sättigungsdefizit) auch weitgehend den Druckgradienten zwischen Atmosphäre und Pflanze bzw. Boden bestimmt, unter dem Transpiration bzw. Evapotranspiration stehen (Steubing 1985:84). Auch die Formel der potentiellen Evapotranspiration nach Haude geht auf das Sättigungsdefizit zurück (Abs.2.3 und 3.3). Angaben zur Taupunkttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) weisen auf die Wassermenge durch Kondensationswasser hin, die außerhalb eines Niederschlagsereignisses den Pflanzen bei Unterschreiten des Taupunktes zur Verfügung steht. Mischungsverhältnis (g Wasserdampf/kg trockener Luft), absolute Feuchte (g Wasserdampf/ $\text{m}^3$  Luft) und spezifische Feuchte (g Wasserdampf/kg feuchter Luft) sind anschauliche Maße für die Luftfeuchtigkeit. Daraus können verschiedene Rückschlüsse für die Lebensfähigkeit, die Vitalität, das saisonale Wachstum und die Regeneration durch Jungwuchs gezogen werden. Solche Daten bilden die Grundlage für die Phytomasseberechnung und Tragfähigkeit bzw. für die Genesung degradierter Weidegebiete. Im Rahmen früherer und laufender topoklimatologischer Untersuchungen ist am IPG Freiburg das Programmpaket PC-KLIMA geschaffen worden, dessen Einzelbausteine (Module) für die Auswertung stationärer und mobiler geländeklimatologischer Daten verschiedene Möglichkeiten anbieten (Parlow 1983, 1986). Aus den genannten Daten der Temperatur und Relativen Feuchte wurden mit dem Programm-Modul THG die oben genannten Klimadaten berechnet (Tab.1 bzw. Abb.4 und 5).

### 2.3 Potentielle und aktuelle Verdunstung

Zur direkten Messung der potentiellen Verdunstung ( $E_p$ ) und der aktuellen Verdunstung ( $E_o$ ) wurden Piche-Evaporimeter benutzt, die an verschiedenen Stellen, z.B. an Astgabeln oder in der Wetterhütte, aufgehängt wurden, und der Verdunstungstank, der durch Strauchwerk gegen Haustiere geschützt wurde (Abb.2). Die indirekte Bestimmung der Verdunstung erfolgte durch Temperatur- und Luftfeuchtedaten, die sowohl von Aufzeichnungen des Thermohygrographen als auch von regelmäßigen Hygrotest-Ablesungen stammen. Vergleicht man den Tagesgang der Piche-Evaporimeter-Messungen mit den Werten des Verdunstungstanks (Abb.6b und 7), fallen einige Abweichungen auf. Der Grund dafür liegt darin, daß die Piche-Evaporimeter abhängig vom Wind sind, während der Verdunstungstank auch stark auf Einstrahlung und Temperatur reagiert. Interessant werden die Verdunstungsmessungen vor allem, wenn man sie in Beziehung zu der aktuellen Evapotranspiration setzt. Die aus dem Bodenwasserhaushalt und den Feuchtegängen errechnete aktuelle Evapotranspiration liegt sehr viel niedriger als die gemessenen und mit Formeln berechneten Werte (Abb.7). Auffallend ist die äußerst geringe Verdunstung des Bodens bei fast voller Wassersättigung der obersten 10 bis 20 cm unter der Geländeoberfläche (GOF) (Abb.6 und 7). Die oberste Austrocknungsschicht bildet eine Evaporationsbarriere und schützt die tieferen Schichten vor der Austrocknung. Damit wird die Transpiration der Pflanze bestimmend für die Verdunstung.

