

**Die Verdunstung  
in der Bundesrepublik Deutschland  
Zeitraum 1951–1980**

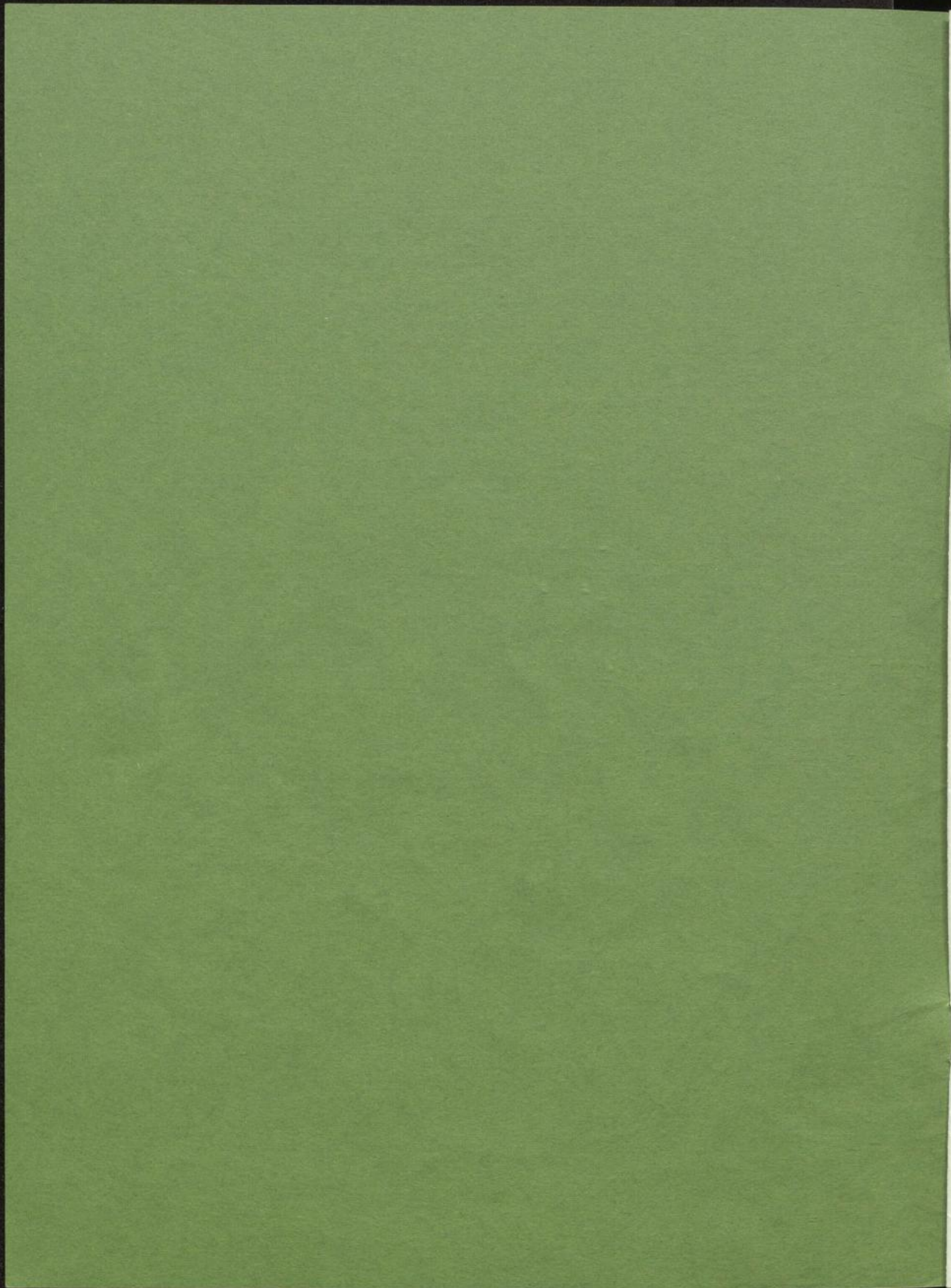
**Teil I**

von  
Helmuth Dommermuth und Walter Trampf

(mit 11 Karten im Maßstab 1:1 Million)

---

Offenbach am Main 1990  
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes



# Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland Zeitraum 1951-1980

## Teil I

von  
**Helmuth Dommermuth und Walter Trampf**

(mit 11 Karten im Maßstab 1:1 Million)

Offenbach am Main 1990  
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Verlag des Deutschen Wetterdienstes  
Offenbach am Main  
Postfach 10 15 10  
D-60508 Offenbach am Main

# Die Verunstaltung in der Bundesrepublik Deutschland 1945-1989

## Teil I

1945

Herausgegeben von Helmut Dommermuth und Walter Trampf

Verlag Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Frankfurt am Main

ISBN 3-88148-256-3

---

Herausgeber und Verlag:  
Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Frankfurter Straße 135, 6050 Offenbach am Main

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

---

Anschrift der Autoren:  
Dipl.-Met. Helmut Dommermuth  
Dipl.-Met. Walter Trampf  
Deutscher Wetterdienst  
Zentralamt  
Frankfurter Straße 135  
6050 Offenbach am Main

	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1	<b>Zielsetzung</b> .....	3
1.1	Durchführung der Arbeiten .....	3
2	<b>Die potentielle Evapotranspiration</b> .....	4
2.1	Vergleich der Verfahren nach PENMAN und HAUDE .....	5
3	<b>Beschreibung der Karten</b> .....	6
3.1	Die Berechnung der Gitterpunktwerte der potentiellen Evapotranspiration .....	6
3.1.1	Darstellung der Gitterpunkthöhen .....	7
3.2	Darstellung der potentiellen Evapotranspiration .....	7
3.2.1	Die potentielle Evapotranspiration über Gras .....	7
3.2.1.1	Mittlere jährliche Verdunstungshöhen .....	7
3.2.1.2	Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Mai bis September .....	7
3.2.2	Die potentielle Evapotranspiration über Zuckerrüben .....	8
3.2.2.1	Mittlere jährliche Verdunstungshöhen .....	8
3.2.2.2	Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes April bis Oktober .....	8
3.2.2.3	Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Juni bis September .....	8
3.2.3	Die potentielle Evapotranspiration über Winterweizen .....	8
3.2.3.1	Mittlere jährliche Verdunstungshöhen .....	9
3.2.3.2	Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes April bis Juni .....	9
3.2.4	Die potentielle Evapotranspiration über Mais .....	9
3.2.4.1	Mittlere jährliche Verdunstungshöhen .....	9
3.2.4.2	Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Mai bis Oktober .....	9
3.2.4.3	Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Juni bis August .....	9
4	<b>Literatur</b> .....	9



## 1 Zielsetzung

Kartographische Darstellungen der Verdunstung werden in einer Reihe von Fachgebieten benötigt. Stellvertretend seien hier Land- und Forstwirtschaft sowie Wasserwirtschaft genannt. Mit den vorliegenden Karten wird der Versuch gemacht, Planungsunterlagen in Gitterpunktdarstellung zu schaffen. Der Umfang dieses Werkes kann und soll entsprechend der Nachfrage erweitert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen die Karten der potentiellen Verdunstung durch Darstellungen der tatsächlichen Verdunstung ergänzt werden.

Die Autoren sind sich dessen bewußt, daß das unten beschriebene und zur Bearbeitung der Karten benutzte Verfahren zur Berechnung der Gitterpunkte durchaus noch verbesserungsfähig ist, sind jedoch der Meinung, daß sich die Ergebnisse bereits jetzt schon für Planungsunterlagen nutzen lassen.

### 1.1 Durchführung der Arbeiten

Der vorliegende Atlas wurde unter der Leitung von K. Heger in der Abteilung Agrarmeteorologie des Zentralamtes des Deutschen Wetterdienstes erarbeitet. Die wissenschaftliche Bearbeitung oblag H. Dommermuth und W. Trampf. Die erforderlichen Programmierarbeiten wurden von G. Rampe und Frau G. Augter ausgeführt, während die technische Abwicklung in den Händen von Frau U. Josche lag.

## 2. Die potentielle Evapotranspiration

Die Unzulänglichkeiten der direkten Messung der Verdunstung führte bereits vor Jahrzehnten zur Entwicklung von Methoden für eine indirekte Bestimmung der Verdunstung aus meteorologi-

Tabelle 1: Jahreszeitlich variierender Koeffizient  $\alpha$  (mm/hPa)

	Gras	Zuckerrüben	Winterweizen	Mais
Januar	0,2025	0,1350*	0,1800	0,1350*
Februar	0,2025	0,1350*	0,1800	0,1350*
März	0,2100	0,1350*	0,1875	0,1350*
April	0,2925	0,1500	0,2625	0,1350*
Mai	0,2925	0,2250	0,3376	0,1800
Juni	0,2775	0,3000	0,3751	0,2550
Juli	0,2625	0,3601	0,3376	0,2625
August	0,2475	0,3151	0,2175	0,2550
September	0,2325	0,2550	0,2100	0,2400
Oktober	0,2175	0,1875	0,1950	0,2100
November	0,2025	0,1350*	0,1800	0,1350*
Dezember	0,2025	0,1350*	0,1800	0,1350*

\* Koeffizient für unbewachsenes Feld

Die Evapotranspiration über einem Pflanzenbestand wird nicht nur durch meteorologische Einflußgrößen bestimmt. Auch die Pflanzenart und das Entwicklungsstadium der Pflanzen spielen eine entscheidende Rolle. So hat zum Beispiel nicht nur ein Zuckerrübenschlagn andere Evapotranspirationseigenschaften als ein Mais- oder Winterweizenschlagn, sondern er verdunstet vor Erreichen des Bestandsschlusses weniger als ein geschlossener Bestand mit einem entsprechend hohen Blattflächenindex. Diesem Umstand wird mit dem jahreszeitlich variierenden und auf Pflanzenart und Pflanzenentwicklung abgestimmten Koeffizienten Rechnung getragen (vgl. Tabelle 1). Während zum Beispiel dieser Faktor bei Winterweizen im Juni den höchsten Wert aufweist, wird das Maximum bei Zuckerrüben erst im Juli erreicht. Für Gras dagegen ist der  $\alpha$ -Wert in den Monaten April und Mai am größten. Für die potentielle Evapotranspiration bedeutet

schon Meßgrößen. Einen umfassenden Überblick über die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung gibt SCHRÖDTER (1985).

Zur Zeit gehören die Formeln nach BLANEY-CRIDDLE (1950, 1962) und PENMAN (1948a, b, 1950, 1956) sowie die von MONTEITH (1976, 1978) weiterentwickelte Formel nach PENMAN wohl zu den international am meisten verbreiteten Verfahren. Vor allem die von BLANEY-CRIDDLE entwickelte Gleichung wird häufig in semiariden und ariden Gebieten benutzt.

In Mitteleuropa werden bevorzugt die Beziehungen nach PENMAN und HAUDE verwendet. Im Gegensatz zu dem Verfahren nach PENMAN, das die potentielle Evaporation, d.h. die Verdunstung über einer Wasserfläche, berechnet, liefert die Gleichung nach HAUDE die potentielle Evapotranspiration, d.h. die Verdunstung über einem Pflanzenbestand bei ausreichender Wasserversorgung der Pflanzen.

Sowohl in der aktuellen agrarmeteorologischen Beratung als auch bei agrarklimatologischen Fragestellungen wird im DEUTSCHEN WETTERDIENST seit Jahren das von HAUDE entwickelte Verfahren erfolgreich eingesetzt. Es besitzt den Vorteil, daß zu seiner Anwendung nur die Messung der beiden Parameter Lufttemperatur und relative Luftfeuchte erforderlich ist:

$$ETP = \alpha \cdot (e_s - e_a) = \alpha \cdot e_s \cdot (1 - f/100) \quad (1)$$

ETP = potentielle Evapotranspiration (mm/d)

$e_s$  = Sättigungsdampfdruck der Luft (hPa)  
(eine Funktion der Lufttemperatur)

$e_a$  = aktueller Dampfdruck der Luft (hPa)

$f$  = relative Luftfeuchte (%)

$\alpha$  = jahreszeitlich variierender Koeffizient  
(mm/hPa) für unterschiedliche Kulturen  
(vgl. Tabelle 1)

dies, daß bei gleichem Sättigungsdefizit in den genannten Monaten die jeweils höchsten Verdunstungsraten erreicht werden.

Die Methode der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration wurde von HAUDE ursprünglich für Grünland entwickelt. Erst später wandte man diese Formel in entsprechend modifizierter Form für andere Kulturen an.

Da das Verfahren nach HAUDE nur die Eingangsdaten Lufttemperatur und Luftfeuchte (gemessen um 14.00 Uhr) voraussetzt, läßt es sich auf die vom klimatologischen Beobachtungsnetz (ca. 480 Stationen im Bundesgebiet) gewonnenen Meßwerte, die keine Angaben über die Windgeschwindigkeit enthalten, anwenden.

