

## Die potentielle Vollertrags-Regenfeldbaugrenze des Getreides am Beispiel Marokkos

The potential limit of the high yield rainfed culture of cereals  
by the example of Morocco

Von Horst Kutsch\*)

### 1. Problemsituation

In den Trockenräumen der Erde sind die Probleme der Nahrungsmittelerzeugung weiter gewachsen. Verantwortlich hierfür ist in erster Linie die ungünstige klimatische Situation, bei der die von Natur aus geringen Niederschläge zusammen mit den für diese Gebiete typischen Schwankungen in der Niederschlagsverteilung zu Dürrekatastrophen ausarten können. Hinzu kommen der steigende Bevölkerungsdruck und vielfach auch verfehlte Erschließungsmaßnahmen, die zu einer Zerstörung des empfindlichen ökologischen Gleichgewichts von Trockengebieten führen können (man made desert). Deshalb wird heute aus der Praxis der Agrarplanung und Entwicklungsprojekte heraus eine neue, komplexere Definition der agronomischen Trockengrenze gefordert, die sich nicht in mehr oder minder abstrakten Klimaformeln (vergl. Penck, 1910, Falkner, 1938 und Lauer, 1951 und 1952) niederschlägt, sondern stärker die tatsächlichen ökologischen Zusammenhänge berücksichtigt. Die deutschen Geographen haben sich schon seit geraumer Zeit in der Trockengrenzdiskussion dieser Art engagiert<sup>1)</sup>. Jätzold (1979) hat am Beispiel des Hochlandes von Kenia ein fünfstufiges Modell zur komplexen Bestimmung der Regenfeldbaugrenze entwickelt. Darin wird auch eine zusätzliche Grenze, die »Vollertrags-Regenfeldbaugrenze«, postuliert, ab der die niederschlagsbedingte Verringerung der Erträge eindeutig beginnt. Sie wäre dort anzusetzen, wo die Bestandsdichte verringert werden muß, um in allen Jahren der einzelnen Pflanze noch genügend Feuchte zukommen zu lassen.

Es ist das Ziel der marokkanischen Landwirtschaftspolitik, innerhalb der nächsten 25 Jahre auf dem Gebiet der Getreideerzeugung autark zu werden, um dadurch

---

\*) Dr. Horst Kutsch, Dillingerstraße 27, 6690 St. Wendel 1

<sup>1)</sup> Vergl. 42. Deutscher Geographentag, Göttingen, 1979: Fachsitzungen 32 und 42

devisenzehrende Importe einzusparen. Dies setzt unter anderem eine bessere Einschätzung der Potentialitäten des Getreideanbaus voraus. Getreide wird in Marokko auch zukünftig fast ausschließlich auf nicht bewässerten Flächen angebaut werden. Deshalb ist hier eine genaue Abgrenzung von Gebieten mit potentiell Vollertrags-Regenfeldbau notwendig, in denen Wasser definitionsgemäß nicht den ökologisch begrenzenden Faktor der Pflanzenproduktion darstellt. Dies wäre für die Praxis wichtig, weil man dann die Maßnahmen zur Ertragssteigerung auf die anderen Risikofaktoren konzentrieren könnte: genetisches Material, Zustand des Bodens, Düngung und phytosanitärer Aspekt.

## 2. Methoden zur Bestimmung der Vollertrags-Regenfeldbaugrenze

### 2.1. Funktionale Zusammenhänge der Kriterien

Das Gefüge der Faktoren, die Höhe und Qualität der Erträge bestimmen, ist äußerst komplex. Ihre Anzahl muß sinnvoll begrenzt werden, wenn man die Reaktion von Pflanzen auf den Umweltfaktor Wasser erfassen will. Es wird deshalb vereinfachend angenommen, daß a) die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen optimal ist, b) die Pflanzen keine Krankheiten oder anderen Schäden aufweisen und daß c) das Erbgut nicht geschwächt und der durchschnittliche Keimverlust von 15 Prozent nicht überschritten wird. Übrig bleibt die Abhängigkeit der Erträge von der Bestandsdichte und -verdunstung sowie vom Niederschlag. Die entsprechenden funktionalen Zusammenhänge sind nur schwer mathematisierbar (triadische Funktion)<sup>2)</sup>. Genaue, qualitative Aussagen sind jedoch heute schon möglich:

Unter der Annahme gleichverteilter, aber stetig abnehmender Niederschläge wird zunächst innerhalb eines bestimmten Intervalls die Bestandsdichte gleichbleiben, desgleichen auch die Ertragshöhe. Dahingegen nimmt die Bestandsverdunstung, zusammengesetzt aus pflanzlicher Transpiration und Evaporation aus dem Boden, parallel zum Niederschlag ab. Dies erklärt sich nach eigenen, noch unveröffentlichten Beobachtungen aus der Tatsache, daß Getreidepflanzen, selbst während der Zeit des Spitzenwasserbedarfs, ihre Transpirationsleistung um ca. 10–15 Prozent einschränken können (suboptimale Wasserversorgung), ohne daß physiologisch relevante Hydraturänderungen<sup>3)</sup> am Phytoplasma feststellbar sind. Wenn nun die Niederschlagsmengen weiter abnehmen, sind zwei Reaktionen möglich: 1. Man beläßt die Bestandsdichte. Damit wird sich die Wasserversorgung jeder einzelnen Pflanze verschlechtern, was schließlich ein vermindertes Fruchtgewicht pro Pflanze zur Folge hat. Ein solcher Anbau kommt nach eigenen Beobachtungen vorwiegend dort vor, wo die Erzeugung von Grünmasse (Silage) im Vordergrund steht. 2. Das Saataufwandgewicht wird gezielt vermindert, so daß die damit verbundene geringere Bestandsdichte eine bessere Wasserversorgung der ein-