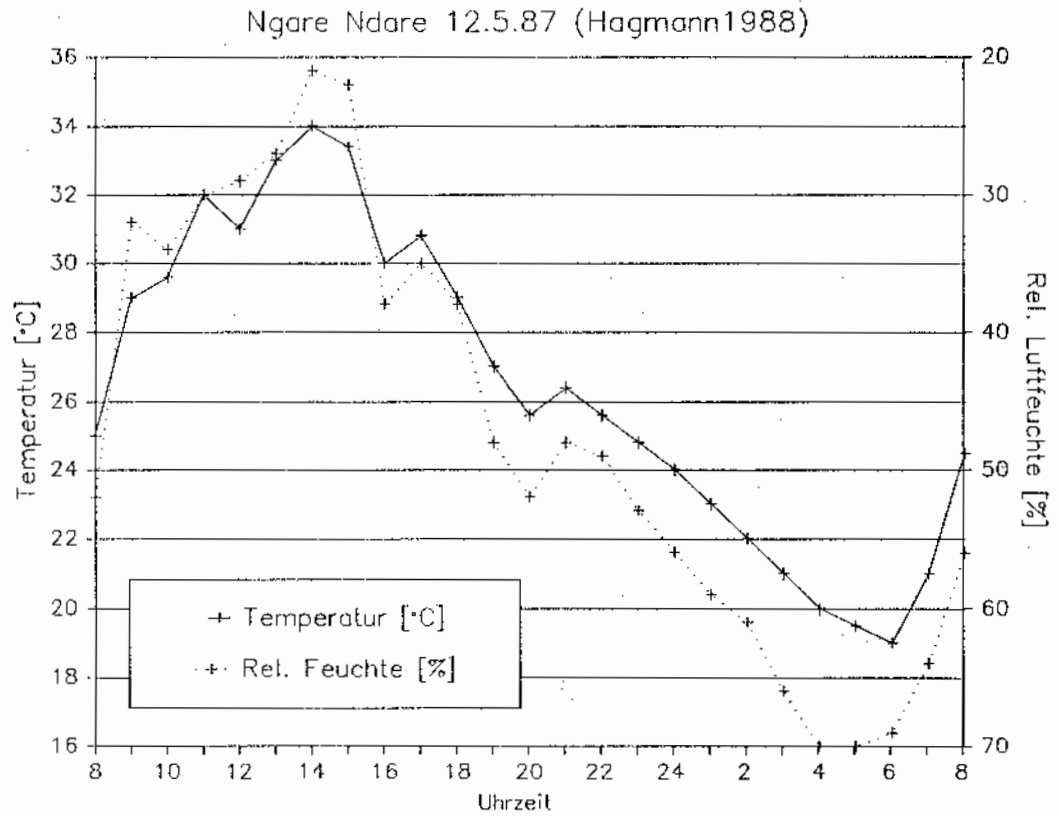


Abb.6a: Temperatur und Relative Feuchte nach Hygrotestdaten

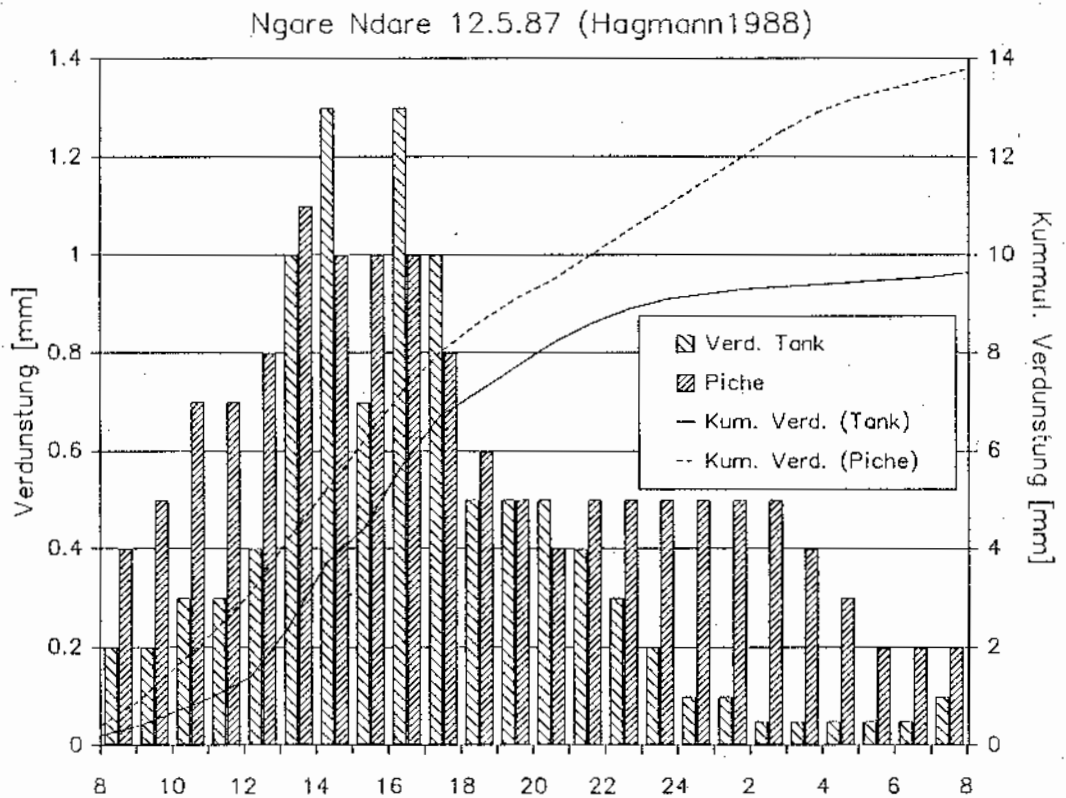


Abb.6b: Daten der Piche-Evaporimeter und des Verdunstungstanks

Ngare Ndare / Tägl. Verdunstungsraten

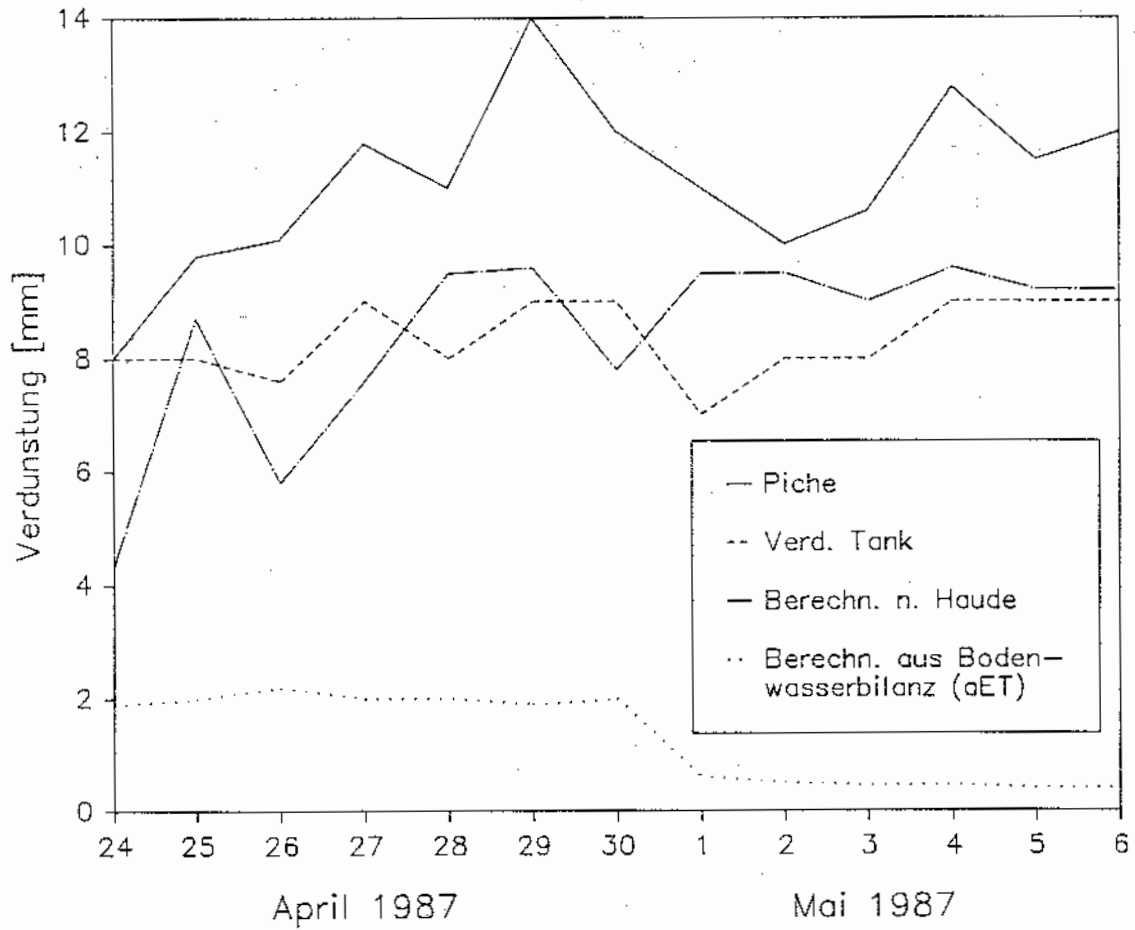


Abb. 7: Tägliche Verdunstungsraten mit verschiedenen Methoden gemessen und berechnet

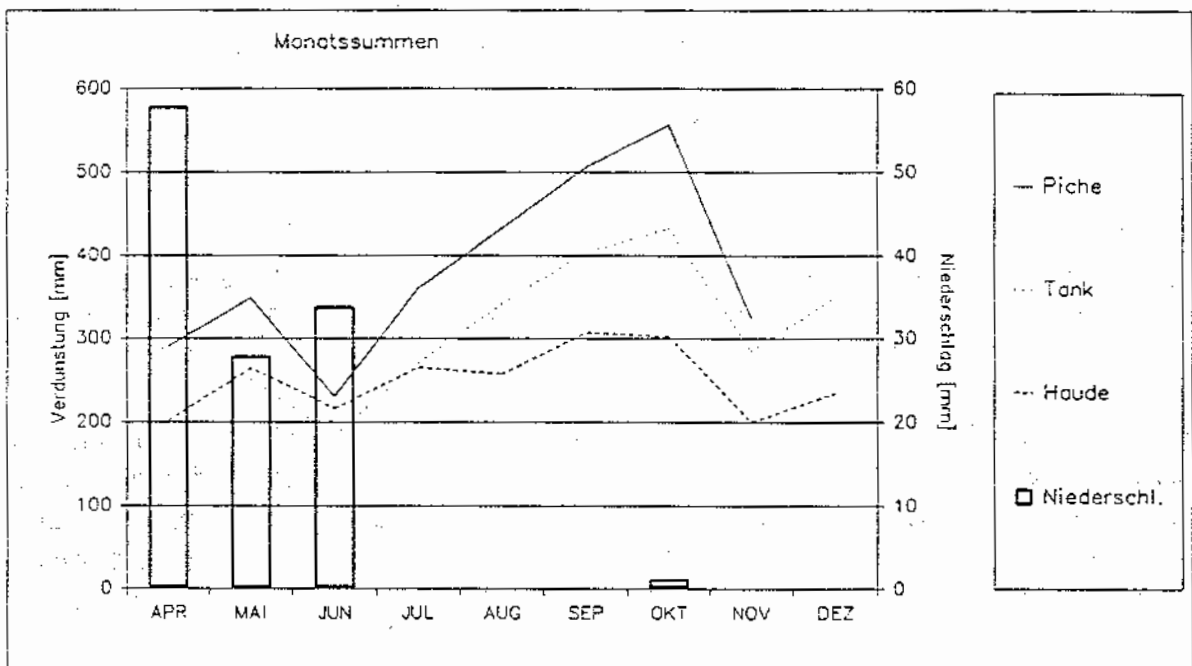


Abb. 8: Gang der gemessenen und berechneten Monatssummen der potentiellen Verdunstung von April bis Oktober 1987, Klimastation Ngare Ndare (nach Hagmann 1988:94)

## 2.4 Infiltration und Bodenfeuchte

Zur Bestimmung des Wasserhaushalts, speziell der Wasserzufuhr und der Einsickerungstiefe, wurden Messungen mit dem Einring-Infiltrometer durchgeführt, das in Eigenbau nach Hills (1970) hergestellt und zuerst in den Winterregensubtropen Chiles und Spaniens erfolgreich eingesetzt wurde (Endlicher u.a. 1987, Drescher 1988, May 1988). Die Ergebnisse von Hagmann (1988:71 und 1990) zeigen deutlich den Verlauf der Infiltrationskurven auf verschiedenen Bodentypen (Abb. 9):

