

BODENEROSION UND BODENFEUCHTEBILANZ IN  
ZENTRALANATOLIEN – EIN BEISPIEL FÜR  
BEWIRTSCHAFTETE WINTERKALTE TROCKENSTEPHEN\*) –

Mit 4 Abbildungen, 5 Tabellen und 3 Photos

HANS-JOACHIM SPÄTH

*Summary:* Soil-erosion and soil moisture balance in dry steppe climates with cold winters – as illustrated by the example of Central Anatolia.

Modern summer fallowing – the purpose of which has been to increase soil moisture content – and overgrazing of agricultural and pastural dryland has caused heavy soil loss by water and wind in Central Anatolia. It was found that the seasonal variation in soil moisture content is a key factor in this process.

Experiments of soil water conservation on fallowed soil show that early tillage can effectively disrupt capillary flow during the first stage of evaporation and that it creates an erosion resistant soil mulch. Conventional multiple fallow tillage, however, brings very little gain in moisture content and stimulates soil erosion. Thus the incompatible purpose and function suggest a re-evaluation of summer fallow. Windbarriers also are found to be effective for water conservation to such a degree that summer fallow could even be discontinued. This would be the best means of soil erosion control of all.

Unsachgemäße Beackerung und Überweidung, Bodenerosion, Entwicklung dürrgefährdeter Standorte, Ernterückgang und -verluste, Kulturland- und Weideflächenaufgabe sind ein alarmierend aktueller Prozeß nicht nur im Sahel, sondern in allen Nachbarschaftsregionen agronomischer Trockengrenzen.

Die Erscheinungsformen des zentralen Einzelfaktors ‚flächenhafter Bodenabtrag durch Wasser und Wind‘, die Kausalkette, die zur Entwicklung dürrgefährdeter Standorte führt und Schutzmaßnahmen (Streifenfarmen, Konturpflügen, Terrassieren, Mulchen, Wegnetzverbesserung, um nur einige zu nennen) sind in der Literatur so zahlreich behandelt worden, daß hier auf diese allgemeinen und einführenden Darstellungen (s. Literaturbericht) verwiesen werden kann.

Um im Rahmen der gegebenen Themenstellung den Einfluß des wirtschaftenden Menschen auf den Naturhaushalt Anatoliens als Beispiel für winterkalte Trockensteppen zu verdeutlichen, sei hier kurz auf historische Ereignisse in der Türkei hingewiesen, die zum besseren Verständnis des aktuellen Bodenerosionsproblems beitragen.

Noch in den 30er Jahren förderte der anatolische Ackerbau auf Grund seiner Ausdehnung (pflanzenbaulich genutzte Gesamtfläche ca. 10 Mio ha) und der Art der Bodenbearbeitung (mit Hakenpflug auf kleinen Flächen) die Abschlämmung und/oder Ausblasung nur so weit, daß man allenfalls von einer schleichenden Bodenerosion sprechen konnte; in der Zwischenzeit aber ist der Bodenabtrag zu einem der wichtigsten Probleme für die Erhaltung der Produktionsmöglichkeit des türkischen Ackerbaus geworden. Die Ursachen sind, wie u. a. CHRISTIANSEN-WENIGER (1970, S. 131) ausführt, in der starken Vermehrung der türkischen Bevölkerung, der damit verbundenen Zunahme der Bauernbetriebe, der Ausweitung und dem Zusammenwachsen der Anbaufläche und der vergrößerten Viehbestände auf erheblich verkleinerten Futterflächen zu sehen. Hinzu kam seit 1950 eine Agrarpolitik, die eine jährliche Vergrößerung der pflanzenbaulich genutzten Fläche um 10% verlangte und die Einfuhr von rund 45 000 Traktoren, die mit für winterkalte Trockensteppen ungeeigneten Scheibenpflügen und -eggen ausgerüstet waren. Obschon OAKES & ARIKÖK (1954) feststellten, daß nur ca. 17% der Fläche Anatoliens (= 13 Mio ha) rel. eben sind, wurde das pflanzenbaulich genutzte Areal bis 1973 auf ca. 33 Mio ha ausgeweitet. Damit sind ca. 60% auf stark hängiges Gelände mit Neigungswinkeln von > 15% abgedrängt. Besonders auf den hier bewirtschafteten Böden wirkt sich aber neben der auch in ebenem Gelände aktiven Ausblasung zusätzlich bzw. verstärkt die Abtragung durch Wasser bei Niederschlägen in großer Dichte aus.

#### Literaturbericht

1938 hat GAINES bereits ca. 5000 Arbeiten aufgeführt, die sich mit dem Problem des Bodenabtrags in irgendeiner Form befassen. Die Wind-Erosions-Gleichung von SKIDMORE u. a. (1970) kann als Zusammenfassung der amerikanischen Bodenerosionsforschung angesehen werden. Bei ihrer Entwicklung wurden die Arbeitsergebnisse der letzten 30 Jahre praxisbezogen ausgewertet.

Deutsche Beiträge, z. B. von SCHMITT (1955), WAGNER (1965), RICHTER & SPERLING (1967), RICHTER (1969 und 1973), KARL & DANZ (1969), HARD (1970), MACHANN & SEMMEL (1970) und HEMPEL (1971), um

\*) An dieser Stelle sei der *Gesamthochschule Duisburg* für die Bereitstellung finanzieller Mittel zur Durchführung von Laborarbeiten gedankt.

nur einige wenige aufzuführen, stellen im wesentlichen das Ausmaß der Bodenerosion in humiden Gebieten dar; die Schemen des Wirkgefüges der Schädigung werden dabei nicht immer näher quantifiziert. Vielmehr stehen hier zumeist erosions- und akkumulationschronologische bzw. allgemeine morphodynamische Aspekte im Vordergrund.

Fragen der Untersuchungsmethodik und Belange des praktischen Umweltschutzes durch kontrollierte Bodenerosion in Landbau- und Weidegebieten stehen im wesentlichen hinter den agronomisch ausgerichteten Arbeiten von KURON (1953), JUNG (1953, 1962 und 1965), WALTER (1956), CHRISTIANSEN-WENIGER (1959 und 1964), USLU (1970) und WEITZENBERG (1973); quantifizierte Bodenabtragserscheinungen werden hier in einen engen, oft ausschließlichen Zusammenhang mit der Geländeneigung gebracht.

Die bislang umfassendste, allgemein gehaltene Darstellung erfährt das Bild der Bodenerosion in Zentralanatolien bei CHRISTIANSEN-WENIGER (1970, S. 130 bis 150). Hier werden unter zusätzlicher Auswertung türkischer Forschungsarbeiten Anbauflächenenerweiterung, Vergrößerung des Viehbestandes, Bodenabtrag durch Wind und Wasser und Ernterückgang erstmals zueinander in Beziehung gesetzt, wenngleich nicht Interdependenzen, sondern nur die Folgen der Bodenerosion für die Ertragslage numerisch vorgestellt werden. Die Bedeutung des Bodenfeuchtedargebotes als Regulativ im Abtragsprozeß bleibt jedoch auch hier unberücksichtigt, obschon bei einem gegebenen Neigungswinkel das Ausmaß des Abtrags durch Wasser und/oder Wind allein von den sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren ‚Landnutzung und Bodenwasserhaushalt‘ abhängig ist.

### Problemstellung und Thesen

Es gilt, das Ausmaß des regional differenzierten Schadbildes zu erfassen und die Wechselbeziehung zwischen Bodenabtrag durch Wind und Wasser, jahreszeitlich differenziertem Bodenfeuchtedargebot, Landnutzungsart und ausgewählten kulturtechnischen Maßnahmen aufzudecken, um Anhaltspunkte für eine Neubewertung der Brache im Trockenfeldbau zu gewinnen.

Die Thesen lauten: a) Zeitpunkt und Ausmaß der Bodenerosion werden durch die saisonale Veränderung des Bodenfeuchtegehaltes entscheidend gesteuert, b) Landnutzungsarten und kulturtechnische Praktiken beeinflussen das natürliche Bodenfeuchteregime.