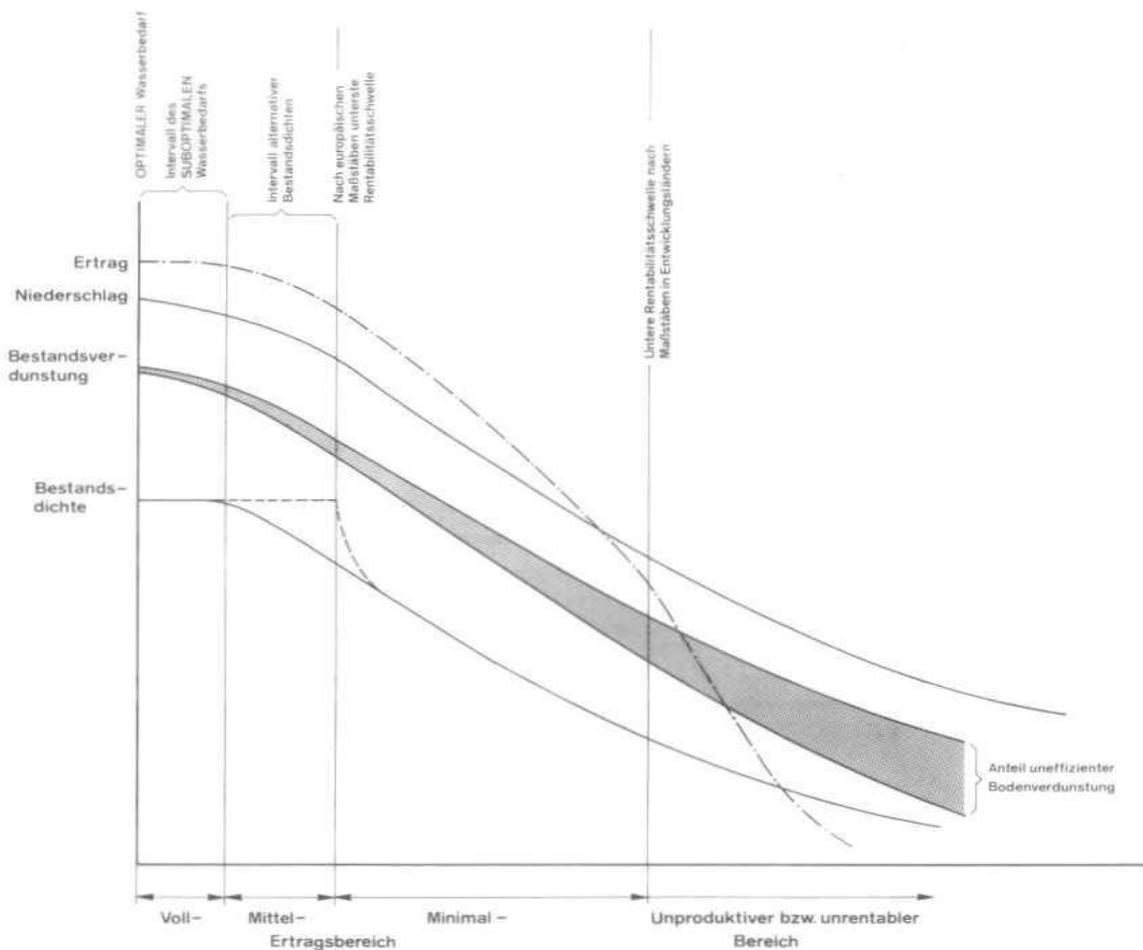
---

<sup>2)</sup> Eine Näherung mit Hilfe statistischer Methoden (multiple Regression) ist möglich. Dazu werden jedoch umfangreiche Datenmengen aus systematischen Beobachtungsreihen benötigt.

<sup>3)</sup> Zum Hydratur-Begriff und zu Meßmethoden vergl. WALTER, 1931 u. 1962; KREEB, 1958 u. 1977

zelen Pflanze gewährleistet. Trotz allgemeinem Ertragsrückgang ist damit in der Regel ein höheres 1000-Korn-Gewicht als im ersten Fall verbunden. Eine derartige Reaktion auf zunehmende Trockenheit ist in Marokko tatsächlich dort festzustellen, wo überwiegend Brotgetreide angebaut wird. Die richtige Bestimmung der verminderten Pflanzendichte ist besonders wichtig: reduziert man nämlich zu stark, würde zuviel Wasser ineffizient aus dem unbedeckten Boden verdunstet und die Wasserversorgung der Pflanzen beeinträchtigt werden. Ökologisch gesehen bleibt in beiden Fällen die Höhe der Bestandsverdunstung gleich.

Vermindern sich die Niederschläge weiter, sind höhere Bestandsdichten ökologisch nicht mehr sinnvoll. Es werden auf jeden Fall verringerte Saatkosten ausgebracht. Die niedrigere Transpirationsleistung der einzelnen Pflanze und die größeren Pflanzenabstände bedingen jetzt einen stärkeren Ertragsrückgang. Der höhere Anteil an unbedecktem Boden und, damit verbunden, die wachsende Rate an ineffizienter Evaporation wirkt sich dabei rückkoppelnd negativ auf den Wasserhaushalt des Bestandes aus. In welchem Maße das geschieht, läßt sich zur Zeit nicht abschätzen, da weder geeignete numerische Modelle für die Teilgrößen der Bestandsverdunstung noch entsprechende Werte aus der experimentellen Öko-



**Fig. 1:** Systematische Zusammenhänge zwischen Ertragshöhe, Niederschlag, Bestandsverdunstung und Bestandsdichte

logie des Getreideanbaus vorliegen<sup>4</sup>). Die Verringerung der Bestandsdichte läßt sich soweit fortsetzen, wie es die Rentabilitätsansprüche der agrarischen Bevölkerung zulassen. So wurden am Rande der Vorsahara-Zone noch Dichten von 15–20 Pflanzen pro Quadratmeter gegenüber 250–300 im Norden des Landes beobachtet!

## 2.2 Kriterium der deutlich verringerten Bestandsdichte

Die Bestandsdichten wurden während der Anbauperiode 1977/78 in mehreren Regionen Nordmarokkos ausgezählt<sup>5</sup>). Dabei wurde das entsprechende Saataufwandgewicht bei Weizen und Gerste mit Werten aus vergangenen Jahren verglichen, um eventuelle Schwankungen der langjährig mittleren Bestandsdichte in Erfahrung zu bringen. Die entsprechenden Aufzeichnungen ließen sich bis in die Protektoratszeit der 30er Jahre zurückverfolgen. Das Datenmaterial bezog sich ausschließlich auf größerer private und staatliche Produktionsflächen, für die in der Regel technische Bücher geführt werden<sup>6</sup>). Es zeigt sich dabei, daß das Saatgewicht durch die Jahre hindurch und an allen Orten praktisch unverändert bleibt, selbst wenn ausgesprochen trockene Anbauperioden aufgetreten waren. Vergleicht man die Bestandsdichten auf den intensiv bewirtschafteten Flächen mit denen, die unter den Bedingungen von Subsistenz-Landwirtschaft zu beobachten sind, ergeben sich ganz deutlich Übereinstimmungen. Dies betrifft sowohl den regionalen Mittelwert als auch die mittlere Streuung nach unten und oben. Man kann daraus folgern, daß sich in Marokko mit seiner über 2000 Jahre alten Tradition des Getreideanbaus eine Bestandsdichte ergeben hat, die dem jeweiligen Niederschlagsregime einer bestimmten Zone optimal entspricht. Die heutigen Bestandsdichten können deshalb in Marokko als primäres Kriterium zur Abgrenzung der potentiellen Vollertragszone verwendet werden. Ihre Grenze wird auf den Beginn des Getreideanbaus mit deutlich verringerten Bestandsdichten festgelegt.

