

## WASSERBILANZ IM RAUM REGENSBURG

- Auswertung langjähriger Meßreihen \* -

von

Robert Lang \*\*

**Zusammenfassung**

Die hygrischen Verhältnisse eines Ortes sind am besten durch Bodenwasserbilanzen und die damit verbundene Ermittlung von aktueller Verdunstung sowie Versickerung darzustellen. Das Klimadiagramm nach WALTER/LIETH gibt für Regensburg beispielsweise den falschen Eindruck wieder, daß in allen Monaten Wasserüberschuß vorherrscht. Auch das Diagramm der klimatischen Wasserbilanz täuscht, da es in allen Sommermonaten nur Wasserdefizite anzeigt. Die hydrologische Wasserbilanz hingegen setzt das Maß für die aktuelle Verdunstung durch die Lösung der Wasserhaushaltsgleichung " $N = A + V$ ".

Langjährige Durchschnittswerte, die in den Diagrammen abgebildet werden, verbergen jedoch die zeitliche und räumliche Variabilität der Wasserhaushaltsgrößen, die durch unterschiedlich feuchte Jahre, Boden- und Vegetationsart verursacht wird.

Der betrachtete Zeitraum von 100 Jahren (1881-1980) zeigt für die Lufttemperatur und die damit verbundene Potentielle Verdunstung eine Konstanz. Die Niederschläge haben jedoch gegenüber den ersten 50 Jahren um etwa 40 mm zugenommen. Dieses gestiegene Wasserdargebot führte zu einem entsprechenden Anstieg der aktuellen Verdunstung (Ausnutzung der PET), während die Versickerung und damit der Abfluß unverändert blieben.

Veränderungen der Klimaelemente oder Wasserbilanz während der letzten 10 oder 20 Jahre (Einfluß von CO<sub>2</sub> oder Ozon) können für Regensburg nicht festgestellt werden.

---

\* Die Klimadaten der Station Regensburg, Gebietsniederschlagsdaten und die Verdunstungskoeffizienten nach HAUDE wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD), Zentralamt Offenbach, die Niederschlagsdaten der umliegenden Stationen vom Wetteramt Nürnberg dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

\*\* Dr. Robert Lang, Gotenstraße 2, 8417 Lappersdorf

## Abstract

The hygric relations of a landscape could be best demonstrated by the aid of soil moisture budgets joined with the determination of actual evapotranspiration and percolation. The climatic diagram according to WALTER/LIETH produces for example the false impression for Regensburg, that all months of the year have moisture surplus. Even the diagram of the climatic water budget is misleading, because in all summer months it only shows water deficiencies. The mean actual evapotranspiration however could be determined by the hydrologic water budget, using the water balance equation "Precipitation = Discharge + Evapotranspiration".

Average annual values shown in the diagrams conceal the temporal and spatial variability of the water budget data, caused by different wet years and by various soil- and vegetation-types.

The investigated period of hundred years (1881-1980) shows constant average values of air temperature and potential evapotranspiration. The annual precipitation has increased by 40 mm in comparison to the first fifty years. This increased water input caused a proportionate increase of actual evapotranspiration (utilization of PET) whereas ground water percolation and total runoff remained at the same level as before.

For the city of Regensburg changes of the climatic elements or of the water budget cannot be deduced from the observed data of the last ten or twenty years.

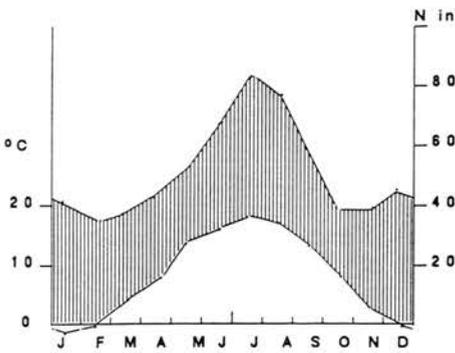
## 1. Einführung

Wasserbilanzanalysen gehören zu den Massen- und Stoffhaushaltsuntersuchungen. Ein Hauptinteressengebiet des Jubliars, Prof. Dr. W. Kick, ist die Erforschung der nacheiszeitlichen Gletscherhochstände und insbesondere der rezenten Gletscherschwankungen. Gletscherschwankungen sind an Veränderungen des Massenhaushaltes des Eises geknüpft. So dürfte es auch von Interesse sein, die Entwicklung der hydrologischen Bilanz und deren mögliche Veränderungen während der letzten 100 Jahre im Raum Regensburg zu verfolgen.

## 2. Diagramme zur Darstellung von Wasserbilanzen

Bei Wasserbilanzuntersuchungen wird in der Klimatologie und Hydrologie zwischen klimatischer und hydrologischer Wasserbilanz sowie Bodenwasserbilanz unterschieden. Die Darstellung erfolgt in entsprechenden Diagrammen (siehe Abb. 1), zu denen vergleichsweise das Klimadiagramm nach WALTER/LIETH gezeichnet wurde, das ebenfalls eine hydrologische Aussage mit Hilfe eines Ariditätsfaktors (Vergleichsfaktor zwischen Temperatur und Niederschlag) ermöglicht. Alle Diagramme repräsentieren in der Regel langjährige Mittelwerte, im günstigsten Fall eine Klimanormalperiode von 30 Jahren.

a) Klimadiagramm nach WALTER/LIETH

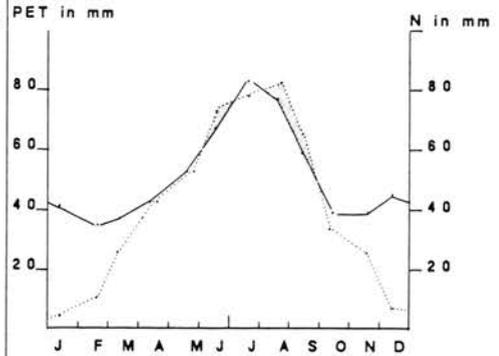


Regensburg 1901-1930

Faktor :  $1^{\circ}\text{C} \hat{=} 2 \text{ mm}$

feucht (humid)

b) Klimatische Wasserbilanz



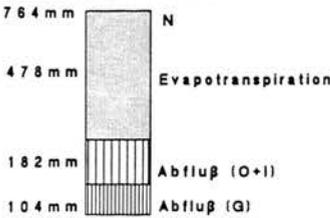
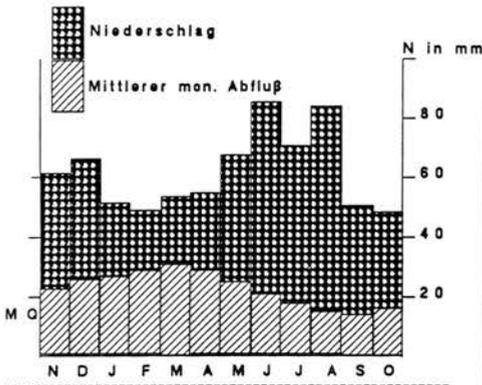
$W_b = \text{Niederschlag} - \text{Pot. Evapotranspiration}$