### Zum regionalen Schadbild

In Deutschland erwiesen sich Humus und der Nährstoff Phosphorsäure wegen geringer Tiefenwanderung im Bodenprofil sowie Calciumcarbonat als geeignete Indikatoren für die Bodenverlagerung durch abfließendes Oberflächenwasser. Auch das Kalium wird besonders auf nicht zu tonarmen Böden merklich von

der Schichterosion betroffen, wenngleich bei ihm die Veränderungen wegen zusätzlicher Tiefenwanderung allgemein abgeschwächt auftreten. Außerdem läßt die mechanische Bodenanalyse gute Aussagen sowohl über Bodenerosion durch Wasser als auch durch Wind zu. Es war somit ein Teilziel der Untersuchung festzustellen, ob diese Arbeitsmethoden auf die Boden- und Klimaverhältnisse winterkalter Trockensteppen zum Zwecke der Quantifizierung rezenter Schicht- und Winderosion zu übertragen sind. In winterfeuchten, sommertrockenen Meditteranklimaten der Türkei erzielte JUNG (1962) mit diesen Methoden gute Ergebnisse. Ferner interessierte die Frage nach unteren Grenzwerten der Geländeneigung, bei welchen diese Art der Erosion bei gegebenen Bewirtschaftungsmethoden den Bodenaufbau stört.

Zur Auswahl der Hänge: Auf Kulturflächen in Hanglagen wurden Proben aus Krume (O) und Unterboden (U) in Profilvereihen vom oberen Hang bis zum Hangfuß entnommen. Folgende Kriterien waren bei der Hangausswahl entscheidend: Konvexe oder ebene Hänge zeigen am deutlichsten Profilverkürzungen, Abschwemmschäden und Aufschüttungsprofile. Schadbilder konkaver Hänge sind durch Zwischenablagerungen oder Gully-Erosion beeinträchtigt. Hänge, deren Schäden nur in Abhängigkeit von der Geländeneigung verglichen werden, sollten einheitliche Züge hinsichtlich Exposition, klimatischer Gegebenheiten, Bodenfeuchtegehalt und Bewirtschaftungssystem aufweisen. Stehen beim Vergleich Folgen der

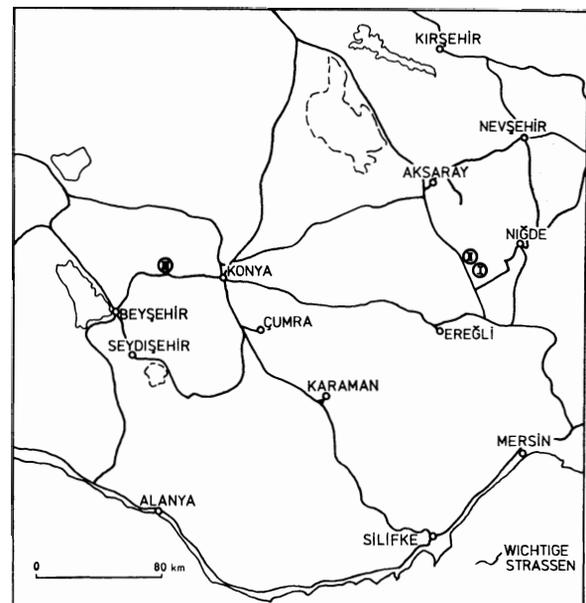
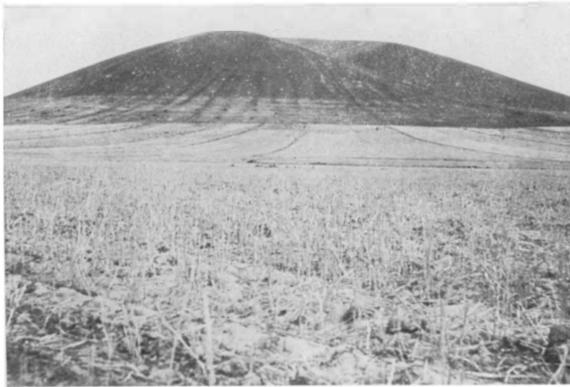


Abb. 1: Lage der in Tab. 1 und 2 dargestellten repräsentativen Profilvereihen I, II und III (hier mit Kreisen gekennzeichnet); ihnen sind Photo 1, 2 und 3 zuzuordnen  
Location of the sites of profiles I, II, and III (marked with circles); Photos 1, 2, and 3 refer to these sites

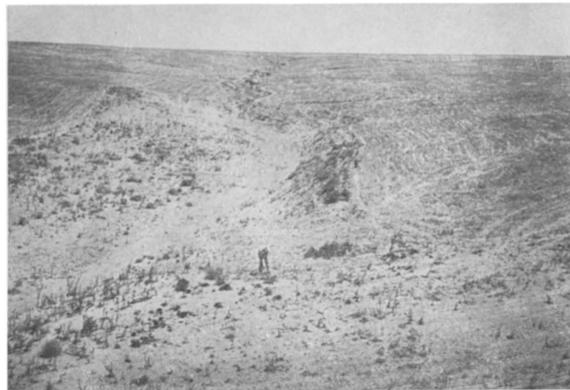
verschiedenen Nutzungsmethoden im Vordergrund, dann ist auf einheitliche Exposition und klimatische Gegebenheit, Bodenwasserhaushalt und morphologische Hangstruktur zu achten.

Die Profilreihen P I, P II und P III (Tab. 1 und 2) stellen die Erosions- und Akkumulationsverhältnisse repräsentativer Hänge dar.

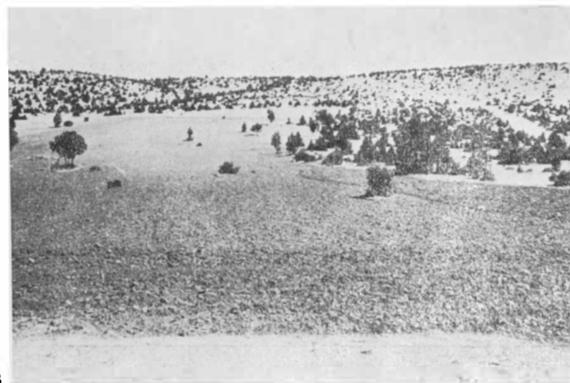
- P I – Ca. 40 km südwestlich von Niğde, westexponierter Hang (Standort I, s. Abb. 1).
- Auf kastanienfarbenem Trockensteppenboden; pH (KCl) 7,1.
  - Offengelassenes ehemaliges Weizenfeld mit Pflugrichtung senkrecht zu den Isohypsen.



1



2



3

- Schadbild zeigt exemplarisch Auswirkungen dominanter Schichterosion auf überweideter Stoppelbrache und auf spärlicher Steppenweide (zu vergleichen mit Photo 1).
- P II – Ca. 70 km südlich von Aksaray, nordwestexponierter Hang (Standort II).
- Auf kastanienfarbenen Trockensteppenboden; pH (KCl) 7,1.
  - Überweidete mehrjährige Stoppelbrache.
  - Schadbild zeigt exemplarisch Auswirkungen der Schichterosion mit Überprägung durch dominante Winderosion (zu vergleichen mit Photo 2).
- P III – Ca. 50 km westlich von Konya, südexponierter Hang (Standort III).
- Hang kurz vor Probenentnahme bis 30 cm in Richtung der Hangneigung gepflügt; war zuvor stark überweidet.
  - Schadbild zeigt exemplarisch Auswirkungen dominanter Schichterosion auf intrazonalen Böden (Rendzinen) im Bereich der häufig auftretenden neogenen Kalke in der südlichen Gebirgsumrahmung; pH (KCl) 6,9 (Photo 3).

