

- KLAER, W.: „Verkarstungserscheinungen“ in Silikatgestein. *Abh. Geogr. Inst. Freien Univ. Berlin* 5, 1957, 21–27.
- MICHEL-MAINGUET, M.: *Le Modelé des Grès*. Inst. Géogr. Natl. Paris, 1972.
- OLLIER, C. D. & W. G. TUDDENHAM: Inselbergs of central Australia, *Z. Geomorph.* 5, 1962, 257–276.
- TWIDALE, C. R.: Der „Bienenkorb“: eine neue morphologische Form aus Nord-Queensland, Nord Australien, *Erdkunde* 10, 1956, 239–240.
- : Steepened margins of inselbergs from north-western Eyre Peninsula, South Australia, *Z. Geomorph.* 6, 1962, 51–69.
- : Origin of the piedmont angle, as evidenced in South Australia, *Jour. Geol.* 75, 1967, 373–411.
- : Origin of Wave Rock, Hyden, Western Australia, *Trans. Royal Soc. S. Aust.* 92, 1968, 115–123.
- : *Structural Landforms*, Aust. National Univ. Press, Canberra, 1971.
- : *Analysis of Landforms*, Wiley, Sydney, 1976.
- : On the origin of Ayers Rock, central Australia, *Z. Geomorph. Suppl.* 31, 1978a, 177–206.
- : Granite platforms and the pediment problem, pp. 288–304 in *Landform Evolution in Australasia* (Ed. J. L. Davies and M. A. J. Williams) Aust. National Univ. Press, Canberra, 1978b.
- TWIDALE, C. R. & J. A. BOURNE: The subsurface initiation of some minor granite landforms. *Jour. geol. Soc. Austr.* 22, 1975, 477–484.
- : Rock doughnuts. *Rev. Géomorph. Dynam.* 26, 1977, 15–28.
- : Bornhardts developed on sedimentary rocks, central Australia. *S. Afr. Geogr.* 60, 1978, 35–51.
- TWIDALE, C. R. & E. M. CORBIN: Gnammas, *Rev. Géomorph. Dynam.* 14, 1963, 1–20.
- TWIDALE, C. R. & M. R. FOALE: *Landforms Illustrated* (2nd Ed.), Nelson, Melbourne, 1972.
- VERRALL, S. T.: *Origin of minor sandstone landforms, southern Flinders Ranges, South Australia*, B. A. Hons. thesis, Univ. Adelaide, 1975.
- VAN DER MERWE, N. J.: The Iron Age: a prehistory of Bantu-speaking South Africans, pp. 96–124 in *Perspectives on the Southern African Past*, Centre for African Studies, Cape Town, Occasional Papers 2, 1979.
- WENTWORTH, C. K.: Potholes, pits and pans: subaerial and marine. *Jour. Geol.* 52, 1944, 117–130.
- WILHELMY, H.: *Klimamorphologie der Massengesteine*, Westermann, Braunschweig, 1958.

## DIE AGRO-ÖKOLOGISCHE TROCKENGRENZE

Neu-Definition und Dynamik der Trockengrenze des Regenfeldbaus in den zentralen Great Plains von Nord-Amerika\*)

Mit 1 Abbildung und 1 Tabelle

HANS-JOACHIM SPÄTH

*Summary:* The agro-ecological dry boundary. Re-definition and mobility of the dry boundary of non-irrigated agriculture in the central Great Plains of North America

In all semi-arid regions agricultural land use is stimulating the process of desertification. Therefore, a new approach to dryland use must be found. It should be an approach both ecologically sound and practically feasible. Such an approach mainly deals with the search for a new definition of the dry boundary of non-irrigated agriculture.

FALKNER's (1938) definition of the dry boundary of non-irrigated agriculture is based on mean values of temperature and precipitation. It does not take into consideration actual land use patterns and problems. Furthermore it cannot be used as a planning tool in resource management, in soil and moisture conservation, or in reclamation programs for moisture-deficit zones damaged by wind erosion.

Taking reclamation and conservation aspects as well as longterm ecological stability into consideration the dry boundary is adjacent to places where soil erosion can just be effectively controlled. The complete absence of destructive

soil erosion is the principal criterion of the new ecological definition of the dry boundary of non-irrigated agriculture. According to this definition this new boundary will be called „agro-ecological dry boundary“.

The relationships ‚soil / soil moisture‘, ‚available moisture / grain yield‘, ‚grain yield / straw yield‘, ‚minimum straw requirement / wind erosion control‘, ‚tillage / remaining residue rate‘ are integrated into the equation for determining the location of the agro-ecological dry boundary. The equation reads

$$F_{\text{opt}} = \frac{100 \cdot R_{\text{e min}}}{b \cdot d \cdot (100 - T_i)} - \frac{a + b \cdot c}{b \cdot d}$$

where  $F_{\text{opt}}$  = optimized moisture supply;  $R_{\text{e min}}$  = minimum residue rate for effective erosion control required at planting time;  $T_i$  = residue loss due to tillage between harvest and planting time in % of prell-tillage residue rate  $a$  = Y-intercept and  $b$  = slope of local grain/straw yield-regression equation;  $c$  = Y-intercept and  $d$  = slope of local available moisture/grain yield-regression equation.

By means of this formula the agro-ecological dry boundary can be localized for the various soils, cropping systems, and years (= moisture supply conditions). Due to its character this formula can be used as a guide for planning local and regional land use patterns and practices. There is no regional limitation to its applicability.

\*) Die DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT hat die Grundlagenforschungen für diese Arbeit in Form eines Habilitandenstipendiums 1975/76 finanziert. Ihr sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Mißernten, Staubstürme und Hungerkatastrophen sind zu Schlagworten geworden, die uns aus allen Trockengebieten der Welt alljährlich erreichen. Dabei wird vergessen, daß der diesen Schlagworten zugrunde liegende Prozeß der aktuellen Desertifikation ein vom Menschen angeregter und stimulierter Prozeß ist, der folglich auch wieder durch menschliche Intervention aufgehoben und korrigiert werden kann, soweit nicht großregionale Veränderungen einzelner Klimafaktoren als Wirkfaktoren mit beteiligt sind.

