

- ROHDENBURG, H.: Untersuchungen zur pleistozänen Formung am Beispiel der Westabdachung des Göttinger Waldes. Gießen (1965), Gießener Geogr. Schr., H. 7).
- SCHÖNHALS, E., ROHDENBURG, H., SEMMEL, A.: Ergebnisse neuerer Untersuchungen zur Würmlößgliederung in Hessen. In: Eiszeitalter und Gegenwart (1964), S. 199–206.
- SEMMEL, A.: Zur Entstehung von Flächen und Schichtstufen im nördlichen Rhönvorland. In: Dt. Geogr.-Tag Bochum 1965 (1966).
- : Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. Frankfurt/M. (1968), (Frankfurter geogr. H., H. 45).
- : Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden (1972), 148 S.
- SEUFFERT, O.: Klimatische und nicht klimatische Faktoren der Fußflächenentwicklung im Bereich der Gebirgsvorländer und Grabenregionen Sardiniens. In: Geol. Rdsch. (1969), S. 98–109.
- SONNE, V.: Die Ablagerungen des Aquitans in der Umgebung von Mainz. In: Senkenbergiana lethaea 46a (1965), S. 377–388 (Weiler Festschrift).
- : Erläuterungen zur geologischen Karte von Rheinland-Pfalz im Maßstab 1 : 25 000. Blatt Udenheim. Mainz (1972).
- SPÄTH, H.: Morphologie und morphologische Probleme in den Haßbergen und im Coburger Land. Würzburg (1973), (Würzburger Geogr. Arb., H. 39).
- STÄBLEIN, G.: Reliefgenerationen der Vorderpfalz. Würzburg (1968), (Würzburger Geogr. Arb., H. 23).
- STÖHR, W. Th.: Der Mainzer Sand und seine Randgebiete im Wandel der Erd- und Landschaftsgeschichte. In: Mz. naturwiss. Arch. 5/6 (1967), S. 5–12.
- und AGSTEN, K.: Quartärgeologisch-bodenkundliche Untersuchungen im Bereich des Ober-Olmerwaldes bei Mainz. Vorläufige Ergebnisse der Untersuchungen über Ausmaß und Entstehungsgeschichte von Periglazialerscheinungen. In: Mz. naturwiss. Arch. 9 (1970), S. 66–82.
- TUCKERMANN, W.: Die oberrheinische Tiefebene und ihre Randgebiete als Verkehrsland. In: Geogr. Ztschr. 33 (1927), S. 264–274.
- WAGNER, W.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen im Maßstab 1 : 25 000, Blatt Wöllstein-Kreuznach. Darmstadt (1926), 116 S.
- : Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, Blatt Ober-Ingelheim. Darmstadt (1931), 118 S.
- : Geologische Karte von Hessen im Maßstab 1 : 25 000, Blatt Wörrstadt. Darmstadt (1935).
- : Über Pleistozän und Holozän in Rheinhessen (Mainzer Becken). In: Mz. geowiss. Mitt. 1 (1972), S. 192–197.
- und MICHELS, F.: Geologische Karte von Hessen im Maßstab 1 : 25 000, Blatt Bingen-Rüdesheim. Darmstadt (1930).
- WICHE, K.: Fußflächen und ihre Deutung. In: Mitt. Österr. Geogr. Ges. 105 (1963), S. 519–532.
- WIRTHMANN, A.: Zur Geomorphologie der nördlichen Oberpfälzer Senke. Würzburg (1961), (Würzburger Geogr. Arb., H. 9).
- ZAKOSEK, H.: Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal (1962), 46 S. (Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch. 37).

FEUCHTEDEFIZIT UND KUNSTREGENBEDARF AUF NIEDERRHEINISCHEN ÖKOTOPEN

Dargestellt am Beispiel der Aldekerker Platte, des Schaephuysen Stauchmoränenwalls und der angrenzenden Niederterrasse

Mit 4 Abbildungen und 11 Tabellen

HANS-JOACHIM SPÄTH

Summary: Moisture deficit and sprinkling requirement in Lower Rhine regions

The analysis of the natural soil moisture budget and its variability – preferably based on ten-day periods rather than months – for 1959, 1962, 1966, and 1968 shows that the three typical Lower Rhine regions indeed have moisture-deficit periods in spite of the generally humid setting. These periods differ as to their onset, their duration, and the rate of individual sprinkling requirement within any given year. The regulating factor is the soil texture.

The Aldekerk Plain (loam) offers the best growing conditions: in all the years analysed its moisture-deficit period started the latest, had the shortest duration, and its deficit rate was the lowest. On the other hand, the terminal moraine of Schaephuysen (loamy-sand to sand) offers distinctively the least favourable soil-hydrological setting for agronomical activities. The Lower Terrace (loam to clay-loam) ranks in between these two.

As for dry-matter production it is essential to state that the natural actual evapotranspiration rate on the Aldekerk Plain was the highest during all the years. With additional sprinkling the actual evapotranspiration on the Aldekerk Plain and on the Lower Terrace attains to approximately the same annual amount. On the other hand the stimulation of the actual evapotranspiration by sprinkling, and thereby the yield increase, is by far the greatest, and therefore the most economical, on the terminal moraine Schaephuysen. In years with an average precipitation and temperature situation (such as 1968) nutrient transport can be activated only on these sandy soils to a degree (9%) that might justify any investments for sprinkling systems. In years with little precipitation and high temperatures (such as 1959), however, sprinklers could increase the natural actual evapotranspiration on the Aldekerk Plain by about 39%, on the Lower Terrace by 53%, and on the Schaephuysen terminal moraine even by about 71%. Since in reality "average" climatic

settings are found most seldom, and since "wet" years cannot make up for the deficit of "dry" years (any moisture surplus above field capacity at the beginning of the growing season is lost), the introduction of sprinklers to any of these regions could in fact effectively meet future pressure on the local food and/or fodder market.

Die Betrachtung der saisonalen Änderung der Bodenfeuchte steht voll in der u. a. von TROLL (zuletzt 1968) definierten und NEEF (z. B. 1960) praktizierten landschaftsökologischen Forschung. Bei der Typisierung von Standorten, Ökotope oder Ökosystemen kommt seither der Wasserbindung im Boden als wesentlichem Glied im Wirkungsgefüge zwischen Pflanzengesellschaften und ihren Umweltbedingungen gesteigerte Bedeutung zu.

Die vorliegende Arbeit soll jedoch nicht nur den aus der Bodenfeuchtestudie abzuleitenden Beitrag zur Ökotypisierung liefern. Über die Darstellung der Dynamik und Variabilität des natürlichen Bodenfeuchtekreislaufes hinaus wird hier das Ziel verfolgt, im Hinblick auf die planerisch bedeutsame Frage nach Möglichkeiten und Grenzen der landwirtschaftlichen Nutzung repräsentativer Ökotope einen konkreten Beitrag zum Problem der möglichen agrarischen Ertragssteigerung durch Minimierung des Feuchtedefizites zu leisten. In diesem Zusammenhang wird nicht unterstellt, daß das Bodenfeuchtedargebot der einzige produktions-limitierende Faktor sei; die vorgegebene Zielsetzung ist lediglich auf die Tatsache hin ausgerichtet, daß erhöhter Wasserverbrauch (Evapotranspiration) mit erhöhtem Nährstofftransport und damit gesteigerter Trockensubstanzproduktion gleichzusetzen ist.

Zwar mag im Augenblick der praktische Nutzen einer solchen Untersuchung bescheiden sein – Absatz und Vermarktung der Kartoffel-, Getreide- und Zuckerrübenarten sind als Folge gegenwärtiger europäischer Agrarpolitik schon bei heutigen Produktionsleistungen problematisch –, bei einer künftigen Veränderung des Nachfrage/Angebot-Verhältnisses – hervorgerufen durch die allgemein anhaltende Nahrungs- und Futtermittelverknappung – können die Investitionen für Regner jedoch rentabel werden, denn dann wird die gebotene Intensivierung der Raum-Zeit-Ausbeute in erster Linie durch Optimierung des Feuchtedargebotes erreicht werden.