Für spezielle Untersuchungen wird zuweilen das Verfahren nach

PENMAN eingesetzt. Allerdings sind hierzu entweder Sondermessungen der Strahlungsbilanz und der Windgeschwindigkeit vor Ort erforderlich, oder es muß auf das Datenmaterial der synoptisch-klimatologischen Meldestellen (ca. 80 Stationen im Bundesgebiet) zurückgegriffen werden, wobei die Strahlungsbilanz aus anderen meteorologischen Größen (z.B. Bewölkung) abgeleitet wird.

$$ETP = (\Delta RN/L + \gamma Ea)/(\Delta + \gamma) \quad (2)$$

ETP = potentielle Evaporation (mm/d)

$\Delta$  = Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve für eine bestimmte Temperatur (hPa/K)

$\gamma$  = Psychrometerkonstante (0,65 hPa/K)

L = spezifische Verdunstungsenthalpie

RN = Nettostrahlung (W/m<sup>2</sup>)

Ea = 0,182 · V · (es - ea)

V = Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (m/s)

es = Sättigungsdampfdruck der Luft (hPa)

ea = aktueller Dampfdruck der Luft (hPa)

## 2.1 Vergleich der Verfahren nach PENMAN und HAUDE

Um einen Vergleich der Methoden nach PENMAN und HAUDE zu ermöglichen, wurde für einige ausgewählte Stationen die Verdunstung nach beiden Verfahren bestimmt (Tabelle 2). Auffallend ist, daß die nach PENMAN berechneten Verdunstungshöhen in allen Fällen größer sind als die Werte nach HAUDE. Im Mittel

beträgt bei den in Tabelle 4 dargestellten Beispielen die Verdunstung nach PENMAN zwischen 113 und 174 % der Verdunstung nach HAUDE.

Dieser Unterschied ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß es sich bei der Methode nach PENMAN um ein Verfahren zur Berechnung der potentiellen Evaporation, d.h. der Verdunstung über einer Wasserfläche handelt, während das Verfahren nach HAUDE die potentielle Evapotranspiration, also die potentielle Verdunstung eines Pflanzenbestandes beschreibt. Ein ausreichend mit Bodenwasser versorgter Pflanzenbestand verdunstet offensichtlich weniger Wasser als eine offene Wasserfläche.

Da die Methode nach PENMAN den Einfluß der Windgeschwindigkeit auf die Verdunstung berücksichtigt, wird besonders für exponierte Standorte eine im Vergleich zur Methode nach HAUDE deutlich höhere Verdunstung berechnet. Beide Methoden zeigen jedoch übereinstimmend eine Abnahme der Verdunstung mit zunehmender Höhe der Station über NN.

Die in der vorliegenden Karte dargestellten, aus dem Datenkollektiv der Jahre 1951-1980 berechneten mittleren Verdunstungshöhen können in den Einzeljahren erheblich über- bzw. unterschritten werden (vgl. Tabellen 3 und 4). Legt man die Verdunstung nach HAUDE zugrunde, so wird im Jahr 1959 in Osnabrück fast das 1,5-fache der vieljährigen Verdunstungshöhe erreicht, während an derselben Station im Jahr 1965 nur knapp 85 % erreicht wird.

Tabelle 2: Mittlere monatliche Verdunstungshöhen in mm (1951-1980) : Potentielle Evapotranspiration über Gras nach HAUDE (H) und potentielle Evaporation nach PENMAN (P) in mm

Monate		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Summe
Schleswig 43 m über NN	(H)	5	7	16	41	62	72	67	64	42	22	9	5	412
	(P)	9	15	38	68	110	129	124	103	66	33	14	8	717
Bremen 4 m	(H)	8	11	24	56	81	89	83	82	55	30	12	8	539
	(P)	15	21	48	82	122	136	134	114	75	40	19	13	819
Osnabrück 95 m	(H)	8	12	24	53	75	83	80	76	52	29	13	8	513
	(P)	12	20	42	74	106	124	117	102	68	36	17	10	728
Braunschweig * 81 m	(H)	9	11	22	50	77	87	85	89	56	32	13	9	540
	(P)	13	19	44	75	114	129	128	110	71	38	19	12	772
Bad Salzuflen 98 m	(H)	9	14	24	56	76	85	82	80	57	33	14	9	539
	(P)	12	20	40	71	101	115	111	98	65	35	17	10	695
Kassel 231 m	(H)	10	14	29	64	89	96	97	92	64	36	14	9	614
	(P)	11	18	42	71	106	120	121	101	64	34	16	10	714
Giessen 186 m	(H)	10	14	31	67	94	99	105	96	66	35	14	10	641
	(P)	13	21	47	79	116	125	129	105	66	34	17	11	763
Aachen 202 m	(H)	11	16	27	54	75	79	79	75	59	36	17	12	540
	(P)	19	28	48	75	105	119	118	102	73	43	25	17	772
Trier 265 m	(H)	8	13	31	65	89	92	101	90	64	33	13	8	607
	(P)	15	24	51	83	118	127	135	111	73	39	19	12	807
Würzburg 268 m	(H)	9	14	31	70	95	101	110	101	71	39	14	9	664
	(P)	16	24	53	87	125	138	146	122	79	41	20	14	865
Stuttgart 286 m	(H)	15	19	37	73	98	103	115	104	75	46	22	15	722
	(P)	16	24	50	78	113	127	138	114	76	43	21	15	815
Freiburg 269 m	(H)	13	17	35	72	96	99	115	102	72	39	19	13	692
	(P)	21	28	55	85	119	133	148	123	80	43	26	20	881
Regensburg 366 m	(H)	7	11	29	66	92	99	108	96	65	33	12	7	625
	(P)	10	18	45	77	111	126	133	109	71	34	14	9	757
Passau 409 m	(H)	7	12	30	63	87	92	97	88	62	35	13	7	593
	(P)	10	17	45	73	107	120	123	104	69	35	14	8	725
Hohenpeißenberg 977 m	(H)	10	12	22	40	53	56	64	55	41	25	14	12	404
	(P)	18	22	43	59	87	98	108	91	66	38	23	19	672

\* Zeitraum 1961-1980

Tabelle 3: Monatliche Verdunstungshöhen in mm aus Jahren mit hoher Verdunstung (h) und niedriger Verdunstung (n): Potentielle Evapotranspiration über Gras nach HAUDE (H) potentielle Evaporation nach PENMAN (P)

Monate:			V	VI	VII	VIII	IX	Summe
Schleswig 43 m über NN	(Hh)	1959	80	84	108	78	70	420
	(Ph)		135	155	152	115	80	637
	(Hn)	1965	45	62	43	57	37	244
	(Pn)		93	121	110	105	65	494
Bremen 4 m	(Hh)	1959	106	115	126	115	98	560
	(Ph)		142	160	167	138	91	698
	(Hn)	1956	88	55	65	53	53	314
	(Pn)		122	105	121	102	70	520
Osnabrück 95 m	(Hh)	1959	96	115	131	106	103	551
	(Ph)		125	157	156	130	96	664
	(Hn)	1965	65	70	46	66	50	297
	(Pn)		99	119	95	99	66	478
Braunschweig 81 m	(Hh)	1976	99	121	143	96	49	508
	(Ph)		128	143	163	116	66	616
	(Hn)	1962	46	75	50	57	50	278
	(Pn)		93	133	104	95	71	496
Bad Salzuflen 98 m	(Hh)	1959	95	112	136	110	107	560
	(Ph)		120	146	136	118	90	610
	(Hn)	1956	90	51	70	55	55	321
	(Pn)		114	92	114	95	63	478
Kassel 231 m	(Hh)	1959	103	128	153	113	115	612
	(Ph)		114	137	156	107	88	602
	(Hn)	1956	113	58	73	68	55	367
	(Pn)		111	83	105	88	52	439
Giessen 186 m	(Hh)	1959	113	130	162	110	116	631
	(Ph)		130	155	168	120	96	669
	(Hn)	1956	116	63	79	74	55	387
	(Pn)		126	106	123	106	61	522
Aachen 202 m	(Hh)	1959	87	104	139	89	110	528
	(Ph)		115	136	156	113	94	614
	(Hn)	1956	83	52	64	54	54	307
	(Pn)		111	91	116	100	66	484
Trier 265 m	(Hh)	1959	99	101	160	104	125	589
	(Ph)		130	142	175	122	113	682
	(Hn)	1956	103	53	81	61	56	354
	(Pn)		122	91	119	98	65	495
Würzburg 268 m	(Hh)	1959	104	120	159	113	121	617
	(Ph)		131	152	178	126	104	691
	(Hn)	1965	74	86	88	91	50	389
	(Pn)		115	126	141	119	66	567
Stuttgart 286 m	(Hh)	1959	109	106	150	101	119	585
	(Ph)		116	128	161	107	98	610
	(Hn)	1965	75	101	94	97	58	425
	(Pn)		100	118	125	108	66	517
Freiburg 269 m	(Hh)	1959	106	103	154	112	121	596
	(Ph)		127	131	176	127	102	663
	(Hn)	1956	107	76	95	73	62	413
	(Pn)		121	104	129	106	73	533
Regensburg 366 m	(Hh)	1959	98	114	124	91	105	532
	(Ph)		132	148	153	113	100	646
	(Hn)	1965	60	87	84	95	52	378
	(Pn)		90	119	112	106	61	488
Passau 409 m	(Hh)	1959	97	96	101	83	86	463
	(Ph)		126	125	121	106	90	568
	(Hn)	1965	55	80	71	84	57	347
	(Pn)		86	121	109	104	72	492
Hohenpeißenberg 977 m	(Hh)	1958	76	53	65	63	47	304
	(Ph)		101	107	119	112	70	509
	(Hn)	1965	37	59	56	57	39	248
	(Pn)		45	67	84	80	54	330

\* Zeitraum 1961-1980

Tabelle 4: Jährliche Verdunstungshöhe in mm:  
 Potentielle Evapotranspiration über Gras nach HAUDE (H)  
 Potentielle Evaporation nach PENMAN (P)

	Mittelwert aus 1951 - 1980			Jahr	extrem hohe Verdunstungshöhe		extrem niedrige Verdunstungshöhe		
	(H)	(P)	P/H %		(H)	(P)	Jahr	(H)	(P)
Schleswig	412	717	174	1959	558	840	1965	344	673
Bremen	539	819	152	1959	765	962	1956	445	752
Osnabrück	513	728	142	1959	758	925	1965	434	639
Braunschweig *	540	772	143	1976	655	851	1962	412	719
Bad Salzuflen	539	695	129	1959	764	823	1956	449	674
Kassel	614	714	116	1959	855	824	1956	514	614
Giessen	641	763	119	1959	873	913	1956	526	721
Aachen	540	772	143	1959	762	898	1956	442	710
Trier	607	807	133	1959	813	953	1956	508	708
Würzburg	664	865	130	1959	845	957	1965	541	801
Stuttgart	722	815	113	1959	860	865	1965	625	751
Freiburg	692	881	127	1959	825	943	1956	593	750
Regensburg	625	757	121	1959	747	804	1965	519	670
Passau	593	725	122	1959	674	795	1965	487	678
Hohenpeißenberg	402	672	166	1976	488	759	1965	360	494

\* Zeitraum 1961-1980

### 3. Beschreibung der Karten

#### 3.1. Die Berechnung der Gitterpunktwerte der potentiellen Evapotranspiration

Die räumliche Verteilung eines meteorologischen Elementes oder Parameters, die bisher meist durch Isolinien auf einer Karte dargestellt wird, kann auch durch Gitterpunkte dokumentiert werden. Der wesentliche Unterschied beider Methoden besteht darin, daß die Berechnung von Gitterpunkten reproduzierbar ist, denn sie kann nur dann erfolgen, wenn Kenntnisse über den Zusammenhang des darzustellenden Feldwertes von anderen Parametern wie z.B. der geographischen Lage oder der Höhe über NN vorliegen.

Für eine kartographische Darstellung, die eine hinreichend große Stationsdichte voraussetzt, wurde auf das Datenmaterial des Klimameßnetzes des Deutschen Wetterdienstes, das eine mittlere Maschenweite von etwa 40 km aufweist, zurückgegriffen. Insgesamt konnten die Daten von 320 Stationen ausgewertet werden. Damit wurden aus dem Zeitraum 1951-1980 für jede der genannten Stationen die Tageswerte der potentiellen Verdunstungshöhe nach HAUDE berechnet. Eine Beschränkung der maximal möglichen Tagesverdunstungsraten auf 7 mm erfolgte

dabei nicht. Die so ermittelten Tageswerte der potentiellen Verdunstungshöhen dienten zur Ableitung der mittleren monatlichen Verdunstungshöhen, die ihrerseits der Berechnung der Gitterpunktwerte der potentiellen Evapotranspiration zugrunde gelegt wurden.