Beispiele wie die Sahel-Zone oder die nordamerikanischen Great Plains zeigen, daß Landnutzung in semiariden Gebieten bislang einseitig ökonomisch aggressiv betrieben wird und daß das ökologische Grundprinzip der Landnutzung – die Erhaltung des Bodens – gänzlich vernachlässigt wird. Dies trifft auch für die durch Entwicklungshilfe aufgebauten Lebensräume in den Trockenzonen zu.

Es gilt, für diese ohnehin schon ökologisch äußerst labilen Trockengebiete ein neues Landnutzungsverständnis zu entwickeln, ein Verständnis, welches primär der *ökologischen* Qualität des Produktionsmilieus Rechnung trägt, das dessen ökologische Stabilität dadurch konsequent sichert, die Desertifikationsgefahr während der zyklisch wiederkehrenden Dürrephasen mildert und als Folgewirkung die ökonomische Prosperität und Kontinuität gewährleistet. Es gilt also, das Phänomen der ‚Trockengrenze des Regenfeldbaus‘ naturgeographisch neu zu analysieren und formelmäßig so zu fassen, daß diese Neu-Definition in einer auf ökologische Stabilität ausgerichteten Landnutzungsplanung und -praxis Entscheidungshilfen bieten kann und als Formel universal einsetzbar ist.

## 1. Problemstellung

- Die dynamischen Wechselwirkungen zwischen traditioneller Sommerbrache auf der einen Seite und Bodenfeuchte, Bodenerosion sowie landwirtschaftlichem Ertrag auf der anderen Seite sind kurz darzustellen.
- Eine neue, ökologisch orientierte Formel zur Wesens- und Lagebestimmung der Trockengrenze des Regenfeldbaus ist aus diesen genannten Wechselwirkungen abzuleiten.
- Die ökologisch orientierte agronomische Trockengrenze ist mit Hilfe dieser neuen Formel an einem Beispiel regional festzulegen, und ihre Mobilität sowie universale Einsatzfähigkeit sind nachzuweisen.

Die Analyse dieser Probleme wird am Beispiel der zentralen Great Plains von Nord-Amerika – einem Vertreter der winterkalten Trockensteppen – durchgeführt.

## 2. Problemanalyse

### a) Das Funktionsmodell „Bodenfeuchte / Bodenerosion / landwirtschaftlicher Ertrag / kulturtechnische Verfahren“

An Hand des Funktionsmodells in Abb. 1 sollen ganz kurz die Wechselbeziehungen zwischen Sommerbrache im speziellen und kulturtechnischen Verfahren im allgemeinen, Bodenfeuchte, Bodenerosion sowie landwirtschaftlichem Ertrag dargelegt werden.

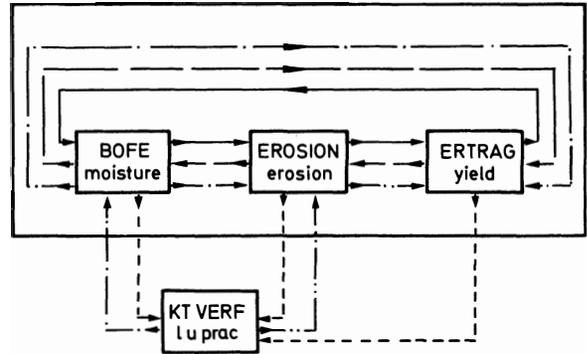


Abb. 1: Wirkungsweise der kulturtechnischen Verfahren (KT VERF) im Funktionsmodell „Bodenfeuchte/Bodenerosion/Landwirtschaftlicher Ertrag“

Impact of land use practices (l u prac) on the functional model "soil moisture/soil erosion/yield"

Einerseits nimmt das Abtragsausmaß (Bodenerosion) Einfluß auf die Veränderung der pflanzenverfügbaren Speicherfeuchte und des Produktionspotentials an einem gegebenen Standort; andererseits reguliert der Bodenfeuchtegehalt seinerseits die Ertragslage und das Abtragsausmaß, und die Ertragslage schließlich wirkt sich aus auf Bodenfeuchte und Bodenerosion. Übertragen auf die Landnutzungspraxis bedeutet dies: Der eigentliche Zweck der überall westlich von 98/99° w. Länge praktizierten Sommerbrache ist die Erhöhung der Bodenfeuchte um einen beträchtlichen Anteil an den Niederschlägen der 14monatigen Bracheperiode. Diesen Zweck erfüllt die Sommerbrache bei einer Feuchtespeicherung von derzeit maximal 30–40% nur ungenügend (SPÄTH 1979). Vielmehr aktiviert die Sommerbrache in der überwiegend verbreiteten Form der Schwarzbrache oder der stark bearbeiteten, beweideten oder abgebrannten Stoppelbrache die Bodenerosion übermäßig. Der Verlust an Feinmaterial und Humus reduziert langfristig das mögliche Bodenfeuchtedargebot und verschlechtert die Ertragslage. Auch der reduzierte Bodenfeuchtegehalt bewirkt seinerseits ein geschmälertes Produktionspotential und erhöht gleichzeitig die Erosionsanfälligkeit, zum einen direkt und zum anderen indirekt über die verschlechterte Ertragslage – denn mit reduzierten Erträgen verringern sich gleichzeitig auch die Erosions-Kontroll-

möglichkeiten mit Hilfe von Pflanzenresten. Die verschlechterte Ertragslage schließlich nimmt auch ihrerseits negativen Einfluß auf die Bodenfeuchte-Entwicklung.