Niederschlag

PET

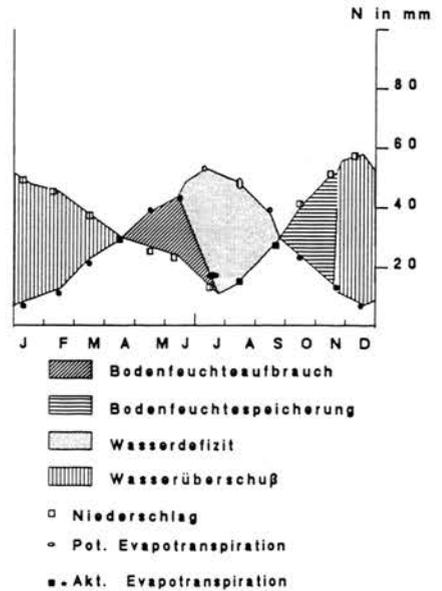
trocken (arid)

c) Hydrologische Wasserbilanz



Hydr. Bilanz (Durchschn. Jahreswerte 1931-1960)

d) Bodenwasserbilanz



Bodenfeuchteaufbrauch  
 Bodenfeuchtespeicherung  
 Wasserdefizit  
 Wasserüberschuss  
 □ Niederschlag  
 ○ Pot. Evapotranspiration  
 ■ Akt. Evapotranspiration

Abb.1: Wasserbilanzdiagramme im Vergleich

Im Klimadiagramm nach WALTER/LIETH (Abb. 1a) werden die monatlichen Durchschnittswerte von Niederschlag und Temperatur gegenübergestellt. Entscheidend für die Darstellung ist der gewählte Proportionalitätsfaktor (Ariditätsfaktor) zwischen beiden. Für Mitteleuropa wurde er mit  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) =  $2n$  (mm) gesetzt. Liegt nun der Verlauf der Niederschlags- über der Temperaturkurve so werden humide Verhältnisse angetroffen, sonst aride.

Bei der *klimatischen Wasserbilanz* werden Niederschlag und potentielle Evapotranspiration miteinander verglichen. Sind die Werte der potentiellen Verdunstung höher als die Niederschläge, so ist es trocken, andernfalls feucht.

Bei der *hydrologischen Wasserbilanz* werden Niederschlag (N) und Abfluß (A) untersucht. Diese Bilanz kann eigentlich nur für Flußbeinzugsgebiete erstellt werden. Die entsprechende Gleichung (1) lautet:

$$N = A + V \pm \text{BFA} \quad (1)$$

Wird ein Zeitraum von 30 Jahren betrachtet, so sind Speicherung und Aufbrauch (BFA) von Boden und Untergrundwasser nahezu gleich, sodaß für diesen Zeitraum Gleichung 2 gilt.

$$N = A + V \quad (2)$$

In Abbildung 1c ist die hydrologische Bilanz auf Monatsbasis im Vergleich von Niederschlag und mittlerem Monatsabfluß (MG), der auf  $\text{mm}/\text{m}^2$  umgerechnet wurde, dargestellt. Die monatliche Differenz zwischen Niederschlag und Abfluß darf allerdings nicht mit einem monatlichen Verdunstungswert (V) gleichgesetzt werden, denn nur die Summe der Differenzen repräsentiert den Wert der Jahresverdunstung.

Das letzte Diagramm (Abb. 1d) zeigt die *Bodenwasserbilanz*. Diese ist eine Erweiterung der klimatischen Wasserbilanz unter Einbeziehung der Wasserspeicherung und des -aufbrauchs im Boden. Diese Diagrammdarstellung, die von der Speicherfähigkeit des ausgewählten Bodens abhängig ist, gibt die umfassendsten Auskünfte über den Wasserhaushalt eines Ortes.

### 3. Das Klima von Regensburg

Eine detaillierte Darstellung über die langjährigen Schwankungen und das Verhalten des Klimas von Regensburg gibt ROCZNIK (1971). Datengrundlage für die Auswertungen sind die Meßergebnisse der Klimastation Regensburg. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Station innerhalb Regensburgs mehrmals verlegt wurde. In Tabelle 1 sind die Standorte der Klimastation während der letzten 100 Jahre aufgelistet. Es ist daher auszuschließen, daß Trendänderungen der Klimawerte im langjährigen Verlauf möglicherweise auf die Verlegung der Klimastation zurückzuführen sind.

Tab. 1: Die Standorte der Klimastation Regensburg

Zeitraum	Standort
bis 1896	Hochschule Regensburg
1896 - 1912	Greflingerstraße
- 1917	Karmelitenkloster Kumpfmühl
- 1920	Städt. Versorgungsanstalt Kumpfmühl
- 1925	Hochschule Regensburg
- 1928	ohne meteor. Aufzeichnungen (Interpolation)
- 1939	Regensburger Amtsgericht
- 1945	Fliegerhorst Obertraubling

(alle Angaben nach ROCZNIK 1971:198)

01.01.1946 - 05.04.1960 Messerschmitt Straße  
 06.04.1960 - 25.06.1962 Hochweg 95  
 27.06.1962 - 17.09.1978 Königswiesen  
 seit 18.09.1978 Sallerner Berg

(Angaben nach EDV-Stationsdatei DWD)