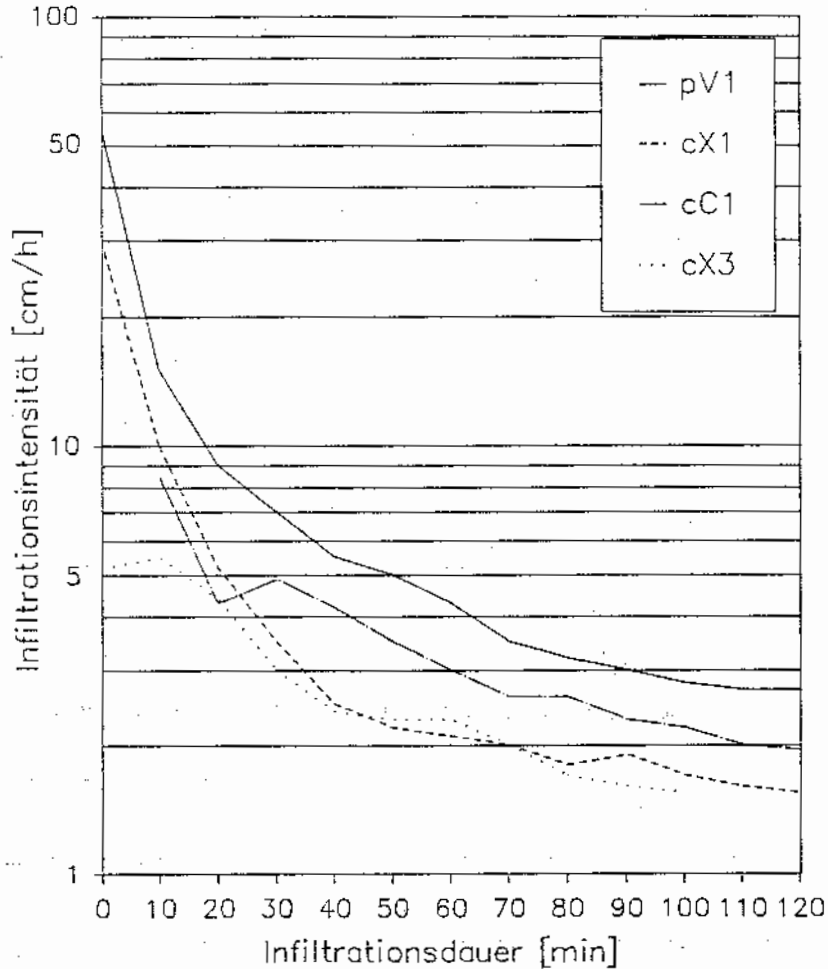


Abb. 9: Charakteristische Infiltrationskurven der verschiedenen Böden im Testgebiet Ngare Ndare, Abkürzungen: pV1 (Calcic Vertisol), cC1 (Calcic Cambisol/Vertic Cambisol), cX1 (Calcic Xerosol, Wasserscheide), cX3 (Calcic Xerosol, Viehpfad); Werte aus Hagmann (1988:71)

Bei Vertisolen fällt die sehr hohe Infiltrationsrate am Anfang und die hohe Infiltrationsintensität am Ende auf. Bei karbonatreichen Cambisolen (calcic Cambisols) sind die teilweise hohe Anfangsrate mit rasch fallender Tendenz und die Endwerte mit mittlerer Infiltrationsintensität charakteristisch. Bei beiden Bodentypen dringen die Niederschläge, die nach der Austrocknungsphase fallen, in den ersten 10 bis 20 Minuten schnell in den Boden ein und stehen den Pflanzen zur Verfügung. Obwohl die Infiltrationskapazitäten der Böden außerordentlich hoch sind, dringt die Durchfeuchtung aufgrund der Niederschlagssituation nur selten tiefer als 20 cm, in der Regel 15 cm, vor. Entsprechend ist auch das Wurzelwerk der Pflanzen horizontal in den oberen 20 cm unter GOF ausgebildet (Abb.10).

Die Bodenfeuchte wurde nach der Calciumcarbid-Methode mit dem CM-Gerät bestimmt (Steubing 1965:100). Die Umrechnung der Bodenfeuchte (Vol.%) in mm Regenhöhe erfolgt nach Steubing (1965:102). Danach entsprechen die oberen 10 cm eines Bodens mit 10 Vol. % gespeichertem Wasser einer Regenhöhe von 10 mm.

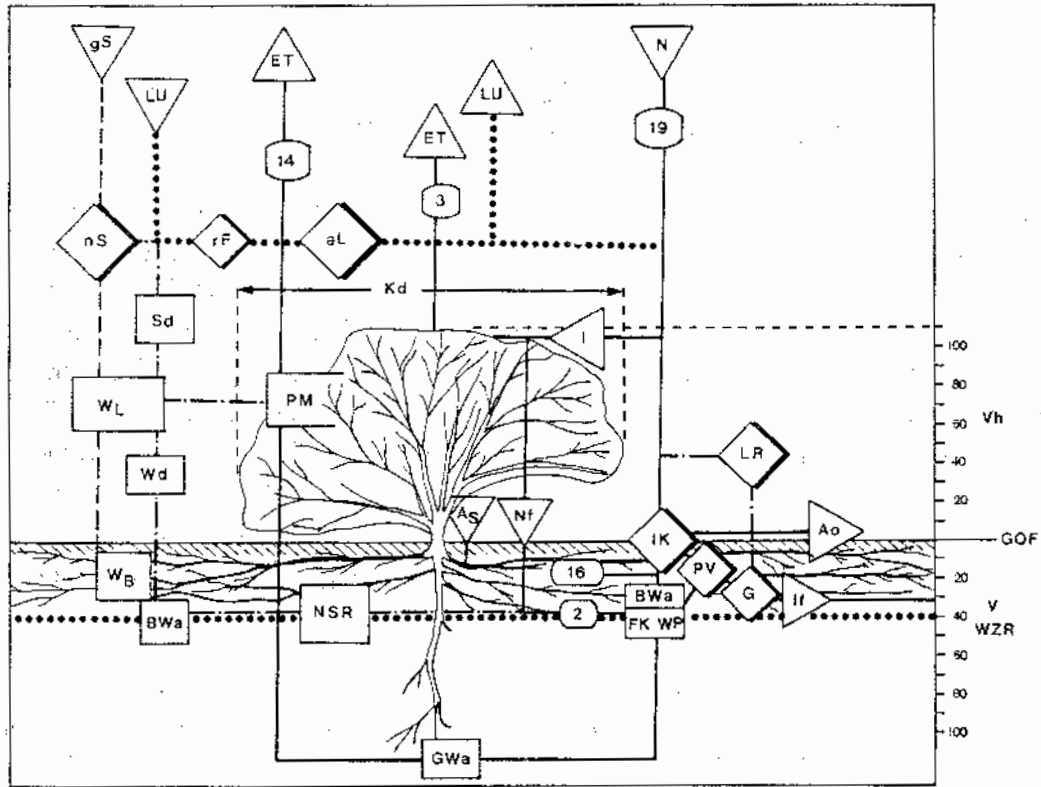


Abb.10: Standortregelkreis eines Geoökosystems im Testgebiet Ngare Ndare (*Acacia mellifera* - Indigofera-Gesellschaft über Calcic Cambisol). Meßwerte in mm (aus Hagmann 1988), Abkürzungen nach Kartieranleitung GÖK 25 (Leser u. Klink 1988:316)

### 3 Auswertung der Meßergebnisse

Entsprechend der Zielvorgabe in einem nomadisch genutzten Weidegebiet werden Meßwerte für die Bestimmung folgender landschaftshaushaltlicher Kenngrößen benötigt:

- wuchseffektiver Niederschlag (WEN %),
- Länge der Wachstumsperiode (Tage/Regenzeit),
- Wasserbedarf bzw. Wasserverbrauch der Pflanze (mm/Tag) und
- Futterangebot (Produktion von freßbarer Blattphytomasse kg/ha).