Für P I und P III ist der Bodenverlust durch die Abnahme der Humuswerte vom Oberhang zum Hangfuß gut erkennbar. Bei P II läßt sich keine Anreicherung der organischen Substanz am Unterhang nachweisen. Die Humusarmut bzw. -vernichtung durch Überweidung wirkt sich bei dem rel. stark sandigen Boden bei P II um so destruktiver aus, als bereits durch den hohen Sandanteil die wasserhaltende Kraft gering ist.  $\text{CaCO}_3$  eignet sich, wie P III zeigt, besonders auf Kalkstein oder karbonatreichem Ausgangsmaterial als Indikator für die Bodenverlagerung durch abfließendes Oberflächenwasser. Der hohe  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt am oberen Hang beweist hier, daß der Unterboden bereits in die Ackerkrume mit einbezogen ist. Besonders der Wert des Unterbodens am Hangfuß deutet darauf hin, daß hier das zunächst wenig karbonathaltige ehemalige Oberbodenmaterial des Ober-

*Photo 1:* Winderosion auf überweideter Stoppelbrache, Schichterosion auf spärlicher Steppenweide am Hang und am Hangfuß. (Zur näheren Erläuterung s. Beschreibung der Profilreihe I auf dieser Seite und Tab. 1)

Wind erosion on overgrazed stubble fallow, sheet erosion on range land on the slope (see Tab. 1)

*Photo 2:* Schichterosion mit Überprägung durch dominante Winderosion auf überweideter Stoppelbrache. (Zur näheren Erläuterung s. Beschreibung der Profilreihe II und Tab. 2)

Sheet erosion and predominant wind erosion on overgrazed stubble fallow (see Profile II on Tab. 2)

*Photo 3:* Schichterosion auf frisch gepflügtem überweidetem Hang. (Zur näheren Erläuterung s. Beschreibung der Profilreihe III und Tab. 2)

Sheet erosion on newly ploughed overgrazed slope (see Profile III on Tab. 2)

Tabelle 1: Nährstoffgehalt und Korngrößenzusammensetzung\*)  
Nutrient content and grain size distribution

Profil bzw. Nr. der Probe	O = Ober- boden U = Unter- boden	Organ. Substanz in %	CaCO <sub>3</sub> in %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/ 100 g	K <sub>2</sub> O mg/ 100 g	Ton < 0,002 mm	Schluff 0,002– 0,05 mm	Feinsand 0,05– 0,2 mm	Mittel-u. Grobsand		Hangnei- gung in %
									0,2– 2,0 mm	> 2,0 mm	
in % des Feinbodens***)											
Profil I											
1**)	O	6,93	2,56	98	121	21,2	46,9	3,7	2,9	16,4	0–1
	U	8,70	2,99	112	99	32,3	51,8	2,2	2,9	0,1	
2	O	4,91	7,90	24	40	11,9	30,3	29,2	14,2	8,5	3
	U	3,92	26,05	22	25	7,2	33,8	32,3	13,6	9,2	
3	O	3,41	1,71	22	32	7,5	24,5	28,7	24,6	10,3	9
	U	3,16	11,53	10	23	6,7	32,1	26,7	17,0	13,3	
4	O	3,40	3,64	16	32	6,4	21,0	16,9	26,5	23,8	15
	U	3,71	8,33	9	23	7,7	28,4	23,6	26,7	8,9	
5	O	3,06	2,56	7	24	5,3	20,1	11,8	25,7	33,0	20
	U	3,59	7,26	4	28	7,7	23,5	15,9	21,9	26,4	

\*) Zur Labormethode: Organische Substanz – mit Wösthoff-Apparatur; CaCO<sub>3</sub> – mit Scheibler-Apparatur; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> u. K<sub>2</sub>O – mittels Doppellaktatmethode nach Egnér-Riehm; Korngrößenverteilung – internationale Pipettmethode.

\*\*\*) 1 entspricht Hangfuß.

\*\*\*) Bei organischem Anteil > 3 % Probe mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> behandelt.

Tabelle 2: Nährstoffgehalt und Korngrößenzusammensetzung\*)  
Nutrient content and grain size distribution

Profil bzw. Nr. der Probe	O = Ober- boden U = Unter- boden	Organ. Substanz in %	CaCO <sub>3</sub> in %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/ 100 g	K <sub>2</sub> O mg/ 100 g	Ton < 0,002 mm	Schluff 0,002– 0,05 mm	Feinsand 0,05– 0,2 mm	Mittel-u. Grobsand		Hangnei- gung in %
									0,2– 2,0 mm	> 2,0 mm	
in % des Feinbodens***)											
Profil II											
1**)	O	1,74	5,12	5	17	2,9	11,1	26,9	54,9	4,2	8
	U	1,77	8,11	2	9	1,5	20,4	29,5	46,1	2,5	
2	O	2,23	1,28	5	21	2,1	8,7	17,7	39,5	32,8	9
	U	1,67	5,55	2	14	3,7	14,2	12,7	56,7	12,7	
3	O	1,83	2,56	7	15	5,9	15,7	18,6	53,8	6,0	3
	U	2,85	4,70	5	10	7,4	11,5	14,9	49,5	16,7	
Profil III											
1**)	O	7,55	8,46	3	10	25,9	41,0	8,1	9,9	7,5	0–1
	U	8,25	13,03	2	4	43,4	22,6	5,7	12,4	2,0	
2	O	6,99	22,20	2	7	30,6	36,5	8,1	14,7	3,6	2
	U	6,63	17,51	1	9	37,9	36,7	6,6	9,9	2,3	
3	O	6,44	39,28	1	6	22,0	29,7	10,3	16,7	13,4	6
	U	6,07	45,90	1	4	22,3	2,1	14,9	12,1	22,5	
4	O	5,93	65,8	1	5	17,4	35,2	8,9	17,6	15,0	9
	U	3,86	71,62	1	4	16,3	48,0	8,4	10,2	13,2	

\*) \*\*, \*) und \*\*\*) s. Fußnote Tab. 1

hanges angelagert wurde. P I zeigt im Mittel- und Oberhang, daß laut  $\text{CaCO}_3$ -Verteilung der ursprüngliche Oberboden noch nicht völlig verlagert ist und das Aufschüttungsprofil am Hangfuß ganz aus ehemaligem Oberboden aus höheren Gebieten aufgebaut ist. Für P II läßt die  $\text{CaCO}_3$ -Verteilung keine Rückschlüsse auf Bodenabtrag zu. Für P I und P III wird das Verlagerungsbild durch die unterschiedliche Verteilung der  $\text{P}_2\text{O}_5$  nochmals nachgezeichnet. Eindeutige Aussagen lassen sich jedoch wiederum für P II auf Grund der Verteilung dieses Nährstoffes nicht machen. Auch Kalium läßt durch seine Verteilung trotz zusätzlicher Vertikalverlagerung den Bodenabtrag erneut bei P I und P III, nicht aber bei P II sichtbar werden.

Auf Böden, deren Profilverkürzungen und Aufschüttungsprofile auf Bodenabtrag durch Wasser zurückzuführen sind, lassen sich die in Deutschland erprobten Methoden sinnvoll übertragen. Dies ist den Analyseergebnissen der Proben von 14 Hängen zu entnehmen. Bei dominanter Überlagerung des Schabildes durch Winderosion (12 untersuchte Hänge) erbrachten diese Methoden jedoch keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Desgleichen zeigt die Schlämmanalyse, daß die Böden der Vorschüttung einen hohen Anteil an kleinen Korngrößen haben, wenn sich die Schichterosion durchsetzt (in P I und P III); am oberen Hang liegt dementsprechend ein großer Anteil an rel.

grobem Material vor. So zeichnen sich P I und P III als Vertreter der hängigen Lagen besonders durch die selektive Verlagerung der einzelnen Korngruppen in Richtung der Geländeneigung aus. Sie ist durch die wechselnde Intensität der Niederschläge (vgl. Abb. 2) bedingt. Bei P II hingegen haben die feinen Korngruppen insgesamt einen sehr geringen Anteil am Aufbau der Profile; diese Bestandteile sind durch die intensive Winderosion stark dezimiert.