Bei der Berechnung der Gitterpunkte wurde wie folgt verfahren: Als erster Schritt wurde aus dem Datenkollektiv der Verdunstungshöhen aus dem Mittelgebirgsraum die Abnahme der Verdunstung mit der Höhe berechnet.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß zwischen der Verdunstung nach HAUDE und der Höhe des Standortes eine lineare Abhängigkeit besteht. Diese ist für geringe Höhen deutlich schlechter ausgeprägt als für Höhen oberhalb von 100 m NN, da sich in niedrigen Höhenlagen bei der räumlichen Änderung der Verdunstung andere Faktoren wie z.B. die Exposition in besonderem Maße bemerkbar machen. Eine Auswertung der Daten der Klimastationen des Mittelgebirgsraumes zeigt, daß diese Abnahme der Verdunstungshöhen über Gras berechnet nach HAUDE z.B. oberhalb von 100 m NN für die Monate Mai bis September 27 mm/100 m beträgt. Die für die Darstellung der Karten verwendeten Gradienten sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Abnahme der Verdunstungshöhe nach HAUDE mit der Höhe in mm/100 m oberhalb von NN + 100 m. Für Monate, in denen die landwirtschaftliche Kultur nicht angebaut bzw. abgeerntet ist, wurde die Verdunstung über einem unbewachsenem Feld zugrunde gelegt.

Monate	I-XII	IV-VI	IV-X	V-IX	V-X	VI-VIII	VI-IX
Gras	34	—	—	27	—	—	—
* Zuckerrüben	37	—	34	—	—	—	26
* Winterweizen	40	18	—	—	—	—	—
* Mais	31	—	—	—	26	18	—

\* Berechnung erfolgte für 100-700 m NN

Danach wurden für jeden Gitterpunkt in einer Höhe von mehr als NN+100 m mit Hilfe dieses Gradienten die Verdunstungsdaten aller Stationen auf die Höhe des Gitterpunktes reduziert, die in einem Umkreis von 50 km um den jeweiligen Gitterpunkt liegen. Entsprechend der Entfernung der Station von dem Gitterpunkt wurden die Verdunstungsdaten der betreffenden Stationen gewichtet und das gewichtete arithmetische Mittel dem Gitterpunkt zugeordnet. Bei Gitterpunkten unter NN+100 m wurden nur die Werte der Stationen reduziert, die eine Höhe von mehr als NN+100 m aufwiesen.

Die Berechnung der Gitterpunkte erfolgte mit Hilfe des folgenden Ansatzes:

$$ETP_g = \frac{\sum_{i=1}^n (ETP_i/D_i)}{\sum_{i=1}^n (1/D_i)} \quad (3)$$

$ETP_g$  = Verdunstungshöhe am Gitterpunkt

$n$  = Anzahl der Stationen im Umkreis von 50 km um den Gitterpunkt

$ETP_i$  = auf die Höhe des Gitterpunktes reduzierte Verdunstungshöhe der Station  $i$

$D_i$  = Abstand der Station  $i$  vom Gitterpunkt, wobei für den Fall, daß die Station auf dem Gitterpunkt liegt,  $D_i=0,5$  gesetzt wird.

Durch den beschriebenen Ansatz ist gewährleistet, daß die dem Gitterpunkt näher gelegenen Stationen bei der Berechnung der Verdunstungshöhe am Gitterpunkt überproportional stärker berücksichtigt werden als die entfernter gelegenen Stationen.

### 3.1.1 Darstellung der Gitterpunkthöhen (Karte 1)

Um dem Nutzer der Verdunstungskarten die Möglichkeit zu geben, die für die Gitterpunkte berechneten Verdunstungswerte einzuordnen und im Hinblick auf deren Umgebung zu interpretieren, wurden in der vorliegenden Karte die Höhen der Gitterpunkte über NN bereitgestellt.

Diese Höhen stellen näherungsweise den mittleren Höhenwert eines den Gitterpunkt umgebenden Feldes dar, welches in Süd-Nord-Richtung 30° und in West-Ost-Richtung 50° umfaßt. Der Abstand der Gitterpunkte beträgt in Süd-Nord-Richtung 300° und in der West-Ost-Richtung 500°. Dies bedeutet, daß das Landschaftsrelief nur angenähert dargestellt wird, wobei *kleinräumige Strukturen* wie etwa Berggipfel oder schmale Täler kaum oder nicht erfaßt werden.

### 3.2 Darstellung der potentiellen Evapotranspiration (Karte 2-II)

Die potentielle Evapotranspiration wurde für Gras, Zuckerrüben, Winterweizen und Mais unabhängig von der Landnutzung berechnet und dargestellt. Ebenso blieb bei der Berechnung und Darstellung von jährlichen Verdunstungshöhen ein möglicher Zwischenfruchtanbau bei den drei letztgenannten Kulturen unberücksichtigt. Für Höhen oberhalb NN+500 m wurden für diese Kulturen keine Berechnungen durchgeführt. Auch wurden Höhen von NN+0 m kein Gitterpunktwert zugeordnet, so daß im Bereich des Unterlaufes von Elbe und Weser *Lücken* im Gitterpunktraster auftreten.

Im allgemeinen liegen der Berechnung eines Gitterpunktwertes der potentiellen Evapotranspiration etwa 4 Klimastationen zu-

grunde. Im Bereich der Grenzen der Bundesrepublik Deutschland kann es vorkommen, daß für die Berechnung nur noch 1 Klimastation zur Verfügung steht, so daß dieser Wert mehreren Gitterpunkten zugeordnet wird.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, daß die Berechnung ohne Berücksichtigung der Exposition sowohl der Klimastationen als auch der Gitterpunkte erfolgte. An einem nach Süden orientierten Hang wird daher die potentielle Verdunstungshöhe größer sein als der angegebene Wert, während für einen Nordhang niedrigere Werte zu erwarten sind.

### 3.2.1 Die potentielle Evapotranspiration über Gras (Karte 2 und 3)

Die potentielle Evapotranspiration über Gras erreicht zwar in den Wintermonaten im Mittel nur in Ausnahmen Monatswerte von mehr als 15 mm, zeigt aber damit, daß auch in den Wintermonaten von dem Gras Wasserdampf an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Evapotranspiration über Grünland ist im Winter um etwa 50% höher als über einem unbewachsenen Feld. Mit dem Ergrünen, bzw. dem Beginn des Gräserwachstums, das in weiten Teilen des Bundesgebietes Ende März / Anfang April einsetzt, steigt die potentielle Evapotranspiration deutlich an. Teilweise sind die potentiellen Verdunstungshöhen im März bereits zweimal so hoch wie im Februar, um sich im April nochmals zu verdoppeln. Mit der Gräserblüte Ende Mai / Anfang Juni nimmt die potentielle Verdunstungshöhe nur noch wenig zu, um schließlich im Juli den höchsten Wert im Jahresverlauf zu erreichen. Bereits im September bewegt sich die potentielle Verdunstung wieder auf dem Niveau des April, um dann in den Herbstmonaten rasch abzufallen.

#### 3.2.1.1 Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (1951-1980) (Karte 2)

Grundsätzlich gilt für die potentielle Evapotranspiration in der Bundesrepublik Deutschland, daß diese im Norden geringer ist als im Süden, wenn eine gleiche oder ähnliche Höhenlage vorausgesetzt wird. So werden zum Beispiel im Raum Münster in einer Höhe von NN+70 m Jahreswerte der potentiellen Evapotranspiration über Gras von etwa 550 mm erreicht, während an der deutsch-dänischen Grenze in ca. NN+20m nur rund 400 mm berechnet werden. Neben dem maritimen Einfluß, der sich unter anderem durch eine deutlich geringere Bereitstellung von fühlbarer Wärme auszeichnet, macht sich hier das geringere Strahlungsangebot bemerkbar: Die für die Verdunstung zur Verfügung stehende Energie weist von Süd nach Nord ein deutliches Gefälle auf.

Neben diesem Effekt zeichnet sich deutlich der das Klima modifizierende Einfluß der Mittelgebirge ab. Die höchsten Werte der potentiellen Evapotranspiration treten im Rheingraben, im Lee des Pfälzer Waldes auf. Hier werden über Gras jährliche Verdunstungshöhen von deutlich mehr als 700 mm erreicht. Taunus und Westerwald sind für die vergleichsweise hohen Werte in der Wetterau oder dem Rhein-Main-Gebiet verantwortlich zu machen, während die Verdunstung im Bodenseegebiet von Alpen, Schwarzwald und Schwäbischer Alb geprägt wird.

Neben dem Küstengebiet weisen die höheren Lagen der Gebirge die geringsten Jahreswerte auf. So wird z.B. für Lagen von NN+1600 m eine jährliche Verdunstungshöhe von weniger als 300 mm berechnet.

#### 3.2.1.2 Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Mai bis September (1951-1980) (Karte 3)

Hohe Lufttemperaturen bei oft geringer relativer Luftfeuchte schaffen in dieser Zeit für die potentielle Evapotranspiration gün-

stige Voraussetzungen. Die Tageswerte steigen an heißen Sommertagen bis 7 mm an.

Vergleicht man die in den Karten 2 und 3 dargestellten Verdunstungshöhen, so zeigt sich, daß in den Monaten Mai bis September etwa 70% der Jahresverdunstung erreicht werden.

### 3.2.2 Die potentielle Evapotranspiration über Zuckerrüben (Karte 4-6)

Die Aussaat der Zuckerrüben erfolgt überwiegend im April. Die Ernte beginnt Ende September und zieht sich bis weit in den Herbst hinein.

Läßt man einen möglichen Zwischenfruchtanbau außer Betracht, so sind die Zuckerrübenschläge in der Zeit von November bis März geräumt. Die potentielle Verdunstung umfaßt in dieser Zeit praktisch nur die potentielle Evaporation. Mit dem Auflaufen der Pflänzchen im April können wir von einer potentiellen Evapotranspiration über Zuckerrüben sprechen. Im Juni, wenn die Bestände sich schließen, d.h. wenn die Blätter benachbarter Rüben sich berühren, so daß ein Beobachter die Krume zwischen den Rüben nicht mehr erkennen kann, steigen die vieljährigen Monatswerte der Evapotranspiration deutlich an, um im Juli den höchsten Wert zu erreichen.

Der Wasserbedarf der Zuckerrübe übersteigt in den Monaten Juni bis August den von Mais und Gras und wird nur im Juni von dem Wasseranspruch des Winterweizens übertroffen.

#### 3.2.2.1 Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (1951-1980) (Karte 4)

Der Jahreswasserbedarf der Zuckerrübe liegt nur geringfügig unter dem des Winterweizens (vgl. Kapitel 3.2.3.1).

Die Jahreswerte der potentiellen Evapotranspiration der Zuckerrüben variieren von 720 mm im Raum Mannheim bis unter 350 mm im Küstengebiet. Im norddeutschen Flachland grenzt die Linie Meppen-Bremen-Hamburg-Ratzeburg nach Norden hin ein Gebiet mit Jahreswerte unter 500 mm ab. Nach Süden steigen diese allmählich an, um im Raum Düsseldorf erstmals die Schwelle 600 mm zu übersteigen. Im Bereich der Mittelgebirge nördlich des Mains werden 500 mm nur noch in Lagen zwischen 400 m und 500 m unterschritten. Südlich des Mains stellen Jahreswerte von weniger als 550 mm die Ausnahmen dar, z. B. im Pfälzer Wald oder dem Bayerischen Wald. Wie bei den übrigen Kulturen treten die Maxima der jährlichen Verdunstungshöhen im Rheingraben auf. Hier liegen die Werte ohne Ausnahme über 650 mm, wobei die Höchstwerte (über 700 mm) im Raum Mannheim angetroffen werden.

#### 3.2.2.2 Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes April bis Oktober (1951-1980) (Karte 5)

Dieser Zeitraum stellt etwas vereinfachend die Vegetationszeit der Zuckerrübe dar. Man erkennt leicht, daß die für diese Zeit gebildeten mittleren Verdunstungshöhen der potentiellen Evapotranspiration nur etwa 10% niedriger sind als die in unter 3.2.2.1 beschriebenen Jahreswerte. Der Beitrag der potentiellen Evaporation der geräumten Schläge in der kalten Jahreszeit zum Jahreswert ist daher von untergeordneter Bedeutung.

Die nördlichsten Standorte mit Höhen der potentiellen Evapotranspiration über Zuckerrüben von mehr als 500 mm findet man unmittelbar südlich von Ratzeburg sowie um Dannenberg und im Raum Braunschweig. Im Westen werden 500 mm von Norden kommend zuerst im Münsterland erreicht. Außer im Küstenge-

biet werden 400 mm nur noch in Ausnahmen unterschritten, so etwa im Raum Brilon in einer Höhe zwischen 400 m und 500 m. Die niedrigsten Werte um 270 mm findet man an der ostfriesischen Küste.