1. Problemstellung

Ziel der Untersuchung ist die Analyse der Bodenwasserhältnisse benachbarter beispielhafter nieder-rheinischer Ökotope (vgl. PAFFEN 1958, Kartenbeilage) innerhalb landwirtschaftlich bedeutsamer Perioden, eine terminliche und quantitative Abgrenzung der künstlichen Bodenfeuchtemodifizierung zum Zwecke der Ertragssteigerung sowie eine kritische Würdigung des standortbedingten Kunstregeneffektes. Hierzu werden dargestellt:

- 1) Bilanz und Variabilität des natürlichen Bodenfeuchtekreislaufes in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur und Bodenart. Hierbei sind die Vorzüge der Dekade als Berechnungsgrundlage gegenüber dem Monat nachzuweisen.
- 2) Beginn, Dauer und Ausmaß der Beregnungsbedürftigkeit. Hierbei ist der Einblick in die vom Temperatur- oder Niederschlagsmittel stark abweichenden Einzeljahre besonders interessant, da er – verglichen mit den Ergebnissen für Durchschnittsjahre – Aufschluß über das durch die Variabilität der Faktoren N und T zu erwartende Ausmaß der Wachstumsbeeinträchtigung durch ein Überangebot an Bodenfeuchte oder durch Dürre gibt.
- 3) Vergleichende Bewertung der Ökotope im Hinblick auf das Ausmaß der Folgen ihrer Witterungsabhängigkeit auf das Bodenfeuchtepotential und im Hinblick auf den Nutzeffekt von Kunstregengaben.

2. Definitionen und Ökotoptypisierung

Feldkapazität (FK): Jener Wassergehalt, der im pF-Bereich von $\sim 1,8$ bis $\sim 2,5$ in den Poren des Bodens gebunden ist (\sim maximale Haftwassermenge).

Permanenter Welkepunkt (PWP): Jene Wassermenge, die noch im Boden vorhanden ist, wenn die Turgeszens der Pflanze nach Wasserzufuhr nicht wiederkehrt. Ist dies bei der Sonnenblume der Fall, dann entspricht das Matrixpotential $pF \sim 4,2$. Auf die u. a. bei HERRMANN (1971, S. 93) zusammengefaßten Ansichten zur Problematik der pflanzen-spezifischen Welkepunkt-Definition sei hier nur hingewiesen.

Nutzbare Speicherfeuchte (nK), also jene Wassermenge, die der Pflanze maximal zur Verfügung steht: $FK - PWP$, bezogen auf eine 10 cm mächtige Bodenschicht. Die meisten landwirtschaftlichen Kulturen beziehen einen sehr hohen Prozentsatz ihres Wasserbedarfs aus den oberen Bodenschichten. Tiefwurzeln werden i. d. R. nur in Trockenperioden ausgebildet (bei Winterroggen und Rüben bis zu 2 m), doch ihr Wachstum geht zweifellos auf Kosten des Ertrages. Die Bildung solcher Tiefwurzeln gilt es deshalb zu verhindern, indem ein ausreichendes Feuchteangebot in der Hauptversorgungszone durch Feldberegnung geschaffen wird. Als Hauptversorgungszone ist jene Bodenschicht zu bezeichnen, aus der die Pflanze ca. 90% des insgesamt verbrauchten Wassers bezieht. Für Getreide, Kartoffeln und Rüben z. B. beträgt diese Schicht etwa 50 cm. Die nutzbare Speicherfeuchte der Hauptversorgungszone wird als Wurzelraumkapazität (WK) bezeichnet.

$WK = nK \times \text{Tiefe der Hauptversorgungszone (T in dm)}$. Zwecks weiterer allgemeiner Einführung in die Thematik „Wasserbindung im Boden“ sei auf SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1973, S. 211ff.) und RODE (1959) verwiesen.

Tabelle 1: Feldkapazität (FK), Welkepunkt (PWP) und nutzbare Speicherfeuchte (nK) in einer 10 cm mächtigen Bodenschicht und Wurzelraumkapazität (WK) bei einer Hauptversorgungszone von 50 cm, angegeben in mm Wasserhöhe

Fieldcapacity (FK), permanent wilting point (PWP), and plant available moisture (nK) in a 10 cm soil layer and root zone capacity (WK) [referring to a depth of the main root zone of 50 cm], given in mm water column

Standort	FK	PWP	nK	WK
I. Aldekerker Platte (Lehm aus Löss)	37	9	28	140
II. Schaephuysen Stauchmoränenwall (lehmiger Sand bis Sand aus Hauptterrassenmaterial)	17	4	13	65
III. Niederterrasse (Lehm bis stark toniger Lehm)	38	17	21	105

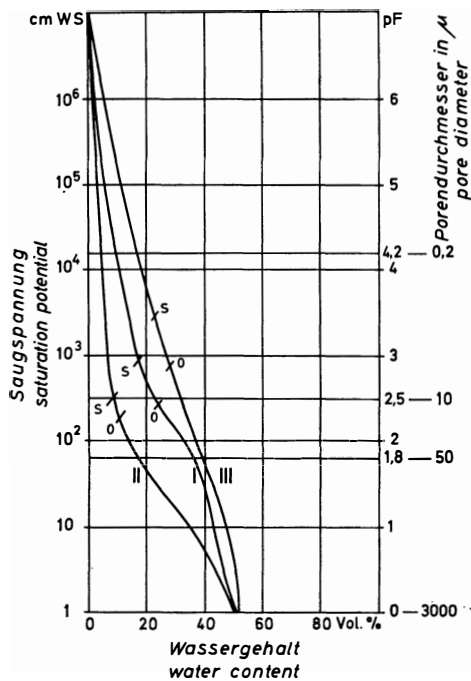


Abb. 1: Beziehung zwischen Saugspannung (in cm Wassersäule und pF-Werten = log. cm WS) und Wassergehalt (in Vol. %) für einen Lehm Boden (I), einen lehmigen Sand- bis Sandboden (II) und einen Lehm- bis stark tonigen Lehm Boden (III). Schädgrenze S und optimales Feuchteniveau O beziehen sich auf die Ausführungen in Kap. 5

Moisture characteristic curves for loam (I), loamy sand to sand (II), and loam to clay loam (III). Critical moisture level (S) and optimal moisture level (O) are explained in chapter 5

Die im Hinblick auf die Problemstellung relevanten Kennzeichen der ausgewählten Ökotope Aldekerker Platte (Standort I), Schaephuysen Stauchmoränenwall (Standort II) und der sie umgebenden Niederterrasse (Standort III) sind in Tab. 1 und Abb. 1 zusammengefaßt. Abb. 1 stellt Durchschnittswerte der durch die Druckmembran-Methode (nach RICHARDS, 1949) und durch Dampfspannungsausgleich mit verschiedenen Salzlösungen ermittelten Beziehung zwischen Wassergehalt und Saugdruck auf den genannten Standorten dar. Alle Ökotope sind auf der topographischen Karte 1:50 000 Blatt L 4504 Moers eingetragen.

3. Natürliche Bodenfeuchtebilanz

a) Zur Methode

Kurz- oder langfristige Bodenfeuchtemessungen liegen für das Untersuchungsgebiet nicht vor. Deshalb werden die Einzelfaktoren der Bodenfeuchte-Haushaltsgleichung

$$N = AE + \Delta St + S \quad (1)$$

wie folgt berechnet:

PE: Potentielle Evapotranspiration nach THORNTHWAITE & MATHER (1955 und 1957); dient zur Ermittlung der Faktoren St und AE.