Die Bedeutung der Kenngrößen und das wechselseitige Wirkungsgefüge sind im Standortregelkreis eines Geoökosystems dargestellt (Abb.10).

### 3.1 Wuchseffektiver Niederschlag

Der wuchseffektive Niederschlag (WEN) umfaßt die effektiv genutzte, pflanzenverfügbare Bodenwassermenge, bezogen auf den gefallen Niederschlag. Für seine Bestimmung werden folgende Kennwerte benötigt:

- der Niederschlag (N),
- die Eindringtiefe des Niederschlags (Df),
- der Wassergehalt des Bodens bei Feldkapazität (FK) und
- der Wassergehalt des Bodens beim Welkepunkt (WK).

Zu den Messungen und Berechnungen kommen die bereits erwähnten Beobachtungen aus der phänologischen Vegetationsaufnahme. Der jahreszeitliche Verlauf der Niederschläge bzw. der Wasserzufuhr zum Boden und der Feuchtegang in der Wachstumsperiode sind von Hagmann (1988:84 und 1991 (im Druck)) über verschiedenen Bodentypen gemessen und berechnet worden (Abb. 11 und Tab. 2). Die Ergebnisse besagen, daß im Mittel 79% des Gesamtniederschlags über karbonatreichen Cambisolen wuchseffektiv sind (Tab. 2 und 3). Über Vertisolen sind es im Mittel nur 75% wegen des Reißgefüges im Tonboden. Bei Niederschlägen in der Trockenzeit von < 3 mm/Tag ergibt sich kein wuchseffektiver Niederschlag; geringe Niederschläge sind nur effektiv innerhalb der Regenzeit.

Tab. 2: Bodenwasserbilanz und wuchseffektiver Niederschlag auf Standort "Calcic Cambisol" Ngare Ndare (nach Meßwerten von Hagmann 1988)

N (mm) Tage	Mittl. Eindringtiefe	FK %	Wassergehalt (mm) 1 Tag n.N. bei WP		WEN		Wachstumsperiode	Mittl. ET/ Tag (mm)
					mm	% d.N		
24 (6)	12	35	42	23	19	79	12	1,6
17,5 (1)	8	35	30	16	14	80	8	1,7
19 (2)	8	35	28	13	15	78	10	1,5

Tab. 3: Phytomasseproduktion errechnet nach Braun (1973) mit Werten von Hagmann (1988)

Standort / Boden	N (mm)	WEN (mm)	Wachstums- periode (Tage)	Phytomasse- produktion (kg/ha)
Ngare Ndare 4 Calcic Cambisol	20	16	9	45 - 60
Ngare Ndare April-Juni 1987	120	90	43	215

### 3.2 Wachstumsperiode

Untersuchungen über die Reaktion verschiedener Pflanzenarten auf Niederschläge und die Länge der Wachstumsperiode (Tage/Saison) wurden von Freiburger Geographen in verschiedenen Gebieten Ostafrikas durchgeführt, u.a. in Ngare Ndare (Isiolo-Distrikt) von Hagmann (1988), in Korr (Marsabit-Distrikt) von Walther (1987), im Raum Wamba-Barsalinga (Samburu-Distrikt) von Mäckel u.a. (1989) und Bronner (1989) und in Somalia von Baas u. Mäckel (1990). Die Dauer der Wachstumsperiode (P) wird nach folgender empirischer Gleichung berechnet:

$$P = \frac{0,75 \times N \text{ (mm)}}{0,25 \times E_p \text{ (mm/Tag)}}$$

Die Werte für den Niederschlag (N) und die potentielle Evaporation ( $E_p$ ) des Wassertanks bzw. der Piche-Evaporimeter wurden von Hagmann (1988:91) gemessen und ausgewertet (Abb.11 und 12). Die Ergebnisse zeigen deutlich die unterschiedliche Reaktion einzelner Pflanzen auf die Niederschläge. Während die Schirmakazie (*Acacia tortilis*) wegen zusätzlicher Wasserversorgung aus der Tiefe auch bei Trockenintervallen ihr Wachstum fortsetzt, befinden sich Sträucher und Zwergsträucher im Ausharrungszustand. Annuelle Gräser und Störzeiger wie *Tribulus terrestris* (Zygophyllaceae) treten hingegen spontan nach den Regenfällen auf (Abb.12).