Es ist somit festzuhalten, daß im Untersuchungsgebiet die Bodenkrume bei gegenwärtigen Bewirtschaftungsmethoden bereits bei Hangneigungen von 2 bis 3% durch Tagewässer abgetragen wird und Winderosion sich mit geringer werdendem Neigungswinkel zunehmend durchsetzt. Der von OAKES-ARIKÖK (1954) angegebene Gefahrgrenzwert von 15% Hangneigung ist somit zumindest bei gegebener Bewirtschaftungsweise entsprechend neu zu relativieren, denn ausschließlich diese moderne Bewirtschaftung hat die Bodenschädigung hervorgerufen. So gab es vor der Zeit der jüngsten Entwaldung und der Ausdehnung der Acker- und Weidenutzung Probleme dieses Ausmaßes noch nicht. Im Bereich des Ackerbaus sorgte damals der Hakenpflug auf nicht zusammenhängenden kleinen Flächen für eine klumpige rauhe Feldoberfläche mit guten Einsickerungsmöglichkeiten zur Brachezeit und somit für eine bessere Bodenwasserbilanz. Weiterhin bestand die Gefahr der Überweidung der Steppe nicht, und Waldweide war so gut wie unnötig. Heute bricht der Scheibenpflug meist in Richtung der Hangneigung das Feld feinkörnig auf; die Oberfläche ist somit leicht dichtzuschlämmen und dann erodierbar. Auch der Wind findet hier keinen Widerstand und bläst die Feinerde aus. Humusmangel auf Äckern wie auf überweideter Steppe beeinträchtigt seinerseits den Bodenwasserhaushalt. Dieser Mangel ist um so gravierender, als Humus das drei- bis fünffache seines Gewichts an pflanzenverfügbarem Wasser festzuhalten und somit u. a. der Erosion entgegenzuwirken vermag.

So lag zwar der eigentliche Zweck des Brachejahres in der Erhöhung der nutzbaren Speicherfeuchte innerhalb der Hauptversorgungszone; langfristig aber trug sie in der praktizierten Form hauptsächlich zur Wind- und Wassererosion und zur Reduzierung des Bodenfeuchtedangebotes eines gegebenen Jahres bei. Die Folgen der Überweidung der Steppe waren zwar nicht graduell aber doch essentiell die gleichen wie im Ackerbaubereich mit Weizen-Brache-Rotation. Der Widerspruch zwischen Zweck und Folgen der Brache wird auf Grund der zentralen Bedeutung derselben nachfolgend Gegenstand der Untersuchung sein.

#### Bodenwasserhaushalt

Die Einzelfaktoren der Bodenfeuchte-Haushaltsgleichung

$$N = AE + \Delta St + S$$

wurden wie folgt berechnet (vgl. Tab. 3).

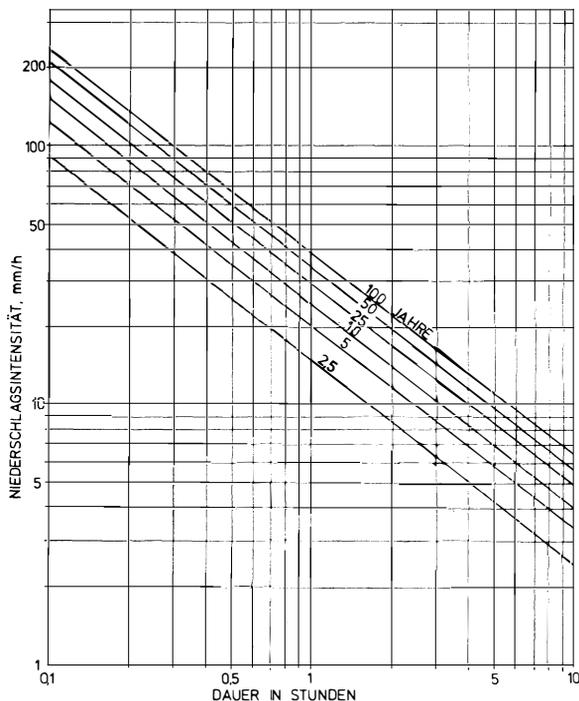


Abb. 2: Intensität-Dauer-Häufigkeit der Niederschläge (Rainfall-Intensity-Duration-Frequency-Curves)



Die A-Werte verweisen auf die grundlegenden Schwierigkeiten der Landnutzung bzw. auf die Rolle von Brachejahren, das Ausmaß der Bewässerungsbedürftigkeit und indirekt auch auf die Gefahren, die durch Überweidung entstehen.

Der entscheidende Faktor in der Wasserbilanz im Hinblick auf die Standortgefährdung durch Bodenabtrag ist der monatliche St-Wert und seine Zuordnung zur saisonalen Niederschlags- und Windsituation. Es zeigt sich, daß die lehmigen Sande noch mehr als die tonigen Lehme im Spätsommer und Frühherbst neben Totwasser kaum noch Feuchtigkeit enthalten. In dieser Zeit treten aber auch die Starkregen und Winde großer Geschwindigkeit und Beständigkeit auf. Starkregen großer Intensität gehen besonders zwischen Juni und September nieder. Dabei ist es unerheblich, ob sie in ihrer Intensität jährlich vorkommen (vgl. Abb. 2). Die gegebene Heftigkeit führt auch bei zeitlich relativ großen Abständen zu gewaltigen Erosionsleistungen; diese aber sind bei zu vergleichenden Flächen mit einheitlichem Relief vom momentanen Wasseraufnahmevermögen und der Dichte der Pflanzendecke abhängig. Die Wasseraufnahmefähigkeit – außer von der Porengrößenverteilung auch vom augenblicklichen Wassergehalt des Bodens (St) abhängig – wird im Untersuchungsgebiet zumeist weit überschritten, so daß besonders Starkregen mit Intensitäten von  $> 0,4$  mm/min. den Abtrag beachtlich fördern.

Durch die Erhaltung günstiger Kornverteilungen und einer stabilen Krümelstruktur im Oberboden – sie setzt jedoch Erosionskontrolle voraus – ist eine Optimierung der St-Werte zu erreichen (vgl. auch  $St_{tL}$  und  $St_s$  in Tab. 3). Zum Beispiel sind zwar die tonigen Lehme von der Textur her erosionsanfälliger als die lehmigen Sande (ca. 30% abschlämmbare Teile im Vergleich zu ca. 20%), doch wird diese Anfälligkeit zeitlich verkürzt durch eine günstigere Feuchtebilanz. Dies wiederum kann einen dichteren Bestand z. B. an Zwischenfrucht oder natürlicher Vegetation und höheren Humusgehalt – also Erosionsschutz – zur Folge haben.

Ähnliches kann auch bei ausschließlich wirksamer Winderosion angenommen werden, da sie im wesentlichen durch den Bodenwasserhaushalt und/oder über die Vegetation und damit auch durch die Humusbilanz gesteuert werden kann. Die Erosionsanfälligkeit nimmt mit Annäherung des Wassergehaltes an die FK ab. Besonders im Frühjahr, aber auch im Sommer und Frühherbst weht der Wind in Zentralanatolien mit einer mittleren Geschwindigkeit von 3,4 m/sec. und einer durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit von 20 bis 30 m/sec. konstant aus NW. Dementsprechend sind in der Zeit vor und nach dem Ährenschieben bzw. in der Brachezeit – also in der klimatischen Wassermangelperiode – die Voraussetzungen für den Bodenabtrag durch Wind auf ungeschützten Flächen (auf Brache oder Saatfeldern und auf überweideter Steppe) besonders günstig.

Zwar bringen Weizen-Brache-Systeme zweckdienlich in den ersten Jahren höhere Erträge als Weizen-Weizen- oder Weizen-Zwischenfrucht-Systeme, doch bleiben schwere Ertragseinbußen und schließlich das Offenlassen der Flächen bei Weizen-Brache-Rotation langfristig auf Grund der hier wirksamen Bodenerosion und Wasserhaushaltsschädigung nicht aus. Deshalb gilt es, a) den Bodenfeuchtegehalt zwischen Ernte und Aussaat zu erhöhen und b) möglichst auf Schwarz- oder Stoppelbrache zugunsten einer Zwischenfrucht (z. B. Leguminosen) zu verzichten oder eine wasserbilanzfördernde Brachebearbeitung zu praktizieren.