N: Aus Meßreihen der Station Aldekerk.

St: Bodenwassergehalt (St_I steht für Bodenwassergehalt auf der Aldekerker Platte, St_{II} entsprechend für St auf dem Schaephuysen Stauchwall und St_{III} für St auf der Niederterrasse); in der vorliegenden Berechnung wird neben der Abhängigkeit des FK-Wertes von der örtlichen Bodenart insbesondere die Tatsache berücksichtigt, daß nicht – wie bei UHLIG (1954), SCHULZ (1960) u. a. – der in einer 160 cm tiefen Bodenschicht gegebene FK-Wert selbst für das Pflanzenwachstum entscheidend ist, sondern der WK-Wert. Dieser Gesichtspunkt wird in die bei PFAU (1966) hergeleitete Formel für die Veränderung des Bodenfeuchtegehaltes

$$St = \frac{St_0}{\frac{A}{eWK}} \quad (2)$$

eingbracht, indem WK nicht wie bei PFAU (1966, S. 34, Gleichung 2) als $WK = FK \times T$ sondern als $WK = (FK - PWP) \times T$ definiert und somit der vorgegebenen Themenstellung gerecht wird.

St_0 : Bodenwassergehalt zu Beginn des Berechnungszeitraumes.

A: Verdunstungsanspruch $|N - PE|$; tritt auf, wenn $N < PE$.

WK: s. Tab. 1.

ΔSt : Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden St-Werten bzw. $\Delta St = N - AE - S$.

AE: Aktuelle Evapotranspiration; bei $N > PE$ ist $AE = PE$, bei $N < PE$ ist $AE = N + \Delta St$.

D: Defizit $PE - AE$.

S: Abfluß bzw. Sickerung; erreicht St den WK-Wert, dann ist jeder weitere Niederschlag als ober- oder unterirdischer Abfluß bzw. Sickerwasser unter die Hauptversorgungszone zu veranschlagen.

Diese Bilanzierung hat dann Gültigkeit, wenn kleinregionaler oberirdischer Abfluß und Interzeption, besonders aber kapillarer Nachschub aus tieferen Bodenhorizonten unberücksichtigt bleiben.

Als Ersatz für die Einbeziehung der Jahres- bzw. Dekadenniederschlags- und -temperaturwertestreuung werden hier die Daten jener Jahre zugrunde gelegt, die seit 1950 absolute Jahrestemperatur- und/oder -niederschlagsextreme oder dem langfristigen Mittel nahekommende Werte aufweisen. Das sind

1959 (T 10,9 °C, N 473 mm)
 1962 (T 8,5 °C, N 672 mm)
 1966 (T 10,2 °C, N 962 mm)
 1968 (T 10,0 °C, N 741 mm;
 entspricht ungefähr dem Durchschnittsjahr).

Zum Vergleich die Mittelwerte der Station Essen (für 1901 bis 1930): T 9,4 °C und N 873 mm.

Die Bilanzierung wird auf Dekadenbasis vorgenommen. Dies kommt der agrarklimatologischen Fragestellung sehr entgegen. Phänologische Perioden und die Variabilität von T und N innerhalb eines Monats können somit hinreichend berücksichtigt werden. Zur Erläuterung das folgende Beispiel: Die auf Monatswerte bezogene klimatische Wasserbilanz $N - PE = -25$ mm gilt, wenn sich aus der Monatsmitteltemperatur eine PE von 100 mm errechnet und die Summe der N 75 mm beträgt. Diese Bilanzierung setzt voraus, daß zuerst 75 mm Niederschläge fallen und verdunsten (dabei bleibt der Bodenwassergehalt unverändert), und daß anschließend der restliche Verdunstungsanspruch von 25 mm wirksam wird. St sinkt dann laut Gleichung (2) auf 117 mm ab, wenn die Wasserbindung im Boden zu Beginn der Wirksamkeit des Verdunstungsanspruches den WK-Wert (hier 140 mm) erreicht hat. Die Bilanzen der drei entsprechenden Dekaden aber könnten sich wie folgt darstellen:

1. Dekade	$N_1 - PE_1 = 5$ mm
2. Dekade	$N_2 - PE_2 = 30$ mm
3. Dekade	$N_3 - PE_3 = -60$ mm (Dürreperiode)
Monatsbilanz	$N - PE = -25$ mm

Am Ende der 1. und 2. Dekade wäre damit laut Gleichung (2) $St = 140$ mm = WK; am Ende der 3.

Dekade wäre die Hauptversorgungszone jedoch bis auf 91 mm ausgeschöpft. Zeichnen sich die unmittelbar folgenden Dekaden wiederum durch Verdunstungsansprüche aus, dann können Dürrefolgen an der Pflanze zu beobachten sein, ohne daß dies aus den entsprechenden Monatsbilanzen schlüssig abzuleiten sein muß. Auf Pentaden- oder Tagesbasis würden sich die Ergebnisse dem wirklichen Gang der Bodenfeuchte noch mehr annähern.

b) Die Ergebnisse

Es ist i. d. R. davon auszugehen, daß die Hauptversorgungszone bis spätestens zur 4. Dekade eines jeden Jahres auf Grund der Niederschlagsüberschüsse der vorausgehenden Monate bis zur WK aufgefüllt ist. Die S-Werte der Dekaden 1, 2 und 3 können demnach ganz oder teilweise dem ΔSt -Wert dieser Dekaden zuzuschlagen sein, wenn zu Beginn des Jahres der WK-Wert noch nicht erreicht ist.

Tab. 2, 3, 4 und 5 geben die Bodenfeuchtebilanzen der Standorte I, II und III auf Dekadenbasis wieder. Die Bilanzgleichung (1) hat sowohl als Dekaden- als auch als Jahresbilanz Gültigkeit. Es fällt auf, daß 1959 und 1968 die Hauptversorgungszone rechnerisch bei Standort I bzw. I und III am Jahresende noch nicht aufgefüllt ist; hieraus ist jedoch nicht etwa – wie noch zu zeigen sein wird – auf eine Vorzugsstellung des Standortes II zu schließen. Hier sei nur kurz darauf verwiesen, daß Gang und Ausmaß der Entleerung und Wiederauffüllung der Hauptversorgungszone, Gang des Feuchtedefizites und des Abflusses von besonderem Interesse sind.

Im Hinblick auf die weiterführende Problemstellung kann pauschal zunächst festgestellt werden, daß die Aldekerker Platte aus hydrologischer Sicht die günstigsten Wachstumsbedingungen mit dem kleinsten Feuchtedefizit in allen Jahren bietet, der Schaephuysen Stauchwall hingegen mit deutlichem Unterschied die ungünstigsten Wachstumsbedingungen. Dies wird auch aus den Abb. 2 und 3 sichtbar. Diese Abbildungen stellen den Bodenwasserhaushalt der untersuchten Zeiträume einander gegenüber. Die Monatswerte ergeben sich aus den Dekadenwerten. Der von Jahr zu Jahr stark unterschiedliche Gang aller dargestellten Faktoren macht deutlich, wie begrenzt auswertbar langfristige Mittelwerte dann sind, wenn sie zur Grundlage einer praxisorientierten Untersuchung gemacht werden. Allgemein läßt sich ablesen, daß auch in unserem humiden Klima in der Wachstumsphase Wasserdefizite auftreten, und zwar in den vorgegebenen Jahren ungeachtet der Höhe von N und T. Diese Wasserdefizite sind im folgenden weiterführend zu analysieren: Beginn, Dauer und pflanzenwachstumsrelevantes Ausmaß sind festzulegen und im Hinblick auf die phänologischen Phasen zu bewerten. Somit kann festgestellt werden, ob echte Dürrefolgen zu erwarten sind.