In den klimatisch begünstigten Gebieten erreichen die Höhen der potentiellen Evapotranspiration über 600 mm. Stellvertretend seien hier der Rheingraben, der Neckarraum, das Rhein-Main-Gebiet und Franken genannt.

#### 3.2.2.3 Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Juni bis September (1951-1980) (Karte 6)

In dieser Zeit sind die Blätter der Zuckerrüben voll ausgebildet, so daß sich die Blätter benachbarter Pflanzen berühren oder überlappen. Man nennt diese Phase *Bestandsschluß*. Der Wasserbedarf der Zuckerrüben erreicht nun seinen Höhepunkt. Die für diesen Zeitraum ermittelten Höhen der potentiellen Evapotranspiration sind meist zwischen 120 und 130 mm geringer als die in Kapitel 3.2.2.2 dargestellten Ergebnisse für den Zeitraum April bis Oktober. Lediglich im unmittelbaren Küstenbereich, z.B. in Ostfriesland, sind die Unterschiede deutlich geringer und liegen zwischen 60 und 100 mm.

Höhen der potentiellen Evapotranspiration über Zuckerrüben über 500 mm werden nur in den bereits genannten Gebieten mit einem hohen Verdunstungsanspruch, wie z.B. dem Mannheimer Raum, erreicht.

Sieht man einmal von den höheren Lagen der Mittelgebirge ab, so liegen die Werte südlich von Eder und Sieg durchwegs über 400 mm, nördlich davon werden 400 mm nur im Niederrheingebiet bis zur Lippe sowie im äußersten Osten Niedersachsens erreicht oder überschritten.

In der norddeutschen Tiefebene bildet die Linie Meppen - Delmenhorst - Hamburg - Lübeck die Grenze zwischen Verdunstungshöhen unter 350 mm im Norden und über 350 mm im Süden. Im unmittelbaren Küstenbereich stellen Werte über 300 mm die Ausnahmen dar.

#### 3.2.3 Die potentielle Evapotranspiration über Winterweizen (Karte 7 und 8)

Neben Gras gehört Winterweizen zu den Pflanzen, die auch im Winter transpirieren. Grünland und Wintergetreideschläge weisen daher in der kalten Jahreszeit eine höhere potentielle Evapotranspiration als ein unbewachsenes Feld auf. Freilich sind in den Wintermonaten die Beiträge zur Jahreshöhe der potentiellen Evapotranspiration nur von untergeordneter Bedeutung, erreichen sie doch im vieljährigen Mittel nur selten mehr als 15 mm im Monat, wengleich in Einzeljahren auch deutlich höhere Werte zu beobachten sind.

Sind diese Beträge für die klimatische Wasserbilanz, die Differenz zwischen Niederschlagsangebot und potentieller Verdunstung, zumeist nur von untergeordneter Bedeutung, so sind sie für die Entwicklung der Getreidepflanzen nicht zu vernachlässigen. Besonders bei gefrorenen Böden, wenn die Wasseraufnahme durch die Wurzeln stark eingeschränkt ist, kann es zu Trockenschäden kommen.

Steigende Lufttemperaturen und ein größer werdendes Strahlungsangebot stimulieren im Frühjahr die Weizenpflänzchen zum Längenwachstum. Entsprechend nimmt der Wasserbedarf der Pflanzen und damit die potentielle Evapotranspiration über Winterweizen zu, um im Juni den höchsten Wert zu erreichen.

Mit zunehmender Abreife des Getreides sinkt der Wasseranspruch und damit die potentielle Evapotranspiration.

### 3.2.3.1 Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (1951-1980) (Karte 7)

Bei der Berechnung der Jahreshöhe der Evapotranspiration über Winterweizen wurde für die Monate September und Oktober angenommen, daß die Schläge vollreif oder abgeerntet sind. Da in dieser Zeit der Winterweizen kaum einen aktiven Beitrag zur Evapotranspiration leistet, die Transpiration also fast null ist, handelt es sich fast ausschließlich um Evaporationsvorgänge auf den betreffenden Schlägen.

Die jährlichen Höhen der potentiellen Evapotranspiration sind bei Winterweizen deutlich größer als bei den übrigen Kulturen. Im Raum Mannheim werden Werte von mehr als 750 mm erreicht. Ähnliche, wenn auch nicht ganz so hohe Werte trifft man im Neckarraum, in der Wetterau und in Franken an. Hier bewegen sich die Höhen der potentiellen Evapotranspiration über Winterweizen überwiegend zwischen 680 und 750 mm. Im Donauraum und dem Bodenseegebiet bilden Werte von mehr als 650 mm eher die Ausnahme. Im norddeutschen Flachland werden nördlich des Teutoburger Waldes meist Werte von 550 bis 600 mm berechnet, die jedoch entsprechend des bereits in Kapitel 3.2.1.1 besprochenen Süd-Nord-Gefälles nach Norden hin geringer werden, um schließlich im unmittelbaren Küstenbereich auf Verdunstungshöhen unter 400 mm zurückzugehen.

Generell ist festzustellen, daß Jahreswerte unter 500 mm in einer Höhenlage bis 500 m außer im Küstenbereich die Ausnahme bilden.

### 3.2.3.2 Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes April bis Juni (1951-1980) (Karte 8)

In der Zeit des Schossens und Ährenschiebens erreicht die Nährstoffaufnahme der Weizenpflanze ihren Höhepunkt. Die Nährstoffe werden in gelöster Form mit dem Bodenwasser von den Wurzeln aufgenommen, wobei das Wasser auch als Transportmittel für die Nährstoffe in der Pflanze genutzt und durch Transpirationvorgänge zum größten Teil an die Atmosphäre abgegeben wird.

Dieses Entwicklungsstadium fällt überwiegend in die Monate April bis Juni. In diesen drei Monaten wird etwa 50% der Jahresverdunstungshöhe erreicht. Im Raum Mannheim werden bis zu 340 mm potentiell verdunstet, wobei dieser Wert fast dem im Küstenbereich zu beobachtenden Jahreswert entspricht. In Niedersachsen bewegen sich die Verdunstungshöhen zumeist um 260 mm, um nach Norden hin und im Bereich der Mittelgebirge auf Werte unter 250 mm abzufallen.

### 3.2.4 Die potentielle Evapotranspiration über Mais (Karte 9-11)

Mais und auch Hirse gehören zwar zu den Gräsern, unterscheiden sich jedoch deutlich von den übrigen Getreidearten. Das Hauptverbreitungsgebiet von Mais liegt in den Tropen und Subtropen. Erst nach der Entdeckung Amerikas gelangte Mais nach Europa und verbreitete sich von dort bis nach Afrika und Asien.

Die Aussaat erfolgt im Mai, während die Ernte des Körnermaises zumeist im Oktober abgeschlossen wird. Läßt man einen möglichen Zwischenfruchtanbau außer Betracht, so sind die Maischläge in der Zeit vom November bis April geräumt. Die potentielle Verdunstung umfaßt in dieser Zeit praktisch nur die potentielle Evaporation. Mit dem Auflaufen der jungen Maispflanzen im Mai können wir von einer potentiellen Evapotranspiration über Mais sprechen. Den höchsten Wasserbedarf hat der Mais zur Zeit des Fahnenschiebens, das je nach Standort in den Monaten

Juni und Juli erfolgt. Im Vergleich zu den übrigen Kulturen, die wir beschrieben haben, stellt der Mais keine sehr hohen Anforderungen an das Wasserangebot. Dennoch ist in einigen Gebieten der Bundesrepublik Deutschland eine Zusatzberegnung für diese Kultur erforderlich.

### 3.2.4.1 Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (1951-1980) (Karte 9)

Wie bei den bereits beschriebenen Kulturen finden wir die höchsten Jahreswerte der potentiellen Evapotranspiration mit 570 bis knapp über 600 mm im Rheingraben, dem Rhein-Neckar-Raum, der Wetterau, im Raum Mannheim und südlich des Kaiserstuhles. Aber auch für den Bereich des Maindreieckes werden Werte bis 600 mm berechnet. In den übrigen geschützten Lagen des Mittelgebirgsraumes liegen diese zumeist zwischen 500 und 570 mm. Nördlich der Mittelgebirge schließt sich bis zur Linie Verden - Lüneburg ein Gebiet an, in dem sich die Jahreswerte zwischen 450 und 500 mm bewegen. Zur Küste hin reduzieren sich die jährlichen Höhen der potentiellen Evapotranspiration auf weniger als 350 mm.

### 3.2.4.2 Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Mai bis Oktober (1951-1980) (Karte 10)

Die Monate Mai bis Oktober beschreiben grob die Vegetationszeit des Maises. Die Höhen der potentiellen Evapotranspiration erreichen nur in eng begrenzten Gebieten, etwa dem Mannheimer Raum, dem Raum Aschaffenburg oder auch im Bereich des Maindreieckes Werte über 500 mm. Im norddeutschen Flachland stellen solche von mehr als 400 mm die Ausnahmen dar. Solche Gebiete finden wir im Raum Dannenberg, Braunschweig oder der Südhälfte des Münsterlandes. Nördlich der Linie Oldenburg - Hamburg - Neumünster - Lübeck läßt der maritime Einfluß nur noch Werte der potentiellen Evapotranspiration unter 350 mm zu. Im Küstenbereich Ostfrieslands schließlich bleiben diese unter 260 mm.

### 3.2.4.3 Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes Juni bis August (1951-1980) (Karte 11)

In der Zeit des Fahnenschiebens, d.h. der Entwicklung des sogenannten Fahnenschiebens, bis zum Eintritt der Milchreife, die sich näherungsweise durch die Monate Juni bis August beschreiben läßt, hat der Mais den größten Wasserbedarf. Ein Vergleich der für diese Zeit gebildeten Höhen der potentiellen Evapotranspiration mit solchen für die gesamte Vegetationszeit des Maises zeigt, daß in diesen Monaten bis zu 2/3 der letztgenannten Werte erreicht werden. So stehen zum Beispiel im Raum Mannheim etwa 340 mm einer Verdunstungshöhe über die Vegetationszeit von rund 520 mm gegenüber. Im südlichen Teil des norddeutschen Flachlandes, z.B. im Raum Braunschweig verdunsten vom Juni bis August 260 mm, während in der Vegetationszeit 400 mm potentiell verdunstet werden.

## 4. Literatur

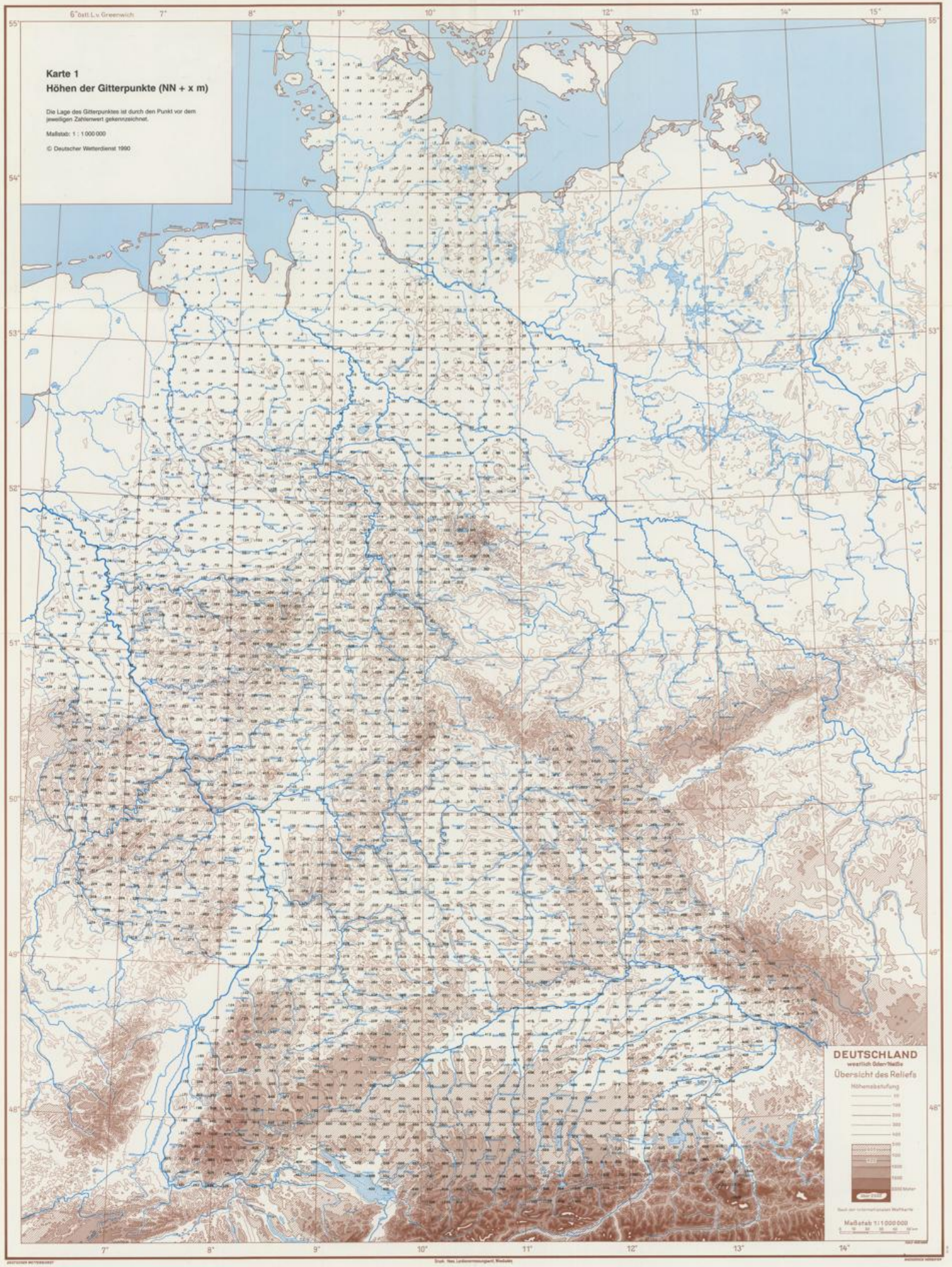
Nachfolgend ist eine kleine Literaturliste zum Thema Verdunstung zusammengestellt. Besonders sei dabei auf das Werk von SCHRÖDTER (1985) hingewiesen, das einen umfassenden Überblick über Meßverfahren und Bestimmungsmethoden der Verdunstung gibt.