## 2.3 Klimatisches Kriterium

Die für den Getreideanbau relevante humide Zeit (= Hauptvegetationszeit) wird durch das Verhältnis von gemessenem Niederschlag (N) zu Verdunstungskraft des Klimas ( $E_0$  = Wasserflächenevaporation) beschrieben. Dieses erlaubt eine rasche Charakterisierung des niederschlags- und verdunstungsklimatischen Rahmens, ebenso eine erste Näherung der Wasserversorgung der Pflanzen, wenn

---

<sup>4</sup>) Entsprechende Versuche sind an der Universität Trier geplant (Wasserhaushaltsuntersuchungen in begehbaren Klimakammern).

<sup>5</sup>) Mit freundlicher Unterstützung durch Recherche Agronomique, Service d'Écologie, Rabat und durch Ulrich Hoesle, Projektassistent der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Rabat

<sup>6</sup>) Versuchsgüter der Recherche Agronomique, Produktionseinheiten der Société de Développement Agricole und größere private Erzeuger in den Regionen Rabat, Fès und Meknès sowie Khouribga und Skour des Rehamna

man bedenkt, daß bei einer Vielzahl von Kulturen der Spitzenwasserbedarf der Wasserflächenverdunstung gleichkommt und daß dabei in den meisten Fällen die Unterschreitung der Wasserversorgung um 50 Prozent das Pflanzenplasma schädigt (Stewart, 1978).

Unter diesem Gesichtspunkt wird eine einfache Klassifizierung eines bestimmten Klimas mit Hilfe des Verhältnisses  $N/E_0$  wie folgt vorgeschlagen (HI = Humiditätsindex, AI = Ariditätsindex).

**Tab. 1:** Klassifizierung eines Klimas mit Hilfe des Humiditäts- (HI) bzw. Ariditätsindex (AI)

HI N/E <sub>0</sub>	Bezeichnung	AI N/E <sub>0</sub>	Bezeichnung
0,9	vollhumid	0,5–0,3	semiarid
0,7–0,8	humid	0,2–0,1	arid
0,6	semihumid	0,1	vollarid

Der Niederschlag wird an dieser Stelle nicht in Form des arithmetischen Mittels berechnet. Es wird vielmehr die Angabe des unteren und oberen Schwellenwertes mit  $\frac{4}{5}$  Wahrscheinlichkeit bevorzugt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß in Trockengebieten das arithmetische Mittel häufig von seiner Standardabweichung übertroffen wird und somit an Aussagekraft verliert (Vinck, 1972). Dieser Nachteil kann durch die Benutzung des Medianwertes oder besser noch: eines wahrscheinlichkeitsbezogenen Niederschlagsintervalls vermieden werden. Dazu muß die Häufigkeitsverteilung ermittelt werden.

Gemäß einer neuen Empfehlung (F.A.O., 1977) wird zur Kennzeichnung der klimatischen Verdunstungskraft die Evaporation einer freien Wasserfläche ( $E_0$ ) nach der Penman-Formel (Penman, 1948) verwendet.

Eine Verdunstungsberechnung für Marokko nach dieser Formel hat Kutsch (1978 b) vorgelegt.

#### 2.4 Kriterien der Wasserversorgung

Der Grad der Wasserversorgung wird aus dem Verhältnis von einkommendem Niederschlag<sup>7)</sup> plus gespeichertem Bodenwasser zum optimalen Wasserbedarf beurteilt. Nach Kutsch (1978 a) beträgt dieser bei Getreide im Jugendstadium (Trifoliarstadium und Tallage) durchschnittlich 40 Prozent der Wasserflächenverdunstung. Während des Spitzenwasserbedarfs (Längenwachstum, Blüte und Fruchtansatz) werden 100 Prozent erreicht. Bis zum Beginn der physischen Reife (wassersparende Bildung von Geschmacks- und anderen Inhaltsstoffen) sinkt der Wert auf 40–50 Prozent.

<sup>7)</sup> Abzüglich 10 Prozent geschätzter Gesamtverluste (ineffiziente Niederschläge, oberflächlicher Abfluß, Versickerung)

Diese Zahlen beziehen sich stets auf die ökologisch maximale Bestandsdichte von 300–500 Pflanzen pro Quadratmeter<sup>8)</sup>. Es müssen auch die Speicherverhältnisse der verschiedenen Böden berücksichtigt werden, da solche mit größerer Wasserbindigkeit der Pflanze helfen, kurze Trockenperioden zu überbrücken. In Nordmarokko kommen drei verschiedene Speichertypen vor: Auf schweren, sehr wasserbindigen Böden (Tirse, verlehnte rote Böden<sup>9)</sup>) beträgt die leicht pflanzenverfügbare Speicherfeuchte<sup>10)</sup> 150–180 mm bis 100 cm Bodentiefe. Auf mittleren, mäßig wasserbindigen Böden (anlehmige rote und braune Böden) liegt der entsprechende Wert mit ca. 200 mm etwas günstiger. Leichte, wenig wasserbindende Böden (Sande, skelettreiche Böden) kommen nur auf einen Wert von 80–100 mm.

### 3. Lage und Charakteristik der Vollertragszone

#### 3.1 Geographische Lage

Die Getreide-Vollertragszone Marokkos erstreckt sich von der Mittelmeerküste bis zu einer Linie in der Höhe von Casablanca. Im Osten wird dieses Gebiet durch den Mittleren Atlas begrenzt. Getreide wird hier auf allen verfügbaren Flächen angebaut, mit Ausnahme von Steillagen oder stark erodierter Böden (Rif-Gebirge).