Tabelle 3: Bodenwasserbilanz für 1962 bei 140 mm WK (= St_I), 65 mm WK (= St_{II}) und 105 mm WK (= St_{III})
Soil moisture budget for 1962 (same specification as in Tab. 2)

Dekade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
PE	2	7	5	4	5	0	2	2	7	12	17	17	25	21	21	28	39	31	
N	15	26	20	47	37	0	17	13	23	27	16	8	8	28	32	0	3	5	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	9	17	-	-	28	36	26	
St _I	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	139	130	115	122	133	109	84	70	
ΔSt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-9	-15	7	11	-24	-25	-14	
AE	2	7	5	4	5	0	2	2	7	12	17	17	23	21	21	24	28	19	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	11	12	
S	13	19	15	43	32	0	15	11	16	15	0	0	0	0	0	0	0	0	
St _{II}	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	64	56	43	50	61	40	23	15	
ΔSt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-8	-13	7	11	-21	-17	-8	
AE	2	7	5	4	5	0	2	2	7	12	17	16	21	21	21	21	20	13	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	7	19	18	
S	13	19	15	43	32	0	15	11	16	15	0	0	0	0	0	0	0	0	
St _{III}	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	104	96	82	89	100	77	54	42	
ΔSt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-8	-14	7	11	-23	-23	-12	
AE	2	7	5	4	5	0	2	2	7	12	17	16	22	21	21	23	26	17	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	5	13	14	
S	13	19	15	43	32	0	15	11	16	15	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dekade	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Σ
PE	31	36	41	34	35	33	27	21	22	21	14	13	10	3	3	6	4	0	599
N	13	39	22	21	14	21	23	8	8	3	25	18	19	15	9	9	55	25	672
A	18	-	19	13	21	12	4	13	20	18	-	-	-	-	-	-	-	-	
St _I	62	65	57	52	45	41	40	36	31	27	38	43	52	64	70	73	124	140	
ΔSt	-8	3	-8	-5	-7	-4	-1	-4	-5	-4	11	5	9	12	6	3	51	16	0
AE	21	36	30	26	21	25	24	12	13	7	14	13	10	3	3	6	4	0	484
D	10	0	11	8	14	8	3	9	9	14	0	0	0	0	0	0	0	0	115
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	188
St _{II}	11	14	10	8	6	5	5	4	3	2	13	18	27	39	45	48	65	65	
ΔSt	-4	3	-4	-2	-2	-1	0	-1	-1	-1	11	5	9	12	6	3	17	0	0
AE	17	36	26	23	16	22	23	9	9	4	14	13	10	3	3	6	4	0	434
D	14	0	15	11	19	11	4	12	13	17	0	0	0	0	0	0	0	0	165
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	25	238
St _{III}	36	39	33	29	22	20	19	17	14	12	23	28	37	49	55	58	105	105	
ΔSt	-6	3	-6	-4	-7	-2	-1	-2	-3	-2	11	5	9	12	6	3	47	0	0
AE	19	36	28	25	21	23	24	10	11	5	14	13	10	3	3	6	4	0	464
D	12	0	13	9	14	10	3	11	11	16	0	0	0	0	0	0	0	0	135
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25	208

Tabelle 4: Bodenwasserbilanz für 1966 bei 140 mm WK (= St_I), 65 mm WK (= St_{II}) und 105 mm WK (= St_{III})
Soil moisture budget for 1966 (same specification as in Tab. 2)

Dekade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
PE	1	0	5	8	3	8	8	5	7	17	11	21	28	32	28	38	43	31	
N	30	2	19	30	31	14	2	27	48	19	39	8	31	11	24	2	49	49	
A	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	13	-	21	4	38	-	-	
St _I	140	140	140	140	140	140	134	140	140	140	140	128	131	113	111	86	92	110	
ΔSt	0	0	0	0	0	0	-6	6	0	0	0	-12	3	-18	-2	-25	6	18	
AE	1	0	5	8	3	8	8	5	7	17	11	20	28	29	26	27	43	31	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	11	0	0	
S	29	2	14	22	28	6	0	16	41	2	28	0	0	0	0	0	0	0	
St _{II}	65	65	65	65	65	65	59	65	65	65	65	53	56	41	39	22	28	46	
ΔSt	0	0	0	0	0	0	-6	6	0	0	0	-12	3	-15	-2	-17	6	18	
AE	1	0	5	8	3	8	8	5	7	17	11	20	28	26	26	19	43	31	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	2	19	0	0	
S	29	2	14	22	28	6	0	16	41	2	28	0	0	0	0	0	0	0	
St _{III}	105	105	105	105	105	105	99	105	105	105	105	93	96	79	76	53	59	77	
ΔSt	0	0	0	0	0	0	-6	6	0	0	0	-12	3	-17	-3	-23	6	18	
AE	1	0	5	8	3	8	8	5	7	17	11	20	28	28	27	25	43	31	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	1	13	0	0	
S	29	2	14	22	28	6	0	16	41	2	28	0	0	0	0	0	0	0	
Dekade	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Σ
PE	37	31	37	30	38	33	26	23	20	22	18	10	14	3	4	3	4	4	651
N	45	18	13	21	10	0	20	48	24	38	7	40	11	47	27	47	68	43	962
A	-	13	24	9	28	33	6	-	-	-	11	-	3	-	-	-	-	-	
St _I	118	107	90	84	69	55	53	78	82	98	91	121	118	140	140	140	140	140	
ΔSt	8	-11	-17	-6	-15	-14	-2	25	4	16	-7	30	-3	22	0	0	0	0	0
AE	37	29	30	27	25	14	22	23	20	22	14	10	14	3	4	3	4	4	582
D	0	2	7	3	13	19	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	69
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	23	44	64	39	380
St _{II}	54	44	30	26	17	10	9	34	38	54	46	65	62	65	65	65	65	65	
ΔSt	8	-10	-14	-4	-9	-7	-1	25	4	16	-8	19	-3	3	0	0	0	0	0
AE	37	28	27	25	19	7	21	23	20	22	15	10	14	3	4	3	4	4	552
D	0	3	10	5	19	26	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	99
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	41	23	44	64	39	410
St _{III}	85	75	60	55	42	31	29	54	58	74	67	97	94	105	105	105	105	105	
ΔSt	8	-10	-15	-5	-13	-11	-2	25	4	16	-7	30	-3	11	0	0	0	0	0
AE	37	28	28	26	23	11	22	23	20	22	14	10	14	3	4	3	4	4	571
D	0	3	9	4	15	22	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	80
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	23	44	64	39	391

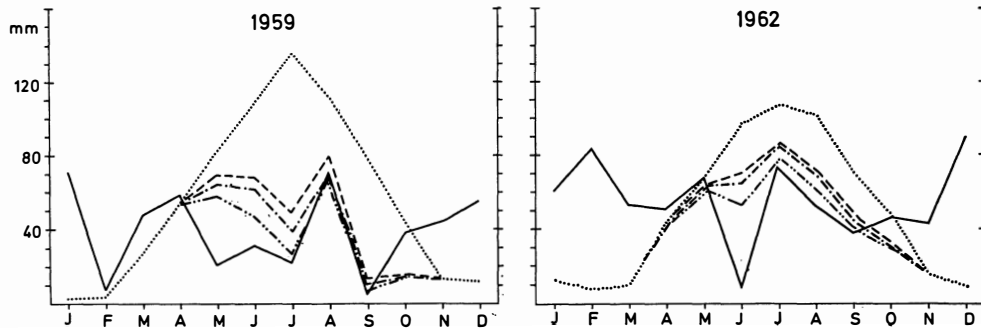


Abb. 2: Bodenwasserhaushalt für 1959 und 1962

(— Niederschlag; pot. Evapotranspiration; — akt. Evapotranspiration bei WK = 140 mm; — · — · akt. Evapotranspiration bei WK = 105 mm; — · · — · akt. Evapotranspiration bei WK = 65 mm)