REGENSBURG(Königswiesen) G.B.49 G.L.124' H = 376 m 1951-1970

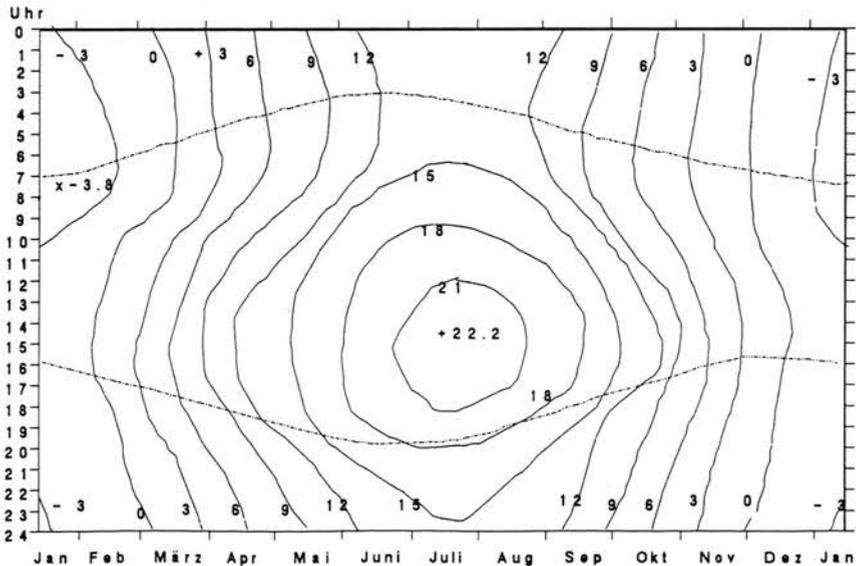


Abb. 2: Thermoisoplethendiagramm von Regensburg

### 3.1. Lufttemperatur

Der tages- und jahreszeitliche Verlauf der Lufttemperatur, der das Klima eines Ortes wesentlich kennzeichnet, wird in der Klimatologie durch Thermoisoplethendiagramme verdeutlicht. Da ein solches für Regensburg bisher nicht veröffentlicht wurde, zeigt Abbildung 2 diese Klimacharakterisierung. Die Daten (Zeitraum 1951-1970) wurden bei DITTMANN (1982:276) entnommen. Regensburg hat nach dem Thermoisoplethendiagramm ein subozeanisches, kühl gemäßigtes Klima (nach TROLL/PAFFEN). Die Jahresschwankung der Lufttemperatur von etwa 20° C zeigt, daß Regensburg bereits im Übergang zum kontinentalen Klima liegt. Das Auftreten von negativen Temperaturen rechtfertigt die Einstufung kühlgemäßigt. Die gestrichelte Linie im Diagramm stellt Sonnenaufgang und -untergang dar.

Über Veränderungen bei der Lufttemperatur können am besten langjährige Durchschnittswerte Auskunft geben. In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der Tagesdurchschnittstemperatur für verschiedene Zeitabschnitte während der letzten 100 Jahre aufgelistet (Daten des DWD ergänzt durch ROCZNIK, 1971).

Vergleicht man die Ergebnisse für die einzelnen Perioden, so stellt man fest, daß sich die Lufttemperaturen nur sehr gering verändert haben. Gegenüber der Periode 1881-1930 liegt die Jahresdurchschnittstemperatur von 1931-1980 um ein Zehntel Grad höher. Zwischen den drei Normalperioden 1901-1930, 1931-1960 und 1951-1980 sind nur sehr geringfügige Abweichungen feststellbar. Interessant ist, daß beim Zeitraum 1946-1986, der vom heutigen DWD betreut wird, mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,09 °C die letzte Periode 1979-1986 (Sallerner Berg) mit 8,03 °C Jahresdurchschnitt sowie einem kälteren Januar und Februar etwas abweicht. Ob die Gründe hierfür klimatischer Natur sind oder bei der neuen Station liegen, müßte ein Vergleich mit den nächstgelegenen Klimastationen (Parsberg, Cham, Schwandorf) zeigen. Auf jeden Fall ist kein Anstieg der Temperaturen in den letzten Jahren feststellbar.

Veränderungen im Klima werden häufig durch Zeitreihenanalysen (ausführlich beschrieben bei SCHÖNWIESE, 1985) erkannt. Die entsprechende Analyse (Abbildung 3) der Monatsdurchschnittstemperaturen der Periode 1951-1980 von Regensburg ließ keinen Trend erkennen, d.h. die Temperaturreihe  $X(t)$  hatte weder eine steigende noch fallende Tendenz. Im zweiten Arbeitsgang der Zeitreihenanalyse ist die Periodizität zu bereinigen. Bekanntlich läßt sich die periodische Komponente einer Zeitreihe als Polynom (sog. Fourierreihe) darstellen (Gleichung 3).

$$XP(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{180} \left( a_k \cos \frac{2nk}{n} t + b_k \sin \frac{2nk}{n} t \right) \quad (3)$$

mit  $XP(t)$  = periodischer Anteil einer Zeitreihe

$a_0$  = Mittelwert der Zeitreihe  $a_k, b_k$  = Fourierkoeffizienten

$n$  = Stichprobenumfang

$k$  = Frequenz

$n/k$  = Periode der Frequenz.

Tab. 2: Langjährige Mittelwerte der Lufttemperatur für Regensburg

Zeitraum	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1881-1980	-2.3	-.7	3.4	7.9	13.0	16.2	17.8	16.9	13.4	7.9	2.8	-.8	7.95
1881-1930	-2.2	-.8	3.3	7.7	13.0	16.1	17.8	16.7	13.2	7.7	2.6	-.8	7.87
1931-1980	-2.4	-.7	3.5	8.1	12.9	16.3	17.8	17.0	13.6	8.0	3.1	-.8	8.04
1901-1930	-1.5	-.6	3.9	7.7	13.1	15.8	17.7	16.5	12.9	7.8	2.6	-.3	7.97
1931-1960	-2.4	-1.2	3.5	8.2	13.1	16.3	17.9	17.0	13.6	8.0	3.1	-.6	8.02
1951-1980	-2.2	-.6	3.4	8.0	12.6	16.3	17.7	16.9	13.4	8.1	3.0	-.6	8.00
1946-1986	-2.1	-.9	3.6	8.2	12.9	16.2	17.9	17.1	13.6	8.1	3.0	-.5	8.09
1946-1959	-1.9	-1.3	3.5	8.4	13.2	16.1	18.0	17.0	13.7	7.8	3.0	-.1	8.11
1963-1977	-2.1	-.1	3.3	8.0	13.0	16.3	18.2	17.1	13.5	8.1	3.3	-1.1	8.13
1979-1986	-2.9	-2.0	4.1	7.6	13.0	16.2	17.8	17.4	13.7	8.5	2.7	-.2	8.03

Tab. 3: Langjährige Mittelwerte der Monatsniederschläge für Regensburg

Zeitraum	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1881-1980	39.3	33.9	33.7	40.2	58.2	75.8	81.2	70.8	50.8	41.5	39.5	42.7	607.7
1881-1930	34.4	28.0	32.4	38.1	56.7	67.9	80.4	68.0	50.5	40.4	35.2	42.5	574.4
1931-1980	44.2	39.8	35.0	42.3	59.8	83.8	81.9	73.5	51.1	42.7	43.9	43.0	640.9
1901-1930	38.4	30.7	33.2	40.9	57.0	65.9	85.6	76.2	47.7	39.2	39.3	46.9	601.0
1931-1960	46.6	39.6	32.2	39.4	58.8	83.6	92.0	73.3	52.7	43.9	39.4	42.0	643.4
1951-1980	41.4	39.8	38.4	44.1	58.8	86.5	76.9	75.2	49.3	42.2	44.1	47.0	643.7
1946-1986	44.7	39.4	35.5	40.1	60.6	81.6	80.1	74.5	49.0	41.8	44.9	47.0	639.1
1946-1959	45.2	43.5	33.1	36.3	53.9	88.7	101.3	70.6	50.3	33.3	37.9	48.5	642.5
1963-1977	41.2	40.0	34.5	46.1	56.5	85.7	68.7	75.2	46.3	45.7	56.9	39.0	635.8
1979-1986	55.7	29.3	37.9	39.5	68.1	66.5	76.6	70.2	52.3	48.7	42.7	50.2	637.7

Für den Zeitraum 1951-1980 ( $n = 360$  Monate,  $k = 30$  Jahre) bei einer Durchschnittstemperatur von  $8^{\circ}$  C lautet die entsprechende Gleichung (4):

$$XP(t) = 8,0 + \sum_{k=1}^{180} -9,88 \cos \frac{2n}{12} t + -0,12 \sin \frac{2n}{12} t - 1 \quad (4)$$

Dieser signifikant periodische Anteil der Lufttemperatur ist anschließend von der Temperaturreihe abzuziehen. Es bleibt die bereinigte Zeitreihe übrig, die die Zufallsanteile (positive und negative Abweichungen) der Temperaturreihe wiedergibt. Es fällt hier besonders auf, daß die Extremwerte der Minima bedeutend höher ausfallen als diejenigen der Maxima. Die größte Abweichung überhaupt zeigt der Februar 1956 (Donauvereisung).