ALBRECHT, F. (1950): Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. Arch. Meteor. Geophys. Biokl., Ser. B., 2:1-38

- ALBRECHT, F. (1962): Die Berechnung der natürlichen Verdunstung (Evapotranspiration) der Erdoberfläche aus klimatischen Daten. Ber. Deutscher Wetterdienst 83:1-19
- BLANEY, H. F. CRIDDLE, W. D. (1950): Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. US DA SCS Techn. Pap. No. 96
- BLANEY, H. F. CRIDDLE, W. D. (1962): Determining consumptive use and irrigation water requirements. US DA Agric Res. Serv. Techn. Bull No.1275
- BOWEN, I. S. (1926): The ratio of losses by conduction and evaporation from any water surface. Phys. Rev. 27:779
- KELLER, R. (Ges. Ltg.); HAAR, U de.; KELLER, R.; LIEBSCHER, H.-J.; RICHTER, W.; SCHIRMER, H. (Hrsg.) (1978/1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Karten und Erläuterungen (1978); Textbd. (1979); Boppard, Harald Boldt Verlag
- HAUDE, W. (1952a): Zur Möglichkeit nachträglicher Bestimmung der Wasserbeanspruchung durch die Luft und ihrer Nachprüfung an Hand von Tropfversuchen und Abflußmessungen. Ber. Deutscher Wetterdienst US-Zone 32:27-34
- HAUDE, W. (1952b): Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas. Ber. Deutscher Wetterdienst US-Zone 42:225-229
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. Mitt. Dt. Wetterdienst Nr. 8
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. Deutscher Wetterdienst Nr. 11
- HAUDE, W. (1958): Über die Verwendung verschiedener Klimafaktoren zur Berechnung der potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. Meteorol. Rdsch. 11:96-99
- HOFMANN, G. (1955): Die Thermodynamik der Taubildung. Ber. Deutscher Wetterdienst Nr. 18
- HOFMANN, G. (1956): Verdunstung und Tau als Glieder des Wärmehaushalts. Planta 47:303-322
- HOFMANN, G. (1960): Wärmehaushalt und Advektion. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A., 11:474-502
- MAKING, G. F. (1957): Testing the Penman formula by means of lysimeters. J. Inst. Water Eng. 11:277-288
- MAKING, G. F. (1961): De verdamping uit vegetaties in verband met formule van Penman. Comm. Hydrol. Research TNO, The Hague. Proceedings and Informations 4:90-115
- MEYBOOM, P. (1965): Three observations on streamflow depletion by phreatophytes. J. Hydrol 2:248-261
- MEYER, A. (1926): Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. Chemie der Erde 2:209-347
- MONTEITH, J. L. (1976): Vegetation and the Atmosphere. Vol. II. Academic Press, London
- MONTEITH, J. L. (1978): Grundzüge der Umweltphysik. Steinkopff, Darmstadt
- PENMAN, H. L. (1948a): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy Meteorol. Soc. A, 193:120-145
- PENMAN, H. L. (1948b): Evaporation in nature. Rep. Prog. Phys. 11:366-388
- PENMAN, H. L. (1950): Evaporation over the British Isles. Quart. J. Roy Meteorol. Soc. 76:372-383
- PENMAN, H. L. (1956): Evaporation: An introductory survey. Neth. J. Agr. Sci 4:9-29
- SCHMIDT, W. (1925): Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Probleme der kosmischen Physik 7, H. Grand, Hamburg
- SCHRÖDTER, H. (1985): Verdunstung; Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio
- THORNWAITE, C. W. (1948): An approach toward rational classification of climate. Geograph. Review 38:55-94
- THORNWAITE, C. W. (1957): Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Inst. Technology, Publ. Climat 10, No. 3, Centerton, New Jersey
- THORNWAITE, C. W., HÖLZMANN, B. (1942): Measurement of evaporation from land and water surfaces. US DA Techn. Bull No. 817, Washington
- TROXELL, H. C. (1936): The diurnal fluctuation in the ground-water-flow and flow of the Santa Anna River and its meaning. Trans. Amer. Geophys. Union 17:496-504
- TURC, L. (1961): Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise a jour. Ann. agron. 12:13-49
- WHITE, W. N. (1932): Method of estimating groundwater supplies bases on discharge by plants and evaporation from soil. Results of investigation in Escalante Valley, Utah. USGS Water Supply Pap. 659-A







**Karte 1**  
**Höhen der Gitterpunkte (NN + x m)**

Die Lage des Gitterpunktes ist durch den Punkt vor dem jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990

**DEUTSCHLAND**  
 westlich Gitter-Nette



Nach der topographischen Weltkarte  
 Maßstab 1 : 1 000 000

**Karte 2**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Gras**

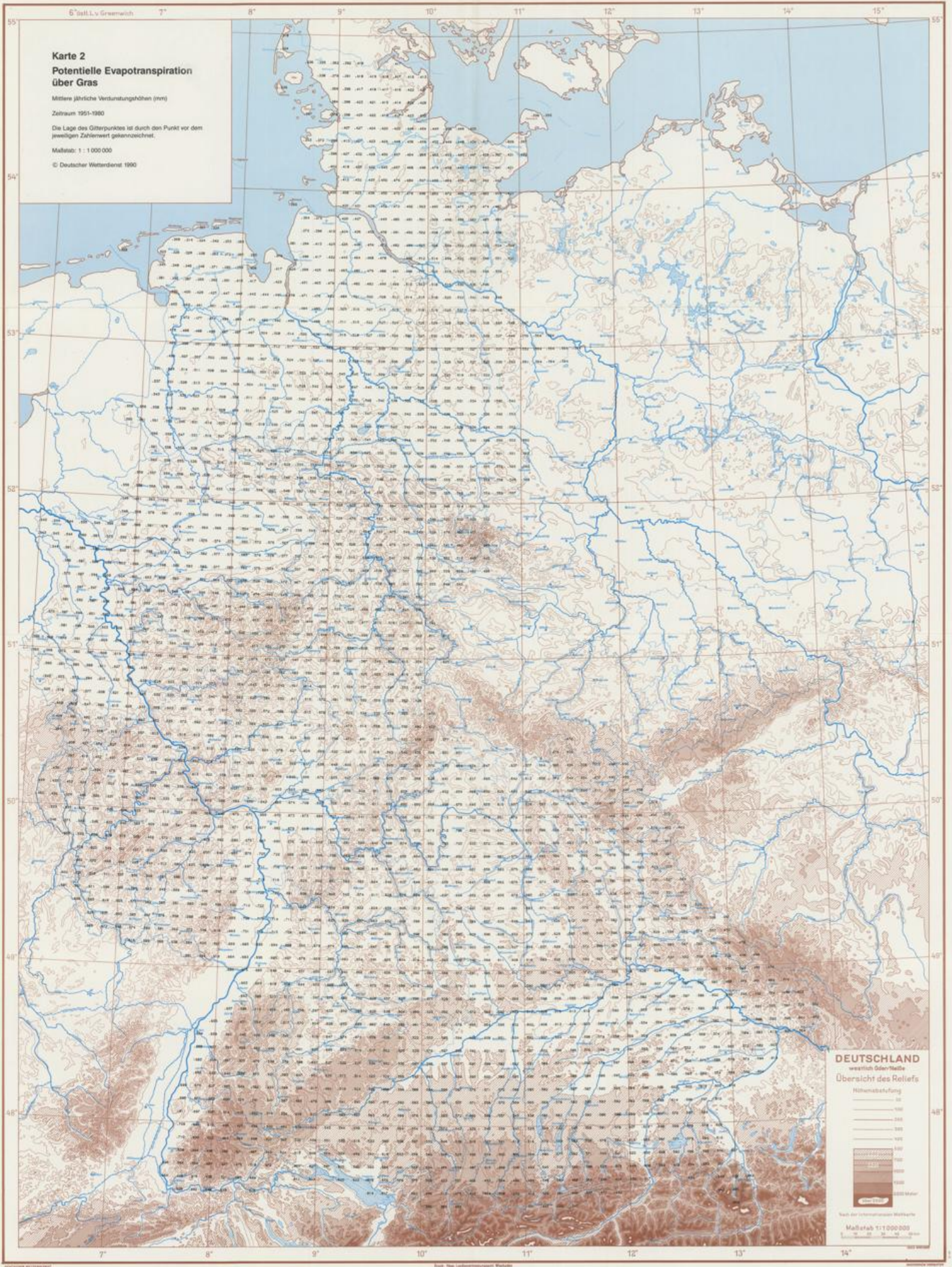
Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (mm)

Zeitraum 1951-1980

Die Lage des Gitterpunktes ist durch den Punkt vor dem jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990



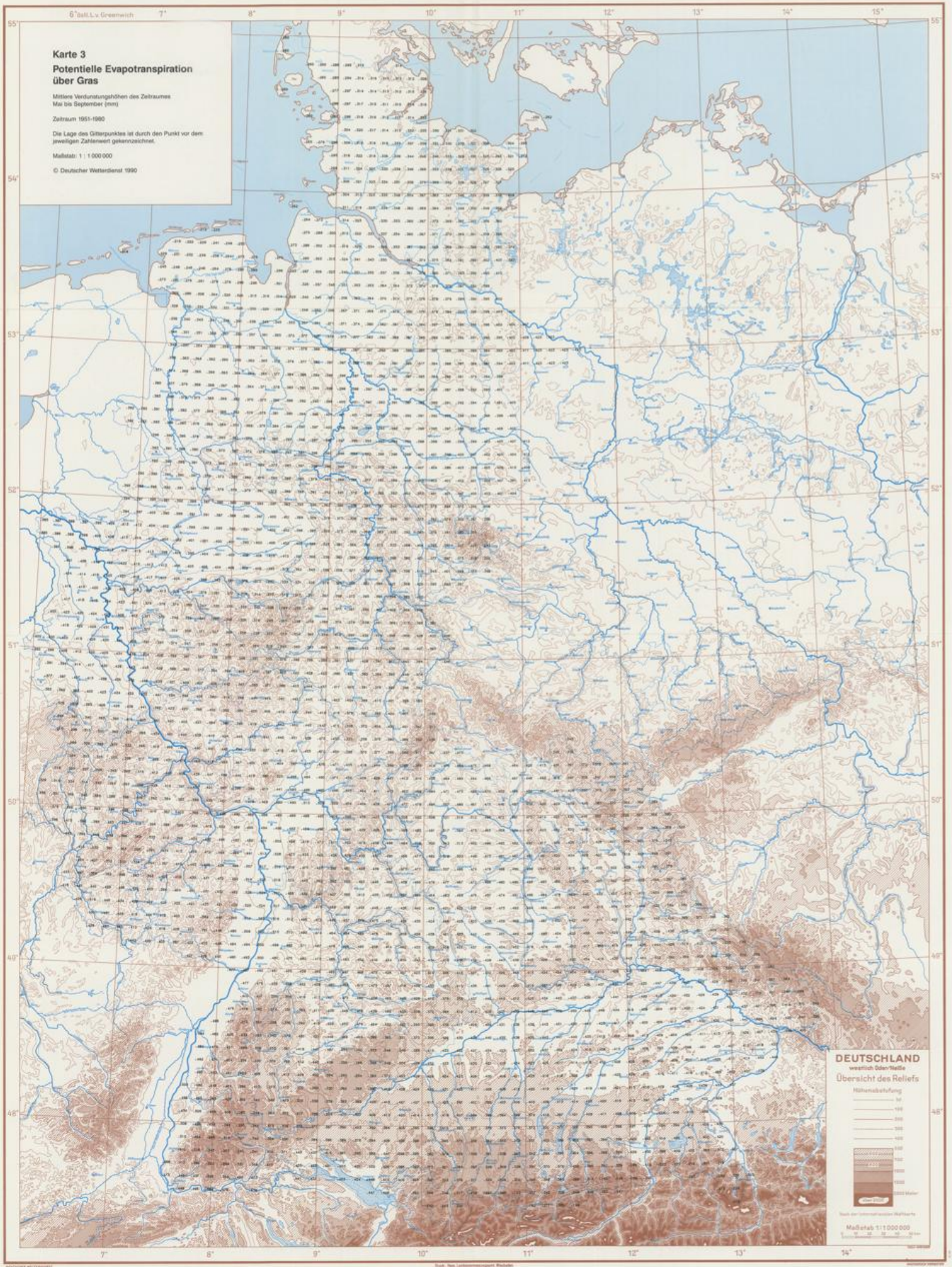
**DEUTSCHLAND**  
wesentlich über Maßstab