Soil moisture budget for 1959 and 1962

(— precipitation; pot. evapotranspiration; — act evapotranspiration at WK (= plant available moisture in the main root zone = root zone capacity) = 140 mm; — · — · act. evapotranspiration at WK = 105 mm; — · · — · act. evapotranspiration at WK = 65 mm)

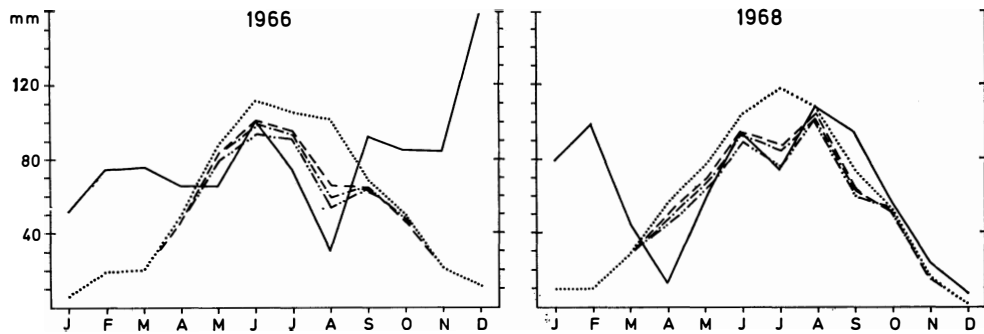


Abb. 3: Bodenwasserhaushalt für 1966 und 1968 (zur Erläuterung s. Abb. 2)

Soil moisture budget for 1966 and 1968 (for explanation see Abb. 2)

4. Die Beregnungsbedürftigkeit

Es ist davon auszugehen, daß bei einem Bodenwassergehalt (St)

- eine Beeinträchtigung des Wachstums infolge Luftmangels eintritt, wenn $St > 80\%$ WK ist,
- optimale Lebensbedingungen bei $40\% WK < St < 60\% WK$ gegeben sind und
- erste ertragsmindernde Schäden (Dürreeffekte) bei $St < 30\% WK$ (Schadgrenze) auftreten (CZERAZKI & KORTE, 1959).

50% WK als optimaler Versorgungsgrad ist demnach in humiden Zonen jenes Feuchteniveau, welches durch Feldberegnung (künftig KN genannt) anzustreben ist. Damit kann der Boden auch unerwarteten natürlichen Niederschlag noch nach einer KN-Gabe aufnehmen.

Die Berechnung der Termine und des Ausmaßes der KN-Gaben wird unter der Annahme durchgeführt, daß a) die Vegetationsperiode in allen Jahren von

der 13. bis zur Mitte der 26. Dekade andauert und b) der je nach Wachstumsphase mögliche bzw. optimale Wasserverbrauch dem nach THORNTHWAITE & MATHER (1955 und 1957) errechneten PE-Wert der betreffenden Dekade entspricht.

In Tab. 6 sind alle Ergebnisse der auf diese Gesichtspunkte ausgerichteten Auswertung der Tab. 2 bis 5 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß z. B. die Aldekerker Platte (St_I) im Hinblick auf Dürreerscheinungen in allen Jahren die günstigste Feuchtebilanz aufweist, wengleich auch hier die Schadgrenze unterschritten wird. Der Schaephuysen Stauchwall (St_{II}) hingegen liegt in allen Jahren am längsten, 1968 sogar alleine unter der Schadgrenze. Eine ähnliche Vorzugsstellung nimmt der Standort I im Hinblick auf den Termin und die Dauer der Beregnungsbedürftigkeit ein. Der optimale Versorgungsgrad von 50% WK ist hier innerhalb der Vegetationsperiode in allen Jahren am längsten gegeben.

Bewertet man die Ökotope nicht allein nach den in Tab. 2 bis 6 zusammengefaßten Daten, sondern auch auf Grund der in Abb. 1 dargestellten Kenn-

Tabelle 6: Luftmangelzeiten und Andauer der Beregnungsbedürftigkeit und der Dürrezeit an den drei Standorten, bezogen auf die Vegetationsperiode von der 13. Dekade bis zur Mitte der 26. Dekade (in Klammer Dekaden außerhalb der Vegetationsperiode)

Periods of air deficit and duration of sprinkling requirement and of drought at the three locations within the local growing season from the 13th ten-day period up to the middle of the 26th ten-day period (ten-day periods before and after the growing season in brackets)

Standort und Jahr	Wachstumsbeeinträchtigung infolge Luftmangels	Beregnungsbedürftigkeit Beginn	Schadgrenze unterschritten		Letzte Dekade mit Beregnungsbedarf
			Beginn	Ende	
I					
1959	13. Dek.	17. Dek.	19. Dek.	(30. Dek.)	(33. Dek.)
1962	13., 14. u. 15. Dek.	19. Dek.	24. Dek.	(29. Dek.)	(32. Dek.)
1966	13., 14. u. 19. Dek.	23. Dek.	/	/	25. Dek.
1968	/	20. Dek.	/	/	26. Dek.
II					
1959	/	15. Dek.	16. Dek.	(29. Dek.)	(30. Dek.)
1962	15. Dek.	17. Dek.	18. Dek.	(30. Dek.)	(31. Dek.)
1966	13. u. 19. Dek.	16. Dek. (mit Unterbrechung in der 18., 19. u. 20. Dek.)	23. Dek.	25. Dek.	25. Dek.
1968	/	15. Dek. (mit Unterbrechung in der 18. Dek.)	17. Dek. (kurzfristig); 19. Dek. (mit Unterbrechung in der 22. Dek.)	26. Dek.	26. Dek.
III					
1959	/	16. Dek.	18. Dek.	(30. Dek.)	(31. Dek.)
1962	14. u. 15. Dek.	18. Dek.	22. Dek.	(30. Dek.)	(32. Dek.)
1966	13. u. 19. Dek.	23. Dek.	24. Dek.	25. Dek.	25. Dek.
1968	/	16. Dek. (mit Unterbrechung in der 18. Dek.)	/	/	26. Dek.

größen des Bodenwasserhaushaltes, dann entwickelt sich ein anderes bzw. ein noch weiter differenziertes Bild im Hinblick auf die Verfügbarkeit der optimalen 50% WK: Die Erhöhung des Saugdruckes bedingt eine Verminderung der Transpiration (hierzu u. a. RIJTEMA, 1959; WALTER, 1960; SLAYTER, 1964; MICHLER & HERRMANN, 1968). Deshalb sind die 20% WK, die zwischen der Schadgrenze (30% WK, in Abb. 1 mit S gekennzeichnet) und dem durch KN anzustrebenden optimalen Feuchteniveau (in Abb. 1 mit O gekennzeichnet) liegen, auf dem Stauchwall (II) leichter pflanzenverfügbar als auf der Aldekerker Platte (I) oder gar auf der Niederterrasse (III). Das gleiche trifft auch für das jenseits der Schadgrenze (S) gebundene Wasser zu, da im Bereich der angesprochenen Grenzwerte S und O bei Standort II der Anteil der leichter dränenden Poren größer ist als bei Standort I oder gar Standort III. Diese Tatsache ist besonders in der Praxis einer bewässerungslosen Landwirtschaft von größter Bedeutung, denn hierdurch wird

die durch die numerische Häufigkeit der Krisenzeiten gegebene Benachteiligung des Standortes II (s. Tab. 6) gemindert bzw. äußert sie sich in den entsprechenden niederen Saugdruckbereichen kurzfristig als Vorzug.