#### 3.2 Niederschlag und Verdunstungskraft des Klimas

Die Niederschläge schwanken in der Zeit von September bis April in vier von fünf Jahren zwischen 300 und 500 mm (Ebenen und mittlere Höhenlagen). In Höhen über 1500 m werden bis zu 1000 mm und mehr (Rif, Atlas) registriert. Für die Küstenstation Casablanca liegen die entsprechenden Mindestniederschläge bei ca. 300 mm, der Höchstwert beträgt ca. 500 mm.

Während der engeren Anbauperiode des Getreides, die von November (frühe Sorten) oder Dezember (späte Sorten) bis Ende März reicht, liegen die Niederschläge im Intervall 200–400 mm. Das Niederschlagsmaximum liegt im Dezember (Mittelwert mit  $\frac{4}{5}$  Wahrscheinlichkeit: 80 mm). Die Niederschläge in der für die Kulturen kritischen Zeit von Januar bis Ende März sind im Mittel gleich verteilt. Ein ähnliches und teilweise noch günstigeres Niederschlagsbild zeigt auch das Landesinnere, z. B. die für den Getreideanbau wichtige Region um Fès und Meknès.

Die langjährigen Schwankungen der Wasserflächenverdunstung überschreiten kaum 12 Prozent des Mittelwertes (hier: arithmetisches Mittel), so daß das Verdunstungsklima Nordmarokkos als außerordentlich stabil bezeichnet werden kann. Der bloße Mittelwert ist daher schon genügend aussagekräftig.

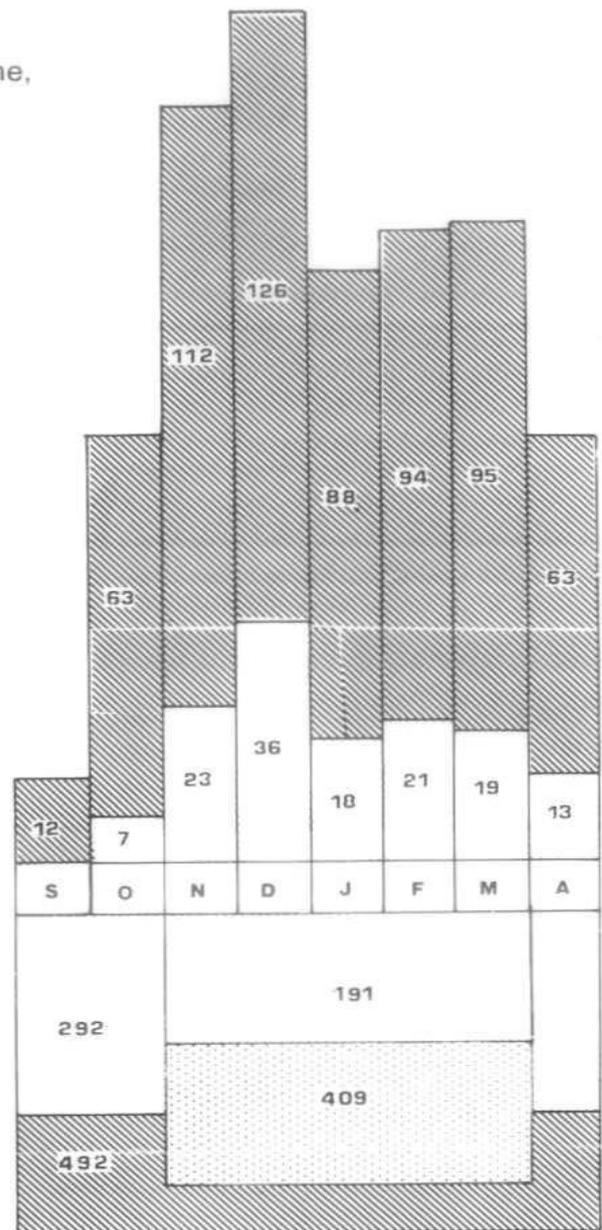
---

<sup>8)</sup> Bei bestockungslosen Sorten liegt die max. Bestandsdichte wesentlich höher: ca. 1000–1200

<sup>9)</sup> Gemäß einer in Marokko gültigen Einteilung der Böden

<sup>10)</sup> Erfahrungsgemäß beträgt die leicht pflanzenverfügbare Speicherfeuchte etwa  $\frac{2}{3}$  der nutzbaren Speicherfeuchte

**Fig. 2:** Das Niederschlagsbild der Vollertragszone, dargestellt am Beispiel der Küstenstation Casablanca (33° 34' N, 7° 40' W, 50 m)



**Tab. 2:** Monatswerte der Wasserflächenverdunstung ( $E_0$  in mm) und ihrer Variabilität ( $V$  in %) in der Getreide-Vollertragszone Marokkos (in Bezug auf die winterliche Regenperiode Oktober – April)

Monat	Küste $E_0$	$V$	Inneres $E_0$	$V$
Oktober	100	4	113	8
November	68	7	59	12
Dezember	56	9	46	12
Januar	55	10	45	12
Februar	70	11	66	17
März	105	5	90	11
April	123	4	113	8

### 3.3 Humiditätsgrenze des Klimas

Bezogen auf die engere Anbauperiode von Weizen und Gerste besitzt die Vollertragszone im langjährigen Mittel ein humides Klima. Der Humiditätsindex ( $N/E_0$ ) beträgt 0.8. Praktisch jedes zweite Jahr könnten vollhumide Verhältnisse herrschen ( $HI > 0.9$ ). Die gleiche Wahrscheinlichkeit besteht auch für eine semi-humide Ausprägung ( $HI = 0.6$ ). Zu Beginn der winterlichen Regenzeit (Oktober) wie auch an ihrem Ende April tendiert das Klima zu semi-arid ( $AI = 0.5-0.3$ ). Nur einmal in fünf Jahren könnten theoretisch während der gesamten Anbauperiode semi-aride Verhältnisse herrschen, die zu einem Ertragseinbruch um mindestens 50 Prozent führen würden.

### 3.4 Wasserversorgung und Bestandsdichte

Der optimale Wasserbedarf von Getreide während der Hauptvegetationszeit von November bzw. Dezember bis März (120–130 Tage) beträgt in Küstenlandschaften und je nach Sorte 240–280 mm (220–250), im Landesinnern 210–250 mm (190–225). Die Werte in Klammern stehen für den suboptimalen Wasserbedarf. Das Verteilungsschema geht aus Tabelle 3 hervor.