Damit ist der Kreis der grundlegenden Wechselwirkungen im Erosionsprozeß geschlossen.

Sommerbrache leitet diesen Erosionsprozeß ein und stimuliert ihn, und zwar direkt als auch indirekt über den Faktor Bodenfeuchte.

Die Merkmale dieser Wechselwirkungen können hier nur angedeutet werden. Eine ausführliche, quantifizierte Analyse der Einzelbeziehungen wird in der Reihe „Erdwissenschaftliche Forschungen“ (SPÄTH 1980) veröffentlicht<sup>1)</sup>.

Wenn „Bodenverbesserung und Bodenerhaltung“ die Schlüsselprinzipien künftiger Trockenlandnutzung sein sollen, dann muß grundsätzlich das Fehlen destruktiver Bodenerosion das Hauptmerkmal einer neuen Trockengrenz-Definition sein.

Unter dem Gesichtspunkt der Landschaftssanierung und -erhaltung liegt die ökologisch orientierte agronomische Trockengrenze jeweils dort, wo – zunächst ungeachtet der Fruchtfolge oder der Anbauprodukte – mit Hilfe kulturtechnischer Verfahren zwischen Ernte und Aussaat Bodenerosion gerade noch effektiv zu kontrollieren ist.

#### b) Die agro-ökologische Trockengrenz-Formel

Aus dem Funktionsmodell der Abb. 1 und den ihm zugrunde liegenden Einzelbeziehungen kann eine neue, ökologisch orientierte Trockengrenze des Regenfeldbaus abgeleitet werden.

Es liegt nahe, diese neu-definierte Grenze künftig „Agro-ökologische Trockengrenze“ zu nennen.

Folgende Kette zusammenhängender Einzelbeziehungen geht in die Gleichung zur Definition dieser agro-ökologischen Trockengrenze ein:

Bodenart / Feuchtehaushalt-Eckwerte  
verfügbare Feuchte / Weizenkornertrag  
Weizenkornertrag / Strohertrag  
Mindest-Strohrate / effektive Winderosions-  
Kontrolle  
Tillage (Bodenbearbeitung) / auf der Feldfläche  
verbleibende erosionskontrollwirksame  
Strohrate

Eine so aufgebaute Definition hebt sich ab von allen früheren, nur auf Temperatur- und Niederschlagswerten basierenden agronomischen Trockengrenzformeln (z. B. FALKNER 1938)<sup>2)</sup>. Temperatur- und Nieder-

schlagsgeschehen sind bei dieser Neu-Definition im Faktor ‚Bodenfeuchte‘ mit enthalten.

Für die Beziehung zwischen Winterweizen-Korn-Ertrag  $K$  (in bu/acre) und verfügbarer Feuchte  $F$  (in inches; definiert als verfügbare Feuchte zur Saatzeit plus Niederschlag der Vegetationsperiode) gilt Gleichung (1)

$$K = c + d \cdot F \quad (1)$$

Für die Beziehung zwischen Winterweizen-Stroh-Ertrag  $Re'$  (in lb/acre) und Weizen-Korn-Ertrag  $K$  gilt Gleichung (2)

$$Re' = a + b \cdot K \quad (2)$$

Diese Beziehungsgleichungen (1) und (2) und damit auch  $a$  und  $b$  aus Gleichung (2) sowie  $c$  und  $d$  aus Gleichung (1) sind ohne größeren Aufwand an jedem beliebigen Standort experimentell zu ermitteln. Für E-Colorado z. B. gilt  $a = -1561,5$ ;  $b = 158,8$ ;  $c = -36$  und  $d = 3,66$ ; für W-Kansas gilt  $a = 1561,5$ ;  $b = 158,8$ ;  $c = -15$  und  $d = 2$ ; für W-Nebraska schließlich gilt  $a = 1561,5$ ;  $b = 158,8$ ;  $c = -5,66$  und  $d = 1,9$  (gültig für den Kornertragsbereich von 15–36 bu/acre).

Durch Bodenbearbeitung – also durch Tillage – wird zwischen Ernte und Saat die Strohrate auf der Feldfläche reduziert.  $T_i$  entspricht dieser Stroh-Verlustrate. Sie wird bemessen in % der  $v$  oder der Tillage noch gegebenen, also der ursprünglich produzierten Strohrate  $Re'$  aus Gleichung (2). Ein Wendepflug (amer. *moldboard plow*) beispielsweise reduziert  $Re'$  während eines einzigen Arbeitsganges um 100%, ein Zweiweg-Scheibenpflug (amer. *tandem disk plow*) um 50%, ein Ritzpflug (amer. *chisel plow*) um 25% und eine Jätmaschine (amer. *rod weeder*) um nur 10%.

Re sei die zum Saat-Termin noch auf der Feldfläche vorhandene Strohrate. Sie ist also abhängig von der Häufigkeit und der Intensität der Brachebearbeitungsgänge.

monatlicher Niederschlag in mm und  $t$  = Monatsmittel der Temperatur in °C.

Dieser Ansatz kann nicht berücksichtigen, daß bei gleichen Temperatur- und Niederschlagsgegebenheiten die Lage der Trockengrenze des Regenfeldbaus von der Bodenart, dem Anbauprodukt sowie der Landbearbeitungsmethode abhängig ist. Bei sonst gleichen Bedingungen steht z. B. auf sandigen Böden zumeist weniger Feuchte zur Verfügung als auf schwereren Böden; ebenso bedürfen auf einer gegebenen Bodenart selbst unterschiedliche Winterweizen-Sorten unterschiedlich hoher und unterschiedlich terminierter Feuchtedargebote. Und der zeitgleiche Einsatz verschiedener Ackergeräte schließlich bewirkt eine unterschiedliche Bodenfeuchtespeicherung. Diese wenigen grobgezeichneten Beispiele mögen genügen um zu zeigen, daß die agronomische Trockengrenze – im Gegensatz zur klimatischen Trockengrenze – nicht nur eine Funktion einzelner Klimatelemente sein kann. Ihre Lage und Mobilität werden vielmehr dominant vom Faktor „Bodenfeuchte“ sowie seinen ökologischen und kulturtechnischen Interdependenzen bestimmt.

