

Ergebnisse österreichischer Aktivitäten im Internationalen Hydrologischen Programm (IHP) 1981–1990			Redaktion: Walter Kollmann & Albert Daurer		
	Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.	ISSN 0253-097X ISBN 3-912-300312-84-2	Band 14	S. 71–80	Wien, Februar 1993

Die Abschätzung der Regionalverdunstung in Ostösterreich

Von HARTWIG DOBESCH*)

Mit 8 Abbildungen und 5 Tabellen

Österreich
Klima
Evapotranspiration
Energiehaushalt der Atmosphäre
Bodenwasserhaushalt

Inhalt

Zusammenfassung	71
Abstract	71
1. Einleitung und Problemstellung	71
2. Ergebnisse aus den Verdunstungsberechnungen an der Versuchsfläche Großenzersdorf	72
2.1. Verdunstung von unbewachsenem Boden	72
2.1.1. Unbewachsener, nasser Boden	72
2.1.2. Unbewachsener, trockener Boden	73
2.2. Verdunstung unter Berücksichtigung der Vegetation	73
2.2.1. Gleichgewichts- und aktuelle Verdunstung	73
2.2.2. Modifizierung der HAUDE-Koeffizienten	73
3. Übertragbarkeit der Ergebnisse von Großenzersdorf auf den Untersuchungsraum	74
3.1. Das Verhalten der Klimaelemente im Untersuchungsgebiet	74
3.2. Anpassung der Verdunstung an die im Untersuchungsgebiet mögliche räumliche Oberflächendifferenzierung durch Kopplung mit Oberflächenfaktoren	74
4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	75
5. Abschließende Bemerkungen	80
Literatur	80

Zusammenfassung

Es werden verschiedene Methoden zur Berechnung der potentiellen und aktuellen Verdunstung untersucht und die Ergebnisse mit jenen an einer Lysimeteranlage gewonnenen Verdunstungsdaten verglichen bzw. geeicht, um so passende Ansätze für den Untersuchungsraum zu ermitteln. Weiters ist auch eine Regionalisierung der erhaltenen Ergebnisse mittels geostatistischer Methoden durchgeführt worden.

Estimation of Regional Evaporation in Eastern Austria

Abstract

Different methods for the calculation of the potential and actual evaporation are investigated and compared with lysimeter data to get the most appropriate model for the evaluation of evaporation in the area under consideration. To visualize the results a regionalization by means of geostatistical technics is performed, too.

1. Einleitung und Problemstellung

Die intensive Wasserbewirtschaftung im Marchfeld macht es zur Beurteilung ihrer Auswirkungen notwendig, die Kenntnisse über das zeitliche und räumliche Verhalten der Komponenten der Wasserbilanz zu vertiefen. Dabei kommt der Verdunstung als wichtiges Glied der Wasserbilanz eine besondere Bedeutung zu. Denn als wesentliches Verlustglied der Wasserbilanz ist eine möglichst genaue

Abschätzung der Gebietsverdunstung als notwendige Randbedingung bei der Berechnung, beispielsweise der Grundwasserneubildung, von unumgänglicher Notwendigkeit. Ziel dieser Untersuchung war es demnach, aus den gegebenen Daten brauchbare Ansätze aus der Vielzahl in Verwendung stehender Modelle für eine Berechnung der Verdunstung für das Untersuchungsgebiet zu finden. Dabei war die seit 1983 bestehende Lysimeteranlage auf dem Versuchsgelände der Universität für Bodenkul-

*) Anschrift des Verfassers: HARTWIG DOBESCH, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, A-1190 Wien.

tur in Großenzersdorf von großem Vorteil, da hier eine Auswahl und Eichung der letztlich ausgewählten Verdunstungsansätze möglich war.

Die allgemeinen Definitionen der potentiellen Evaporation (E_p) und der potentiellen Evapotranspiration (ET_p) sind in PENMAN (1956) und bei WMO (1966) angegeben. Darauf aufbauend gibt es zahlreiche Algorithmen auf die in DOBESCH et al. (1989) näher eingegangen wurde.

Während die quantitative Bestimmung von E_p und ET_p noch verhältnismäßig einfach gelingt, ist dies bei der aktuellen Evaporation (E_a) und besonders bei der aktuellen Evapotranspiration (ET_a) infolge der Komplexheit der beteiligten Prozesse nicht mehr der Fall. Es wird daher vereinfacht bei der Bestimmung der ET_p der maximal mögliche Wasserverlust meist alleine auf Grund der atmosphärischen Bedingungen abgeschätzt und der solcherart berechnete Wert zur Ermittlung der ET_a bzw. E_a mittels bestimmter Faktoren den jeweiligen pflanzenspezifischen Bedingungen angepaßt. Die Auswahl, welche Ansätze man benützt, hängt neben der gestellten Aufgabe von der Verfügbarkeit der notwendigen Daten ab.

Folgende Notation ist zur Anwendung gekommen:

E	Verdunstung bzw. vertikaler Wasserdampfstrom (verdunstete Wasserhöhe in mm/t bzw. kg/m ² ·t)
LE	Latente Verdunstungsenthalpie (J/cm ² ·t)
e	Dampfdruck (hPa)
e _s	Sättigungsdampfdruck (= e _s (T _L))
G	Bodenwärmestrom (J/cm ² ·t)
L	Spezifische Verdunstungsenthalpie (= 2483 KJ/kg)
P	Am Boden abgesetzter Niederschlag (mm/t)
s	Slope (= de _s /dT _L)
SB	Strahlungsbilanz (J/cm ² ·t)
Si	Sickerwasser (Infiltration, mm/t)
T	Temperatur (°C)
t	Zeit
u	Windgeschwindigkeit (m/s)
w	volumetrischer Bodenwassergehalt (m ³ /m ³ , w _f bei Feldkapazität)
ΔS _B	Änderung des Wasservorrates im Boden
γ	Psychrometerkonstante (≈ 0,66 hPa/Grad Kelvin)
Indizes:	L ... Luft
	o ... Oberfläche
	s ... Sättigung

2. Ergebnisse aus den Verdunstungsberechnungen an der Versuchsfläche Großenzersdorf

Die hier gezeigten Ergebnisse stützen sich sowohl auf Verdunstungswerte von einer Pflanzendecke als auch von brachliegendem Boden im nassen und im trockenen Zustand, wobei die numerischen Angaben mit absolutem Standardfehler (SE) und Standardfehler (mittlerer quadratischer Fehler MSE) in der Form $X \pm SE$ und MSE angeschlossen sind und KK der lineare Korrelationskoeffizient bedeutet.

Eine wesentliche Hilfe für die Durchführung der Prüfung empirischer Beziehungen waren die Meßwerte aus dem Lysimeterwägesystem in Großenzersdorf. Dabei wurde die vereinfachte Wasserbilanzgleichung in der bekannten Form für grundwasserfernen Standort

$$P = E_{Ly} + Si + \Delta S_B$$

verwendet. Für E_{Ly} wurden je nach Bedarf entweder die Werte aus dem mit Gras bewachsenen (E_{Lyg}) oder jene aus

dem Lysimeter mit unbewachsener Oberfläche (E_{Lye} , Brache) herangezogen.

Die Adaptierung der Windfunktion für den PENMAN-Ansatz ist in DOBESCH et al. (1989) erfolgt unter Verwendung der Verdunstungswerte des grasbewachsenen Lysimeters für nasse Oberfläche ($E_{Pen} \approx E_{Lyg}$). Die Beziehung des „normalen“ PENMAN-Ansatzes

$$E_{Pen} = F \cdot (SB + G) + (1 - F) f(u) (e_s - e) \quad (1)$$

($F = s/(s + \gamma)$) mit dem korrigierten Ansatz (E_{Penk}) nach DOORENBOS et al. (1977) läßt sich demnach wie folgt darstellen: Für

$$E_{Pen} \leq 3,5 \text{ mm/d} \quad \text{mit } E_{Penk} = 0,79 E_{Pen}$$

und für

$$E_{Pen} > 3,5 \text{ mm/d} \quad \text{mit } E_{Penk} = -0,8 + 1,20 E_{Pen}$$

Die Unterschiede zwischen beiden Ansätzen bleiben gering und ihre Nicht-Berücksichtigung führt im vorliegenden Fall zu keinen nennenswerten Unterschieden in jenen Beziehungen in denen der PENMAN-Ansatz Verwendung findet.