Bei der Überprüfung der Autokorrelation der bereinigten Zeitreihe zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse.

Insgesamt verhält sich die Lufttemperatur in Regensburg sehr stabil, Trends nach oben wie unten lassen sich während der letzten hundert Jahre nicht erkennen.

### 3.2. Niederschlag

Innerhalb Bayerns gehört Regensburg zu den Gebieten mit den niedrigsten Niederschlagswerten (siehe LANG, 1987). Das Niederschlagsregime ist ein Sommerregentyp mit einem ausgesprochenen Maximum im Sommer. Im Gegensatz zur Periode 1901-1930 mit dem Maximum im Juli ist von 1951-1980 der Juni der Monat mit den höchsten Niederschlägen, gefolgt von Juli und August.

Betrachtet man den Zeitraum von 100 Jahren (1881-1980), so stellt man doch beträchtliche Veränderungen bei den Niederschlagswerten in Tabelle 3 fest. Gegenüber dem Zeitraum 1881-1930 haben die Niederschläge von 1931-1980 um 10 % (> 60 mm) zugenommen. Werden die 30-jährigen Normalperioden miteinander verglichen, so stellt man gegenüber 1901-1930 mit 601 mm von 1931-1960 und ebenso von 1951-1980 eine Zunahme von 40 mm Niederschlag fest. Sieht man sich die Niederschlagswerte der einzelnen Monate an, so zeigen mit Ausnahme des Junis und Julis alle eine geringere Steigerung. Die Monatssummen des Julis, die von 1931-1960 noch um 7 mm auf durchschnittlich 92 mm anwachsen, fallen von 1951-1980 auf 77 mm, während der Juni eine Zunahme von 65 mm auf 85 mm erfährt. Seit 1979 jedoch ist wieder der Juli der Monat mit den höchsten Niederschlägen.

Bezüglich der Veränderungen der Klimastationsstandorte läßt sich anhand der Niederschlagsdaten nichts Auffälliges erkennen. Auch hier müßte getrennt eine Untersuchung zu Nachbarstationen durchgeführt werden.

Die zeitliche Variabilität, aber auch die existierenden räumlichen Unterschiede der Niederschläge werden durch Abbildung 4 verdeutlicht, die die Niederschlagsjahressummen von Regensburg, Walhalla (Donaustauf) und Falkenstein sowie deren Quotienten im Vergleich von 1961-1986 zeigt. Das Diagramm belegt zunächst die auftretenden größeren Schwankungen. Bei Regensburg beispielsweise erreichen 6 Jahre in etwa den Wert des langjährigen Mittels; ebenso liegen 6 Jahre etwa 20 % unter dem Durchschnittswert und können als relativ trockene Jahre bezeichnet werden. 6 Jahre weisen dagegen um über 20 % höhere Werte als das Mittel auf, wobei diese Abweichungen (feuchte Jahre) größer ausfallen als die der trockenen Jahre. Walhalla und Falkenstein besitzen dieselbe zeitliche Variabilität mit nahezu kongruentem Kurvenverlauf. Die Niederschläge von Donaustauf sind bis auf 4 Ausnahmen höher als die von Regensburg. Die Ursache für diesen Anstieg der Daten um 8 % ist im Anstieg des Donaurandbruches gegenüber der Donauebene und in den damit verbundenen Aufgleitniederschlägen zu sehen. Falkenstein ist mit 562 m Höhe bei einem Höhenanstieg von knapp über 50 % gegenüber Regensburg im Vorwald gelegen und besitzt um 35 % höhere Niederschlagssummen als Regensburg. Diese Steigerung der Niederschläge mit der Höhenlage