Hier soll nochmals an einem Beispiel auf die Bedeutung der Dekade als Berechnungsbasis hingewiesen werden. 1959 wird auf Dekadenbasis das Versorgungsoptimum von 32,5 mm (= 50% WK) für den St_{II} ab 15. Dekade unterschritten, der KN-Bedarf kann somit festgelegt werden. Bei einer Berechnung auf der Basis von Monatsmittelwerten würde sich jedoch für den Mai kein KN-Bedarf abzeichnen; ebensowenig würde sich auf dieser Grundlage im August 1966 für den St_{III} eine Dürrefährdung für die 24. Dekade ergeben. Diese Diskrepanz läßt sich sehr häufig durch die ganze Bilanz hindurch feststellen.

Es wird deutlich, daß sich im Rahmen der hier gewählten Zielsetzung und der daraus resultierenden besonderen Berücksichtigung a) der kleinregionalen Differenzierung bzgl. der Bodenart und b) der Bedeu-

Tabelle 7: Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode für 1959 bei 140 mm WK (= St_I), 65 mm WK (= St_{II}) und 105 mm WK (= St_{III})Soil moisture budget on sprinkled plots during the growing season of 1959 for 140 mm WK (= St_I), for 65 mm WK (= St_{II}), and for 105 mm WK (= St_{III})

Dekade	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
PE	19	24	31	27	35	31	42	45	47	43	33	37	41	30	26	22
N	15	2	18	0	18	1	12	13	1	7	41	27	2	0	0	5
St _I	136	116	106	87	77	62	53	48	40	38	78	73	55	49	47	53
KN	-	-	-	-	-	-	8	17	22	30	32	-	-	15	21	23
ΔSt	-4	-20	-10	-19	-10	-15	-9	-5	-8	-2	40	-5	-18	-6	-2	6
AE	19	22	28	19	28	16	29	35	31	39	33	32	20	21	23	22
D	0	2	3	8	7	15	13	10	16	4	0	5	21	9	3	0
St _{II}	61	43	35	23	21	16	13	11	8	7	41	35	19	15	13	16
KN	-	-	-	-	10	12	17	20	22	25	26	-	-	14	18	20
ΔSt	-4	-18	-8	-12	-2	-5	-3	-2	-3	-1	34	-6	-16	-4	-2	3
AE	19	20	26	12	30	18	32	35	26	33	33	33	18	18	20	22
D	0	4	5	15	5	13	10	10	21	10	0	4	23	12	6	0
St _{III}	101	82	74	57	48	38	33	29	24	22	61	55	38	33	31	36
KN	-	-	-	-	-	5	15	20	24	29	31	-	-	15	20	22
ΔSt	-4	-19	-8	-17	-9	-10	-5	-4	-5	-2	39	-6	-17	-5	-2	5
AE	19	21	26	17	27	16	32	37	30	38	33	33	19	20	22	22
D	0	3	5	10	8	15	10	8	17	5	0	4	22	10	4	0

Tabelle 8: Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode für 1962 bei 140 mm WK (= St_I), 65 mm WK (= St_{II}) und 105 mm WK (= St_{III})

Soil moisture budget on sprinkled plots during the growing season of 1962 (same specification as in Tab. 7)

Dekade	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
PE	17	25	21	21	28	39	31	31	36	41	34	35	33	27	21	22
N	8	8	28	32	0	3	5	13	39	22	21	14	21	23	8	8
St _I	130	115	122	133	109	84	70	62	73	64	61	56	58	66	62	59
KN	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	6	9	14	12	4	8
ΔSt	-9	-15	7	11	-24	-25	-14	-8	11	-9	-3	-5	2	8	-4	-3
AE	17	23	21	21	24	28	19	21	36	31	30	28	33	27	16	19
D	0	2	0	0	4	11	12	10	0	10	4	7	0	0	5	3
St _{II}	56	43	50	61	40	23	18	17	36	27	24	20	21	29	25	23
KN	-	-	-	-	-	-	10	15	16	-	6	9	13	12	4	8
ΔSt	-8	-13	7	11	-21	-17	-5	-1	19	-9	-3	-4	1	8	-4	-2
AE	16	21	21	21	21	20	20	29	36	31	30	27	33	27	16	18
D	1	4	0	0	7	19	11	2	0	10	4	8	0	0	5	4
St _{III}	96	82	89	100	77	54	42	39	56	47	44	39	41	49	45	43
KN	-	-	-	-	-	-	-	11	14	-	6	9	14	12	4	8
ΔSt	-8	-14	7	11	-23	-23	-12	-3	17	-9	-3	-5	2	8	-4	-2
AE	16	22	21	21	23	26	17	27	36	31	30	28	33	27	16	18
D	1	3	0	0	5	13	14	4	0	10	4	7	0	0	5	4

Tabelle 9: Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode für 1966 bei 140 mm WK (= St_I), 65 mm WK (= St_{II}) und 105 mm WK (= St_{III})
Soil moisture budget on sprinkled plots during the growing season of 1966 (same specification as in Tab. 7)

Dekade	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
PE	21	28	32	28	38	43	31	37	31	37	30	38	33	26	23	20
N	8	31	11	24	2	49	49	45	18	13	21	10	0	20	48	24
St _I	128	131	113	111	86	92	110	118	107	90	84	69	55	64	95	99
KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	15	6	-
ΔSt	-12	3	-18	-2	-25	6	18	8	-11	-17	-6	-15	-14	9	31	4
AE	20	28	29	26	27	43	31	37	29	30	27	25	15	26	23	20
D	1	0	3	2	11	0	0	0	2	7	3	13	18	0	0	0
St _{II}	53	56	41	39	22	39	57	65	53	37	32	21	15	27	58	62
KN	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	1	12	18	6	-
ΔSt	-12	3	-15	-2	-17	17	18	8	-12	-16	-5	-11	-6	12	31	4
AE	20	28	26	26	19	43	31	37	30	29	26	22	18	26	23	20
D	1	0	6	2	19	0	0	0	1	8	4	16	15	0	0	0
St _{III}	93	96	79	76	53	59	77	85	75	60	55	42	34	47	78	82
KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	19	6	-
ΔSt	-12	3	-17	-3	-23	6	18	8	-10	-15	-5	-13	-8	13	31	4
AE	20	28	28	27	25	43	31	37	28	28	26	23	19	26	23	20
D	1	0	4	1	13	0	0	0	3	9	4	15	14	0	0	0

Tabelle 10: Bodenwasserbilanz bei Kunstregengaben in der Vegetationsperiode für 1968 bei 140 mm WK (= St_I), 65 mm WK (= St_{II}) und 105 mm WK (= St_{III})
Soil moisture budget on sprinkled plots during the growing season of 1968 (same specification as in Tab. 7)

Dekade	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
PE	25	23	19	35	31	38	36	44	33	41	37	29	42	28	24	21
N	7	30	20	8	14	29	53	7	24	24	44	26	38	13	25	57
St _I	102	109	110	91	79	74	91	70	66	60	77	76	74	66	71	107
KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	10	-	-	-	4	-
ΔSt	-14	7	1	-19	-12	-5	17	-21	-4	-6	17	-1	-2	-8	5	36
AE	21	23	19	27	26	34	36	28	28	34	37	27	40	21	24	21
D	4	0	0	8	5	4	0	16	5	7	0	2	2	7	0	0
St _{II}	33	40	41	27	23	24	50	28	26	22	40	38	36	29	34	70
KN	-	-	-	-	6	10	9	-	5	7	11	-	-	-	4	-
ΔSt	-11	7	1	-14	-4	1	26	-22	-2	-4	18	-2	-2	-7	5	36
AE	18	23	19	22	24	38	36	29	31	35	37	28	40	20	24	21
D	7	0	0	13	7	0	0	15	2	6	0	1	2	8	0	0
St _{III}	69	76	77	60	50	47	70	49	47	42	60	58	56	49	54	90
KN	-	-	-	-	-	3	6	-	4	6	11	-	-	-	4	-
ΔSt	-13	7	1	-14	-10	-3	23	-21	-2	-5	18	-2	-2	-7	5	36
AE	20	23	19	25	24	35	36	28	30	35	37	28	40	20	24	21
D	5	0	0	10	7	3	0	16	3	6	0	1	2	8	0	0

tung der kulturspezifischen Hauptversorgungszone unter Verwendung der Dekade als Berechnungsbasis – im Gegensatz zu den von SCHULZ (1960) für das Niederrheingebiet in Anlehnung an THORNTHWAITE & MATHER (1955) bzw. an UHLIG (1954) erarbeiteten Bodenfeuchte-Einheitsergebnissen und dem daraus abzuleitenden Einheits-KN-Bedarf – ein auf kleinstem Raum und ein zeitlich stark differenziertes Bild der Beregnungsbedürftigkeit im Niederrheingebiet abzeichnet; es ist nicht nur – wie bei SCHULZ (1960) – temperatur- und niederschlagsabhängig. Fragen des Landbaus im Hinblick auf die Wasserversorgung bzw. auf die Möglichkeiten der Produktionsoptimierung werden somit standortgerechter beantwortet.