2.1. Verdunstung von unbewachsenem Boden

2.1.1. Unbewachsener, nasser Boden

Aus den Berechnungen der oben angegebenen Gleichungen, den Lysimetermeßwerten und den Wannerverdunstungswerten einer GGI 3000-Wanne (E_{Pan}) konnten folgende Beziehungen zwischen den beteiligten Rechen- und Meßgrößen für die Vegetationszeit (1. 4. – 31. 10. 1984) und für nassen, unbewachsenen Boden gefunden werden:

$$E_{Pen} = 0,011 + 1,617 E_{Pan}; \quad KK = 0,85; \quad MSE = 0,79;$$

mit den Lysimeterwerten für Brache (E_{Lye}): trocken (kein Niederschlag an den 3 vorangegangenen Tagen):

$$E_{Pen} = 0,73 + 4,93 E_{Lye}; \quad KK = 0,73; \quad MSE = 1,97;$$

naß (Niederschlag ≥ 2 mm am gleichen Tag bzw. am Vortag):

$$E_{Pen} = 0,018 + 1,276 E_{Lye}; \quad KK = 0,79; \quad MSE = 0,87;$$

$$E_{pe} = 0,634 E_{Lye}; \quad KK = 0,77; \quad MSE = 0,28$$

$$E_{Pan} = 0,015 + 0,862 E_{Lye}; \quad KK = 0,83; \quad MSE = 0,24;$$

Zum Vergleich die Werte des grasbewachsenen Lysimeters (E_{Lyg}):

trocken (kein Niederschlag):

$$E_{Pan} = 0,008 + 0,930 E_{Lyg}; \quad KK = 0,86; \quad MSE = 0,28;$$

$$E_{Pen} = 0,31 + 1,371 E_{Lyg}; \quad KK = 0,96; \quad MSE = 0,29;$$

naß:

$$E_{Pan} = 0,012 + 0,963 E_{Lyg}; \quad KK = 0,80; \quad MSE = 0,34;$$

$$E_{Pen} = -0,001 + 1,303 E_{Lyg}; \quad KK = 0,91; \quad MSE = 0,46;$$

Man erkennt sofort, daß für trockenen Boden die Verdunstung auf etwa ein Viertel jener bei nassem Boden zurückgeht, verglichen mit der nach PENMAN berechneten potentiellen Verdunstung. Der geringe Unterschied zwischen den beiden Lysimetern bei nassen Bedingungen im Vergleich mit den Wannenergebnissen kann auf den Interceptionsverlust beim grasbewachsenen Lysimeter zurückzuführen sein. Die potentielle Verdunstung nach PENMAN beträgt in Großenzersdorf ca. das 1,3-fache der Verdunstung vom nassen, nackten Boden des Lysimeters, die Wannerverdunstung entspricht etwa jener des Lysimeters.

2.1.2. Unbewachsener, trockener Boden

Der Verlauf des Abtrocknungsvorganges von unbewachsenem Boden läßt sich durch die allgemeine Strömungsgleichung für Wasser im Boden bei ungesättigten Bedingungen beschreiben. Durch starke Vereinfachungen findet man (vergl. dazu die in KLAGHOFER (1974) angegebene Literatur) eine Lösung dieser Gleichung für den vertikalen Bodenwasserstrom und damit auch der Verdunstung. Durch Linearisierung läßt sich die Beziehung zwischen der kumulativen Verdunstung des Lysimeters für unbedeckten Boden und der Zeit nach einem Niederschlagsereignis (zum Zeitpunkt $t = t_0$) in der Form

$$E'(t) = a + b \cdot t^c \quad (2)$$

darstellen. Setzt man für $a = 0$ und $c = 0,5$, so ergibt sich die Form des zweiten Fickschen Diffusionsgesetzes (Abnahme der Diffusionsweglänge mit zunehmender Andauer des Prozesses), was als Modell für den hier betrachteten Fall der kumulativen Verdunstung gelten kann. Es ergab sich mit diesem Ansatz aus vier Perioden während der Vegetationszeit von 1984 für $a = -0,2 \text{ mm/d}$, für $b = 3,62 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-0,5}$ und für $c = 0,5$. Somit kann die Verdunstung des Lysimeters zum Zeitpunkt t_n (n Zeiteinheiten nach einem Regenereignis $\geq 1 \text{ mm/d}$ zum Zeitpunkt t_0) wie folgt während der Vegetationszeit angesetzt werden:

$$E_{\text{Lye}}(t_n) = b \cdot t_n^{1/2} - \sum_{i=1}^{n-1} E_{\text{Lye}}(t_i) + E_0' \quad (2a)$$

mit $E_0' = 0,3 \text{ mm/Tag}$, (worin die Konstante a inkludiert ist). Eine Darstellung des „Abtrocknungsprozesses“ für das Lysimeter mit unbewachsener Oberfläche ist in Abbildung 1 für vier Fälle aus dem Jahre 1984 in Großenzers-

dorf gegeben. Die Gl. (2) bzw. (2a) wird in dieser Darstellung sehr gut belegt.

2.2. Verdunstung unter Berücksichtigung der Vegetation

Die Bestimmung der Evapotranspiration einer bestimmten Fläche kann über die potentielle Verdunstung erfolgen, sofern man ein geeignetes Eichverfahren der dabei abzuleitenden empirischen Konstanten hat. Nun sind in DOBESCH et al. (1989) zahlreiche Ansätze dazu diskutiert worden, wobei sich für den hier vorliegenden Fall auf Grund der Ausgangsdaten und der mittels relativer Maßzahlen bestimmbarer Verdunstungsverhältnisse jene im folgenden Abschnitt behandelten Verfahren als am geeignetsten anbieten

2.2.1. Gleichgewichts- und aktuelle Verdunstung

Die ETp nach PENMAN in Gl. (1) gilt für eine „unter genügendem Wassernachschub stehende Oberfläche“ (Definition). Daher wurde zunächst untersucht, welche Ergebnisse mit dem Ansatz für die Gleichgewichtsverdunstung E_{pe} (PRIESTLEY et al. 1972)

$$ETp = \alpha' [s/(s+\gamma)] (SB+G) = \alpha' E_{pe} \quad (3)$$

zu erzielen waren. Es fand sich für feuchte Bodenoberfläche (errechnet aus 1984, 1985 und 1988):

$$E_{pen} \approx 1,413 \cdot E_{pe}, \text{ MSE} = 0,29$$

also für $\alpha' (= E_{penm}/E_{pe}) \approx 1,41$ und für die aktuelle Verdunstung des grasbewachsenen Lysimeters