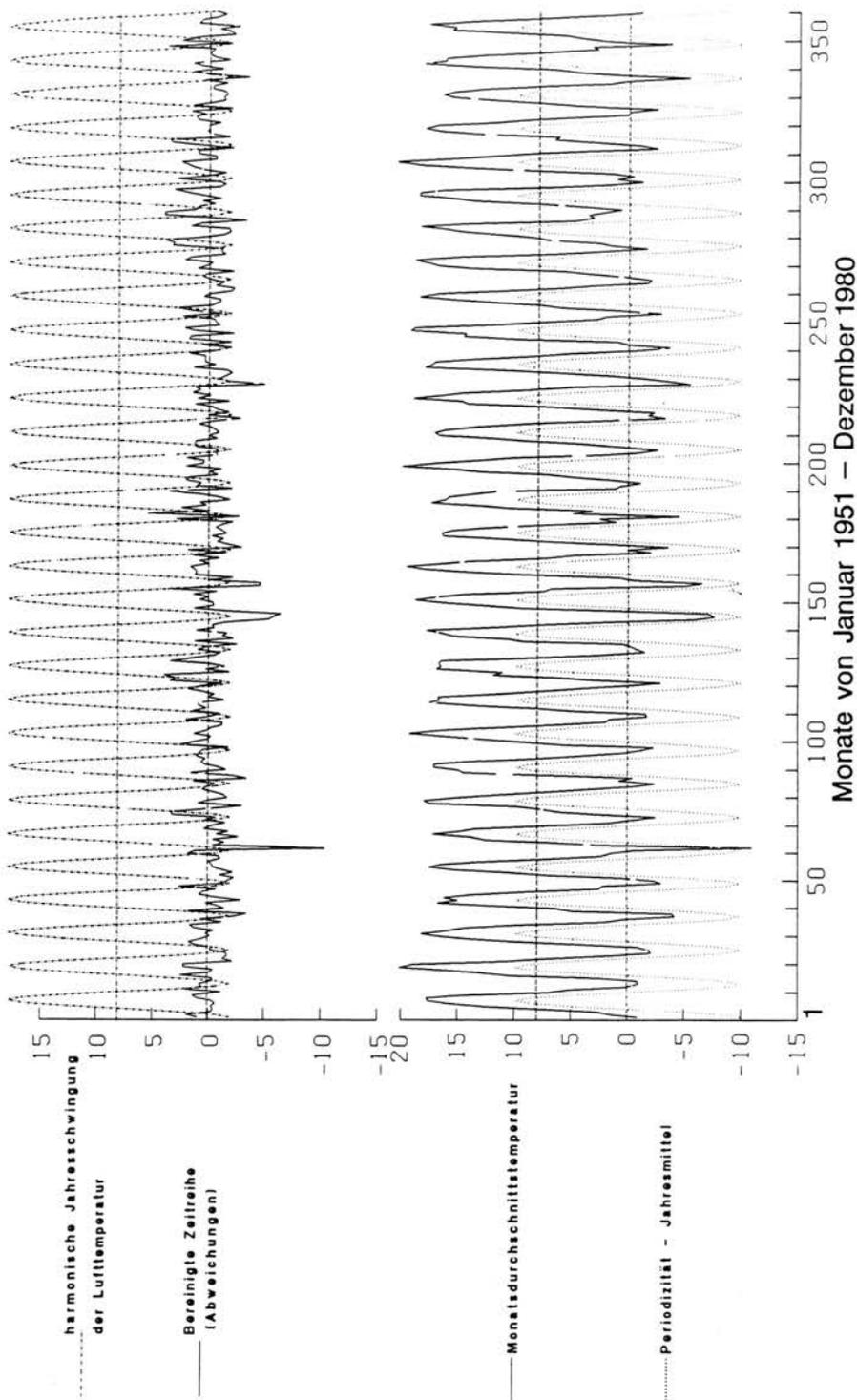


Abb. 3: Zeitreihenanalyse der Lufttemperatur von Regensburg (1951 — 1980)

und mit dem Anstieg von Donaurandbruch und Vorwald läßt eine regelhafte Verteilung der Niederschläge im Regensburger Raum nicht als unwahrscheinlich erscheinen. Durch genauere statistische Untersuchungen mit einer größeren Anzahl von Stationen läßt sich hier Klarheit verschaffen.

Diese Analyse wurde für die Jahre 1984-1986 durchgeführt. Die durchschnittlichen Jahressummen aller berücksichtigten Niederschlagsstationen sind in Abbildung 5 dargestellt.

Jeder Standort ist räumlich primär durch seine Höhe über NN, durch Geographische Breite und Länge gekennzeichnet. (Diese Werte wurden durch den DWD zur Verfügung gestellt). Um eine Abhängigkeit der Niederschläge von diesen Lagevariablen nachzuweisen, ist eine Regressionsanalyse durchzuführen. Die Korrelation von Jahresniederschlag und Höhenlage, Geographische Breite und Länge erbrachte folgende Korrelationskoeffizienten: 0,726, 0,504 und -0,208.

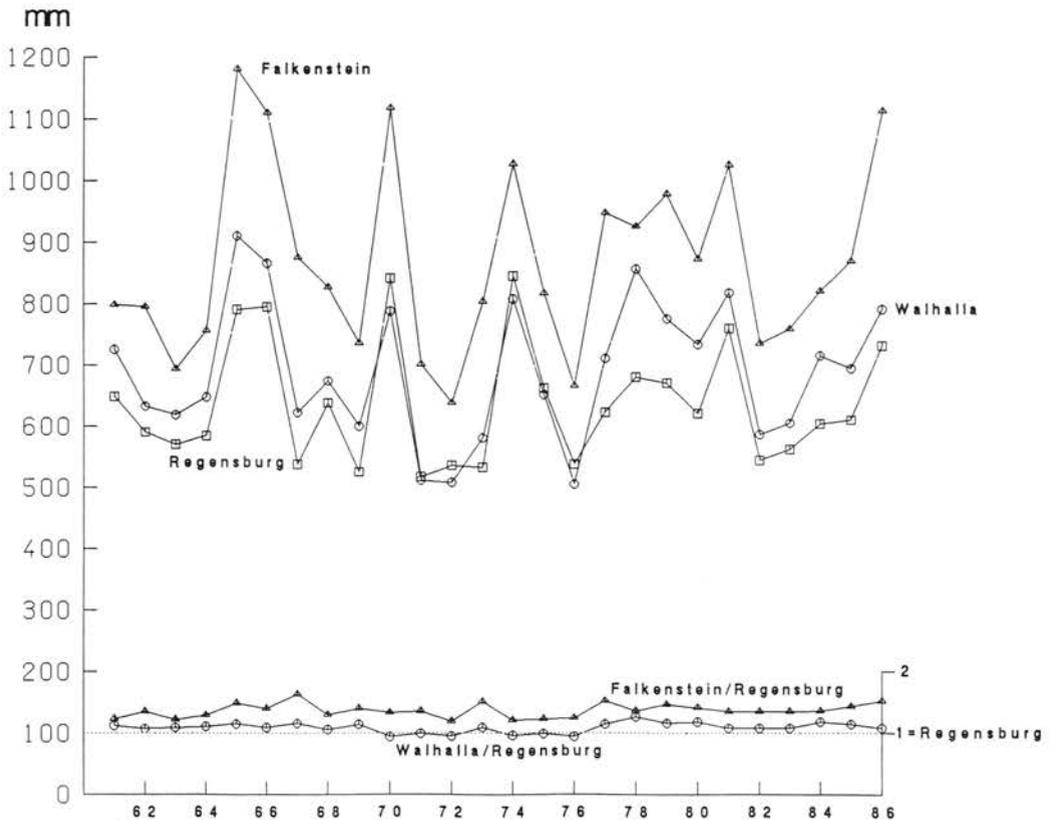


Abb.4: Jahresniederschläge von Regensburg, Walhalla und Falkenstein

Jahressummen und deren Quotienten von 1961-1986 im Vergleich



Dieses erste Ergebnis scheint die am häufigsten geäußerte starke Höhenabhängigkeit zu bestätigen. Die multiple Regression mit allen drei Raumvariablen erbringt einen multiplen Regressionskoeffizienten von 0,768 und damit eine erhöhte Vorhersagegenauigkeit der Jahresniederschläge durch Höhe, Rechts- und Hochwert. Wird die multiple Regression durch die Quadrate bzw. 3. Potenzen der Lagevariablen erweitert, so wird nur eine sehr geringfügige Verbesserung erzielt.