<sup>1)</sup> Zur weiteren Lektüre s. Lit.-Verz. am Schluß dieses Aufsatzes.

<sup>2)</sup> FALKNER untersuchte die Regenfeldbaugrenze für Afrika. Sie wurde bestimmt durch die Gleichung

$$\sum \frac{n}{t} = 15$$

wobei  $\Sigma$  = Jahressumme aller 12 Monatsquotienten aus  $n =$

Benötigt werden zur Saatzeit aus Erosionskontrollgründen Re lb/acre senkrecht stehender Stoppeln. Re z. B. 600 lb/acre  $\triangleq$  (100-Ti)% einer unbekanntenen Original-Strohernte Re'. Also

$$Re \triangleq (100-Ti)\% \quad (3)$$

Gesucht wird der Strohverlustbetrag (in lb), welcher dem Saattermin zur Erosionskontrolle noch erforderlichen Strohrestbetrag Re zuzuschlagen ist; Re plus Strohverlustbetrag ergeben den Gesamtbetrag der Strohernte Re'.

Ist schließlich der aus ökologischen Erwägungen zu produzierende Strohbetrag Re (in lb/acre) bekannt, dann kann mit Hilfe der Feuchte/Kornertrags-Funktion, der Korn/Strohertrags-Funktion sowie der Daten zum potentiellen Feuchtedargebot darüber entschieden werden, ob das in Frage kommende Areal den zur effektiven Erosionskontrolle benötigten Strohertrag produzieren kann, oder ob ein geplanter Maschineneinsatz den Strohertrag zu stark reduziert.

Re' läßt sich auch schreiben als

$$Re' = Re + Re \cdot V \quad (4)$$

(wobei V = gesuchter Verlustfaktor und Re · V = Verlustbetrag) oder als

$$Re' = Re \cdot 1 + Re \cdot V \quad (5)$$

$$= Re (1 + V) \quad (6)$$

Gesucht ist die Größe der Ti% von Re', also der Strohverlustbetrag in lb. 1% der ursprünglichen Strohernte (= Strohmenge Re' vor der Brachebearbeitung) entspricht dem (100-Ti)-ten Teil der Strohmenge Re, die nach der Brachebearbeitung übrig bleiben wird, bzw. die aus Erosionskontrollgründen erforderlich sein wird. Ti% sind Ti-mal so groß wie die Strohmengen von 1% der Re', also

$$\frac{Ti}{100-Ti} \cdot Re \quad (7)$$

Bei Ti = 40% und Re = 600 lb gilt

40%  $\triangleq$   $\frac{40}{100-40} \cdot 600 = 400$  lb (= Strohverlustbetrag, hervorgerufen durch Brachebearbeitung)  
Laut Gleichung (4) ist

$$Re \cdot V = \text{Strohverlustbetrag}$$

Ebenso gilt nach Gleichung (7)

$$\frac{Ti}{100-Ti} \cdot Re = \text{Strohverlustbetrag}$$

Der gesuchte Verlustfaktor V entspricht demnach

$$\frac{Ti}{100-Ti}$$

$\frac{Ti}{100-Ti} \cdot Re =$  Verlust um den Betrag von Ti%.

Damit wird Gleichung (6) zu

$$Re' = Re \cdot \left(1 + \frac{Ti}{100-Ti}\right) \quad (8)$$

Re' aus Gleichung (2) läßt sich somit umformen zu Gleichung (9)

$$Re \cdot \left(1 + \frac{Ti}{100-Ti}\right) = a + b \cdot K \quad (9)$$

Durch Einsetzen der Gleichung (1) in Gleichung (9), durch Vereinfachen und Auflösen nach verfügbarer Feuchte F ergibt sich schließlich Gleichung (10)

$$F = \frac{100 \cdot Re}{b \cdot d \cdot (100-Ti)} - \frac{a + b \cdot c}{b \cdot d} \quad (10)$$

Im metrischen Maßsystem ändern sich lediglich die numerischen Werte der Einzelfaktoren; der Charakter der Gleichung (10) ist der selbe.

Die nach der Brachebearbeitung noch gegebene Strohrate Re wird nun ersetzt durch eine anzustrebende Mindest-Strohrate Re<sub>min</sub>, die zu Beginn der Saatzeit zur effektiven Erosionskontrolle bei sonst fehlenden Kontrollmaßnahmen erforderlich ist.

Außerdem wird das mit Hilfe herkömmlicher Brache-Techniken aufzubringende Feuchte-Dargebot F ersetzt durch ein optimiertes Feuchte-Dargebot F<sub>opt</sub>, welches unter Ausnutzung aller technisch-wissenschaftlichen Möglichkeiten zu gewinnen ist.

Die agro-ökologische Trockengrenze wird dort erreicht, wo der zur Produktion einer bestimmten, von der Bodenart und der lokalen klimatischen Erodibilität abhängigen Mindest-Strohrate Re<sub>min</sub> erforderliche optimierte verfügbare Feuchte-Wert F<sub>opt</sub> gerade noch aufzubringen ist.

Demnach gilt für die Trockengrenzbestimmung die Grundgleichung (11)

$$F_{opt} = \frac{100 \cdot Re_{min}}{b \cdot d \cdot (100-Ti)} - \frac{a + b \cdot c}{b \cdot d} \quad (11)$$

### c) Lage und Dynamik der agro-ökologischen Trockengrenze in den zentralen Great Plains und universale Einsatzfähigkeit der Trockengrenz-Formel

Sind die aufgeführten Einzelbeziehungen und Einzelfaktoren für eine Problemregion ermittelt, dann ist die Grundgleichung der agro-ökologischen Trockengrenze anwendbar. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Formel universal übertragbar.