Das Ausmaß und der Gang des KN-Bedarfes sind für die untersuchten Ökotope I, II und III in Tab. 7, 8, 9 und 10 sowie auf Abb. 4a, b, c und d wiedergegeben. Allgemein setzt die Beregnung dann ein, wenn der Bodenwassergehalt (St) unter 50% WK abgesunken ist. Dies ist z. B. 1959 am Standort I am Ende der 17. Dekade mit $St_I = 62$ mm der Fall. Durch eine KN-Gabe von 8 mm werden zu Beginn der 18. Dekade 50% WK wieder erreicht. Die Beregnung wird solange fortgesetzt, bis am Ende einer Dekade 50% WK gegeben sind. Mit $St_I = 78$ mm ist dies am Ende der 22. Dekade der Fall; die KN-Zufuhr unterbleibt zu Beginn der 23. Dekade.

Die Abb. 4 a–d demonstrieren die graduellen Standortunterschiede ebenso wie ihre essentiellen Gemeinsamkeiten.

Ein Vergleich der Tab. 2 bis 5 und 7 bis 10 zeigt die Erhöhung der AE durch KN-Zufuhr innerhalb der Vegetationsperiode; des weiteren wird die Reduzierung des Defizites (D) bzw. die Verminderung des aus D abzuleitenden Dürreeffektes wiedergegeben.

5. Bewertung der Standorte

Es zeigt sich, daß am Standort I die aktuelle Evapotranspiration ohne künstliche Stimulierung (AE_N) in allen Jahren die absolut höchsten Jahreswerte erreicht (Tab. 11). Bei Zufuhr von Kunstregen entsprechen sich die AE_{N+KN} -Werte an den Standorten I und III, oder sie zeigen nur geringfügige Differenzen. Bemerkenswert ist jedoch, daß 1968 – also in dem Jahr, dessen N- und T-Werte ungefähr mit dem langjährigen Mittel zu vergleichen sind – am Standort II der Wasserverbrauch bei KN-Zufuhr den höchsten Wert erreicht, daß hier also – wie in allen Jahren – vergleichsweise die höchsten Ertragssteigerungen erzielt werden können. Unter dem Gesichtspunkt der Rentabilität erscheint allein am Standort II in Durchschnittsjahren eine Aktivierung des Nährstofftransportes sinnvoll. In niederschlagsarmen Jahren (hier 1959) hingegen kann – wenn nicht wie 1962 auch Minimaltemperaturen herrschen – durch KN-Einsatz die Evapotranspiration am Standort I um 39%, am Standort III um 53% und am Standort II sogar um 71% gesteigert werden. Eine in der Tat nicht uninteressante Möglichkeit, die insofern auch Beachtung verdient, als bei fehlender künstlicher Wasserzufuhr die Erträge dem Feuchtedefizit (D) entsprechend als Dürreeffekt reduziert werden.

Die vergleichende Betrachtung der Vegetationsperioden-Summenwerte wird ergänzt durch die Gegenüberstellung der einzelnen Dekadenwerte (Tab. 7 bis 10). Hier zeigt sich z. B., daß insbesondere in den Dekaden 16 bis 24 aller Jahre der Standort II gleiche oder gar größere AE-Werte bzw. kleinere D-Werte erreicht als die Standorte I und III; dies ist eine direkte Folge der in Kap. 5 erläuterten leichteren

Tabelle 11: Kunstregengaben (KN), aktuelle Evapotranspiration unter natürlichen Bedingungen (AE_N) und bei Kunstregengaben (AE_{N+KN}) und Steigerung der aktuellen Evapotranspiration während der Vegetationsperiode (13. Dekade bis Mitte 26. Dekade)

Sprinkle rates (KN), actual evapotranspiration under natural conditions (AE_N) and on sprinkled plots (AE_{N+KN}), and increase of actual evapotranspiration during the growing season (13th ten-day period up to middle of 26th ten-day period)

Jahr	1959			1962			1966			1968		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
KN in mm	135	155	149	51	83	68	19	45	33	16	50	32
AE_N in mm	263	201	236	325	285	311	380	349	369	388	361	377
AE_{N+KN} in mm	365	344	360	350	345	350	385	373	381	392	394	392
Steigerung der AE in % der AE_N	39	71	53	8	21	13	1	7	3	1	9	4