Zur Bestimmung von Niederschlagssummen oder Interpolation mittels statistischer Methoden werden sehr häufig sogenannte Umgebungsvariablen (HORMANN, 1981) definiert. Bei aufmerksamer Betrachtung der Niederschlagsverteilung in Abbildung 5 fällt auf, daß die niedrigsten Werte im Gebiet zwischen Naab und Regen und in deren Fortsetzung nach Süden auftreten, und daß die Niederschlagssummen von diesem Bereich aus nach Osten wie nach Westen ansteigen. Es ist nun möglich, eine Variable "Mitte" durch den Absolutbetrag der Differenz zwischen der jeweiligen Geographischen Länge und dem 12. Längengrad zu definieren. Die Korrelation dieser neuen Variable mit den Niederschlägen ergibt einen Korrelationskoeffizienten von 0,82. Dies bedeutet, daß diese neue Umgebungsvariable die Verteilung der Niederschläge im Raum Regensburg besser erklärt als die Höhenlage der Stationen. Ähnliche Versuche mit der Geographischen Breite und ausgewählten Breitengraden erbringt dagegen ungünstigere Ergebnisse als der Hochwert allein. Bei der anschließenden multiplen Regression mit den Variablen "Mitte", Stationshöhe und Geographischer Breite wird ein multipler Regressionskoeffizient von 0,9 erzielt. Die Niederschlagswerte lassen sich demnach mit einer möglichen Abweichung von etwa 5 % für den Raum Regensburg aus diesen drei Raumvariablen ableiten.

### 3.3. Verdunstung

Die Bestimmung der potentiellen Evapotranspiration -PET- (mögliche Verdunstung bei stets vorhandenem Wasserdargebot) ist eine schwierigere Aufgabe, da diese Größe ja nicht einfach durch Geräte zu messen ist. Die PET wird allgemein durch empirische Verfahren, von denen mehr als hundert entwickelt wurden, quantifiziert. Für die hier vorgestellten Bilanzen (langjährige Durchschnittswerte) reichen zunächst Monatswerte der PET aus. Der einfachste Weg, monatliche Werte der PET zu erhalten, ist die Benutzung von monatlichen Relativzahlen der Verdunstung (siehe Tabelle 4). Man braucht nur den entsprechenden Jahreswert, der beispielsweise von KERN (1975) oder KELLER (1979) übernommen werden kann, mit den Relativzahlen aufzuteilen.

Tab. 4: Prozentuale Verteilung der Jahresverdunstung nach  
FRIEDRICH (1) und MAYR (2) (KERN, 1975:10)

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
(1)	1	2	5	8	16	17	15	11	5	2	1	
(2)	1	2	5	8	18	17	19	16	9	3	1	1

Ein etwas anspruchsvolleres, jedoch noch einfaches Verfahren ist die Bestimmung der PET nach THORNTHWAITE, das Monatswerte erzeugt und nur die Kenntnis langjähriger Temperaturwerte voraussetzt. Die entsprechende Formel ist in Gleichung 5 wiedergegeben (ausführlicher bei DAMMANN, 1965:318).

$$\text{PET (cm/Monat)} = 1,6 (10 t/I)^a \quad (5)$$

t = Monatsmitteltemperatur

I = Wärmeindex

a = konstanter Exponent

T = langjährige Monatsdurchschnittstemperatur

$$I = \sum_{i=1}^{12} i, \quad i = (T/5)^{1,514}$$

Da THORNTHWAITE die Formel ursprünglich für Orte mit täglich 12 Stunden Sonnenschein entwickelt hat, müssen die PET-Resultate durch monatliche Korrekturfaktoren berichtigt werden. In der folgenden Tabelle 5 sind alle Werte der THORNTHWAITE-Formel für Regensburg und die durchschnittlichen PET-Werte für die verschiedenen Klimanormalperioden 1901-1930, 1931-1960 und 1951-1980 aufgeführt.

Tab. 5: Langjährige Durchschnittswerte der potentiellen Evapotranspiration nach THORNTHWAITE und zugehörige Indizes

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Korrekturfaktoren	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
1901-1930												
Wärmeindex I	32.02											
Exponent a	1.01											
Lufttemperatur	-1.5	-.6	3.9	7.7	13.1	15.8	17.7	16.5	12.9	7.8	2.6	-.3
PET in mm	.0	.0	19.9	44.6	88.2	109.0	123.1	104.6	69.2	36.2	9.9	.0
1931-1960												
Wärmeindex I	33.32											
Exponent a	1.03											
Lufttemperatur	-2.4	-1.2	3.5	8.2	13.1	16.3	17.9	17.0	13.6	8.0	3.1	-.6
PET in mm	.0	.0	17.2	46,5	87.0	111.4	123.6	107.0	72.1	36.2	11.3	.0
1951-1980												
Wärmeindex I	32.72											
Exponent a	1.02											
Lufttemperatur	-2.2	-.6	3.4	8.0	12.6	16.3	17.7	16.9	13.4	8.1	3.0	-.6
PET in mm	.0	.0	17.0	45.8	84.2	111.9	122.6	106.7	71.4	37.1	11.1	.0

Sehr deutlich sind die geringen Unterschiede zwischen den verschiedenen Perioden entsprechend den Temperaturdifferenzen zu erkennen. Die Nachteile der Methode sind ebenfalls auffallend. In den Wintermonaten ist die PET gleich Null; die Sommerwerte geraten sehr hoch. Aufgrund der einzigen Eingangsgröße Lufttemperatur ist die THORNTHWAITE-Methode jedoch überall anwendbar.

Werden Verdunstungswerte für alle Tage benötigt, so muß auf andere Verfahren zurückgegriffen werden. Das in Deutschland, insbesondere für die Landwirtschaft am häufigsten verwendete Verfahren ist dasjenige von HAUDE (Gleichung 6).

$$PET_{HAUDE} \text{ (mm/Tag)} = k (E - e)_{14} \quad (6)$$

$k$  = monatlicher Proportionalitätsfaktor

$(E - e)$  = Sättigungsdefizit der Luft um 14.00 Uhr Ortszeit

Werte für Regensburg nach dieser Methode werden bei der Bodenwasserbilanz vorgestellt.

Die Werte der PET haben sich entsprechend der Lufttemperatur während der letzten 100 Jahre nur geringfügig verändert. Für die aktuelle Verdunstung, die vom tatsächlich vorhandenen Wasserdargebot abhängt, muß dies noch verifiziert werden.

#### 4. Wasserbilanzen für den Regensburger Raum

Nachfolgend werden die verschiedenen Arten von Wasserbilanzen für Regensburg aufbauend auf den Klimaelementen Niederschlag, Temperatur, Verdunstung und der hydrologischen Größe Abfluß vorgestellt. Neben dem Aspekt möglicher langjähriger Veränderungen sollen auch kurzfristige Schwankungen, Extremjahre sowie der Einfluß von Frucht- und Bodenart berücksichtigt werden.