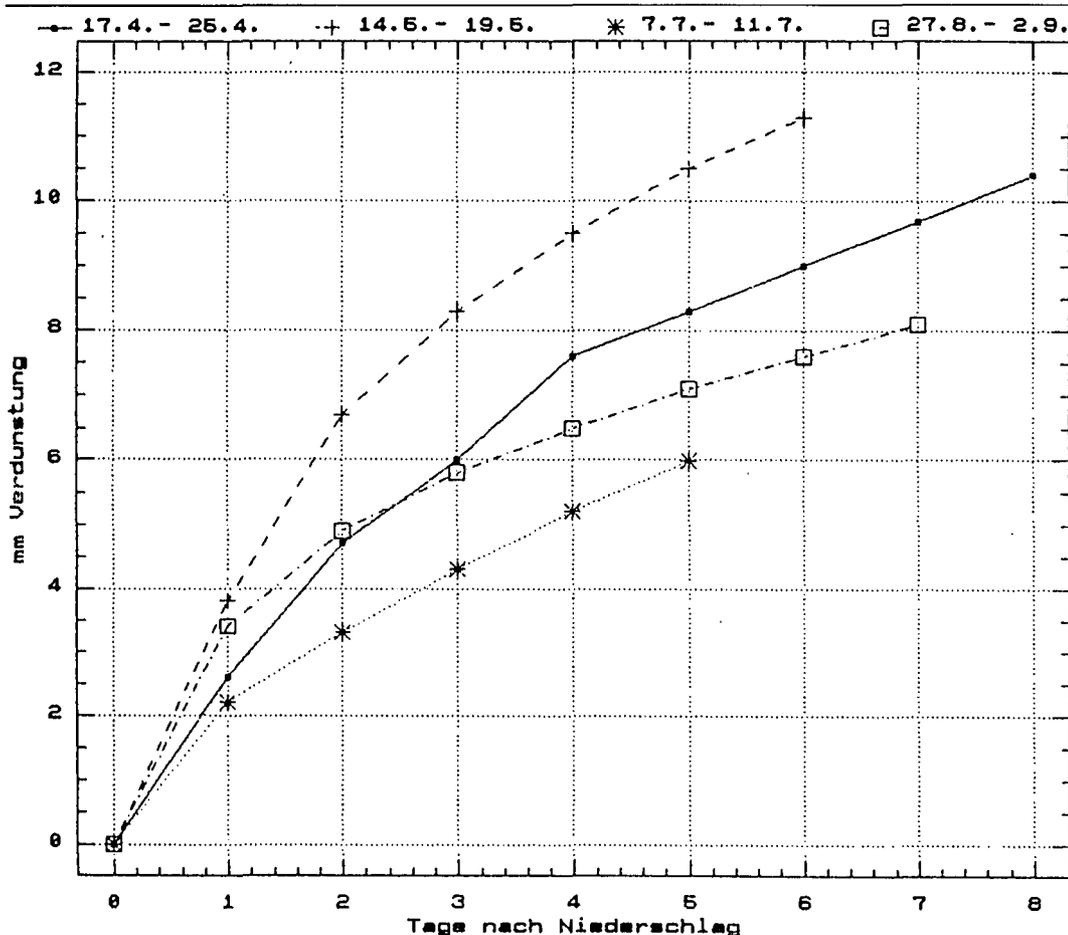


Abb. 1. Die kumulative Verdunstung für vier ausgesuchte Fälle vom vegetationslosen Lysimeter in Großenzersdorf (1984).

$$E_{Lyg} = 1,152 \cdot E_{pe}, \quad MSE = 0,17,$$

also $\alpha'' (= E_{Lyg}/E_{pe}) \approx 1,15$.

Der Zusammenhang mit ET_a ergab sich in der Form $\alpha'' = f(\alpha')$, also

$$\alpha'' = (0,513 \pm 0,020) \cdot \alpha' \quad MSE = 0,023$$

und somit

$$ET_a = \alpha'' E_{pe} \quad (3a)$$

Im Jahresgang lassen sich für α'' folgende Werte in Bezug auf Gras ableiten:

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α''	.43	.47	.44	.66	.72	.69	.73	.67	.61	.58	.53	.50
$\pm SE$:	.09	.07	.08	.08	.07	.07	.06	.09	.05	.06	.14	.18
MSE:	.10	.08	.15	.13	.28	.27	.25	.26	.07	.04	.10	.06

Weiters wurde bei DOBESCH et al. (1989) unter Benutzung des Ansatzes nach WILLIAMS (1978) mit der Bodenfeuchte für die oberste Bodenschichte

$$\alpha'' = 0,699 \pm 0,041 + (2,015 \pm 0,234) \log_{10}(w_0/w_f), \quad (4)$$

MSE = 0,043

oder für die Schichte 0–0,4 m (w_2)

$$\alpha'' = 0,453 \pm 0,035 + (0,705 \pm 0,228) \log_{10}(w_2/w_f), \quad (4a)$$

MSE = 0,044.

genommen.

Gegenüber den Werten von WILLIAMS (1978) lassen sich wohl Unterschiede erkennen, zieht man jedoch die unterschiedlichen äußeren Bedingungen in Betracht, so ist die Übereinstimmung befriedigend. Der hier gefundene α' Wert ist gegenüber den in der Literatur angegebenen ($\alpha' = 1,27$) um ca 12 % höher, ein Effekt, der der „Windfunktion“ in Gl. (1) zuzuschreiben ist. Verwendet man (vergl. Abschnitt 5.1.1. in DOBESCH et al., 1989) angegebene Modifikation in der PENMAN-Gleichung, so verringert sich der α' Wert bei Windgeschwindigkeiten unter 5 m/s um ca 6 % auf $\alpha' = 1,32$. Dieses Verhalten von α' weist darauf hin, daß die Originalwerte für eher trockene Gebiete mit hohem Advektionsanteil abgeleitet wurden und hier nicht ohne Modifizierung anwendbar sind.

2.2.2. Modifizierung der HAUDE-Koeffizienten

Die für den HAUDE Ansatz in der einschlägigen Literatur (z.B. SCHRÖDTER, 1985) angegebenen Werte, wie sie auch in der agrarmeteorologischen Beratung des Deutschen Wetterdienstes Verwendung finden, ergeben etwas zu hohe Verdunstungswerte, was auch durch eine persönliche Mitteilung von Prof. HAECKEL (agrarmeteorologische Forschungsstelle Weihenstephan, BRD) bestätigt wurde. Ein Vergleich dieser Koeffizienten mit jenen, die aus den Lysimeterwerten für Gras abgeleitet wurden, bietet die folgende Aufstellung:

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HAUDE original (nach SCHRÖDTER, 1985):	.22	.22	.22	.29	.29	.28	.26	.25	.23	.22	.22	.22
Modifiziert (bezogen auf kurzes Gras):	.14	.14	.15	.24	.28	.28	.23	.21	.17	.15	.14	.14
$\pm SE$:	.02	.06	.03	.07	.04	.03	.01	.04	.02	.04	.03	.04
MSE:	.06	.20	.16	.33	.27	.34	.10	.45	.11	.15	.10	.04
Vegetationszeit: $0,20 \pm 0,01$; MSE: 0,35												

Dabei muß festgestellt werden, daß es sich um Gras unter natürlichen Verhältnissen handelt (sieht man einmal von der Anpflanzung in einem Lysimeter ab), d.h., daß ab Juni/Juli bis Ende Oktober im Mittel ein Bodenwasserdefizit besteht, welches sich auch deutlich durch die Ausbildung eines Trockenrasens auswirkt (teilweise Verfärbung).

Für das pannonisch beeinflusste Klimagebiet von Österreich können folgende Faktoren gewählt werden:

Monat	4	5	6	7	8	9
Winter- u. Sommergerste	0,30	0,38	0,39	0,35	—	—
Winterweizen	0,26	0,34	0,38	0,37	0,26	—
Zuckerrübe	0,15	0,18	0,30	0,37	0,34	0,26
Mais	0,15	0,19	0,25	0,32	0,29	0,26

Die für die nord- und mitteldeutschen Gebiete abgeleiteten Originalkoeffizienten sind für den Untersuchungsraum nur zwischen April und Juni anwendbar. In den übrigen Monaten, in denen der 14 Uhr Wert des Sättigungsdefizites sicherlich höher liegt als in den eher maritimen Gebieten Westeuropas, müssen die Koeffizienten reduziert werden, wobei die hohen sommerlichen Werte des mittleren quadratischen Fehlers (MSE) bei den errechneten Werten bemerkenswert sind.

3. Übertragbarkeit der Ergebnisse von Großenzersdorf auf den Untersuchungsraum

Die Übertragung von semiempirischen Ansätzen, die in einer bestimmten Klimaregion gewonnen wurden, auf eine andere Region, ist auf Grund der enthaltenen Koeffizienten immer problematisch. Man hat daher zunächst zu prüfen, ob die beteiligten Klimaparameter Unterschiede erkennen lassen. Erst wenn dies in befriedigender Weise geklärt ist, kann ein Export der gewonnenen Ansätze für die komplexeren Klimaparameter, wie eben auch der Verdunstung, in ein anderes Gebiet erfolgen.