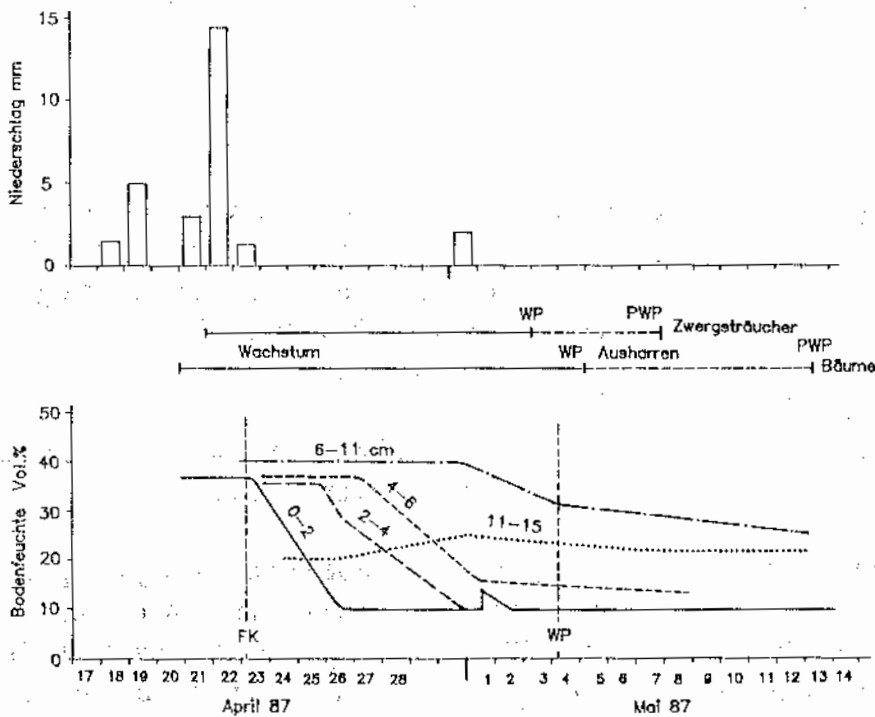


Abb.11: Niederschläge und Feuchtegang mit Wachstumsperiode auf einem Vertisol-Standort, Regenperiode 2 (aus Hagmann 1988:84)



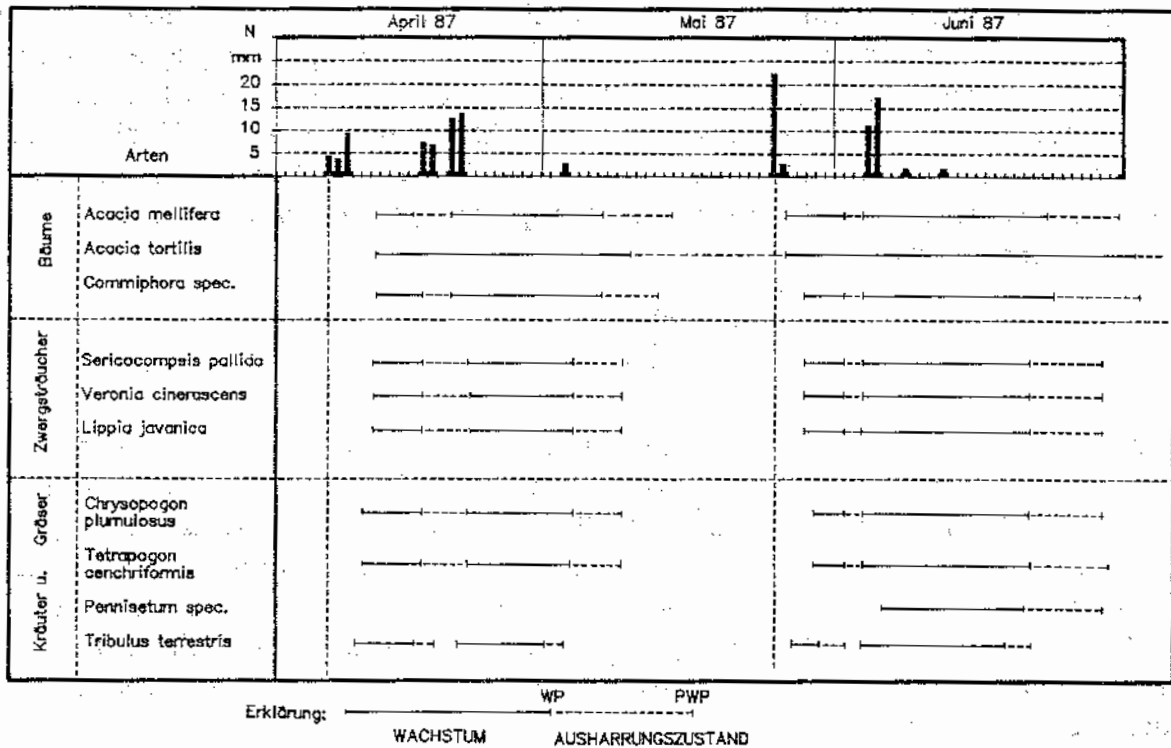


Abb.12: Reaktion verschiedener Pflanzenarten auf Niederschläge und Länge der Wachstumsperioden (Ngare Ndare - Testgebiet, April - Juni 1987) (Hagmann 1988)

### 3.3 Wasserbedarf der Pflanze

Um die Wirkung der potentiellen Evapotranspiration auf den Wasserbedarf der Pflanzen festzustellen, wurden Messungen und Berechnungen zur Verdunstung angestellt (Kap.2.2). Für die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration (ETp) aus den aufgenommenen Klimadaten (Abb.3) eignete sich die Haude-Formel (Schrödter 1985:93):

$$ETp = f (Es_{14} - e_{14}) \text{ mm/Tag}$$

mit  $f$  = Proportionalitätsfaktor,

$Es_{14}$  = Sättigungsdampfdruck der um 1400 MOZ gemessenen Temperatur und

$e_{14}$  = um 14.00 Uhr tatsächlich herrschender Dampfdruck.

Aus den Thermohygrographen- und Hygrotestdaten wurde der Sättigungsdampfdruck ermittelt (Tab.1). Die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen von Hagmann (1988:88) wurden für den Standort "Calcic Cambisol" in der Tabelle 2 zusammengestellt. Auffallend ist der niedrige Wert für die durchschnittliche Evapotranspirationsrate von 1,5 mm/Tag. Dieser Befund hängt weitgehend mit den angepaßten Wuchsformen und dem entsprechend niedrigen Wasserverbrauch zusammen.