Im Hinblick auf die vorgegebene Problemstellung erheben sich diese Forderungen bei der Interpretation der in Tab. 4 dargestellten Versuchsergebnisse, die den Einfluß des Bodenfeuchtegehaltes auf den Bodenabtrag darlegen sollen. (Weitere Faktoren, die den Bodenabtrag regulieren, die aber selbst nicht über den Bodenfeuchtegehalt zu beeinflussen sind, so z. B. die Hangneigung, die Furchenrichtung, die Größe der zusammenhängenden Fläche, Bewirtschaftungsmethoden u. a. m., können in diesem Zusammenhang unberücksichtigt bleiben.) Es kam bei dem in Tab. 4 wiedergegebenen Versuch nicht darauf an, die Beziehung zwischen jahreszeitlicher Erosionserscheinung und vertikal differenzierter Bodenfeuchteveränderung exakt zu erfassen oder den Einfluß anderer Wirkfaktoren mit einzubeziehen. Vielmehr genügte die Feststellung der Abhängigkeit des Bodenabtrags vom Bodenwassergehalt als solcher, um das saisonal differenzierte Abtragsbild deutlich werden zu lassen und um Versuche, die die gezielte Erhöhung des Bodenwassers in der Brachezeit bezwecken, sinnvoll erscheinen zu lassen.

Tabelle 4: Bodenabtrag in Abhängigkeit vom Bodenfeuchtegehalt  
Soil erosion as affected by soil moisture content

	Bodenabtrag durch	
	Wasser (dominant) und Wind	Wind
Schwarzbrache bewässert	52 t/ha/a	10 t/ha/h
Schwarzbrache unbewässert	70 t/ha/a	14 t/ha/h

Anmerkung zum Versuch: Zwei mal zwei Vergleichsflächen bei Çumra mit jeweils gleicher Hangneigung und tonigem Lehm; in Richtung der Hangneigung gepflügt; keine Unkrautkontrolle; auf je einer Fläche sorgt Untergrundbewässerung (Plastikrohre) dafür, daß Bodenfeuchte nie unter 30% des Wertes der nutzbaren Speicherfeuchte in den oberen 50 cm Boden absinkt.

Versuche dieser Art sind überall in Trockenfarmengebieten im Gange. Ihre Notwendigkeit ergibt sich zusätzlich aus der Tatsache, daß selbst bei Anwendung moderner Mulch-Techniken noch 60 bis 80% der Nie-

derschlagssumme der Brachezeit verloren gehen (GREB et al. 1967). Die Brache ist demnach als Instrument zur Anreicherung des Bodenwassers im Hinblick auf die Pflanzensubstanzproduktion zwar erforderlich aber relativ wirkungslos – und somit auch unter diesem Gesichtspunkt in Frage zu stellen. BLACK (1969) ermittelte in diesem Zusammenhang in den nördlichen Great Plains in einem Gebiet überwiegender 21monatiger Brache für die 9-Monats-Periode zwischen Ernte und Frühjahr eine Bodenwassererhöhung um 71% der gefallenen Niederschläge, für die Zeit zwischen Frühjahr und zweitem Herbst (5 Monate) 8% und für die Zeit zwischen zweitem Herbst und zweitem Frühjahr weitere 9%. Daraus folgt, daß bei einer Steigerung der Bodenwasserergänzung im ersten Winter um 29% auf die 21monatige Brache verzichtet werden kann. Diese Steigerung ist am ehesten durch Windschutzstreifen zu erreichen. Diesem Argument widmet sich der erste der nachfolgend beschriebenen Versuche. Ein weiterer Versuch geht davon aus, daß der minimale Nutzen der Brache hinsichtlich der Steigerung des Bodenwassergehaltes entscheidend zu vergrößern sein muß. Dies soll dadurch erreicht werden, daß die Zeit der Brachebearbeitung auf den Verdunstungsang abgestellt wird.

#### Versuche zur Erhöhung der Bodenfeuchtespeicherung

- 1) Windschutzstreifen aus Gras (*Agropyron elongatum*) zur Reduzierung der Winderosion und Optimierung der Bodenwasserbilanz.

Zur Versuchsanordnung: Fläche bei Çumra ca. 1 ha (= 1 dönüm) groß, Oberfläche relativ eben; toniger Lehm; Windschutzstreifen in N-S-Richtung (= 45° zur Hauptwindrichtung) im Abstand von 10 und 20 m; 4 Feldstreifen je 10 m breit, 3 Feldstreifen je 20 m breit, kreuzweise in Hälften mit Weizen-Leguminosen- und Weizen-Brache-Rotation unterteilt; zwei angrenzende Parzellen mit gleichen Rotations-schemen ohne Windschutzstreifen als Vergleichsflächen. Messungen: Schneemächtigkeit in der 3. Februardekade; Bodenfeuchte zur Erntezeit, im Herbst und Frühjahr (gravimetrisch, für 10 Bodenschichten zu je 15 cm Mächtigkeit); Windgeschwindigkeit auf einer Strecke senkrecht zu den Schutzstreifen im Abstand von 1 m.

Ergebnisse: Die Windgeschwindigkeit nimmt auf den 10-m-Feldstreifen vom Lee eines Windschutzstreifens zum Luv des nächsten jeweils von ca. 20 auf 66% der unbeeinflussten Windgeschwindigkeit auf den ungeschützten Vergleichsflächen zu; auf den 20-m-Feldstreifen steigt sich die Windgeschwindigkeit von ca. 22 auf 86%. Die Effektivität der Schutzstreifen nimmt also mit kleiner werdenden Zwischenabständen zu. Ähnliche Ergebnisse erzielten HAAS et al. (1962), CHEPIL et al. (1966) und SIDDOWAY (1969) im Gebiet der nordamerikanischen Great Plains. Ebenso nimmt die Reduzierung der möglichen Ausblasung und die Stimulierung der Evapotranspiration durch reduzierte

Zufuhr relativ wasserungesättigter Luft ab. Letztgenannte Aspekte sollen ebenso wie der Einfluß der Höhe und der Dichte der Windschutzstreifen und der Einfluß verschiedener Brachearten und -bearbeitungsmethoden bei weiteren Experimenten Gegenstand der Untersuchung sein.

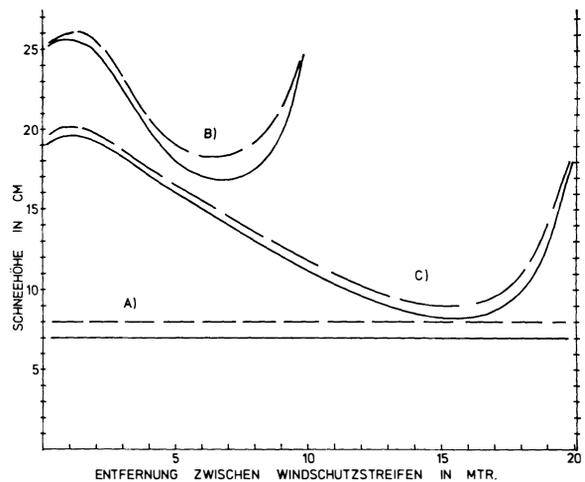


Abb. 3: Schneemächtigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zu Windschutzstreifen und Fruchtfolge

A) ohne Windschutzstreifen, B) Abstand der Windschutzstreifen 10 m, C) Abstand der Windschutzstreifen 20 m; unterbrochene Kurve für Weizen-Zwischenfrucht-, ausgezogene Kurve für Weizen-Brache-Rotation

Snowpacking as influenced by windbarrier intervals and cropping sequence

A) no barriers, B) barrier interval 10 m, C) barrier interval 20 m; dotted line for continuous crop, continuous line for wheat-fallow

Abb. 3 verdeutlicht den Einfluß der Entfernung zwischen den Windschutzpflanzungen auf die Schneean-sammlung. Kurze Zwischenabstände bewirken sowohl die relativ einheitlichste wie höchste Schneeeakkumulation, die zur Ergänzung des Bodenwassergehaltes dann beitragen kann, wenn der Boden zur Zeit der Schneeschmelze wasseraufnahmefähig ist und der Schnee nicht direkt verdunstet. Am wenigsten trägt der Schneefall auf ungeschützten Feldern zur Bodenfeuchtebelieferung bei.