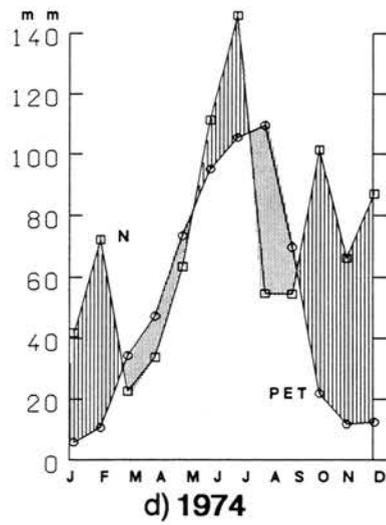
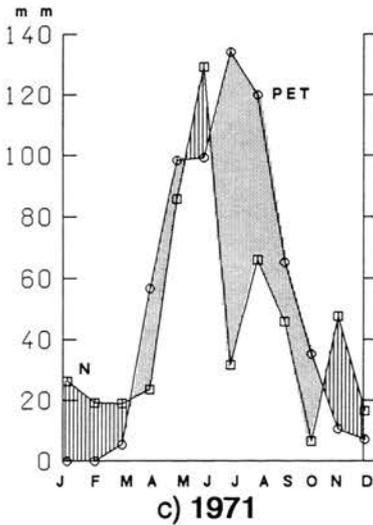
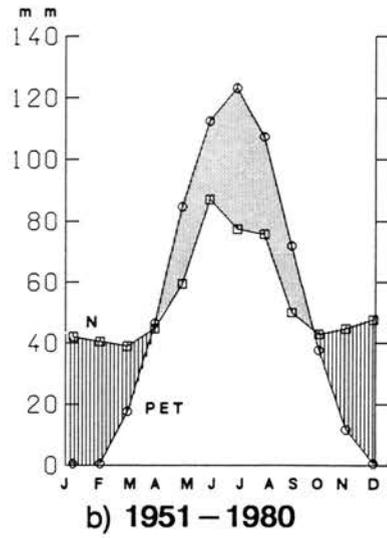
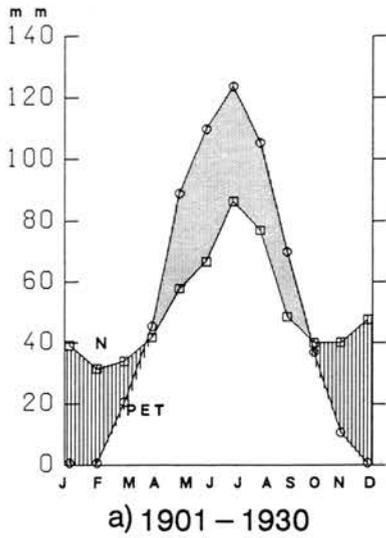
##### 4.1. Die klimatische Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz für Regensburg, ausführlich dargestellt in Abbildung 6, gibt einen Überblick allgemeiner Art über Zeiten von Wasserüberschuß bzw. -defizit aufgrund der klimatischen Verhältnisse.

Die Gegenüberstellung der Perioden 1901-1930 und 1951-1980 (Abb. 6a und 6b) zeigt nur geringe Abweichungen zwischen beiden. Die Kurven der PET, berechnet nach THORNTHWAITE, sind fast identisch; nur die Niederschlagswerte sind etwas verändert.

Grundsätzlich ist für Regensburg die PET in allen Sommermonaten höher als der Niederschlagsinput, während im Winter bei sehr geringen Verdunstungswerten die Niederschläge überwiegen. Für die Periode 1901-1930 hat so Regensburg eine nahezu ausgeglichene Bilanz zwischen den Jahressummen vom PET mit 605 mm und N mit 601 mm. In den Jahren von 1951 bis 1980 überwiegen die Niederschläge mit etwa 40 mm bei getiegenen Niederschlagswerten von 643 mm.

Diese langjährigen Durchschnittswerte zeigen jedoch nicht, welche Schwankungen in den einzelnen Jahren möglich sind. Als Beispiele seien die beiden extremen Jahre 1971 und 1974 herausgegriffen. 1971 war ein relativ trockenes Jahr mit nur 517 mm Jahresniederschlägen. Die PET übertraf diese mit 632 mm beträchtlich. Die



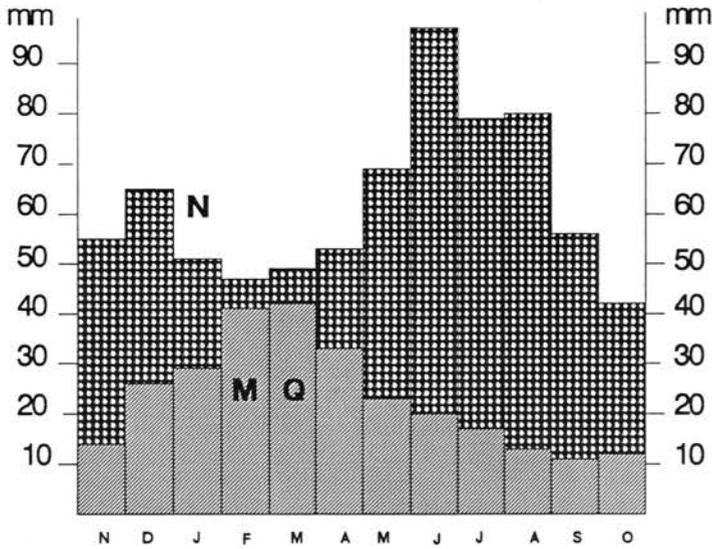
**Abb. 6: Klimatische Wasserbilanz von Regensburg**

Vergleich verschiedener Jahre und Perioden

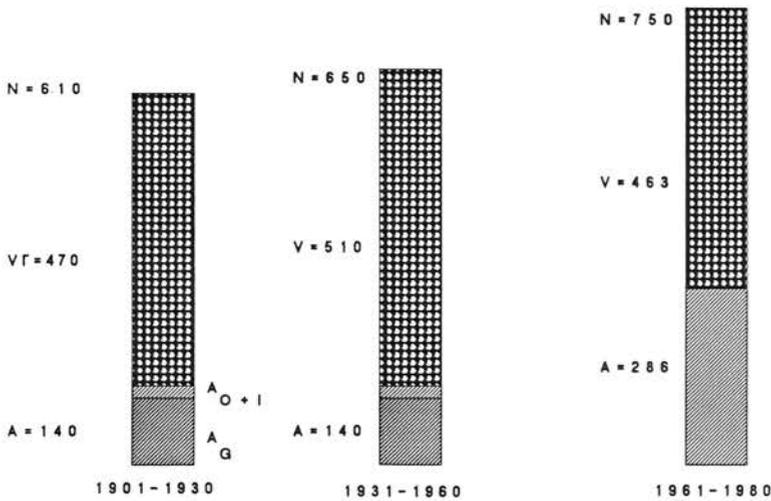
Berechnung der Pot. Evapotranspiration nach THORNTHWAITE

Wasserdefizit

Wasserüberschuß



a) Durchschnittliche Monatswerte für das Einzugsgebiet des Otterbaches (1961-1980)



b) Durchschnittliche Jahressummen für Regensburg und Otterbach

**Abb. 7: Hydrologische Wasserbilanzen im Raum Regensburg**

Daten der PET auf täglicher Basis nach dem HAUDE-Verfahren ergeben ein noch größeres Wasserdefizit von 173 mm.