**Übersicht des Reliefs**



Nach dem Internationalen Maßstab

Maßstab 1 : 1 000 000



**Karte 3  
Potentielle Evapotranspiration  
über Gras**

Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes  
Mai bis September (mm)  
Zeitraum 1951-1980  
Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem  
jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.  
Maßstab: 1 : 1 000 000  
© Deutscher Wetterdienst 1990

**DEUTSCHLAND**  
westlich Ober-Rhein  
Übersicht des Reliefs

Höhenschnüfung

- 0
- 100
- 200
- 300
- 400
- 500
- 600
- 700
- 800
- 900
- 1000
- 1100
- 1200
- 1300
- 1400
- 1500
- 1600
- 1700
- 1800
- 1900
- 2000
- 2100
- 2200
- 2300
- 2400
- 2500
- 2600
- 2700
- 2800
- 2900
- 3000
- 3100
- 3200
- 3300
- 3400
- 3500
- 3600
- 3700
- 3800
- 3900
- 4000
- 4100
- 4200
- 4300
- 4400
- 4500
- 4600
- 4700
- 4800
- 4900
- 5000
- 5100
- 5200
- 5300
- 5400
- 5500
- 5600
- 5700
- 5800
- 5900
- 6000
- 6100
- 6200
- 6300
- 6400
- 6500
- 6600
- 6700
- 6800
- 6900
- 7000
- 7100
- 7200
- 7300
- 7400
- 7500
- 7600
- 7700
- 7800
- 7900
- 8000
- 8100
- 8200
- 8300
- 8400
- 8500
- 8600
- 8700
- 8800
- 8900
- 9000
- 9100
- 9200
- 9300
- 9400
- 9500
- 9600
- 9700
- 9800
- 9900
- 10000

Nach dem Internationalen Maßstab  
Maßstab 1:1 000 000  
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

6° Ost L.u. Greenwich 7° 8° 9° 10° 11° 12° 13° 14° 15°

### Karte 4 Potentielle Evapotranspiration über Zuckerrüben

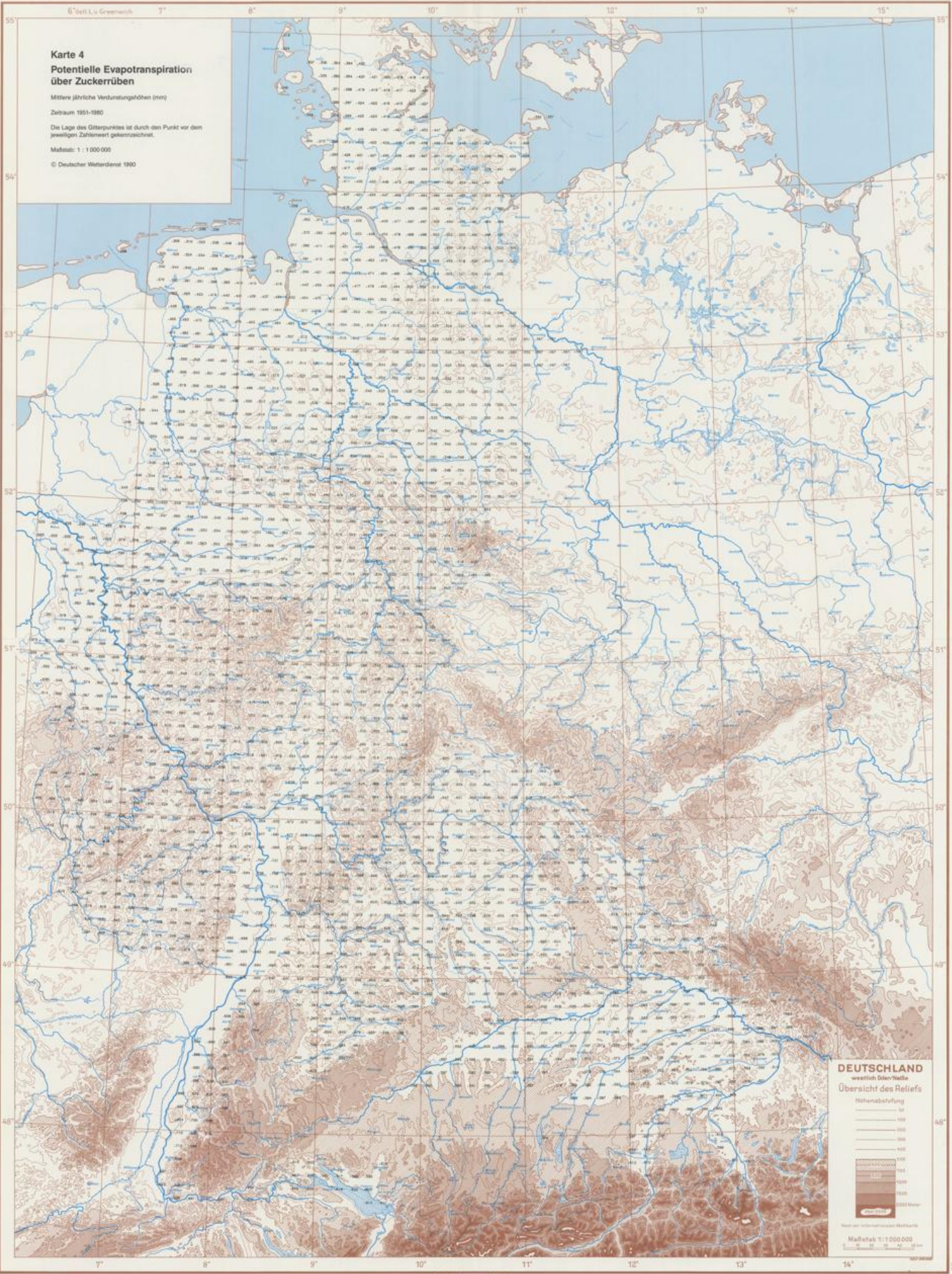
Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (mm)

Zeitraum 1951-1980

Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990



#### DEUTSCHLAND weithin überflutet Übersicht des Reliefs



Nach der Höhenabstufung  
Maßstab 1 : 1 000 000

**Karte 5**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Zuckerrüben**

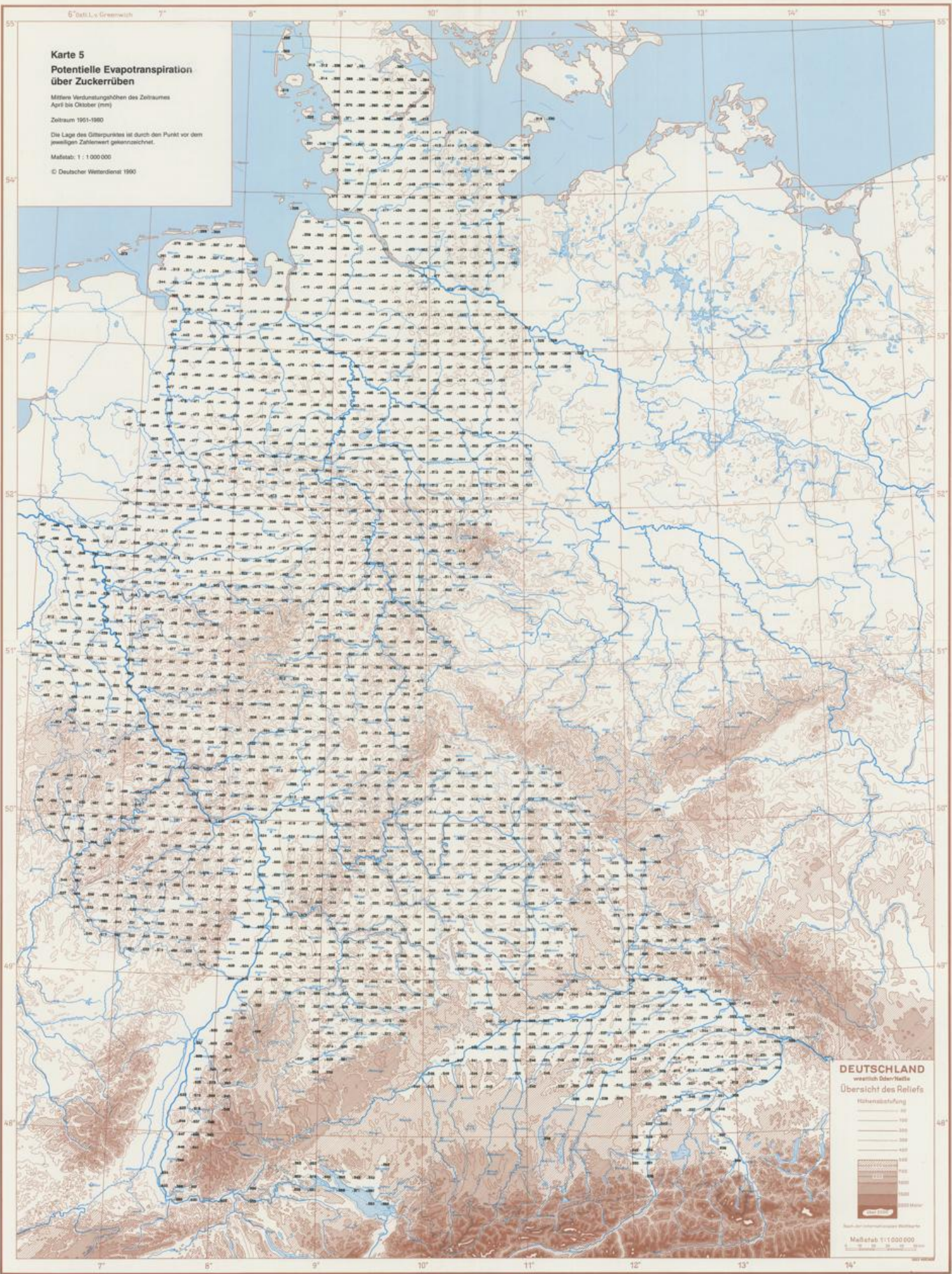
Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes  
 April bis Oktober (mm)

Zeitraum 1961-1990

Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem  
 jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990