### 3.4 Phytomassenproduktion

Pratt u. Gwynne (1978:43) berechnen die zu erwartende Phytomasse auf der Grundlage der jährlichen Niederschlagsmenge. Die Schwierigkeit bei dieser Methode besteht jedoch in den

fehlenden oder nur unregelmäßig vorhandenen Meßdaten und in dem zum Teil lokal begrenzten Regen. Für die Ermittlung der Phytomasse wurden daher die gängigen Verfahren ausprobiert, wie sie in der Literatur von Müller-Dombois u. Ellenberg (1974), Kreeb (1983) oder in speziellen Arbeiten aus Ostafrika (Herlocker u. Dolan 1982, Braun 1973) beschrieben werden. In baum- und straucharmen oder -freien Zwergstrauchfluren mit perennierenden oder annuellen Gräsern und Kräutern bietet sich die Punkt-Frequenzbestimmung mit dem Zehnpunkte-Rahmen nach Müller-Dombois u. Ellenberg (1974:85) an. Sie wurde von Walther (1987:147) und Mäckel u.a. (1989) für die Berechnung der Tragfähigkeit im Marsabit und im Samburu-Distrikt benutzt. Nach Regenfällen, die durch Messungen erfaßt wurden, erfolgte eine erneute Bestandsaufnahme. Parallel dazu wurden von Herlocker u. Dolan (1982) sowie Walther (1987:147) die oberirdischen Pflanzenteile abgeschnitten, gewogen, danach getrocknet und nochmals gewogen. Dadurch ergab sich die Korrelation zwischen Primärproduktion und saisonalem Niederschlag. Die Methode des Abschneidens von freßbaren Pflanzenteilen ("clipping") zur Errechnung des Trockengewichts wurde von Baas u. Mäckel (1990) in Somalia auch an Sträuchern und Bäumen durchgeführt und mit dem Niederschlag korreliert. Dabei wurde versucht, möglichst nur einen Teil der Pflanze zu beschädigen. Nach Auswertung verschiedener Wuchsformen läßt sich die Phytomasse anhand des Kronendurchmessers (Kd), der Wuchshöhe (Wh) und des Niederschlags (N in mm/Saison) errechnen.

Hagmann (1988:105 u.1990) griff bei seiner Berechnung auf die tägliche Produktionsrate der Phytomasse nach Braun (1973) zurück und multiplizierte diese mit der Anzahl der Tage, die zur Wachstumsperiode zählen und für die der wuchseffektive Niederschlag (WEN) berechnet wurde. Danach liegt bei einem Niederschlag von 20 mm die Wachstumsperiode über karbonatreichen Cambisolen (calcic Cambisols) bei 9 Tagen mit einer durchschnittlichen Phytomasseproduktion von 5 bis 7 kg/ha·Tag. Für das Niederschlagsereignis (20 mm) im Frühjahr ergibt das eine Phytomasseproduktion von 45 bis 60 kg/ha, für die Regenzeit (120 mm) 215 kg/ha (Tab.3). Dies ist ein sehr niedriger Wert infolge der geringen Niederschläge, aber auch infolge der starken Degradierung der Vegetation. In anderen nomadischen Weidegebieten liegen die Werte in guter Regenzeit weit höher. Im Marsabit-Distrikt betrug die Phytomasse bei 225 mm Niederschlag im März und April 1987 zwischen 550 kg auf degradierten Flächen und 2700 kg/ha auf guten Weiden (Mäckel u. Walther 1988:543), im Samburu-Distrikt bei 300 mm im April und Mai 1987 um 2500 kg/ha (Mäckel u.a. 1989:262).

## 5 Danksagung

Die Feldarbeiten von R. Mäckel wurden in der ersten Phase (1979 bis 1986) von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, in der zweiten Phase von der Stiftung Volkswagenwerk gefördert. Der Aufenthalt von J. Hagmann auf der Meßstation Ngare Ndare stand in Verbindung mit dem GTZ-Projekt "Range Management Handbook". Für die Unterstützung vor Ort danken wir Prof. Dr. J. Schwartz (Berlin), Dr. W. Schultka (Gießen) und Dr. D. Walther (Nairobi). Die Zeichnungen wurden von D. Lickert angefertigt, der auch drucktechnische Hilfestellung leistete. Herr A. Held tippte und korrigierte den Text.