3.1. Das Verhalten der Klimaelemente im Untersuchungsgebiet

In DOBESCH et al. (1989) wurde dargelegt, daß das betrachtete Untersuchungsgebiet in klimatischer Hinsicht als recht einheitlich angesehen werden kann. Die einzigen (jedoch auch hier nur wenig ausgeprägten) Unterschiede lassen sich beim Wind und in den Niederschlagsverhältnissen feststellen. Diese beiden Elemente sind aber bekanntlich stark von lokalen Einflüssen geprägt, sodaß sie bei den hier vorliegenden geringen Unterschieden eine Differenzierung in verschiedene Klimaräume nicht rechtfertigen.

3.2. Anpassung der Verdunstung an die im Untersuchungsgebiet mögliche räumliche Oberflächendifferenzierung durch Kopplung mit Oberflächenfaktoren

Die Annahme eines einheitlichen Klimaraumes für das Untersuchungsgebiet rechtfertigt die Übertragbarkeit der in Großenzersdorf gefundenen und in DOBESCH et al. (1989) und hier in den Abschnitten 2.1. und 2.2. angegebenen empirischen Konstanten und Ansätze, wobei auf

Grund der geringen Reliefunterschiede eine Berücksichtigung möglicher Höhenabhängigkeiten dieser Konstanten bzw. auch der Klimaparameter nicht erforderlich war.

Eine Umrechnung (und damit eine Kopplung der atmosphärischen Gegebenheiten mit den jeweils vorherrschenden Oberflächenformen) der ET_p auf Flächen unterschiedlicher Bodenbedeckung kann durch geeignete Wahl des Rauigkeitsparameters für das Windfeld (und damit für die Transportprozesse) und ein Korrekturglied für die Einstrahlung erfolgen. Letzteres kann z.B. auf Grund der Art dieser Bodenbedeckung (x) über die Abweichung des Absorptionsvermögens für die Globalstrahlung mit $\delta a_x = a_{Wiese} - a_x$ über die Albedo a erfolgen (DYCK, 1978), nämlich als

$$ET_{p,x} = ET_{p,Wiese} - \delta a_x \cdot c \cdot GL,$$

Tabelle 1.
Monatssummen der Verdunstung [mm] von Großenzersdorf nach verschiedenen Ansätzen (Bl-Cr = BLANEY-CRIDDLE), berechnet aus Tageswerten (1984-1988).

Jahr	Monat	Bl-Cr	Penman	Wanne GG13000	G1.Gew.	Haude	Lyse	Lyse
1984	1	23.8	32.0	-	-2.4	13.8	9.9	14.2
	2	14.9	34.4	-	7.7	9.4	16.9	15.5
	3	48.2	68.1	-	27.1	28.2	28.7	27.4
	4	62.1	91.7	46.7	46.3	65.1	63.4	47.0
	5	83.3	110.8	57.0	70.3	92.3	82.6	55.6
	6	107.4	146.6	74.5	86.8	120.6	85.2	64.1
	7	109.8	131.4	72.2	80.6	104.4	94.7	53.1
	8	121.2	126.6	82.3	77.1	104.9	84.4	47.9
	9	74.3	68.0	46.0	31.7	45.7	35.4	29.0
	10	62.4	48.2	33.2	18.4	33.8	32.8	21.5
	11	35.1	25.6	-	.2	15.2	14.4	13.9
	12	6.2	8.7	-	-2.1	5.7	12.2	10.3
	Σ	748.7	892.1		441.7	639.1	560.6	399.5
1985	1	2.0	3.5	-	-5.1	4.4	-6.1	.1
	2	14.5	23.9	-	1.6	8.3	3.6	14.9
	3	24.4	37.0	-	20.1	14.3	36.0	40.6
	4	66.6	102.9	52.8	52.8	79.3	52.0	30.7
	5	79.8	120.0	64.1	63.6	92.3	63.0	52.8
	6	81.4	115.4	72.7	82.0	76.5	58.9	62.6
	7	123.0	144.5	95.3	103.8	121.2	77.0	35.7
	8	101.1	117.4	84.1	78.5	87.6	84.7	70.0
	9	95.8	83.5	62.3	51.0	64.2	49.5	30.4
	10	57.3	46.7	43.1	22.4	32.6	20.0	10.6
	11	16.1	17.8	-	1.2	10.9	15.9	22.4
	12	12.8	14.5	-	-1.1	7.2	7.2	5.1
	Σ	674.8	827.1		490.8	598.8	459.7	375.9
1986	1	15.9	18.5	-	-1.3	11.7	6.9	15.8
	2	5.9	6.1	-	-3.2	4.3	4.0	7.5
	3	26.6	35.1	-	17.3	16.4	37.9	36.8
	4	82.7	95.4	-	46.4	95.7	39.4	34.0
	5	105.1	120.7	74.4	72.4	114.3	65.9	45.9
	6	111.1	119.5	85.8	85.4	104.3	89.8	80.2
	7	124.5	128.5	86.2	75.8	124.5	61.7	71.0
	8	128.3	116.2	83.4	67.4	115.0	63.3	77.6
	9	92.6	78.6	59.8	45.8	58.8	57.4	69.9
	10	72.4	48.6	36.6	18.2	40.2	27.5	23.5
	11	23.9	19.0	-	4.6	11.6	11.7	9.0
	12	13.4	18.9	-	(-2.6)	8.4	13.5	12.0
	Σ	802.4	805.1		(426.2)	705.8	479.0	483.2
1987	1	4.7	9.1	-	(-5.8)	5.7	7.2	-4.5
	2	9.9	21.9	-	8.4	8.8	92.0	73.2
	3	20.2	40.0	-	15.0	17.3	71.5	73.7
	4	68.0	87.9	43.6	42.5	74.4	23.0	13.8
	5	75.6	114.5	54.8	71.3	76.9	73.3	90.2
	6	91.4	134.0	69.3	93.7	103.8	85.8	97.9
	7	131.7	165.8	89.7	112.0	128.2	95.3	121.0
	8	103.3	119.1	89.3	72.6	87.0	73.5	85.0
	9	89.3	100.2	60.2	60.2	78.3	47.6	48.7
	10	60.5	50.7	40.5	18.6	34.4	28.0	27.1
	11	26.6	21.8	-	.3	14.1	11.8	14.2
	12	20.1	22.9	-	-2.2	11.5	7.5	12.1
	Σ	711.3	887.9		(486.6)	632.4	616.5	652.4
1988	1	14.8	13.5	-	-7	8.8	10.7	8.7
	2	29.8	34.7	-	10.0	16.6	18.3	19.1
	3	31.8	55.0	-	22.7	19.5	20.0	19.8
	4	64.2	84.9	49.4	46.8	77.5	28.0	26.0
	5	96.8	131.5	72.7	82.4	122.9	44.5	48.8
	6	98.3	128.7	81.4	86.8	114.1	47.7	47.5
	7	142.0	167.9	107.6	101.2	160.9	46.8	46.9
	8	131.4	138.4	92.4	80.1	128.5	56.8	60.7
	9	83.4	73.4	44.3	35.6	59.4	46.2	46.3
	10	63.9	55.5	31.5	21.4	37.5	25.8	24.1
	11	18.6	23.4	-	3.2	13.5	8.4	7.3
	12	26.5	30.2	-	-1	13.9	-4.6	-3.3
	Σ	803.6	937.1		489.2	773.1	348.6	351.9
Mittlere Jahressummen (1984 - 1988)								
		749.6	889.9		(466.9)	669.8	492.9	452.6

mit der Konstanten $c \approx 0,004$ und der Globalstrahlung GL in $J/(cm^2 \cdot d)$.