Auf mittleren und schweren Böden kann der suboptimale Wasserbedarf selbst in verhältnismäßig trockenen Jahren mit nur etwa 170 mm wuchseffektivem Niederschlag<sup>11)</sup> für die Zeit von November bis März einschließlich befriedigt werden, wenn

**Tab. 3:** Monatlicher Optimalwasserbedarf (W in mm) von Weizen und Gerste in der Vollertragszone Marokkos (in Bezug auf geographische Lage und Zeitpunkt der Aussaat)

	Monat	W	
		frühe Sorten	späte Sorten
Küste	November	44	
	Dezember	45	36
	Januar	55	44
	Februar	70	70
	März	22 (1/3 März)	105
	April		28 (1/3 April)
Inneres	November	38	
	Dezember	37	30
	Januar	45	36
	Februar	66	66
	März	21 (1/3 März)	90
	April		25 (1/3 April)

<sup>11)</sup> Zum Begriff »wuchseffektiver Niederschlag« vergl. JÄTZOLD, 1979, S. 96

frühe Sorten angebaut werden und die gespeicherte Bodenfeuchte aus den Herbstniederschlägen mindestens 50 mm beträgt. In einem weniger günstigen Fall, Anbau von späten Sorten auf leichten Böden, müßte jedoch schon mit Ertragseinbußen gerechnet werden.

Im Normalfall mit etwa 300 mm gemessenem Niederschlag während der Anbauperiode wird auf leichten Böden der suboptimale Wasserbedarf und auf wasserbindigeren Böden sogar der optimale vollständig abgedeckt. Voraussetzung hierfür ist aber auch eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Niederschläge, wie sie in der gesamten Vollertragszone etwa die Hälfte aller Jahre gegeben ist. Dies gilt insbesondere für die Zeit des Spitzenwasserbedarfs (Januar, Februar und Anfang März).

In niederschlagsreichen Jahren mit über 300 mm in der fraglichen Zeit wird selbst bei einem ungünstigeren Verteilungsbild und auf weniger wasserbindenden Böden zumindest eine suboptimale Wasserversorgung gewährleistet.

Diese Befunde erklären die im Untersuchungsraum überall gleichmäßig hohen Bestandsdichten von 250–300 Pflanzen pro Quadratmeter.

### 3.5 Erträge

Die Erträge schwanken in einem weiten Bereich. Sie liegen bei Selbstversorger-Kleinbauern bei ca. 10–15 dz/ha. Private und staatliche Großbetriebe erzeugen unter Einsatz moderner Anbautechniken bis zu 40 dz/ha und vereinzelt auch darüber. Die für marokkanische Verhältnisse potentielle Obergrenze des Vollertrags-Regenfeldbaus von Getreide liegt schätzungsweise bei ca. 60 dz/ha<sup>12)</sup>. Da im Norden Marokkos die rentabel bewirtschafteten Flächen aber nur einen sehr geringen Prozentsatz (<5%)<sup>13)</sup> der Gesamtanbaufläche von Getreide ausmachen, könnte die Ertragsleistung sicher noch erheblich gesteigert werden, sieht man einmal von ungeeigneten Boden- und Reliefverhältnissen ab. Es ist also nicht der Faktor Wasser, der die oft beklagten geringen Ertragsleistungen bedingt. Entscheidendes Hemmnis ist primär eine steckengebliebene Landreform, die die Mehrzahl der Kleinbauern zu unrentablen Betriebsgrößen verdammt. Mikro-Besitz-einheiten von zwei oder drei Hektar sind leider keine Seltenheit. Hinzu kommen Negativfaktoren wie schlechtes Saatgut (ungereinigt, genetisch geschwächt, hohe Ausfallquote), mangelhafte Düngung und Pflege von Pflanze und Boden, insbesondere eine wirksame Unkraut- und Schadvogelbekämpfung<sup>14)</sup>.

---

<sup>12)</sup> u. <sup>13)</sup> Gemäß einem nationalen Kolloquium über die Potentialitäten des Getreide-Regenfeldbaus in Marokko, Rabat, Nov. 1978

<sup>14)</sup> Der spanische Sperling, *PASSER H. hisp.*, richtet jedes Jahr große Schäden an. Marokko hat jetzt die Bundesrepublik Deutschland um Beratung und technische Hilfe bei der Bekämpfung dieses Schadvogels gebeten.

### 3.6 Übergangszone zu den Trockengebieten

Eine breite, sichelförmige Zone, die den südlichen Teil des marokkanischen Mittelgebirges, das Plateau der Phosphate und die Ebene der Rehamna umfaßt, leitet zu