**DEUTSCHLAND**  
 weithin überflutet  
 Übersicht des Reliefs

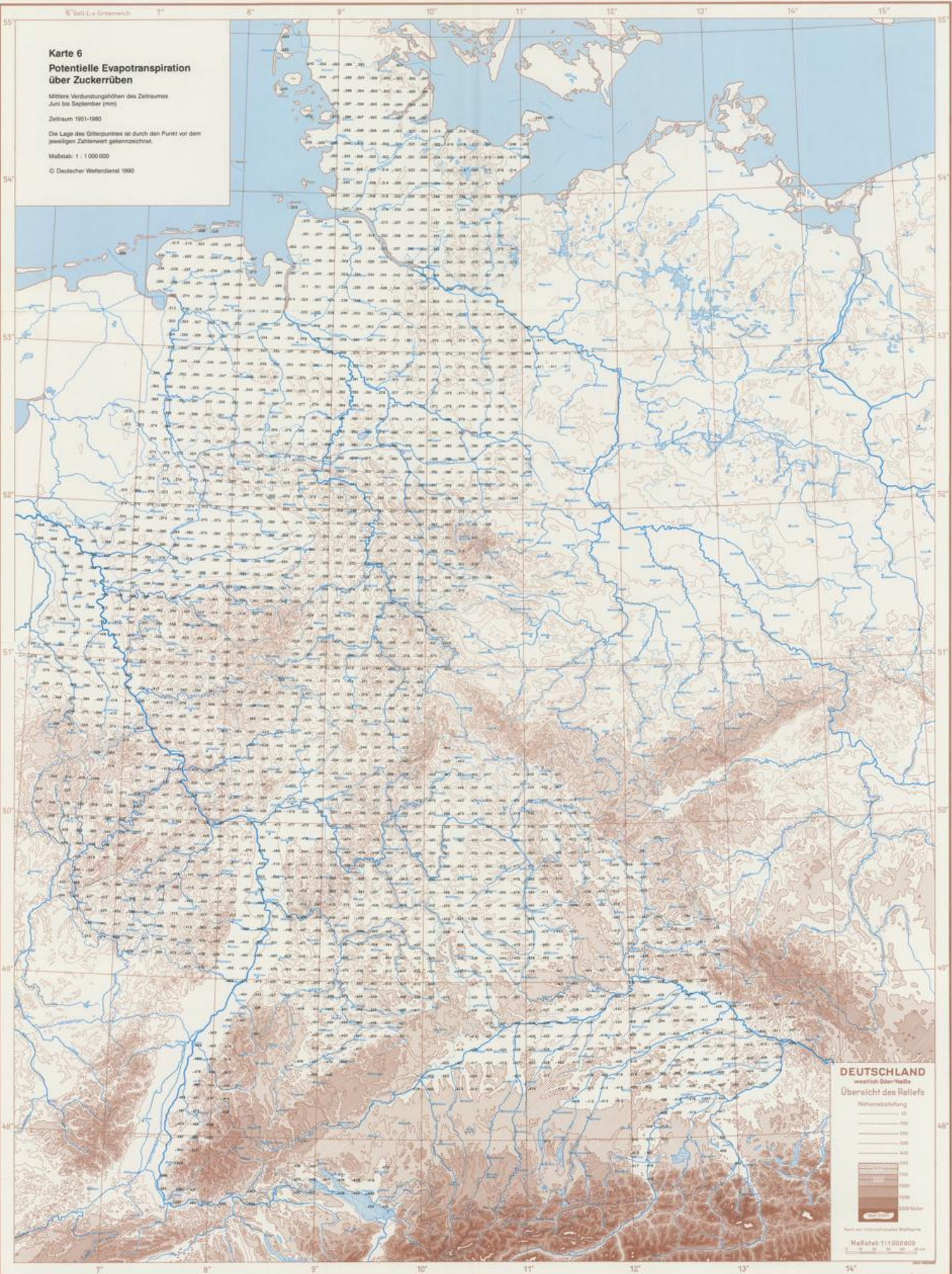
Höhenstufe

100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900
3000
3100
3200
3300
3400
3500
3600
3700
3800
3900
4000
4100
4200
4300
4400
4500
4600
4700
4800
4900
5000
5100
5200
5300
5400
5500
5600
5700
5800
5900
6000
6100
6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000
7100
7200
7300
7400
7500
7600
7700
7800
7900
8000
8100
8200
8300
8400
8500
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000

Maßstab 1:1 000 000

**Karte 6**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Zuckerrüben**

Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes  
 Juni bis September (mm)  
 Zeitraum 1961-1990  
 Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem  
 jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.  
 Maßstab: 1 : 1 000 000  
 © Deutscher Wetterdienst 1990



**DEUTSCHLAND**  
 weithin überflutet  
 Übersicht des Reliefs

Höhenscheitlung

0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900
3000
3100
3200
3300
3400
3500
3600
3700
3800
3900
4000
4100
4200
4300
4400
4500
4600
4700
4800
4900
5000
5100
5200
5300
5400
5500
5600
5700
5800
5900
6000
6100
6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000
7100
7200
7300
7400
7500
7600
7700
7800
7900
8000
8100
8200
8300
8400
8500
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000

Nach dem Höhenraster der Werra-Planung  
 Maßstab 1:1 000 000

**Karte 7**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Winterweizen**

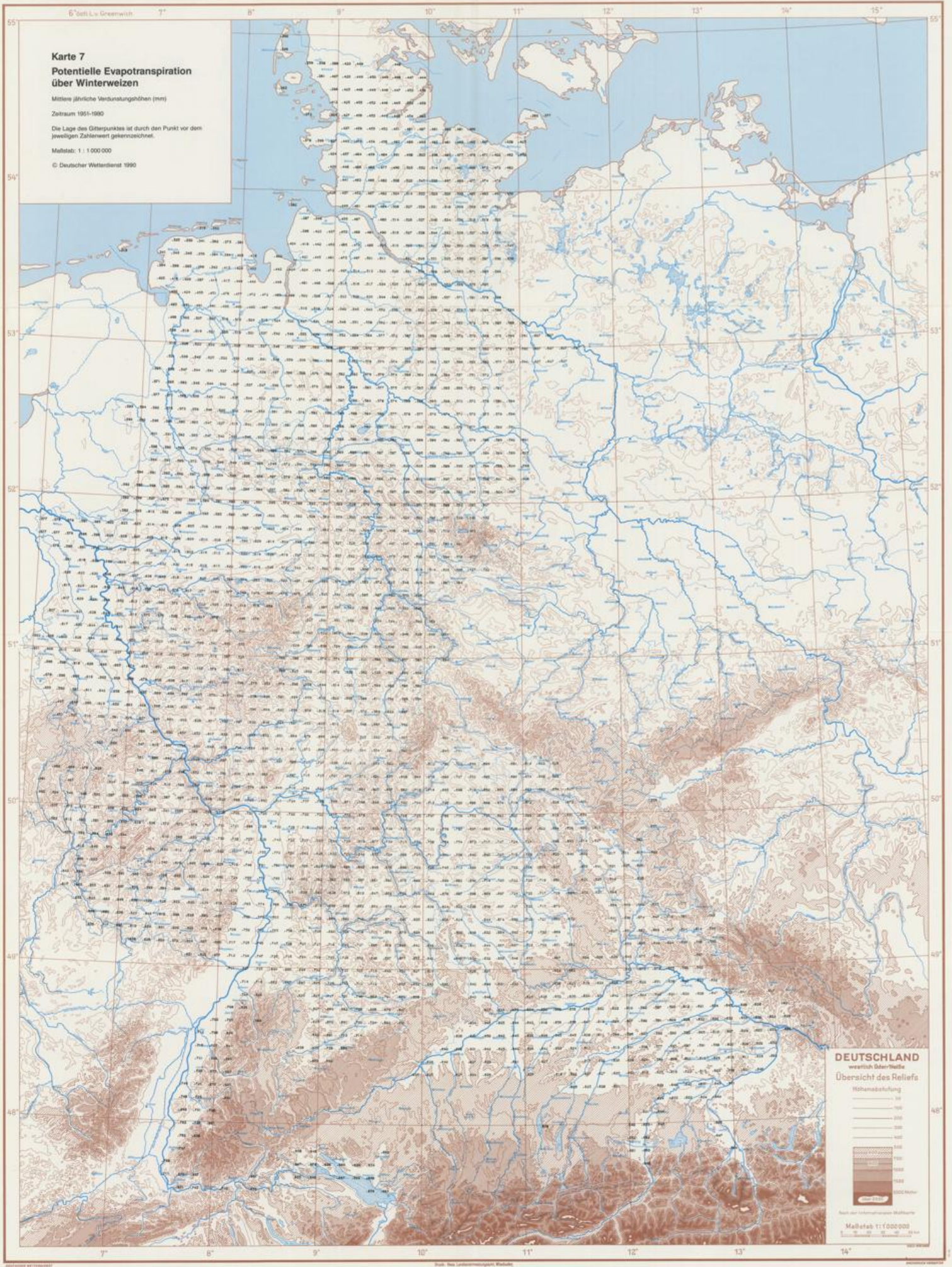
Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (mm)

Zeitraum 1961-1990

Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990

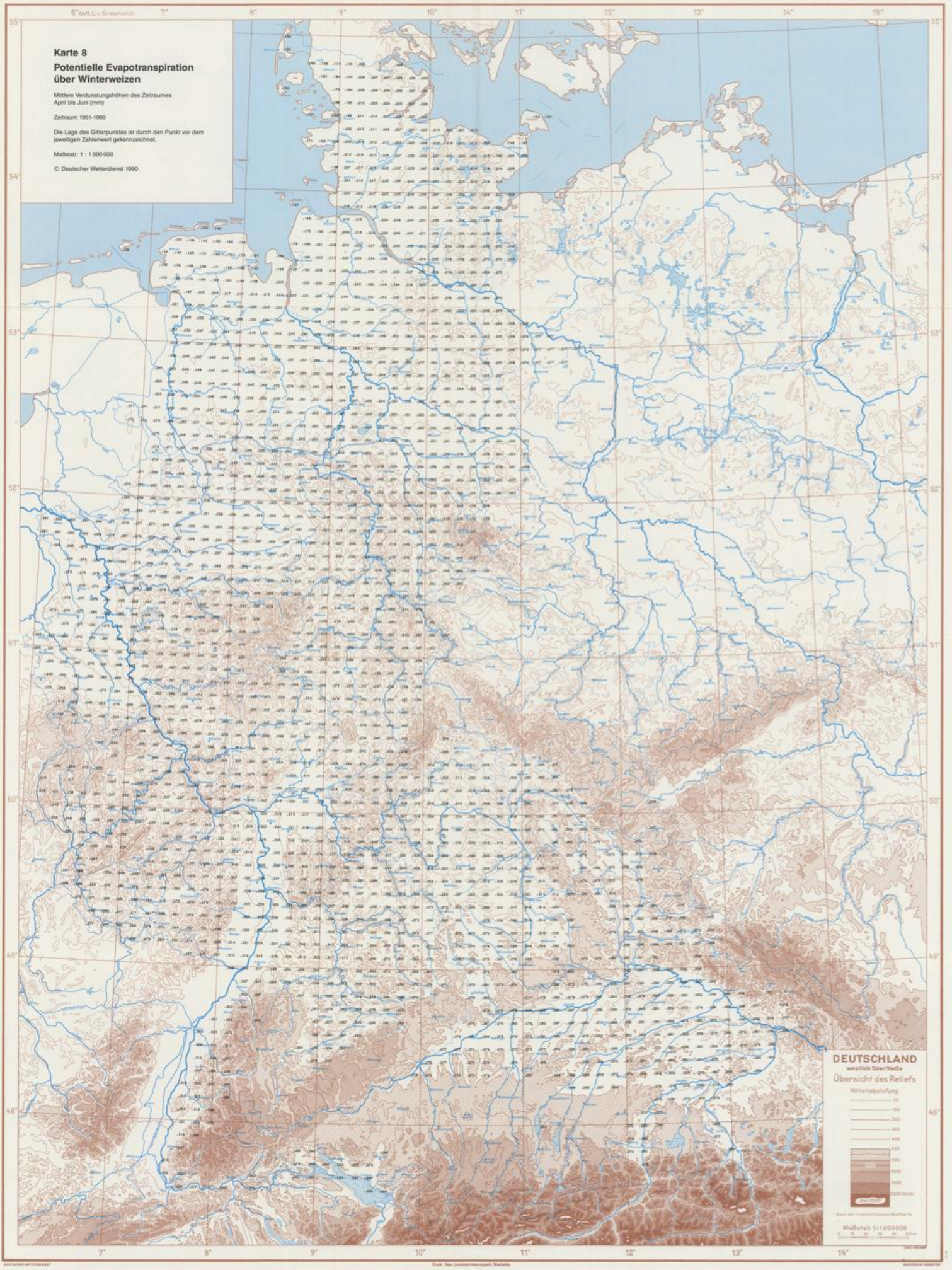


**DEUTSCHLAND**  
Übersicht des Reliefs

Höhenabstufung

- 0
- 100
- 200
- 300
- 400
- 500
- 600
- 700
- 800
- 900
- 1000 Meter

Nach dem Landesamt für Statistik  
Maßstab 1:1 000 000



**Karte 8**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Winterweizen**

Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes  
 April bis Juni (mm)

Zeitraum 1951-1990

Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem  
 jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990

**DEUTSCHLAND**  
 weithin überflutet  
 Übersicht des Reliefs

Mittlerer Meeresspiegel

0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900
3000
3100
3200
3300
3400
3500
3600
3700
3800
3900
4000
4100
4200
4300
4400
4500
4600
4700
4800
4900
5000
5100
5200
5300
5400
5500
5600
5700
5800
5900
6000
6100
6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000
7100
7200
7300
7400
7500
7600
7700
7800
7900
8000
8100
8200
8300
8400
8500
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000