Für E-Colorado im Bereich des 40. Breitengrades gilt folgendes Anwendungsbeispiel:

Ti sei 30%. Dieser Wert bezieht sich auf Winterweizen-Brache-Rotation mit einer dreimaligen Brachebearbeitung, also einer Minimum-Tillage mit einer Jätmaschine (amer. rod weeder).

Re<sub>min</sub> beträgt 1250 lb/acre. Dieser Wert ist in der betreffenden Region auf schluffigem Lehm erforderlich.

a, b, c und d wurden oben im Zusammenhang mit den Feuchte/Kornertrags- sowie Korn/Strohertrags-Funktionen schon gegeben.

Diese Werte in Gleichung (11) eingesetzt ergibt

$$F_{\text{opt}} = \frac{100 \cdot 1250}{158,8 \cdot 3,66 \cdot (100-30)} - \frac{-1561,5 + 158,8 \cdot (-36)}{158,8 \cdot 3,66}$$

$$= 15,59 \text{ inches } (= 396 \text{ mm})$$

Dieser Feuchte-Wert von 396 mm könnte in E-Colorado in einem Durchschnittsjahr der Zeit von 1950 bis 1972 allein schon mit Hilfe von Gras-Windschutzstreifen und Stoppelwirtschaft in einem Minimum-Tillagesystem fast am Fuß der Rocky Mountains mit etwa 300–350 mm Jahresniederschlag – selbst bei jährlichem Winterweizenanbau – aufgebracht werden. Dies soll das folgende Rechenbeispiel für Ft. Collins in 105° w. Länge mit 300 mm Jahresniederschlag zeigen: Bei jährlichem Anbau ist der nach der Ernte (Ende 20. Dekade) in der Wurzelzone des Weizens (180 cm bzw. 6 ft.) beispielsweise auf schluffigem Lehm gegebene Restfeuchtwert (von ca. 75 mm) um 80% der Niederschläge der Zeit zwischen Ernte und Saat im folgenden Herbst (Ende 25. Dekade) sowie um 80% der Niederschläge der Wachstumszeit zu vergrößern; ca. 50 mm und 236 mm sind den 75 mm Restfeuchte zuzuschlagen. Auf den Forschungsstationen der Plains werden übrigens i. d. R. 100% der Niederschläge der Wachstumszeit verrechnet. Bei Weizen-Brache-Rotation sind unter optimierten Bedingungen zu diesen ca. 361 mm verfügbarer Feuchte nochmals mindestens 60% der Niederschläge eines ganzen Brachejahres zu addieren. In diesem vorgeschobenen Bereich von 105° w. Länge liegt heute aber noch die Trockengrenze der Winterweizen-Brache-Rotation mit Erträgen von nur ca. 30 bu/acre, weil die Niederschläge der 14monatigen Brachezeit bei den heute noch üblichen Brachebearbeitungsmethoden nur zu ca. 30% im Boden gespeichert werden können. Die Trockengrenze des jährlichen Weizenanbaus hingegen liegt heute noch in Kansas bei 98–100° w. Länge. In einem System mit optimal manipuliertem Wirkgefüge „Bodenfeuchte / Bodenerosion / Ertrag“ würde also bis an den Fuß der Rocky Mts. nur selten Anlaß zur herkömmlichen, ca. 14 Monate andauernden Sommerbrache bestehen. Und gerade aus diesem Grunde stimmt die Tatsache bedenklich, daß die hier erläuterte optimale Trockengrenze ökologisch vertretbar ist, während die heutige tatsächliche Trockengrenze ‚Raubbau am Boden‘ bedeutet und dennoch beträchtlich hinter der ökologisch zu empfehlenden Trockengrenze zurückbleibt.

Wenn für einen Standort in E-Colorado das optimierte Feuchte-Dargebot  $F_{\text{opt}}$  größer als die anzu-

strebende Feuchterate wird – diese anzustrebende Feuchterate ist durch die rechte Seite der Gleichung (11) vertreten – dann liegt der Standort *innerhalb* jenes Bereiches, in welchem unter den hier dargestellten ökologischen Gesichtspunkten Weizenanbau möglich ist. Der Standort liegt *außerhalb* des zu empfehlenden Anbaugesbietes, wenn das optimierte Feuchte-Dargebot  $F_{\text{opt}}$  *kleiner* als die anzustrebende Feuchterate bleibt. In diesem Falle müßte der Standort in Grasland umgewandelt werden und so lange grasbestanden bleiben, bis ein Ausgleich zu schaffen wäre zwischen  $F_{\text{opt}}$  und der rechten Seite der Gleichung (11).

Dieser Ausgleich kann bis zu einem gewissen Ausmaß erreicht werden, indem durch veränderte Brachebearbeitung der Ti-Faktor reduziert wird, indem z. B. durch zusätzliche Gras-Windschutzstreifen die zur effektiven Erosionskontrolle erforderliche Mindest-Strohrate  $R_{\text{min}}$  bis um 50% verringert wird, oder indem Weizensorten mit einem anderen Feuchte/Kornertrags- und/oder Korn/Strohertrags-Verhältnis Verwendung finden. Diese Spielmöglichkeiten deuten zusätzlich dreierlei an:

1) Planungsfragen einer auf Schutz und Erhaltung des natürlichen Potentials ausgerichteten Landnutzung werden beantwortet, indem Gleichung (11) je nach Problemstellung nach diesem oder jenem Faktor aufgelöst wird.

2) Die agro-ökologische Trockengrenze eines gegebenen Anbausystems erfährt nicht nur eine periodische Dynamisierung auf Grund der periodischen Veränderung regionaler Niederschlags- und Temperaturgegebenheiten.