Zur Kopplung mit dem Boden kann für die aktuelle Verdunstung einer bestimmten Fläche ($ET_{a,x}$) der vorhandene Wasservorrat im Boden in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen und der Vegetationsentwicklung (charakterisierbar durch den Bedeckungsgrad Bg_x) nach GOLF et al. (1988) z.B. dargestellt werden als

$$ET_{a,x} = ET_{p,x} \cdot k_x \cdot w, \tag{4}$$

mit $k_x = 1/(1 - c_3 \cdot Bg_x)$ und $c_3 \approx 0,5$ Gl. (4) ist eine vereinfachte Form des 2-Schichten-Modelles nach PAN et al. (1987). Der Bedeckungsgrad der Fruchtarten ist wiederum abhängig von der phänologischen Entwicklung und überspannt einen Bereich von $0 < Bg \leq 0,9$.

Mit diesen Ansätzen lassen sich Transformationen der z.B. über Gras berechneten Verdunstung auf andere Flächen auch unter Berücksichtigung der Phänophase des Bestandes vornehmen.

4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

In der Tabelle 1 (entnommen aus DOBESCH et al. 1989) sind für Großenzersdorf einige Ergebnisse der Berechnungen (auf der Basis von Tageswerten) nach PENMAN, nach der Gleichgewichtsverdunstung, nach dem modifizierten HAUDE-Ansatz und die Lysimeterwerte sowie die Wannerverdunstung enthalten. Ferner ist auch noch der häufig verwendete Ansatz nach BLANEY-CRIDDLE (hier in der modifizierten Form nach DOORENBOS et al. 1977) nach der Berechnungsformel

$$ET_p = a + b \cdot p (0,457 T_m + 8,128)$$

zusammengestellt, wobei T_m die Mitteltemperatur des betrachteten Zeitraumes und p die Anzahl der Tagesstunden in Prozent der Summe der jährlichen Tagesstunden ausgedrückt. SCHRÖDTER (1985) schlägt für die Konstanten $a = -1,55$ und $b = 0,96$ für mitteleuropäische Klimabedingungen vor. Die Konstanten sind hier ebenfalls mit Vorbehalt zu betrachten. Entsprechend der geringen klimatischen Differenzierung sind keine nennenswerten Unterschiede in den Verdunstungswerten mit anderen Stationen zu finden. So ergab beispielsweise eine Regression der Form

$$E_{pe} = a + b \cdot E_{Ly}$$

Tabelle 2.
Korrelationsmatrix der Gleichgewichtsverdunstung E_{pe} zwischen den verschiedenen Stationen.

	Obers.	Miste.	Hohen.	Lang.	Bruck	Schwe.
Großenzersdorf	.955	.941	.940	.940	.950	.950
Obersiebenbrunn		.974	.973	.956	.973	.970
Mistelbach			.989	.942	.948	.949
Hohenau				.940	.947	.948
Langenlebarn					.942	.943
Bruck/L.						.976

Tabelle 3.
Korrelationsmatrix der Verdunstung nach PENMAN zwischen den verschiedenen Stationen.

	Obers.	Miste.	Hohen.	Lang.	Bruck	Schwe.
Großenzersdorf	.935	.896	.894	.905	.909	.933
Obersiebenbrunn		.934	.934	.915	.952	.962
Mistelbach			.942	.904	.906	.912
Hohenau				.891	.898	.906
Langenlebarn					.901	.925
Bruck/L.						.973

Tabelle 4.
Mittlerer Jahresgang der Verdunstung [mm] mittels verschiedener Ansätze im Zeitraum 1984–1988.
 1 = PENMAN; 2 = Gl. Gew.; 3 = HAUDE.

	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Jun.	Ju1.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
GROSSENZERSDORF													
1	15.3	24.2	47.0	92.6	119.5	128.6	147.4	123.5	80.7	49.9	21.5	19.0	869.8
2	-2.9	4.7	20.5	46.9	76.1	86.9	94.9	75.3	44.9	19.9	1.9	-1.4	467.6
3	8.9	9.5	19.2	78.4	99.7	103.9	127.9	104.6	61.3	35.7	13.1	9.4	671.4
OBERSIEBENBRUNN													
1	11.4	19.0	38.4	80.7	101.0	104.6	129.9	113.0	68.2	44.1	13.7	6.0	730.1
2	-9	4.3	18.0	41.4	65.3	73.8	84.5	71.7	39.4	17.5	.7	-2.6	413.1
3	7.0	8.5	18.5	78.5	98.1	103.6	125.0	107.6	62.0	36.2	11.5	5.5	661.8
HOHENAU													
1	11.5	21.6	43.4	91.0	111.6	114.6	139.4	119.1	75.3	51.1	16.2	11.4	806.3
2	-1.1	4.5	17.2	41.8	63.1	73.7	82.8	69.0	39.0	18.1	.5	-3.0	405.6
3	7.3	9.1	20.0	89.3	111.1	113.0	139.6	117.2	67.2	40.4	13.8	7.5	735.3
MISTELBACH													
1	9.9	18.5	39.6	81.8	103.7	112.2	138.6	121.5	78.3	51.5	15.1	8.4	779.1
2	-1.1	4.4	17.0	41.6	62.6	73.3	82.9	69.1	39.0	18.1	.6	-2.9	404.5
3	6.2	7.5	17.3	75.3	92.0	100.4	125.1	107.5	60.7	34.8	10.4	6.3	643.4
LANGENLEBARN													
1	17.0	21.2	44.6	84.3	104.4	110.0	115.9	106.7	62.1	45.1	16.4	14.0	741.5
2	-6	3.9	17.9	42.1	61.1	69.2	72.5	62.4	30.8	14.5	-.7	-3.7	369.2
3	9.1	9.0	20.3	74.3	96.7	98.7	112.2	99.0	55.4	32.2	12.1	8.3	627.4
SCHWECHAT													
1	19.0	24.7	47.1	95.5	114.2	122.5	146.1	125.7	80.5	54.5	22.8	18.3	871.0
2	.5	5.6	19.8	47.1	69.7	78.2	88.8	72.5	41.4	21.0	2.5	-2.3	444.8
3	8.1	8.5	18.5	73.2	92.8	99.4	117.4	97.0	55.9	33.2	12.1	8.6	624.7
BRUCK/L													
1	13.3	20.0	39.6	84.7	108.4	117.2	145.6	121.9	75.5	54.9	17.6	11.9	810.6
2	.6	5.6	20.2	48.0	70.2	79.1	89.6	72.9	41.7	21.2	2.5	-2.4	449.4
3	8.0	8.8	19.2	81.2	108.1	117.5	152.0	120.8	68.9	41.6	12.8	8.4	747.1
FISCHAMEND *)													
1	10.7	13.7	23.1	68.8	83.7	85.1	107.4	111.1	51.5	45.4	17.1	9.7	627.3
2	.6	5.2	11.8	39.5	58.2	63.9	75.2	72.5	32.2	20.8	2.5	-2.3	380.1
3	5.4	6.2	9.3	56.0	68.6	74.0	97.3	114.2	40.3	30.5	11.1	7.5	529.3

*) Ausfälle

zwischen der Verdunstung des grasbewachsenen Lysimeters in Großenzersdorf und der E_{pe} an den übrigen Stationen für 1984:

	a	±SE	b	±SE	KK
Obersiebenbrunn	-0,091	0,073	0,85	0,032	0,90
Mistelbach	-0,052	0,069	0,815	0,032	0,90
Hohenau	-0,033	0,076	0,815	0,033	0,89
Langenlebar	-0,131	0,078	0,847	0,035	0,90
Schwechat	0,002	0,077	0,774	0,033	0,88
Bruck	-0,013	0,074	0,763	0,033	0,87

Die Korrelationsmatrix der Gleichgewichtsverdunstung E_{pe} ist in Tabelle 2 dargestellt, wobei die Einzelkorrelationen durchwegs deutlich über 0,9 liegen. Ganz ähnliches kann aus Tabelle 3 für den PENMAN Ansatz entnommen werden.

Aus Tabelle 4, die die mittleren Jahresgänge der Verdunstung an den einzelnen Meßstationen nach drei Ansätzen für die Periode 1984 bis 1988 wiedergibt, kann ebenfalls die große Ähnlichkeit der Verdunstungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet ersehen werden.