Die Abhängigkeit des Bodenfeuchtegewinns vom Rotationssystem und von den Abständen zwischen den Windschutzstreifen ist in Tab. 5 dargestellt. Die Vorteile der Schutzstreifen sind bei beiden Rotationssystemen deutlich. Ergänzend sei festgehalten, daß auf Weizen-Brache und Weizen-Leguminose bei gleicher Distanz zwischen den Schutzstreifen zwar kaum Unterschiede bezüglich der Schneean-sammlung festzustellen waren, daß aber der gesamte Bodenfeuchtezuwachs auf Weizen-Brache prozentual erheblich geringer zu veranschlagen ist als auf Weizen-Zwischenfrucht (vgl. Tab. 5 Zeile 1 und 6). Dies ist auf die verzögerte In-

Tabelle 5: Durchschnittlicher Zuwachs an Bodenfeuchte (in % der Niederschläge der beobachteten Brachezeiten und in mm, bezogen auf das langjährige Mittel) auf Flächen mit und ohne Windschutzstreifen in Abhängigkeit vom Fruchtfolge-System

Mean gain in soil moisture (in % of precipitation during observation period, and in mm related to the long term average) on fields with and without wind breakes as affected by different cropping systems

	Fläche ohne Windschutzstreifen		Fläche mit Windschutzstreifen in 10 m Abstand		Fläche mit Windschutzstreifen in 20 m Abstand	
	%	mm	%	mm	%	mm
Weizen-Leguminosen-Rotation						
Winterbrache	45	86	85	163	75	144
Niederschläge Okt.-März 192 mm (langj. Mittel)						
Weizen-Brache-Rotation						
erste Winterbrache	45		85		75	
zweite Winterbrache	35		45		28	
Durchschnitt	40		65		51	
Sommerbrache	24		14		17	
Niederschläge Apr.-Sept. 113 mm (langj. Mittel)						
Mittel der 21 monatigen Brache	32	159	40	199	34	169

filtration auf gefrorenem Boden mit hohem Wassergehalt (ca. 70 bis 80% des FK-Wertes) im zweiten Winter und der darauf folgenden Zeit der Schneeschmelze zurückzuführen. Die Sommerbrache ist anteilig besonders auf Feldern ohne Schutzstreifen effektiv, da hier der Bodenfeuchtegehalt zu Beginn des Sommers noch vergleichsweise niedrig ist bzw. weil die Wasseraufnahmekapazität noch relativ groß ist. Demnach erklärt sich auch der relativ geringe Feuchtezuwachs auf Flächen mit Schutzpflanzungen im Abstand von 10 m aus der bereits hohen Wasser-sättigung des Bodens zu Beginn des Sommers.

Als im Hinblick auf den Versuchszweck entscheidendes Resultat gilt es festzuhalten, daß bei Weizen-Zwischenfrucht-Rotation auf windgeschützten Flächen mehr bzw. nur geringfügig weniger Bodenwasser nach einem einzigen Winter vorhanden ist als auf Flächen mit 21monatiger Brache. Die Sommerbrache erweist sich somit insgesamt zur Wasserkonservierung als vergleichsweise ineffektiv und damit nicht zweckdienlich.

## 2) Der Einfluß unterschiedlich terminierter Brachebearbeitung auf die Bodenfeuchteevaporation.

Hinsichtlich der Möglichkeiten zur Reduzierung der Bodenfeuchteverdunstung durch Brachebearbeitung erzielten BENZ et al. (1967), BLACK et al. (1965), CALL et al. (1917), COREY et al. (1968), HILLEL et al. (1969), SHAW (1929) und SINGH et al. (1944) z. B. in den USA und Israel unterschiedliche bzw. widersprüchliche Ergebnisse. Nur der Einfluß der Unkrautkontrolle wurde einheitlich bewertet. Der Grund für diese widersprüchlichen Ergebnisse liegt in einer willkürlichen Terminierung der Bodenbearbeitung, welche die drei Stadien des Verdunstungsprozesses (HILLEL 1968, RODE 1959 und WENDT et al. 1970) nicht berücksichtigt. Nur im ersten Stadium erfolgt die kapillare Was-

serbewegung zur Bodenoberfläche in flüssiger Phase und in einem konstanten und großen Ausmaß. In diesem ersten Stadium kann am meisten Verdunstungswasser eingespart werden, denn im zweiten Stadium (mit Wassertransport in abnehmendem Ausmaß von flüssiger in dampfförmige Phase übergehend) und im dritten Stadium (mit konstantem aber geringem Ausgleich in dampfförmiger Phase) wirkt sich das Sättigungsdefizit über der Bodenoberfläche nur noch geringfügig auf die Nachlieferung pro Zeiteinheit aus.

Das Ziel einer Versuchsreihe sollte es also sein, unter Laborbedingungen die Einsparung an Bodenfeuchte bei unterschiedlich terminierter Reduzierung der kapillaren Nachlieferung zu quantifizieren und so den günstigsten Zeitpunkt für eine Brachebearbeitung zum Zwecke der Erhöhung der Erosionsresistenz auf Grund optimierter Bodenfeuchtebilanzen zu ermitteln.

Zur Versuchsanordnung: 26 Zylinder (100 × 15 cm) mit gesiebtlem lehmigem Sand (mittlere Rohdichte der Säulen 1,42 g/cm<sup>3</sup>) gefüllt; bis zur FK mit Wasser gespeist; Infrarotstrahler (insg. 130 Watt) sorgen über 16 Std./Tag für ein Verdunstungspotential an freien Wasserflächen von 1 cm/Tag; Raumtemperatur (20 °C ± 1) und Luftfeuchte (40% ± 10) konstant.

Bodenbearbeitung (5 cm tief) mit Rechen am 1., 5., 10. oder 20. Tag nach Versuchsbeginn (= Verdunstungsbeginn). Während 40 Tagen Verdunstungsverlust täglich über Gewichtsverlust bestimmt und gravimetrisch und mittels Tensiometer überprüft.

Die Ergebnisse dieser 40 Tage dauernden vergleichenden Verdunstungsmessung werden in Abb. 4 wiedergegeben. Deutlich heben sich die Vorzüge a) der Brachebearbeitung im allgemeinen gegenüber unbearbeiteter Brache und b) die Vorteile der Bearbeitung zu frühen Zeitpunkten gegenüber späteren ab. Die Dauer des ersten Evaporationsstadiums wird hier durch Boden-

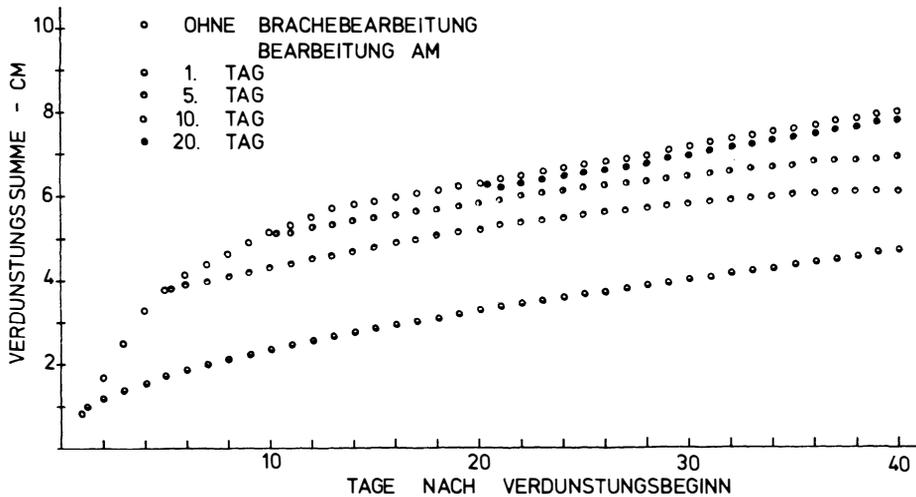


Abb. 4: Einfluß des Zeitpunktes der Brachebearbeitung auf die Bodenfeuchteverdunstungssumme  
Cumulative soil water evaporation as affected by timing of tillage

bearbeitung am 1. oder 5. Tag nach Verdunstungsbeginn besonders effektiv verkürzt (plötzliches Abflachen der Evaporationskurve). Je später die Bodenbearbeitung einsetzt, desto geringer sind die Möglichkeiten der Verdunstungsreduzierung gegenüber un bearbeiteten Böden, zumal zumindest am 20. Tag nach Versuchsbeginn das dritte Verdunstungsstadium längst eingetreten war. Für die Praxis erhebt sich daraus die Forderung nach einer einmaligen Brachebearbeitung unmittelbar beim Einsetzen des Entzuges von Bodenfeuchte (s. Tab. 3). Dies hat gegenüber weitverbreiteter späterer und wiederholter Brachebearbeitung den Vorteil, daß a) ein größeres Wasserdargebot geschaffen und damit also auch positiv das Erosionsausmaß beeinflusst werden kann. b) Durch wiederholte Bearbeitungsgänge lockert sich die verdichtende Bodenoberfläche feinkörnig auf; der Erosion wird so zusätzlich Vorschub geleistet. Dies entfällt bei einer einmaligen Bearbeitung.