3) Auch aus dem Aufbau der vorgestellten Formel selbst, d. h. aus dem ihr zugrunde liegenden ökologischen System „Kulturtechnik/Bodenfeuchte/Bodenerosion/Ertrag“ heraus ergibt sich die Möglichkeit, bei konstanten äußeren Bedingungen – hier durch  $F_{\text{opt}}$  wiedergegeben – durch Veränderung einzelner Faktoren in der Gleichung (11) die Trockengrenze beweglich zu halten.

Die Landnutzungsplanung sollte diese vielfältigen Möglichkeiten nutzen.

Flächenmäßig verbindet die agro-ökologische Trockengrenze all jene Stationen, an denen der hier definierte landschaftsökologische Feuchtebedarf dem kulturtechnisch optimierten Feuchtedargebot entspricht.

Die regionale Lage sowie das Ausmaß der Dynamik der agro-ökologischen Trockengrenze werden für den Bereich der zentralen Great Plains zwischen 38 und 41° ndl. Breite für die Jahre

- 1971/72 (dem letzten Jahr mit verfügbaren und vergleichbaren Klimadaten für alle Stationen im Untersuchungsgebiet),
- 1967/68 (dem letzten Jahr mit verfügbaren Agrardaten für alle Stationen),
- 1957/58 (einem außergewöhnlich niederschlagsreichen Jahr),

Tabelle 1: Lage der agro-ökologischen Trockengrenze für jährlichen Winterweizenanbau (WIWEI) und für Winterweizen-Brache-Rotation (WEIBRA) auf schluffigem Lehm (UL) und lehmigem Sand (LS) zwischen 38 und 41° nrl. Breite im Bereich der zentralen Great Plains\*

(Location of the agro-ecological dry boundary of non-irrigated agriculture for continuous winter wheat (WIWEI) and for winter wheat-fallow-rotation (WEIBRA) on silt loam (UL) and on loamy sand (LS) between 38 and 41° northern latitude in the area of the central Great Plains\*)

		UL N	UL S	LS N	LS S	UL N	UL S	LS N	LS S
		WIWEI	WIWEI	WIWEI	WIWEI	WEIBRA	WEIBRA	WEIBRA	WEIBRA
1971/72	F-Bedarf in mm (inches)	366 (14,4)	425 (16,7)	390 (15,4)	469 (18,5)	380 (15,0)	396 (15,6)	412 (16,2)	427 (16,8)
	W. Länge	W10213	W10121	W10218	W10007	W10452	W10405	W10504	W10247
	N. Breite	N4004	N3829	N4035	N3854	N3945	N3852	N4011	N3846
	Station	Wray	Leoti	Holyoke	Collyer 9S	Denv. WSFO	Rush 2NNE	Longm. 2ESE	Kit Karson
1967/68	F-Bedarf in mm (inches)	403 (15,9)	425 (16,7)	447 (17,6)	469 (18,5)	380 (15,0)	396 (15,6)	412 (16,2)	427 (16,8)
	W. Länge	W10103	W10054	W10000	W09954	überall	W10405	W10213	W10121
	N. Breite	N3949	N3829	N3936	N3827	every- where	N3852	N4003	N3829
	Station	Atwood	Scott City	Lenora	Ness City		Rush 2NNE	Wray	Leoti
1957/58	F-Bedarf in mm (inches)	366 (14,4)	378 (14,9)	390 (15,4)	402 (15,8)	380 (15,0)	396 (15,6)	412 (16,2)	515 (20,3)
	W. Länge	überall	überall	W10452	W10313	überall	überall	W10213	W10010
	N. Breite	every- where	every- where	N3945	N3804	every- where	every- where	N4003	N3839
	Station			Denv. WSFO	Las Animas			Wray	Utica
1953/54	F-Bedarf in mm (inches)	403 (15,9)	425 (16,7)	447 (17,6)	469 (18,5)	380 (15,0)	396 (15,6)	487 (19,2)	515 (20,3)
	W. Länge	W10135	W10115	W10103	W10054	W10449	W10332	W10103	W10051
	N. Breite	N3936	N3904	N3949	N3829	N4006	N3844	N3949	N3908
	Station	Bird City	Winona	Atwood	Scott City	Ft. Lupton	Karval	Atwood	Oakley
$\bar{x}$ / $\bar{x}$	F-Bedarf in mm (inches)	366 (14,4)	378 (14,9)	390 (15,4)	402 (15,8)	380 (15,0)	396 (15,6)	412 (16,2)	515 (20,3)
	W. Länge	W10415	W10216	W10213	W10145	überall	W10442	W10217	W10027
	N. Breite	N3945	N3919	N4004	N3854	every- where	N3849	N3943	N3921
	Station	Byers 5NE	Burlington	Wray	Sharon Spr		Colo. Spr.	Idalia NNW	Hoxie

\*) Erläuterung: W. Länge u. N. Breite identifizieren jene Klimastation, an welcher der Min.-Bedarf an optimierter Feuchte in mm (inches) zur Produktion der Min.-Strohrate gerade noch gedeckt werden kann.

W. long. and N. lati. identify the climatic station at which the required min.-rate of optimized moisture (F) to produce a min.-straw rate can just be supplied.

N = Nordteil des Grenzbereiches, S = Südteil des Grenzbereiches. N = North and S = South of area between 38 and 41° n.lat.

- 1953/54 (einem außergewöhnlich niederschlagsarmen Jahr) und
- $\bar{x} / \bar{x}$  (dem Durchschnittsjahr für die Jahre 1950 bis 1972)

bestimmt und in Tabelle 1) wiedergegeben. Ausführliche Erläuterungen zu den verwendeten Eckwerten, zu den berücksichtigten kulturtechnischen Verfahren sowie zum Bilanzierungsverfahren selbst in SPÄTH (1980). Die wichtigsten Aussagen der Tabelle 1 sind:

1) Auf einer gegebenen Bodenart und bei einer gegebenen Fruchtfolge verlagert sich die agro-ökologische Trockengrenze innerhalb eines Agrargebietes von Jahr zu Jahr. Der Vergleich der w. Längen-Angaben innerhalb einer Spalte macht dies deutlich. ‚Ständige Mobilität‘ ist das Hauptcharakteristikum der agro-ökologischen Trockengrenze.