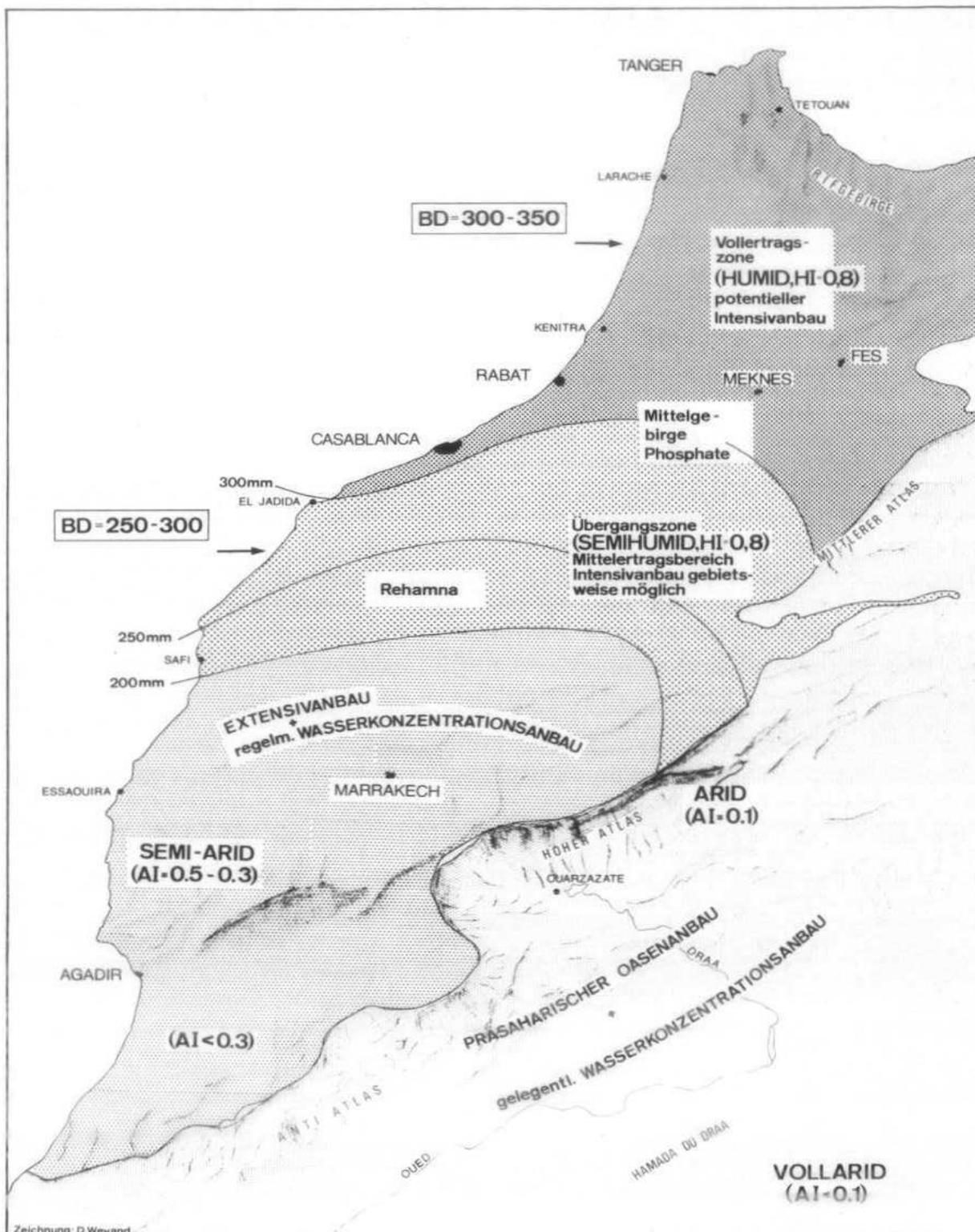


Fig. 3: Lage der Vollertragszone des Getreideanbaus im Verhältnis zu Übergangszone und Trockengebieten Südmarokkos

den Trockengebieten Südmarokkos über. Von November bis März herrscht hier ein im langjährigen Mittel semi-humides Klima ( $HI = 0.6$ ). Die Bestandsdichten verringern sich deutlich auf 200 bis 250 Individuen pro Quadratmeter auf ebenen oder schwach geneigten Flächen. In Geländesenken und unteren Hanglagen, in denen natürliches Zuschußwasser feuchtere Bodenverhältnisse schafft, werden jedoch wieder optimale Bestandsdichten beobachtet. Auf den wasserarmen rubefizierten Sanden der Rehamna sinken sie auf das in dieser Zone beobachtete Minimum von 120–140 Pflanzen auf einen Quadratmeter. In normalfeuchten Jahren ist die Pflanzendecke mit Ausnahme steiler Hänge und anderer, nicht anbaufähiger Lagen weitgehend geschlossen. Auch in trockeneren Jahren bietet sich das gleiche Bild, allerdings treten dann auf ebenen Flächen gehäuft Dürreschäden auf.

In feuchten Jahren mit 180–250 mm wuchseffektivem Niederschlag (WEN) während der engeren Anbauperiode von Getreide und bei genügender Speicherfeuchte im Boden ist eine suboptimale Wasserversorgung möglich. In Normaljahren jedoch übersteigt der WEN nicht 180 mm, außerdem neigen die Niederschläge zur Ausbildung von Maxima im November und Dezember, so daß Trockenschäden in der Zeit des Fruchtansatzes und Ährenwachstums (Februar/März) auftreten können. Ganz entscheidend für das Gelingen der Kulturen ist unter diesen Umständen der Faktor Speicherkapazität des Bodens, denn nur gut wasserbindige Böden sind in der Lage, das zu Beginn und in der Mitte der winterlichen Regenzeit gefallene Wasser an eventuell trockenere Perioden weiterzugeben. Dafür spricht auch, daß die französischen Siedler in der Kolonialzeit eine ganze Reihe von Gebieten der Übergangszone mit mittleren bis schweren Böden noch zum »Maroc utile« (= nützliches Marokko) rechneten, während das anschließende, trockenere Südmarokko als »inutile« bezeichnet wurde. Die Erträge liegen günstigstenfalls bei 30–40 dz/ha, was einem mittleren und oberen Mittelertragsbereich entsprechen würde. Typisch für die Masse der Kleinbauern sind jedoch nur 5–10 dz/ha (Minimertragsbereich). Für diese geringen Ertragsleistungen sind neben Klima und Boden auch noch die anderen bekannten Gründe anzuführen.

Weil nach Süden zu die Bestandsdichten und potentiellen Höchstertträge noch einmal deutlich abnehmen, kann der südliche Rand der Übergangszone als Mittel-ertrags-Regenfeldbaugrenze bezeichnet werden.