Die Tabelle 5 enthält die klimatische Wasserbilanz, d.h. $KWB = E - P$ für die Jahre 1984–1988, jeweils berechnet aus den angegebenen Verdunstungsansätzen. Es tritt

klar das Niederschlagsdefizit in den Monaten April bis September hervor, welches generell nach Osten hin zunimmt.

Die Ergebnisse aus den Verdunstungsberechnungen sind mittels „Krige“-Algorithmus (RIPLEY 1981, GAILE et al. 1984), Abbildung auf ein reguläres Gitter und Glättung der Isolinien durch kubische Splines aus den einzelnen Stationswerten in den Abb. 2–9 dargestellt. So ist in Abb. 2 die Verteilung des Jahresniederschlags der Region für den Untersuchungszeitraum 1984 – 1988 enthalten, wobei hier die niederschlagsärmsten Zonen östlich der Linie Großenzersdorf – Mistelbach deutlich zu erkennen sind und Hohenau in der Untersuchungsperiode gegenüber dem 30-jährigen Niederschlagsmittel deutlich höhere Niederschläge aufzuweisen hat. In Abb. 2 und auch in allen folgenden sind die Gebiete westlich von 16°24' östlicher Länge und nördlich von 48°24' bzw. südlich von 48°12' geogr. Breite mit Ausnahme des Tullnerfeldes ausgespart.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die mittleren Jahresverdunstungswerte nach PENMAN und nach HAUDE. Während die potentielle Verdunstung nach PENMAN die höchsten Werte östlich von Wien um Großenzersdorf erreicht, nimmt die aktuelle Verdunstung, berechnet nach dem

Tabelle 5.
Mittlerer Jahrgang der klimatischen Wasserbilanz [mm] für verschiedene Verdunstungsansätze im Zeitraum 1984–1988.
1 = PENMAN; 2 = Gl. Gew.-P; 3 = HAUDE-P.

	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Jun.	Juli.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
GROSSENZERSDORF													
1	-16.9	-19.8	3.8	70.2	58.3	55.7	110.5	55.1	30.8	28.4	-29.7	-21.8	324.6
2	-35.2	-39.3	-22.7	24.5	14.9	13.8	57.7	6.8	-5.1	-1.6	-49.3	-42.2	-77.6
3	-18.3	-29.1	-15.1	61.8	42.1	30.8	107.4	56.1	32.9	30.8	-30.7	-26.1	242.7
OBERSIEBENBRUNN													
1	-22.1	-24.2	3.2	62.4	44.8	34.7	80.3	48.5	24.7	19.7	-36.4	-26.8	208.6
2	-34.5	-38.9	-17.3	23.1	9.1	3.9	34.9	7.2	-4.1	-7.0	-49.4	-35.5	-108.4
3	-22.6	-29.9	-8.2	66.0	45.4	33.7	91.7	63.6	40.3	28.6	-32.1	-24.2	252.3
HOHENAU													
1	-36.4	-39.6	-8.5	44.8	16.2	25.7	75.0	50.3	31.6	34.0	-35.7	-43.5	114.0
2	-35.6	-37.3	-13.7	23.6	-4.1	7.3	34.1	2.1	-15.1	-6.8	-52.0	-51.8	-149.4
3	-23.2	-27.5	-1.6	77.7	48.0	46.6	109.1	72.7	36.7	34.2	-30.9	-37.0	304.8
MISTELBACH													
1	-30.1	-28.4	7.2	61.7	29.3	35.1	72.3	48.3	31.5	28.0	-36.5	-28.9	189.4
2	-41.0	-42.5	-15.5	21.5	-11.7	-3.9	16.5	-4.2	-7.7	-5.5	-51.0	-40.2	-185.2
3	-30.2	-35.1	-7.0	60.8	20.9	23.2	75.0	54.7	35.3	27.4	-35.2	-27.3	162.5
LANGENLEBARN													
1	-13.1	-21.6	3.6	50.1	24.9	21.6	31.2	26.8	6.8	10.9	-34.1	-29.4	77.7
2	-30.7	-38.8	-23.0	8.0	-18.5	-19.2	-12.3	-17.4	-24.5	19.7	-51.3	-47.2	-294.6
3	-15.8	-28.7	-11.2	45.7	20.7	10.3	42.1	38.0	19.7	13.2	-31.5	-30.4	72.1
SCHWECHAT													
1	-20.6	-19.4	2.8	77.3	52.4	61.6	110.3	51.0	35.7	34.5	-23.0	-31.6	331.0
2	-39.1	-38.5	-24.6	28.9	7.8	17.4	53.0	-2.1	-3.5	1.0	-43.3	-52.2	-95.2
3	-26.8	-30.7	-17.2	60.4	34.2	38.5	96.8	40.8	30.8	28.7	-26.7	-36.3	192.5
BRUCK/L													
1	-20.3	-18.8	-1.4	64.3	44.4	52.0	106.3	38.6	30.3	33.7	-31.6	-37.1	260.4
2	-33.0	-33.2	-20.7	27.6	8.2	13.9	50.3	-10.3	-3.5	.1	-46.7	-51.4	-100.8
3	-21.1	-25.1	-12.9	66.8	48.0	52.3	132.5	80.5	48.0	39.8	-29.1	-35.8	324.0
FISCHAMEND													
1	-13.9	-19.4	-9.2	58.1	32.2	35.9	77.7	38.8	24.2	26.1	-21.3	-29.3	200.0
2	-24.0	-27.9	-20.5	28.8	6.8	14.7	45.6	.2	4.9	1.5	-36.0	-41.4	-47.3
3	-16.2	-23.3	-18.6	49.4	19.6	24.8	80.3	63.7	27.2	25.4	-21.0	-27.3	184.0

HAUDE-Ansatz nach Osten hin zu, entsprechend der Zunahme des Sättigungsdefizits.

Die mittlere klimatische Wasserbilanz für den Zeitraum 1984 – 1988 ist mit den PENMAN-Werten stark positiv mit

einem Maximum von über 280 mm östlich von Wien und Werten unter 120 mm im Tullnerfeld (Abb. 5). Bei der HAUDE-Verdunstung steigt das Wasserbilanzdefizit erst östlich der Linie Großenzersdorf – Schwechat über 100 mm

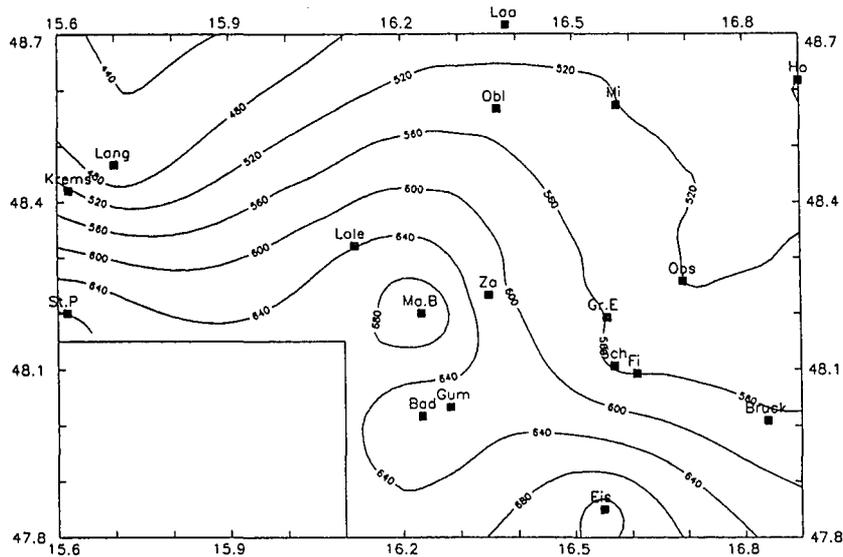


Abb. 2.
Mittlerer Jahresniederschlag [mm] 1959–1988.