2) Auf schluffigem Lehm liegt die Trockengrenze generell weiter im Westen als auf lehmigem Sand. Dies trifft für alle Jahre zu. Diese Tatsache spiegelt die besondere ökologische Empfindlichkeit sandiger Areale wider.

3) Bei gleichem Anbausystem und gleicher Bodenart buchtet die Trockengrenze im Bereich von SE-Colorado, SW-Kansas und NW-Oklahoma und -Texas generell nach Osten aus. Dies ist eine direkte Folge der regionalen Verteilung der klimatischen Erodibilitäts-Werte (WOODRUFF & SIDOWAY 1965).

4) Die Trockengrenze für Weizen-Brache-Rotation liegt weiter im Westen als die Trockengrenze für jährlichen Weizenanbau. Von dieser Regel können relativ feuchte Jahre ausgenommen sein. So liegt die Grenze des Feldbaus für jährlichen Winterweizen 1957/58 auf lehmigem Sand weiter westlich als die Trockengrenze der Weizen-Brache-Rotation. In dieser Verteilung dokumentiert sich die ineffektive Niederschlagsspeicherung zur Zeit der Sommerbrache, insbesondere in solchen Sommern, die auf feuchte Perioden folgen. Über Winter wird die Speicherkapazität ausgelastet; der folgende Sommer aber bringt Feuchteverluste. Nur in überdurchschnittlich niederschlagsreichen Sommern sind minimale weitere Zugewinne zu erwarten. Dies trifft selbst für Parzellen mit hohen Stoppelmulchraten zu (SPÄTH 1980). Jährlicher Weizenanbau hingegen nutzt außergewöhnlich hohe sommerliche Feuchteraten aus.

speichermöglichkeit z. B. sich ständig verbessert, weil weiterhin z. B. Sorghum weniger Feuchte benötigt als Winterweizen, und weil die Pflanzenzüchtung immer feuchteanspruchslosere Sorten hervorbringt. Eine Formel, die allein auf Temperatur- und Niederschlagswerten aufgebaut ist, kann diese Entwicklung sowie die dadurch hervorgerufene Dynamik der Trockengrenze nicht erfassen.

Eine Formel zur Berücksichtigung der ständigen Verlagerung der agronomischen Trockengrenze muß vielmehr so komplex sein wie das die Trockengrenze unterlagernde ökologische System „Kulturtechnik / Bodenfeuchte / Bodenerosion / Ertrag“ selbst.

Zum einen erfährt die agronomische Trockengrenze durch die Verbesserung von Anbaupraktiken und -produkten auf einer gegebenen Bodenart einen Impuls, der sie immer weiter in die Trockenzone vorschoben könnte. Zum anderen ist die Qualität des Produktionsmilieus mit entscheidend für die jeweilige Lage der Trockengrenze. Und diese Qualität des Produktionsmilieus ist nicht konstant. Vielmehr sorgt die permanente destruktive Winderosion dafür, daß schließlich die Feuchteversorgung an einem gegebenen Standort immer schlechter wird, die Dürreempfindlichkeit also zunimmt – und regional betrachtet – die Grenze des möglichen Regenfeldbaus auf den geschädigten Flächen dadurch einen Verlagerungsimpuls in Richtung auf die feuchtere Zone erfährt. Dieser – im Falle der Plains – ostwärts gerichtete Impuls ist also eine Folge der einseitigen Überbewertung des ökonomischen Grundanliegens, dem Erwirtschaften von Profit.

Nur durch einen Verzicht auf Ackerbau in Regionen, die nach der hier vorgestellten Trockengrenz-Definition als permanent oder periodisch dürregefährdet gelten, läßt sich in den Plains dieser ostwärts gerichtete Trend aufhalten und schließlich sogar umkehren, wie dies heute schon auf nicht-geschädigten oder auf geschonten Flächen möglich ist.

Das ökologische Grundprinzip, die Erhaltung des Bodens, ist somit der Schlüssel zur Kontinuität der Plains als Vertreter der uns noch verbliebenen semiariden Kornkammern – und deshalb auch Angelpunkt in dieser neuen, agro-ökologischen Trockengrenz-Definition.

#### Literatur

### 3. Fazit

Die Trockengrenze des Regenfeldbaus ist kein statisches Phänomen. Vielmehr bewirken Bodenart, Anbaupflanzen, Fruchtfolge sowie Bodenbearbeitungspraktiken zusammen mit dem höchst variablen Niederschlagsangebot eine kleinräumige und kurzfristige Mobilität.

Eine agronomische Trockengrenze im Sinne FALKNERS (1938) kann es nicht geben, weil der Stand der Bodenbearbeitungstechnik und damit die Feuchte-

ALBRECHT, W. A.: Physical, chemical, and biochemical changes in the soil community. In: THOMAS, W. L., Jr. (ed.): Man's role in changing the face of the earth. Vol. 2. University of Chicago Press, Chicago 1974, p. 648–673.