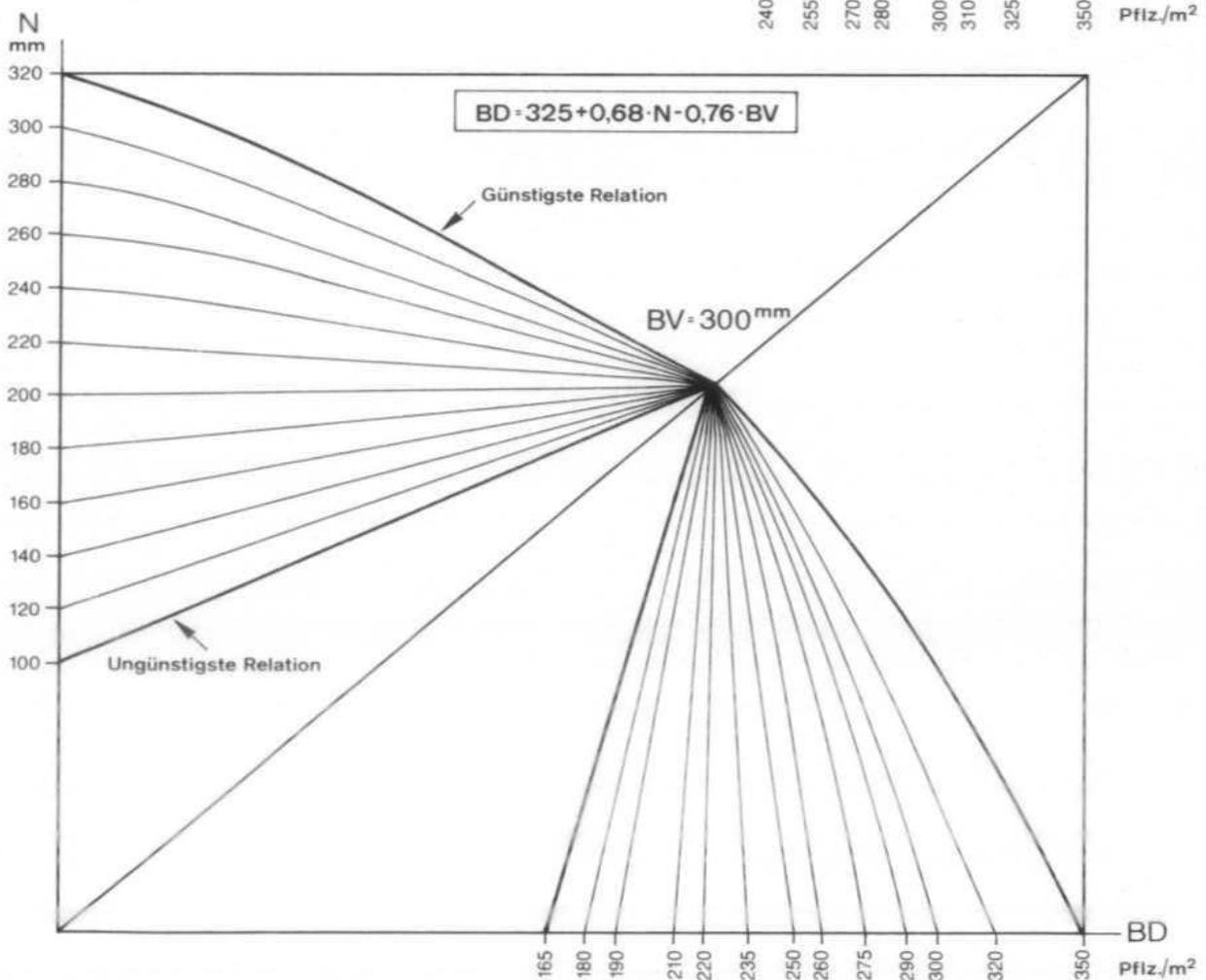
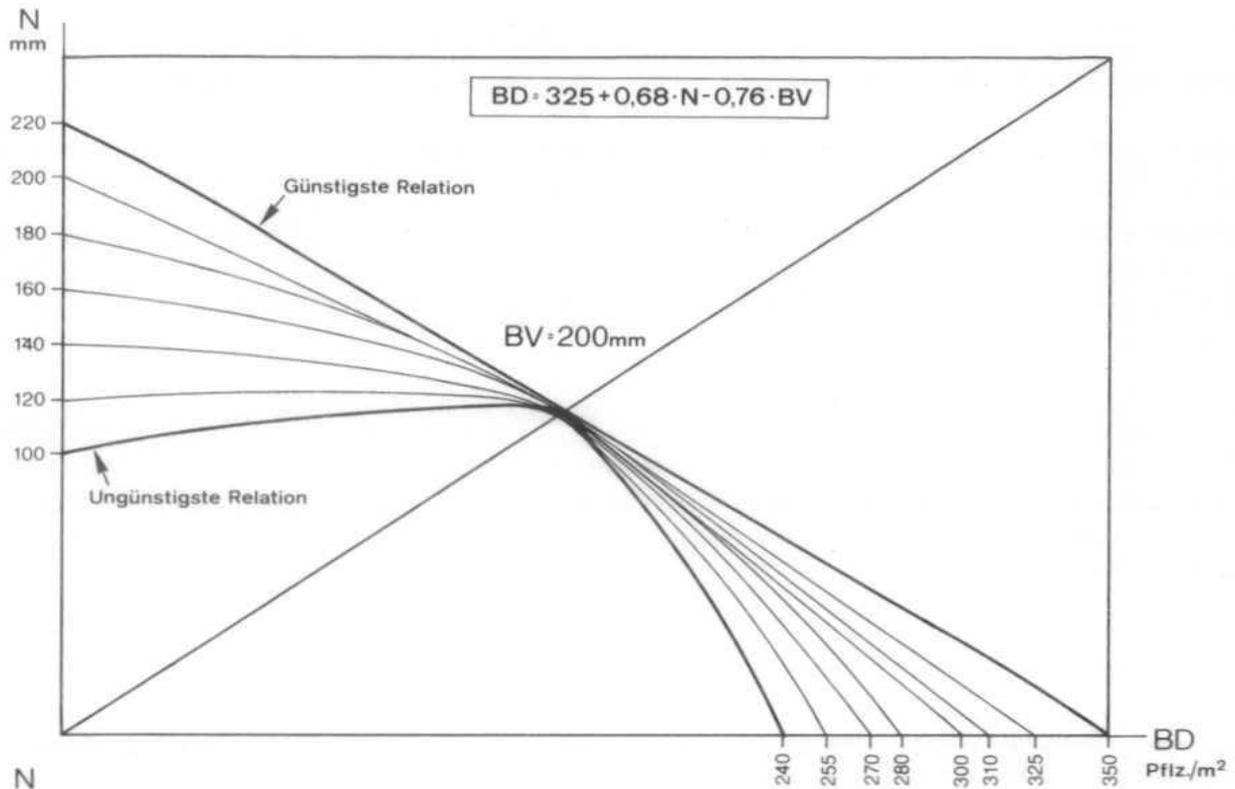
### 3.7 Versuch eines numerischen Modells

Das vorhandene Datenmaterial erlaubt es, ein numerisches Modell für die mehrfache Abhängigkeit der Bestandsdichte (BD) von Niederschlag (N) und Bestandsverdunstung (BV) aufzustellen. Dies geschieht mit Hilfe einer komplizierten statistischen Methode: der begrenzt gültigen (= diskriminierten) multiplen Regression. Die entsprechende Grundgleichung hat die Form:

$$BD = \overline{BD} + a(N - \overline{N}) + b(BV - \overline{BV}) \quad (\text{vergl. Fliri, 1969, S. 66})$$

$$\text{oder: } BD = \overline{BD} - a \cdot \overline{N} - b \cdot \overline{BV} + a \cdot N + b \cdot BV$$

$\overline{BD}$ ,  $\overline{N}$  bzw.  $\overline{BV}$  sind die arithmetischen Mittelwerte aus den entsprechenden Beobachtungsreihen.