Ergänzend sei an dieser Stelle auf Arbeiten von COREY et al. (1968) mit ähnlichen Ergebnissen und auf FORTIER (1907) verwiesen, der eine Verdunstungsabnahme mit Zunahme der Bearbeitungstiefe ermittelte. Bei Versuchen von PEELE (1968) zur Evaporationsreduzierung durch Brachebearbeitung ergab sich auf der Meßbasis < 1 Tag zunächst eine kurzfristige Zunahme und dann eine längerfristige Abnahme der Evaporationsverluste. Die Tagessummen waren jedoch mit den hier vorgestellten Ergebnissen zu vergleichen.

### Schlußbetrachtung

Abschließend lassen sich folgende Hauptgesichtspunkte als Kennzeichen des Zusammenhanges von Bodenerosion und Bodenfeuchtehaushalt zusammenfassend hervorheben:

- Der eigentliche Zweck der Brache ist die Erhöhung der Bodenfeuchte um einen beträchtlichen Anteil an den Niederschlägen der Bracheperiode.
- Diesen Zweck erfüllt die Sommerbrache bei gegenwärtig praktizierten Bearbeitungsmethoden nur ungenügend; zudem wird durch die mehrmalige Brachebearbeitung der Bodenerosion intensiv Vorschub geleistet und so u. a. das mögliche Bodenfeuchtedargebot langfristig reduziert; mit geringer werdendem Bodenfeuchtegehalt aber wird die Bodenerosion erneut gesteigert.
- Nur eine einmalige Brachebearbeitung bei Einsetzen der kapillaren Nachlieferung führt zu substantiellem Feuchtegewinn.
- Durch Windschutzstreifen kann der Bodenfeuchtegehalt zwischen Ernte und nachfolgendem Frühjahr so erhöht werden, daß sich die Weizen-Brache-Rotation erübrigt. Dadurch wäre gleichzeitig der nachhaltigste Erosionsschutz durch ständige Bodenbedeckung, durch hohe Bodenfeuchte und Feuchteaufnahme-fähigkeit sowie durch die Reduzierung der Bewegungsgeschwindigkeit von Wind und Wasser auf der Bodenoberfläche gewährleistet.
- Windschutzpflanzungen dürfte mithin beim Umpflügen der überweideten und degenerierten Steppe und beim Einsäen neuer Gräser eine zentrale Funktion zufallen.

### Literatur

- BLACK, A. L.: Summer Fallow Conserves Soil Water? In: Montana Farmer – Stockman 56 (17), 1969.
- & POWER, J. F.: Effect of Chemical and Mechanical Fallow Methods on Moisture Storage, Wheat Yields and Soil Erodibility. In: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29, 1965, S. 465–468.

- BLANEY, H. F. & CRIDDLE, W. D.: Determining Consumptive Use and Irrigation Requirements. U. S. D. A. Techn. Bull. No. 1275, 1962.
- BENZ, L. C., SANDOVAL, F. M. & WILLIS, W. O.: Soilsalinity Changes with Fallow and a Straw Mulch on Fallow. In: Soil Sci. 104, 1967, S. 63–68.
- CALL, L. E. & SEWELL, M. C.: The Soil Mulch. In: J. Amer. Soc. Agron. 9, 1917, S. 49–61.
- CHEPIL, W. S. & WOODRUFF, N. P.: The Physics of Wind Erosion and its Control. In: NORMAN, A. G. (Hrsg.): Advances in Agronomy (vol. 15). Academic Press, New York, N. Y. 1963, S. 211–302.
- CHRISTIANSEN-WENIGER, F.: Wachsende Gefahr der Bodenvernichtung in der Türkei durch die Entwicklung der Landwirtschaft seit 1923 und ihre Bekämpfung. Athens Proc. of the J. U. C. N. Techn. Meeting, Vol. II, 1959.
- : Gefährdung Anatoliens durch Trockenjahre und Dürrekatastrophen. In: Ztschr. f. ausld. Landwirtschaft 3, 2, 1964, S. 133–147.
- : Ackerbauformen im Mittelmeerraum und Nahen Osten – dargestellt am Beispiel der Türkei. DLG-Verlag Frankfurt/M. 1970.
- COREY, A. T. & KEMPER, W. D.: Conservation of Soil Water by Gravel Mulches. Colorado State Univ. Hydrology Paper No. 30, 1968.
- FORTIERT, S.: Evaporation Losses in Irrigation and Water Requirements of Crops. U. S. D. A. Bull. 177, 1907.
- GAINES, ST. H.: Bibliography on Soil Erosion and Soil and Water Conservation, Washington 1938.
- GREB, B. W., SMIKA, D. E. & BLACK, A. L.: Effect of Straw Mulch Rates on Soil Water Storage during Summer Fallow in the Great Plains. In: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 1967, S. 556–559.
- HAAS, H. J. & WILLIS, W. O.: Moisture Storage and Use by Dryland Spring Wheat Cropping Systems. In: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 1962, S. 506–509.
- HARD, G.: Exzessive Bodenerosion um und nach 1800. In: Erdkunde XXIV, 1970, S. 290–307.
- HEMPEL, L.: Die Tendenzen anthropogen bedingter Reliefumformung in den Ackerländereien Europas. In: Ztschr. f. Geomorph. N. F. 15, 1971, S. 312–329.
- HILLEL, D.: Soil Water Evaporation and Means of minimizing it. Final Techn. Rpt. subm. to the U. S. D. A. under Project No. A 10-SWC-32, 1968.
- , ARIEL, D., ORLOWSKI, S., STRIBBE, E., WOLF, D. & YAVNAI, A.: Soil-Crop-Tillage Interactions in Dryland and Irrigated Farming. The Volcani Inst. of Agr. Res. Tech. Report, Rehovot, Israel 1969.
- JUNG, L.: Bodenabtrag und Ernterückgang. In: Mitt. Inst. f. Raumforschung H. 20, 1953, S. 93–102.
- : Beobachtungen und Untersuchungen über Bodenerosion in Thrazien und West-Anatolien. In: Ztschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 3, 2, 1962, S. 337–355.
- : Böden der Trockengebiete. In: KNAPP, R. (Hrsg.): Weide-Wirtschaft in Trockengebieten. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung Reihe I, 1, 1965, S. 51–59.
- KARL, J. & DANZ, W.: Der Einfluß des Menschen auf die Erosion im Bergland. Schriftenreihe der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde H. 1, München 1969.
- KURON, H.: Bodenerosion und Nährstoffprofil. In: Mitt. Inst. f. Raumforschung H. 20, 1953, S. 73–91.
- MACHANN, R. & SEMMEL, A.: Historische Bodenerosion auf Wüstungsfuren Deutscher Mittelgebirge. In: Geogr. Ztschr. 58. Jg., 1970, S. 250–266.
- OAKES, H. & ARIKÖK, Z.: Allgemeine Bodenkarte der Türkei der Forschungsanstalt für Boden und Düngung, Ankara 1954.
- PEELE, T. C.: Relation of Soil Properties to the Evaporation of Water from Soils. Agron. and Soil Research Series No. 70. South Carolina Agr. Exp. Sta., 1968.
- PFAU, R.: Ein Beitrag zur Frage des Wassergehaltes und der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden im Raume der EWG. In: Meteorologische Rdsch. H. 2, 1966, S. 33–46.
- RICHTER, G.: Quantitative Untersuchungen zur rezenten Auelehmlagerung. Dt. Geographentag 1969, Tagungsber. u. wiss. Abhdl. 1970.
- : Schutz vor Bodenerosion – ein wichtiger Bestandteil des Umweltschutzes. In: Geogr. Rdsch. H. 10, 1973, S. 377–386.
- & SPERLING, W.: Anthropogen bedingte Dellen und Schluchten in der Lößlandschaft – Untersuchungen im nördlichen Odenwald. In: Mz. Naturw. Arch. 5/6, 1967, S. 136–176.
- RODE, A.: Das Wasser im Boden. Berlin 1959.
- SCHMITT, O.: Zur Kartierung und quantitativen Erfassung von Abspülschäden durch Bodenerosion. In: Notizbl. hess. L. A. Bodenforschung 83, 1955, S. 246–256.
- SHAW, C. F.: When the Soil Mulch conserves Moisture. In: J. Amer. Soc. Agron. 21, 1929, S. 1165–1171.
- SIDDOWAY, F. H.: Barriers for Moisture Conservation and Wind Erosion Control in the Great Plains. In: Frontiers in Conservation. Proc., 24th Annual Meeting of Soil Cons. Soc. Am., Aug. 10–13, Colorado State University, Fort Collins, 1969, S. 62–66.
- SINGH, D. & NIJHAWAN, S. D.: A Critical Study of the Effect of Soil Mulch on Conservation of Soil Moisture. In: Indian J. Agr. Sci. 14, 1944, S. 124–134.
- SKIDMORE, E. L., FISHER, P. S. & WOODRUFF, N. P.: Wind Erosion Equation: Computer Solution and Application. In: Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 34, 1970, S. 931–935.
- SPÄTH, H.-J.: Das Konya-Çumra-Projekt – Ein Beitrag zur Problematik des Bewässerungsfeldbaus in winterkalten Trockensteppen. In: Geogr. Zeitschr. 2, 1974, S. 81 bis 105.
- : Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft im Beyşehir-Konya-Becken/Südwestliches Zentralanatolien. In: Wasserwirtschaft 65, 1975, S. 63–68.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R.: The Water Balance. Publ. in Climatology, Vol. VIII, No. 1, Centerton, N. J. 1955.
- : Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Publ. in Climatology, Vol. X, No. 3, Centerton, N. J. 1957.
- USLU, S.: Untersuchungen über den Einfluß des Wald- und Olivenanbaus auf die Bodenzerstörung im Einzugsgebiet