BURROWS, W. C., R. E. REYNOLDS, F. C. STRICKLER & G. E. van RIPER (eds.): International conference on mechanized dryland farming. Proc. of an intern. conference on mechanized dryland farming sponsored by DEERE & Co. under the auspices of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1969, Moline, Ill. 1970

- EVANS, C. E. & E. R. LEMON: Conserving soil moisture. U.S.D.A. Yearbook 1957, pp. 340-359.
- FALKNER, F. R.: Die Trockengrenze des Regenfeldbaus in Afrika. In: Petermanns Geogr. Mitt. H. 7/8, 1938, pp. 518-523.
- : Beiträge zur Agrargeographie der afrikanischen Trockengebiete. Geographische Abhdl. 3. Reihe, H. 11, Stuttgart 1939.
- FENSTER, C. R. & T. M. MCCALLA: Tillage practices in western Nebraska with a wheat-fallow-rotation. Nebr. Agr. Exp. Station Bul. 507, 1970.
- HANWAY, D. G.: Cultural practices in mechanized dryland farming. In: BURROWS, W. C. et al. (eds.): International conference on mechanized dryland farming. Moline, Ill. 1970, pp. 102-122.
- HEYNE, E. G., F. W. SMITH, J. A. HOBBS, F. C. STICKLER, L. E. ANDERSON & H. D. WILKINS: Growing wheat in Kansas. Kansas Agr. Exp. Station Bul. 463, 1964.
- JOHNSON, W. C.: Some observations on the contribution of an inch of seedtime soil moisture to wheat yields in the Great Plains. In: J. of Agronomy 56, 1964, pp. 29-35.
- & R. G. DAVIS: Research on stubble mulch farming of winter wheat. USDA Cons. Research Report 16, 1972, pp. 1-31.
- KUSKA, J. B. & O. R. MATHEWS: Dryland crop rotation and tillage experiments at the Colby Kansas Branch Experiment Station. U.S.D.A. Cir. 979, 1956.
- MATHEWS, O. R.: Implements and methods of tillage to control soil blowing on the northern Great Plains. U.S.D.A. Farmers' Bul. 1797, 1954.
- PENCK, A.: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiographischer Grundlage. Sitz.-Ber. d. Preuss. Akad. d. Wiss. Berlin, Bd. XII, 1910.
- SPÄTH, H.-J.: Bodenerosion und Bodenfeuchtebilanz in Zentralanatolien - Ein Beispiel für bewirtschaftete winterkalte Trockensteppen. In: Erdkunde H. 2, 1975, pp. 83-97.
- : Agronomic problems in designing water erosion control structures in semi-arid North Africa on the basis of limited data supply - as demonstrated on the example of Libya. In: Applied Science and Development, Vol. 13, 1979, pp. 27-64.
- : Zur Funktion der Bodenfeuchte im Erosions- und landwirtschaftlichen Produktionsprozeß der Zentralen Great Plains/USA. In: Verhandlg. Gesell. f. Ökologie, Münster 1978, 1979.
- : Die agro-ökologische Trockengrenze in den zentralen Great Plains von Nord-Amerika. Erdwissenschaftliche Forschungen Bd. 15, 1980.
- THORNTHWAITTE, C. W.: The climate of the earth. Geogr. Rev. Bd. 21, 1931, pp. 633-655.
- THROCKMORTON, R. I. & H. E. MEYERS: Summer fallow in Kansas. Kansas Agr. Exp. Station Bul. 293, 1941.
- WOODRUFF, N. P. & F. H. SIDDOWAY: Wind erosion equation. In: Proc. Soil Sc. Soc. Amer. 29, 1965, pp. 603-608.
- ZINGG, A. W.: Evaluation of the erodibility of field surfaces with a portable wind tunnel. In: Soil. Sc. Soc. Amer. 15, 1951, pp. 11-17.

## BERICHTE UND MITTEILUNGEN

### BERICHT ÜBER DAS 5. BASLER GEOMETHODISCHE COLLOQUIUM

#### - Ökologische Aspekte der Desertifikation und das Problem der Wüstenabgrenzung -

In der Zeit vom 28. bis 30. November 1979 fand im Geographischen Institut der Universität Basel unter Leitung von Prof. Dr. Hartmut Leser das 5. Basler Geomethodische Colloquium statt unter dem Titel: „Ökologische Aspekte der Desertifikation und das Problem der Wüstenabgrenzung“. Das Kolloquium wurde, wie die vergangenen, in Zusammenarbeit mit dem Herausgeber der Basler Afrika Bibliographien, Herrn Carl Schlettwein, organisiert.

Das vorbildlich von den Mitarbeitern des Geographischen Institutes organisierte Kolloquium stellte fünf Fachvorträge den etwa 40 bis 50 Teilnehmern zur Diskussion. Wie von den Initiatoren geplant, lag der Schwerpunkt des Kolloquiums auf einer intensiven Diskussion der Sachbeiträge, wie sie auf größeren Tagungen kaum noch möglich ist.

In seinem Einleitungsreferat gab HARMUT LESER einen Überblick über den heutigen Forschungsstand zur Frage der Desertifikation. Schwerpunktmäßig wurde die relative Stabilität vom Menschen ungestörter Ökosyste-

me arider Räume gegenüber ihrer hohen Nutzungslabilität herausgearbeitet. Beispielhaft vertieft wurde dieser Aspekt in dem folgenden grundlegenden Vortrag von HORST MENSCHING (Hamburg): „Desertifikation - ein komplexes Phänomen der Degradierung und Zerstörung des marginaltropischen Ökosystems im Sahel Afrikas“. Dabei stellte der Redner seine in den vergangenen 10 Jahren bei Feldstudien in den Trockenräumen nördlich und südlich der Sahara entwickelten Methoden zur Desertifikationsforschung vor. Von besonderem Wert für das Erkennen von Degradierungen und regional begrenzt auftretenden irreversiblen Zerstörungen ost- und westsahelischer Ökosysteme ist die Differenzierung nach Ökosystemeinheiten. Die vorgetragenen Beispiele machten deutlich, daß Lateritplateaus, jüngere Spülfächen, hydromorphologische Systeme (Dallol) und die älteren ehemals durch Vegetation festgelegten Düngürtel der Sahelzone beim Ablauf von Desertifikationsprozessen ein höchst unterschiedliches Reaktionsspektrum ausweisen. Daraus wurden Forschungsmetho-