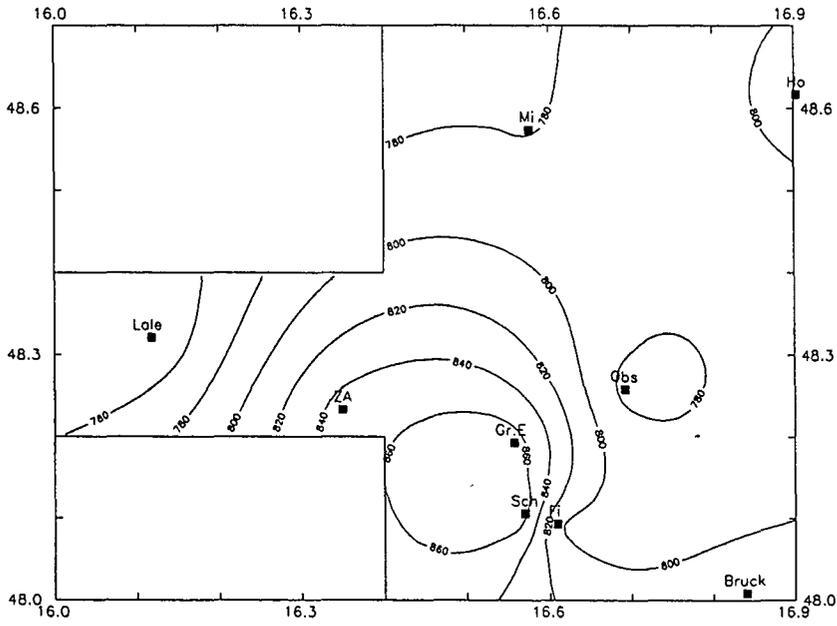


Abb. 3.
Mittlere Jahresverdunstung [mm] nach PENMAN
(1984-1988).

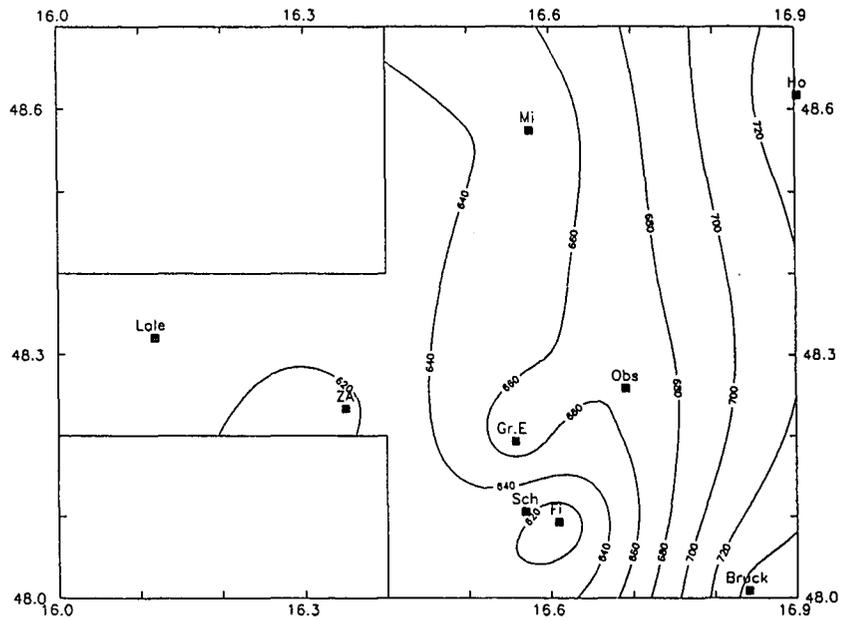


Abb. 4.
Mittlere Jahresverdunstung [mm] nach HAUDE
(1984-1988).

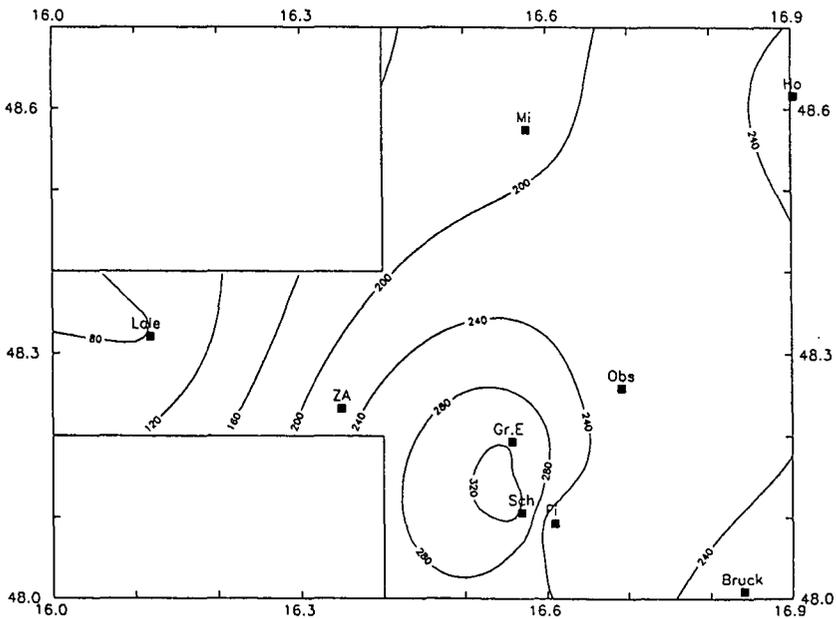


Abb. 5.
Mittlere klimatische Wasserbilanz [mm] für
1984-1988 (Verdunstung nach PENMAN).

Abb. 6.
Mittlere klimatische Wasserbilanz [mm] für 1984–1988 (Verdunstung nach HAUDE).

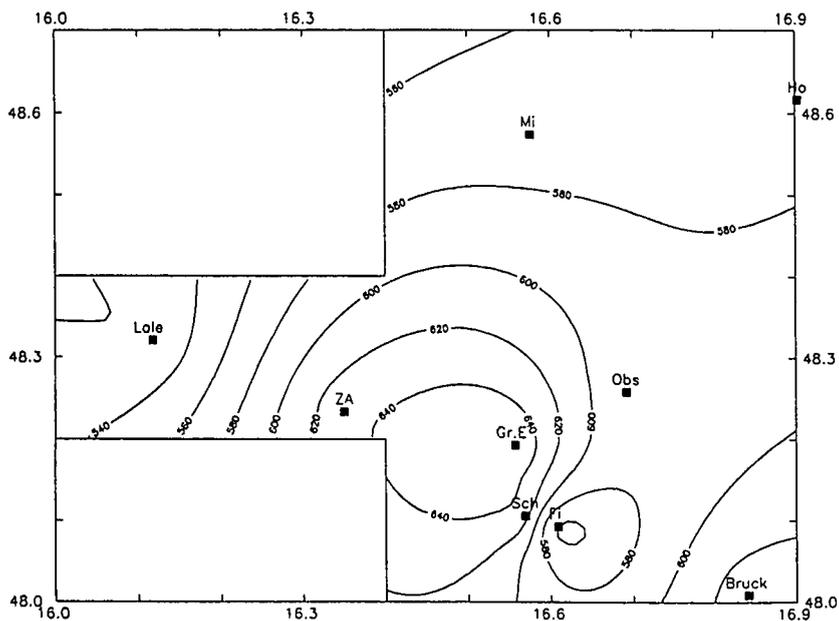
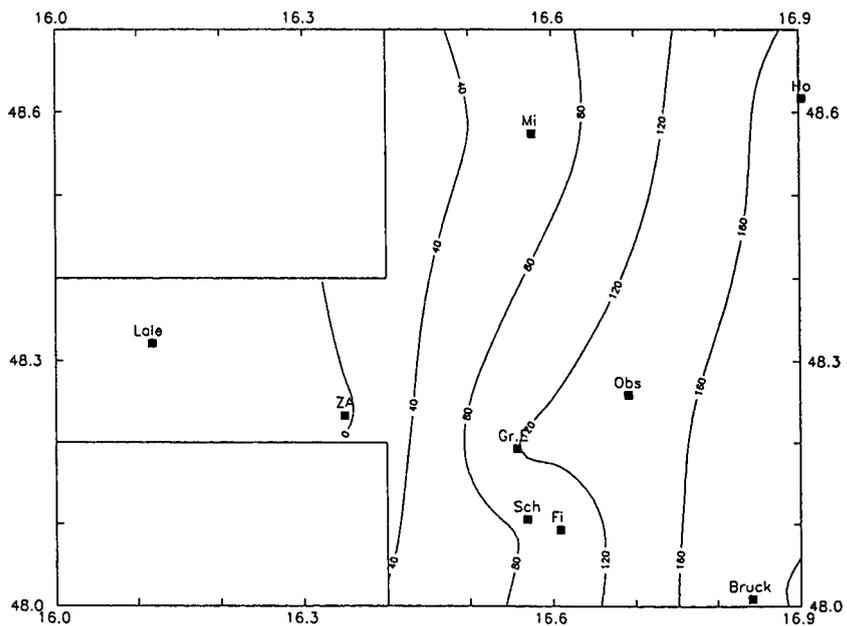


Abb. 7.
Potentielle Verdunstung [mm] nach PRIESTLEY-TAYLOR (1984–1988).