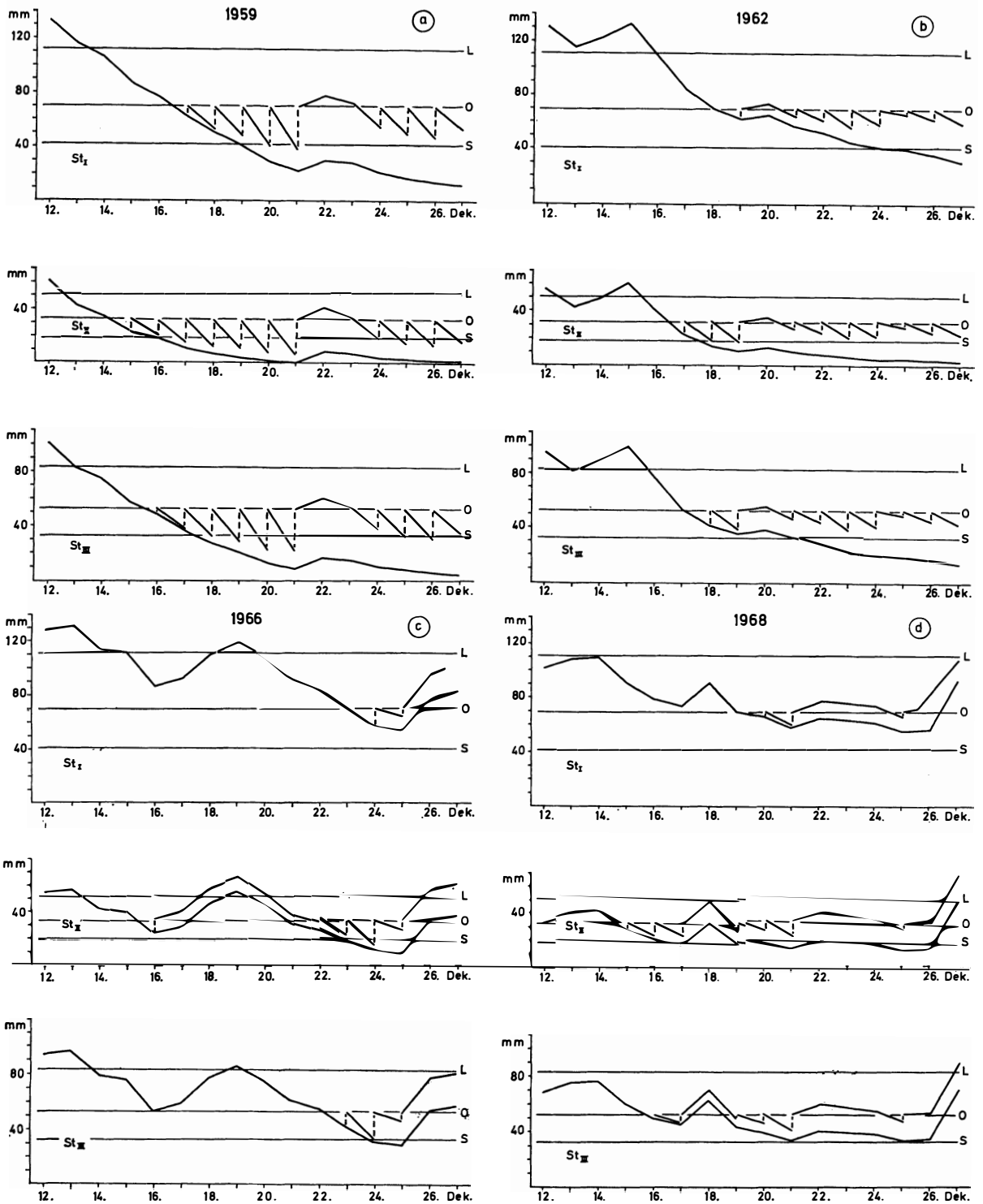


Abb. 4: Gang der Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode ohne und mit Kunstregen (unterbrochene Linie) auf der Aldekerker Platte (St_I), auf dem Schaephuysen Staudmoränenwall (St_{II}) und auf der Niederterrasse (St_{III}). (L = 80% WK mit Wachstumsbeeinträchtigung infolge Luftmangels; O = 50% WK als optimales Feuchteniveau; S = 30% WK als Schadgrenze)

March of soil moisture during the growing season both without and with sprinkling (broken line) on the Plain of Aldekerk (St_I), on the terminal moraine of Schaephuysen (St_{II}), and on the Lower Terrace (St_{III}). (L = 80% WK with growth depression due to air deficit; O = 50% WK as optimal moisture level; S = 30% WK as critical moisture level)

Verfügbarkeit des im Bereich des optimalen Feuchte-niveaus gebundenen Wassers am Standort II. Die in Abb. 2 und 3 und in Kap. 3 dargestellte hydrologische Standortungunst auf dem Stauchwall kann demnach wirkungsvoll und lohnend abgebaut werden.

Eine abschließende Standortbewertung ist nur in der Zusammenschau von Tab. 6 und 11 möglich. Ein Vergleich ohne Berücksichtigung der hierin zugrunde liegenden Kriterien ist im Hinblick auf die gegebene Themenstellung nicht sinnvoll: Die Aldekerker Platte stellt in bezug auf Beständigkeit des natürlichen Feuchtedangebotes mit einer Amplitude über die vorgegebenen Jahre von 125 mm den günstigsten Standort dar. Dennoch ist die Gefährdung in Jahren mit einem N- und T-Gang wie 1959 und 1962 nicht zu übersehen. Abb. 4 a u. b zeigen das Absinken des St-Wertes unter die Schadgrenze. Desgleichen sind auch auf diesem Standort Wachstumsbeeinträchtigungen infolge eines Feuchteüberangebotes nicht auszuschließen. Im Durchschnittsjahr treten aber Schäden infolge Bodenfeuchtemangels oder -luftmangels nicht auf, und Beregnungsbedarf ist erst ab 20. Dekade gegeben. Auf dem Stauchmoränenwall, dem Standort mit der größten Gefährdung bei einer AE_N -Amplitude von 160 mm, wäre ein Abbau der vergleichsweise größten Ertragsunsicherheit durch Kunstregner am wirkungsvollsten, und das Ertragspotential wäre am nachhaltigsten zu steigern. Die Niederterrasse mit einer AE_N -Amplitude von 141 mm nimmt i. d. R. eine Mittelstellung ein. Das Absinken des Bodenfeuchtegehaltes unter den O- oder S-Wert ist hier jedoch mit der vergleichsweise größten Transpirationsreduzierung verbunden. Unter diesem Gesichtspunkt bietet der Standort II wiederum besonders in Krisenzeiten die relativ besten Wachstumsbedingungen.

Literatur

- CZERATZKI, W. & W. KORTE: Wasserentnahme von Getreide und Zuckerrüben aus dem Boden. In: Wasser und Nahrung, H. 2., 1959.
- HERRMANN, R.: Die zeitliche Änderung der Wasserbindung im Boden unter verschiedenen Vegetationsformationen der Höhenstufen eines tropischen Hochgebirges (Sierra Nevada De Sta Marta/Kolumbien). In: Erdkunde XXV, 1971.
- MICHLER, R. & R. HERRMANN: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen der Wasserspannung im Boden und der Geschwindigkeit des Wassertransportes im Stamm von *Citrus aurantium sinensis* Engler unter Bedingungen eines trockenen Tropenklimas. In: Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient 2, 1968.
- NEEF, E.: Der Bodenwasserhaushalt als ökologischer Faktor. In: Ber. z. dt. Landeskunde Bd. 25, 1960.
- PAFFEN, K. H.: Natur- und Kulturlandschaft am deutschen Niederrhein. In: Ber. z. dt. Landeskunde Bd. 20, 1958.
- PFAU, R.: Ein Beitrag zur Frage des Wassergehaltes und der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden im Raume der europäischen Wirtschaftsgemeinschaft. In: Meteorologische Rdsch. H. 2, 1966.
- RICHARDS, L. A.: Methods of Measuring Soil Moisture Tension. In: Soil Sci. 68, 95, 1949.
- RIJTEMA, P. E.: Evapotranspiration in Relation to Suction and Capillary Conductivity. Arid Zone Research, UNESCO, Paris 1959.
- RODE, A.: Das Wasser im Boden. Berlin 1959.
- SCHAEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart 1973.
- SCHULZ, H.: Die Bodenfeuchtigkeit im Niederrheingebiet in den Jahren 1953–1957. In: Deutsche Gewässerkundliche Mitt., H. 2, 1960.
- SLAYTER, R. O.: Hydrology of Arid and Semiarid Regions. In: Ven Te Chow (Hrsg.): Handbook of Applied Hydrology. New York 1964.
- SPÄTH, H.-J.: Bodenerosion und Bodenfeuchtebilanz in Zentralanatolien – ein Beispiel für bewirtschaftete winterkalte Trockensteppen. In: Erdkunde XXIX, 1975.
- THORNTHWAITTE, C. W. & J. R. MATHER: 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.
- TROLL, C.: Landschaftsökologie. In: Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie. Bericht über das internationale Symposium in Stolzenau 1963 der Intern. Vereinigung für Vegetationskunde. Hrsg. v. R. Tüxen. Den Haag 1968.
- UHLIG, S.: Die Wasserreserven unserer Böden im Frühjahr. In: Wasserwirtschaft 44, 1954.
- WALTER, H.: Einführung in die Phytologie, III: Grundlagen der Pflanzenverbreitung, 1. Teil: Standortslehre. Stuttgart 1960.

ÜBER DAS VORKOMMEN VON FROST AUF JAVA/INDONESIEN, INSBESONDERE IN DEN PENGALENGAN HIGHLANDS

Mit 4 Abbildungen und 5 Photos

In memoriam Carl Troll (1899–1975)

MANFRED DOMRÖS

Summary: Concerning the occurrence of frost in Java, Indonesia, with particular reference is the Pengalengan Highlands.

CARL TROLL was the first to draw special attention to the ecologically most important phenomenon of nocturnal radiation or ground frost in "frost holes" of tropical high moun-