**Fig. 4:** Darstellung der Abhängigkeit der Bestandsdichte (BD) vom Niederschlag (N in mm) und Bestandsverminderung (BV in mm)

Weil die Bestandsdichte aus ökologischen Gründen einen bestimmten mittleren Grenzwert ( $\overline{BD} \max$ ) nicht übersteigen kann und die dazugehörige Bestandsverdunstung ( $\overline{BV} \max$ ) durch das regionale Klima begrenzt wird muß der allgemeine Term ( $\overline{BD} - a \cdot \overline{N} - b \cdot \overline{BV}$ ) durch einen Begrenzer (Diskriminator) ersetzt werden. Dieser lautet:

$$\overline{BD} \max - (a-b) \cdot \overline{BV} \max$$

Damit ergibt sich:

$$BD = \overline{BD} \max - (a-b) \cdot \overline{BV} \max + a \cdot N + b \cdot BV$$

Die Berechnung der Regressionskonstanten a und b (mit Hilfe der EDV) ergibt eine für das gesamte Marokko gültige Gleichung:

$$BD = 325 + 0,68 \cdot N - 0,76 \cdot BV$$

(N bzw. BV in mm)

Die graphische Darstellung (Fig. 4) zeigt verschiedene Kurvenscharen, die von sogenannten Einhüllenden begrenzt werden. Diese zeigen jeweils die günstigste bzw. ungünstigste Relation zwischen Niederschlag und Bestandsdichte an. Die Niederschlagswerte auf der Ordinate sind als langfristige regionale Mittelwerte anzusehen. Der Scheitelwert auf der Diagonalen stellt die regionalklimatisch bedingte Obergrenze der Bestandsverdunstung dar.

#### 4. Zusammenfassung

Es wird versucht, am Beispiel von Marokko die potentielle Vollertrags-Regenfeldbaugrenze von Getreide (Weizen und Gerste) mit Hilfe der Kriterien Klima, Wasserversorgung und Bestandsdichte zu definieren. Besondere Bedeutung im Sinne eines ökologischen Anzeigers erhält dabei der Faktor Bestandsdichte. Die genaue Abgrenzung von Gebieten mit potentielltem Vollertrag ist notwendig, um ein vernünftiges Maß für die Prognose von möglichen Ertragssteigerungen zu bekommen. Es wird auch auf den Wasserhaushalt von Getreide in der semi-humiden Übergangszone zu den Trockengebieten Südmarokkos eingegangen.

Für die Abhängigkeit der Bestandsdichte von Niederschlag und Bestandsverdunstung wird eine begrenzt gültige multiple Regressionsgleichung aufgestellt.

#### Summary

The article is an attempt at the definition of the potential limit of high yield rainfed culture of cereals (wheat and barley) in Morocco by the criterions climate, water supply and crop density. The factor crop density is hereby very important as

ecological indicator. The exact delimitation of regions with potential high yields is necessary to get a reasonable measure for the prognosis of possible increase of yields. The water supply of cereals in the semi-humid transitional zone to the drier areas of Southern Morocco is also treated.

A discriminated multiple regression is established for the relation between crop density, rainfall and actual evapotranspiration.

## Literatur

FALKNER, F. R.: Die Trockengrenze des Regenfeldbaus in Afrika. In: *Pet. Geogr. Mitt.*, 7/8 (1938), S. 209–214

F. A. O.: *Crop Water Requirements. Irr. and Drainage Paper 24*, Rome 1977

FLIRI, F.: *Statistik und Diagramm (Das Geographische Seminar: Praktische Arbeitsweisen)*. Braunschweig 1969

JÄTZOLD, R.: Die Bestimmung der unteren Anbaugrenze des Hochlandes von Kenya: Ein Beitrag zur Trockengrenzdiskussion. In: *Geomethodica = Veröff. 4. BGC*, 4, Basel 1979, S. 83–120

KREEB, K.-H.: *Die Bedeutung der Hydratur für die Kontrolle der Wasserversorgung bei Kulturpflanzen*. Hohenheim 1958

KREEB, K.-H.: *Methoden der Pflanzenökologie*. Jena 1977

KUTSCH, H.: Das Zerealienklima der marokkanischen Meseta: Transpirationsdynamik von Weizen und Gerste und verdunstungsbezogene Niederschlagswahrscheinlichkeit. In: *Trierer Geogr. Stud.*, H. 3, Trier 1979 (a)

KUTSCH, H.: *Le Pouvoir d'Evaporation du Climat Marocain*. Ministère de l'Agriculture et de la Reforme Agraire, Direction de la Recherche Agronomique (Hrsg.), Rabat 1978 (b)

LAUER, W.: Hygrische Klimate und Vegetationszonen der Tropen mit besonderer Berücksichtigung Ostafrikas. In: *Erdkunde*, 5 (1951), S. 284–293 (Bonn)

LAUER, W.: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. In: *Bonner Geogr. Abh.*, H. 9, Bonn 1952, S. 15–98

PENCK, A.: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. In: *Sitz. Ber. Kgl. Preuß. Ak. d. Wiss.*, Berlin, Phys.-Math. Kl. 12 (1910), S. 236–246

PENMAN, H. L.: Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. In: *Proc. R. Soc., Ser. A*, 193 (1948)

STEWART, J.I.: *Research on Crop Water Use and Drought Responses in East Africa*. Int Workshop of the Agroclim. Research Needs of the Semi-Arid Tropics, ICRISAT, Hyderabad 1978

VINCK, F.: Die Auswertung von Niederschlagsmessungen in ariden Gebieten. In: *Wasser und Boden*, 1 (1972), S. 15–16

WALTER, H.: *Die Hydratur der Pflanze*. Jena 1931

WALTER, H.: *Die Grundlagen des Pflanzenlebens*. Bd. 1, Stuttgart 1962