- Edremit-Güre (Türkei). In: Der Tropenlandwirt 71, 1970, S. 137–161.
- WAGNER, G.: Die Bodenabtragung im Wandlungsprozeß der Kulturlandschaft. In: Ber. z. dt. Landeskunde 35, 1965, S. 91–111.
- WALTER, H.: Das Problem der Zentralanatolischen Steppe. In: Die Naturwissenschaften 43, 1956, S. 97–102.
- WEITZENBERG, H.: Praktischer Umweltschutz zur Kontrolle der Bodenerosion in den Landbau- und Weide-Gebieten der tropischen und subtropischen Zonen. In: Der Tropenlandwirt 74, 1973, S. 169–180.
- WENDT, C. W., OLSEN, T. C., HAAS, H. J. & WILLIS, W. O.: Soil Water Evaporation. Great Plains Agricultural Council Publication No. 50, 1970, S. 207–227.

## ERZEUGUNG SYNTHETISCHER ABFLUSSDATEN MIT HILFE EINES ZEIT- UND RAUMVARIANTEN MODELLS IM EINZUGSGEBIET DER LAHN

Mit 6 Textabbildungen, 1 Beilage (V) und 4 Tabellen

ULRICH STREIT

*Summary:* The generation of synthetic runoff data by a time- and space-varying model for the Lahn river catchment.

A time- and space-varying model for generation synthetic monthly streamflow series of any length is constructed based on a sample of drainage basins in the Lahn river catchment. A first order autoregressive model (MARKOV-model) including a seasonal component is used as the time dependent generating scheme. If there exist runoff observation for the drainage basin in question, the parameters of the MARKOV-model (monthly means, standard deviations and correlation coefficients) may be computed from this data. Otherwise a space-varying extension is needed: Approximation of the above mentioned statistics by Fourier-analysis results in Fourier-coefficients which are estimated by a few regression equations using physiographic basin characteristics (e.g. mean annual precipitation, forested area) as input data. Examples are discussed to point out qualifications and limitations of the model and to demonstrate application of synthetic streamflow series to design of water supply reservoirs.

Die wachsenden Ansprüche von Bevölkerung und Wirtschaft hinsichtlich der Versorgung mit Trink- und Brauchwasser stellen die wasserwirtschaftliche Planung vor die Aufgabe der bestmöglichen Nutzung aller vorhandenen Wasservorräte; dabei kommt der Gewinnung von Oberflächenwasser aus den Fließgewässern eine wachsende Bedeutung zu. Eine optimale Nutzungsplanung und Bewirtschaftung der Gewässer ist nur auf der Basis von Meßdaten ausreichender Qualität und Quantität durchführbar; neben Beobachtungswerten für die Wassergüte sind dabei vor allem Abflußdaten zur Erfassung des natürlichen Wasserangebotes der Fließgewässer in zeitlicher und räumlicher Dimension notwendig. Während eine Verbesserung der Datenqualität vor allem durch Verfeinerung der Meß- und Übertragungstechniken erreicht werden kann (dies liegt in der Regel jedoch außerhalb der Möglichkeiten des mit Planungsaufgaben beschäftigten Hydrologen),

erscheint eine Steigerung der Datenquantität zunächst nur durch Vermehrung der Beobachtungsstationen und Ausdehnung des Beobachtungszeitraumes möglich.

Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich für den Fall monatlicher Abflußhöhen mit der Frage, inwieweit derartige Daten mit Hilfe zeit- und raumvarianter Modelle künstlich erzeugt und damit theoretisch beliebig vermehrt werden können. Solch einem Modell wird selbstverständlich nur dann eine praktische Bedeutung zukommen, wenn es in der Lage ist, synthetische Daten so zu generieren, daß sie in wichtigen charakteristischen Eigenschaften mit tatsächlich gemessenen bzw. meßbaren Daten weitgehend übereinstimmen. Diese notwendige Anpassung des Modells an die natürlichen Verhältnisse ist nur auf der Basis existierender Meßwerte möglich, deren Informationsgehalt extrahiert und auf das Modell übertragen werden muß. Künstlich erzeugte Daten solcher Art ergeben damit keinen realen Informationsgewinn gegenüber den zur Modelleichung verwendeten Beobachtungsdaten; sie stellen im engeren Sinne auch keine Prognose des zukünftigen Abflußverhaltens dar. Ihr Nutzen ergibt sich aus der Möglichkeit, Datenreihen beliebiger Länge und Anzahl für einen gegebenen Ort oder Raum zu generieren: Ist nämlich das Verteilungsgesetz der interessierenden Variablen bekannt oder als Hypothese formuliert, so lassen sich lange Datenreihen erzeugen, in deren Verlauf relative Minima und Maxima sowie Extremwertabfolgen erscheinen, die während der meist kurzen Beobachtungsperiode wegen ihrer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit zufällig nicht aufgetreten sind. Damit eignen sich synthetisch erzeugte Daten vorzugsweise zur Simulation natürlicher oder anthropogen gesteuerter Systeme und der sich darin vollziehenden Prozesse. An zwei Beispielen soll dies für den hier untersuchten Fall monatlicher Abflußhöhen in Fließgewässern verdeutlicht werden.