Quelle: Geo-Lexikon, Deutscher Wetterdienst

Maßstab 1:1 000 000

**Karte 9**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Mais**

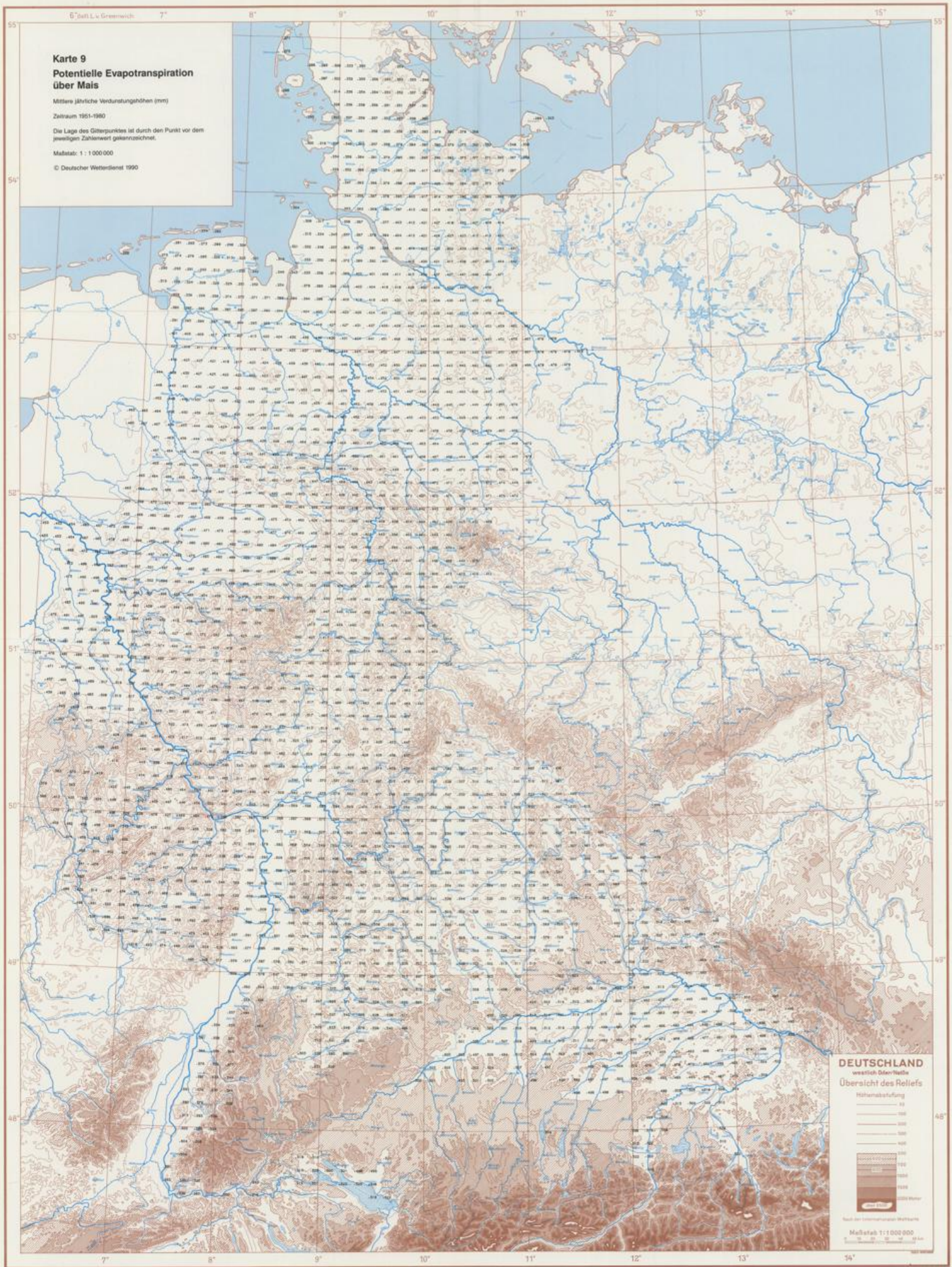
Mittlere jährliche Verdunstungshöhen (mm)

Zeitraum 1951-1980

Die Lage des Gitterpunktes ist durch den Punkt vor dem jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990



**DEUTSCHLAND**  
 westlich Ober-Nelke  
 Übersicht des Reliefs

Höhenabstufung

0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000

Nach der Höhenabstufung des Deutschen Wetterdienstes

Maßstab 1:1 000 000

6° Ost L. v. Greenwich 7° 8° 9° 10° 11° 12° 13° 14° 15°

### Karte 10 Potentielle Evapotranspiration über Mais

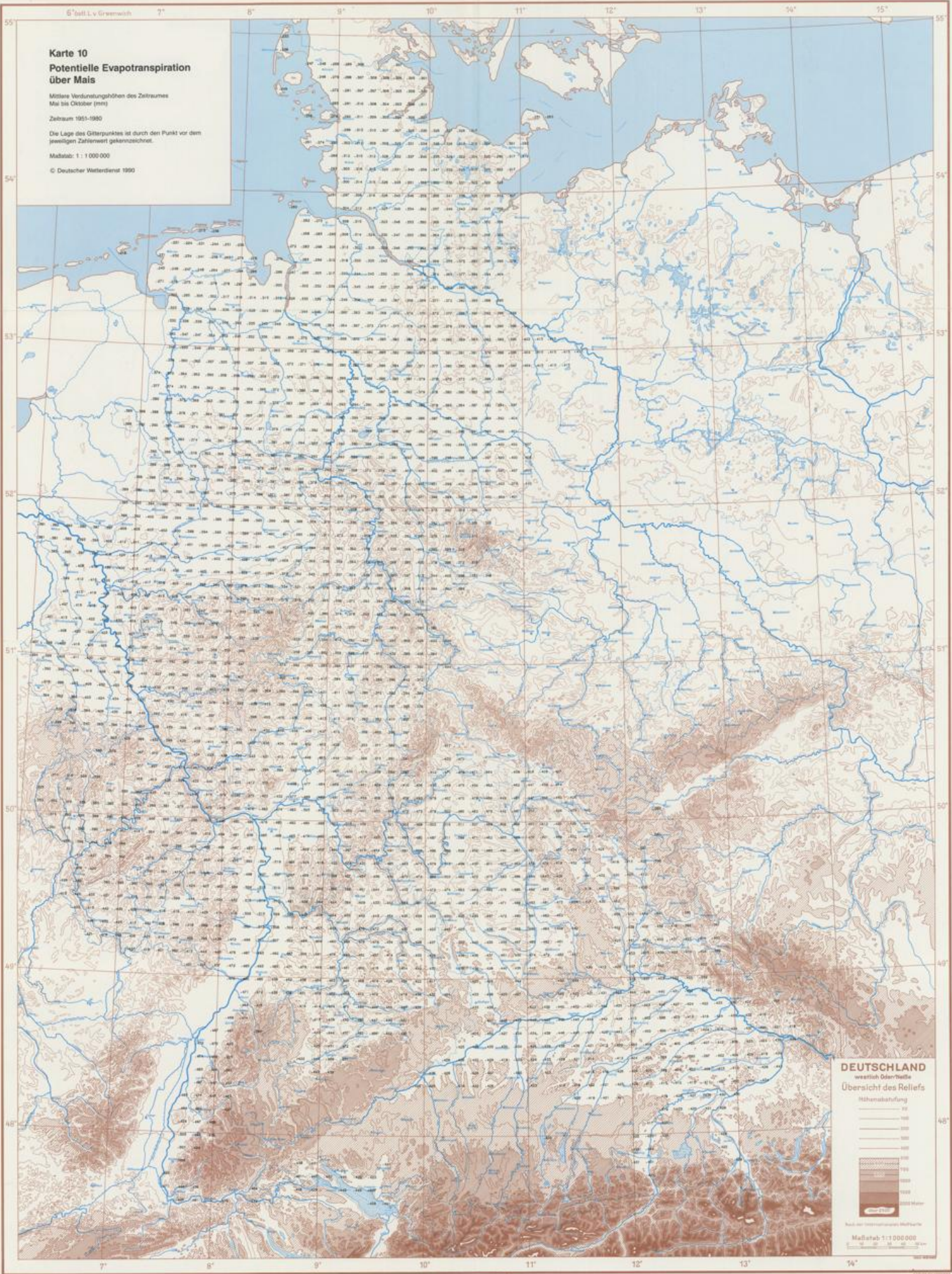
Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes  
Mai bis Oktober (mm)

Zeitraum 1951-1980

Die Lage des Güterpunktes ist durch den Punkt vor dem  
jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990



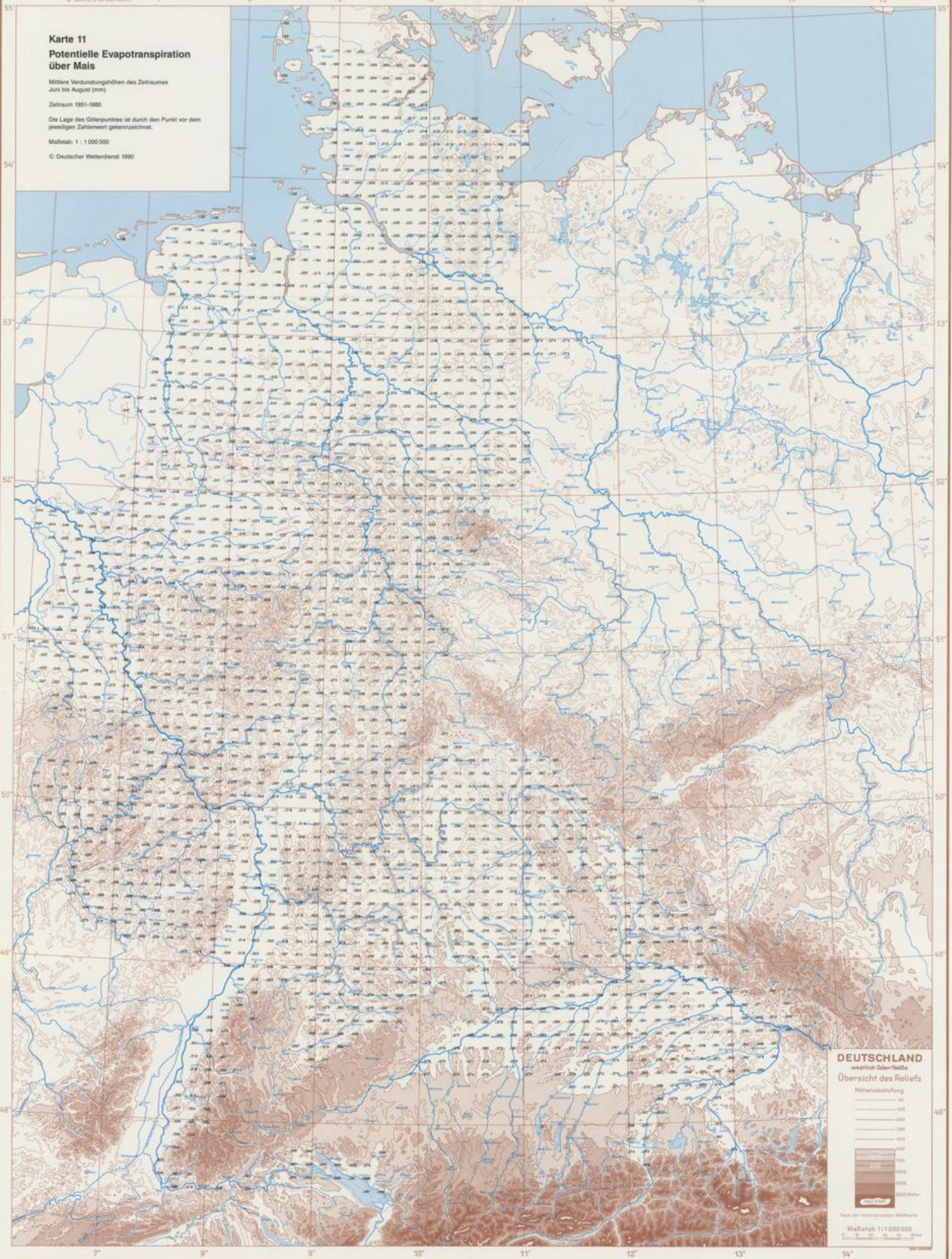
**DEUTSCHLAND**  
weithin überflutet  
Übersicht des Reliefs

Höhenabstufung

0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900
3000
3100
3200
3300
3400
3500
3600
3700
3800
3900
4000
4100
4200
4300
4400
4500
4600
4700
4800
4900
5000
5100
5200
5300
5400
5500
5600
5700
5800
5900
6000
6100
6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000
7100
7200
7300
7400
7500
7600
7700
7800
7900
8000
8100
8200
8300
8400
8500
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000

Nach der Internationalen Maßkarte  
Maßstab 1:1 000 000

6° Ost L. v. Greenwich 7° 8° 9° 10° 11° 12° 13° 14° 15°



**Karte 11**  
**Potentielle Evapotranspiration**  
**über Mais**

Mittlere Verdunstungshöhen des Zeitraumes  
 Juni bis August (mm)  
 Zeitraum 1961-1990

Die Lage des Gitterpunktes ist durch den Punkt vor dem  
 jeweiligen Zahlenwert gekennzeichnet.

Maßstab: 1 : 1 000 000

© Deutscher Wetterdienst 1990

**DEUTSCHLAND**  
 weithin überflutet  
 Übersicht des Reliefs



Maßstab: 1:1000000

7° 8° 9° 10° 11° 12° 13° 14°