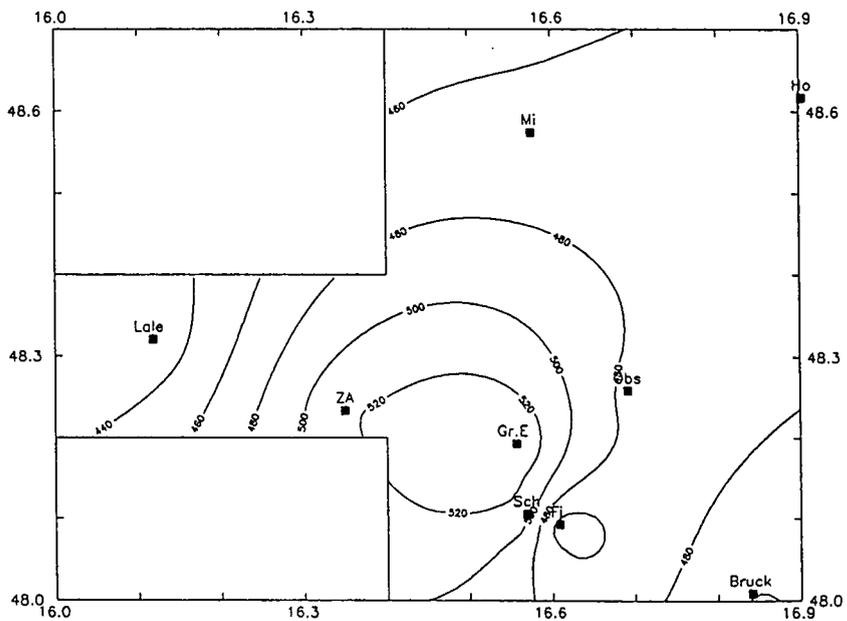


Abb. 8.
Aktuelle Verdunstung [mm] nach PRIESTLEY-TAYLOR (1984–1988).

mit einer Zone von mehr als 140 mm entlang der östlichen Landesgrenze. Im Tullnerfeld liegen die Werte dagegen nur zwischen 0 und 40 mm (Abb. 6).

Die Ergebnisse der Abschätzungen nach Gl. (1) ergeben nach Abbildung 7 für die potentielle Verdunstung Werte von mehr als 640 mm östlich von Wien (vergl. MÜLLER 1971), dagegen Werte von unter 540 mm im Tullnerfeld. Um ca. 100 mm weniger ergibt die Abschätzung für die aktuelle Verdunstung von Gras nach Gl. (3a), wie Abbildung 8 erkennen läßt. Auffallend sind die in bezug auf ihre Umgebung geringeren Werte um die Meßstelle Fischamend, was durch die Lage in der feuchten Flußniederung der Fischa und dem damit zusammenhängenden niedrigeren Sättigungsdefizit erklärbar ist. Nach Südosten hin nehmen dann die Verdunstungswerte allgemein wieder zu, nach Norden hin ab.

5. Abschließende Bemerkungen

Dem Autor ist klar, daß die Regionalisierung der Verdunstung für das Untersuchungsgebiet Marchfeld in dieser Arbeit nur in sehr einfacher Weise durchgeführt wurde, welche eine Differenzierung der lokal auftretenden Oberflächen- und Bodenunterschiede nur in sehr grober, von den atmosphärischen Verhältnissen dominierten Art ermöglichte. Der Grund dafür liegt einerseits in dem vorliegenden klimatologischen Meßdatensätzen geringer räumlicher Dichte, aber auch daran, daß gerasterte Oberflächenparameter, die die große Unterschiedlichkeit in Boden, Pflanzenwuchs und Bodennutzung flächenmäßig zu charakterisieren ermöglichen [vergl. die Ansätze in Gl. (4) und (4a), bzw. Gl. (6) und Gl. (7)], nicht verfügbar waren. Folgerichtig wird sich das Augenmerk für zukünftige Untersuchungen dieser Art auf die Erfassung solcher „geographischer“ Daten konzentrieren. Sind solche Informationen einmal über ein bestimmtes größeres Gebiet erhältlich, dann wird es weniger Schwierigkeiten bereiten, die Verdunstung in entsprechend hoher Auflösung und in besserer Anpassung an die tatsächlichen Gegebenheiten zu berechnen und damit eine genauere Kenntnis der Gebietsverdunstung und damit auch der Wasserbilanz, insbesondere des Bodenwasserhaushaltes zu erlangen.

Literatur

- DOBESCH, H. & NACHTNEBEL, H.P.: Regionalverdunstung und Grundwasserneubildung im Marchfeld – Bericht im Rahmen der „Hydrologie Österreichs“ an die Österreichische Akademie d. Wissenschaften – Proj.Nr. ÖH29 (1989).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O.: Crop water requirements. – FAO Irrig. and Drain. Paper **24**, 1977.
- DYCK, S.: Angewandte Hydrologie Teil II. – Verl. für Bauwesen, Berlin 1978
- GAILE, G.I. & WILLMIOT, C.J.: Spatial Statistics and Models. – Reidel Publ. Comp., Dordrecht 1984.
- GOLF, W. & SCHLEICHER, J.: VERDUN, ein einfaches Programm zur standortbezogenen Berechnung der täglichen Verdunstung im Mittelgebirge. – Z. Meteorol. **38**, 1, 1988.
- HAUDE, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitt. d. Dt. Wetterdienst, Nr.11, 1955.
- KLAGHOFER, E: Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von einer freien Wasseroberfläche, von einem unbewachsenen und einem mit Gras bewachsenen Boden. – Mitteilungen BA f. Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen Nr. **22**, 1974.
- MÜLLER, W.: Agrarmeteorologische Untersuchungen des Wärme- und Wasserhaushaltes im Bereich landwirtschaftlicher Kulturen, II. Komponenten des Wasserhaushaltes. – Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, 1971
- PAN, H.L. & MAHRT, L.: Interaction between soil hydrology and boundary-layer development. – Bound.-Layer Met. **38**, 1987.
- PENMAN, H.L.: Evaporation: An introductory survey. – Neth. J. Agr. Sc. **4**, 1956.
- PRIESTLEY, C.H.B. & TAYLOR, R.J.: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. – Monthl. Weath. Rev. **100**, 1972.
- RIPLEY, B.D.: Spatial Statistics. – Wiley, New York 1981.
- SCHRÖDTER, H.: Verdunstung. Anwenderorientierte Meßverfahren. – Hochschultext, Springer 1985.
- WILLIAMS, R.J.: Equilibrium and actual evapotranspiration from a very dry vegetated surface. – J. Appl. Meteor., **17**, 1978.
- WMO Technical Note No.83 – Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. – WMO, No. **201**, 1966.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Dobesch Hartwig

Artikel/Article: [Die Abschätzung der Regionalverdunstung in Ostösterreich 71-80](#)