**Literatur:**

- Baas, St. u. R. Mäckel (1990): Plant communities, biomass production and their proper use factors during two different rainy seasons in the drylands of Central Somalia. Proc. IVth Intern. Rangeland Congress (CITP) Montpellier; 20 S.
- Blüthgen, J. u. W. Weischet (1980): Allgemeine Klimatologie, 3. Aufl., 887 S.; Berlin (de Gruyter).
- Braun, M.H.H. (1973): Primary production in the Serengeti, purpose, methods and some results of research. Annales de l'université d'Abidjan, Ser.E: Ecologie, Tomé' 4 fasc.2: 177-188.
- Bronner, G. (1989): Vegetation und Landnutzung im Gebiet der Mathews Range, Samburu-District, Kenia. Diss. Geowiss. Fak. Freiburg i. Br., 269 S.; Freiburg i. Br.
- Dreiser, Ch., R. Mäckel, D. Walther u. R. Winter (1989): Abschätzung des Weidepotentials in ariden Gebieten Kenyas mit Hilfe von LANDSAT-TM-Daten. Geogr.Rdsch. 41; 690-695.
- Drescher, A. (1988): Untersuchungen eines Agrarökosystems in den Winterregensubtropen Spaniens: Naturpotential und Auswirkungen innovativer Entwicklungen in der Landwirtschaft. Diss. Geowiss. Fak. Freiburg i. Br., 264 S.; Freiburg i. Br.
- Edwards, K.A., C.R. Field u. I.G.G. Hogg (1979): A preliminary analysis of climatological data from the Marsabit District of Northern Kenya. IPAL Techn. Rep. B-1; Nairobi.
- Endlicher, W., R. Mäckel u. U. Schröder (1987): Infiltrationsmessungen zur Erfassung und Erklärung der Landschaftsdegradation in Mittelchile. Geoökodynamik 8, 79-96; Bensheim.
- Hagmann J. (1988): Hydrologie eines Trockentals im nördlichen Kenya. Ein Ansatz zur Bestimmung der Biomasseproduktion der Weidegebiete anhand des Wasserhaushalts. Unveröff. Diplomarbeit Geowiss. Fak. Freiburg i. Br., 160 S.; Freiburg i. Br.
- Hagmann J. (1990): Hydrological investigations in a small drainage basin of an ephemeral stream in Ngare Ndare, Isiolo District, North Kenya. Beiträge zur Hydrologie 12/1 (im Druck).
- Hagmann J. (1991): The soil-water balance and its implication for vegetational growth as a basis for the calculation of the biomass production of short growing periods in the Ngare Ndare area. In: Mäckel, R. (ed.): Natural potential, land use and land degradation in the arid and semiarid areas of Kenya (im Druck).
- Haude, W. (1959): Die Verteilung der potentiellen Verdunstung in Ägypten. Erdkunde 13: 214-224.
- Herlocker, D. u. R. Dolan (1982): Comparison of different techniques for the determination of large dwarf shrub biomass. IPAL Techn. Rep. A 3, 30-40.
- Hilger, H.H. u. W. Schultka (1988): Ausbreitungsbiologische Untersuchungen in einer semiariden Dornbuschsavanne in Nordkenia. Bot. Jahrb. Syst. 109:385-406; Stuttgart.
- Hills, R. (1970): The determination of the infiltration capacity of field soil, using the cylinder infiltrometer. British Geomorph. Res. Group Techn.Bull. 3; Norwich.
- Jätzold, R. (1979): Die Bestimmung der unteren Anbaugrenze des Hochlandes von Kenya Ein Beitrag zur Trockengrenzdiskussion. Geomethodica 4: 83-120; Basel.
- Jätzold, R. (1981): Klimageographie Ostafrika (Kenya, Uganda, Tanzania). Afrika-Kartenwerk, Beiheft E 5: 143 S.; Berlin-Stuttgart.
- Kenya Meteorological Department (1984): Climatological Statistics for Kenya. Nairobi.
- Kreeb, K.H. (1983): Vegetationskunde. Methoden und Vegetationsformen unter Berücksichtigung ökosystemischer Aspekte. 331 S.; Stuttgart (Ulmer).
- Leser, H. u. H.-J. Klink (Hrsg.) (1988): Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25000 (KA GÖK 25). Forsch. z. Dt. Landeskde. 228, 349 S.; Trier.
- Mäckel, R. (1986): Oberflächenformung in den Trockengebieten Nordkenias. Relief - Boden - Paläoklima 4: 85-225.
- Mäckel, R. (1988): Die Bewertung des Weidepotentials in den Trockengebieten Kenias mit Hilfe der kombinierten Erderkundung. DFD - DFVLR - Mitt. 89-04: 47-51; Oberpfaffenhofen.

- Mäckel, R., G. Menz u. D. Walther (1989): Weidopotential und Landdegradierung in den Trockengebieten Kenias, dargestellt an Testflächen im Samburu-District. *Erdkunde* 43: 253-267.
- Mäckel, R. u. W. Schultka (1988): Vegetationsveränderung und Morphodynamik im Ngare Ndare - Gebiet, Kenia. *Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.* 41: 251-276; Göttingen.
- Mäckel, R. u. D. Walther (1988): Die Bedeutung der Vegetationsveränderung und Geomorphodynamik für die Subsistenzweidewirtschaft in den Trockengebieten Kenias. *Tag. Ber. u. Wiss. Abh. Dt. Geogr. Tag München 1987*: 540-546.
- Mäckel, R., R. Winter u. D. Walther (1986): Vegetation and landscape classification of the dry savannah in Eastern Africa combining field work and digitally processed LANDSAT MSS imagery. *Fernerkundung und Raumanalyse (Hrsg. W. Endlicher u. H. Goßmann)*: 99-127.
- May, Th. (1988): *Naturräumliche Bedingungen, Landnutzung und Landschaftsdegradation in der Sierra de la Contraviesa (Provincia de Granada, Hochandalusien)*. Diss. Geowiss. Fak. Freiburg i. Br., 417 S.; Freiburg i.Br.
- Müller-Dombois, D. u. H. Ellenberg (1974): *Aims and methods of vegetation ecology*. 547 S.; New York.
- Parlow, E. (1983): *Geländeklimatologische Untersuchungen im Bereich der Staufferer Bucht unter besonderer Berücksichtigung lokaler Ausgleichsströmung*. *Freiburger Geogr. H.* 20, 175 S.; Freiburg i.Br.
- Parlow, E. (1986): *Das Thermohygrographenprogramm (THG)*. *Int. Forsch. Ber. Geogr. Inst. Univ. Freiburg*.
- Pratt, D.J. u. M.D. Gwynne (1978): *Rangeland Management and Ecology in East Africa*. 310 S.; London.
- Schrödter, H. (1985): *Verdunstung: Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden*. 186 S.; Berlin (Springer).
- Schultka, W. u. J. Schwartz (1987): *Dietary preferences and feed intake of small East African goats during one full seasonal cycle on a semiarid thornbush savannah*. *Proceedings 4th Internat. Conf. on Goats, Brasilia*.
- Spencer, P. (1973): *Nomads in Alliance. Symbiosis and growth among the Rendille and Samburu of Kenya*. 230 S.; London (Oxford Univ. Press).
- Steubing, L. (1965): *Pflanzenökologisches Praktikum - Methoden und Geräte zur Bestimmung wichtiger Standortfaktoren*. 262 S.; Berlin-Hamburg.
- Walther, D. (1987): *Landnutzung und Landschaftsbeeinträchtigung in den Rendille-Weidegebieten des Marsabit-Distrikts, Nordkenia*. *Freiburger Geogr. Hefte* 28; Freiburg i.Br.
- Weischet, W. (1988): *Einführung in die Allgemeine Klimatologie*, 4. Aufl. 264 S.; Stuttgart (Teubner).