1974 hingegen war ein ausgesprochen feuchtes Jahr mit der für Regensburger Verhältnisse hohen Niederschlagssumme von 845 mm. Die PET fiel dagegen mit 630 mm bzw. 615 mm nach dem HAUDE-Verfahren kaum geriner aus als im trockenen Jahr 1971. Der Wasserüberschuß betrug 1974 215 bzw. 230<sub>HAUDE</sub> mm. Weiterhin verdeutlichen die Grafiken 6c und 6d, daß in einigen Sommermonaten die Niederschläge höher ausfallen als die PET, daß demnach kurzfristig auch in der trockenen Jahreszeit Wasserüberschuß vorhanden ist.

Das Diagramm der klimatischen Wasserbilanz für Regensburg zeigt auf jeden Fall ganz andere hygrische Relationen als das Klimadiagramm nach WALTER/LIETH (Abb. 1a), in dem ganzjährig humide Verhältnisse postuliert werden.

#### 4.2. Die hydrologische Wasserbilanz

Hydrologische Bilanzen können in der Regel nur für Flußeinzugsgebiete erstellt werden, denn der an einem Pegel gemessene Abflußwert läßt sich nur auf die zugehörige Einzugsgebietsfläche umrechnen. Weiterhin ist die Bestimmung des Gebietsniederschlages notwendig. Hierzu existieren eine Vielzahl von Verfahren, die aber alle auf die vorhandenen Stationsdaten in und um das Einzugsgebiet zurückgreifen müssen. Günstige Voraussetzungen für den Regensburger Raum bietet das Einzugsgebiet des Otterbaches, nordöstlich von Regensburg im Falkensteiner Vorwald gelegen. Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft, dem hier sehr herzlich für die Überlassung der Abflußdaten gedankt sei, hat hier durch seine Außenstelle Regensburg bei der Hammermühle 1957 einen Schreibpegel eingerichtet. Da auch die Werte aller räumlich tangierten Niederschlagsstationen vorliegen, kann für die Periode 1961-1980 die hydrologische Wasserbilanz erstellt werden.

Die Abflußdaten mittlerer monatlicher Abfluß in  $m^3/s$ , und Abflußspende in  $l/s/km^2$  sowie  $mm/m^2$  sind in Tabelle 6 aufgezeichnet. Der Otterbach selbst hat ein pluvionivales Abflußregime mit dem Abflußmaximum im Februar und März, also dem Ende des hydrologischen Winterhalbjahres, in dem insgesamt 68 % des Jahresabflusses stattfinden (Einzelheiten bei LANG, 1987).

Der Gebietsniederschlag wurde für diesen Zweck nach dem einfachsten Verfahren, THIESSEN-Methode (s. HERRMANN, 1977) berechnet. Das Gesamtgebiet wird hierbei in Polygone aufgeteilt, wobei die Abgrenzung zwischen zwei Niederschlagsstationen durch die Mittelsenkrechte ihrer Verbindungsgeraden erfolgt und der Gebietsniederschlag entsprechend Gleichung 7 bestimmt wird.

$$N_G = N_{s1} \frac{F_{s1}}{FG} + N_{s2} \frac{F_{s2}}{FG} + \dots + N_{sN} \frac{F_{sN}}{FG} \quad (7)$$

$N_G$  = Gebietsniederschlag

$N_{si}$  = Niederschlag an der Station i

$F_{si}$  = Teilfläche zur Station i gehörig

$FG$  = Gesamtfläche des Einzugsgebietes.

Die entsprechenden Werte sind ebenfalls in Tabelle 6 wiedergegeben. Da als einzige Station Altenthann innerhalb des Einzugsgebietes des Otterbaches liegt, kommt deren Werte bei der Gebietsniederschlagsbestimmung mit einer Wichtung von 70 % eine dominierende Stellung zu.

Tab. 6: Niederschlags- und Abflußdaten für die Hydrologische Wasserbilanz des Otterbacheinzugsgebietes

	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Jahr
<u>Abfluß:</u>													
1961-1980													
MQ (m³/s)	.48	.97	.99	1.44	1.43	1.21	.78	.69	.60	.45	.37	.41	.83
MQ (l/s/km²)	5.29	10.72	10.99	15.98	15.91	13.46	8.69	7.70	6.61	5.04	4.13	4.51	109.03
MQ (mm/m²)	14.17	26.13	24.45	41.42	42.61	34.88	23.28	20.63	17.14	13.49	10.70	12.07	285.97
<u>Niederschlag:</u>													
1961-1980													
Gebiets-N.	55.7	65.3	51.3	47.4	49.5	53.8	69.4	98.3	78.9	80.4	56.7	43.8	748.6
1961-1980													
(Altenthann)	53.9	66.1	50.9	47.3	48.8	51.5	67.4	95.9	76.8	76.9	54.9	40.7	727.6
1979													
Gebiets-N.													
(DWD)	13.	70.	49.	31.	132.	71.	32.	127.	57.	93.	102.	14.	191.
(Thiessen)	12.1	67.8	49.3	28.4	123.1	67.3	30.2	123.5	54.9	84.3	98.9	12.4	752.2
(Altenthann)	12.0	63.6	47.4	24.7	121.3	65.2	27.9	123.3	56.6	80.5	95.8	13.3	731.6
1980													
Gebiets-N.													
(DWD)	97.	91.	56.	59.	56.	127.	60.	79.	170.	42.	37.	78.	952.
(Thiessen)	95.3	126.9	54.0	57.4	52.4	114.0	50.0	74.0	169.1	44.0	32.6	74.4	944.1
(Altenthann)	99.3	136.8	51.5	54.7	50.9	107.6	52.5	66.0	169.4	48.2	32.0	69.9	938.8

Die Ergebnisse des Gebietsniederschlages wurden für 1979 und 1980 mit den Daten des DWD, die nach dem Sammelgebietsverfahren (beschrieben bei DEISENHOFER, KUMM, WOLLKOPF, 1982) erstellt wurden, verglichen. Die Werte des DWD liegen nur um 5 bzw. 1 % höher als die nach dem THIESSEN-Verfahren erzielten.

Für die langjährige hydrologische Wasserbilanz " $N = V + A$ " ergibt sich demnach für das Gebiet des Otterbaches (s. Abb. 7b):

$$(\text{mm}) \quad 749 = N = A + V = 286 + 463.$$

Werden die Ergebnisse des DWD berücksichtigt, so sind die Werte von  $N$  und  $V$  auf 771 bzw. 477 mm erhöht. Der Wert von 470 mm repräsentiert den langjährigen Durchschnittswert der aktuellen Evapotranspiration.

Hydrologische Bilanzen für ganz Bayern wurden von KÖPF/ROTHASCHER 1980 vorgelegt. Hierbei wurden für Regensburg, Donaugebiet zwischen Naab und Regen für die Periode 1931-1960 folgende Werte ermittelt:

$$(\text{mm}) \quad 650 = N = A + V = 140 + 510.$$

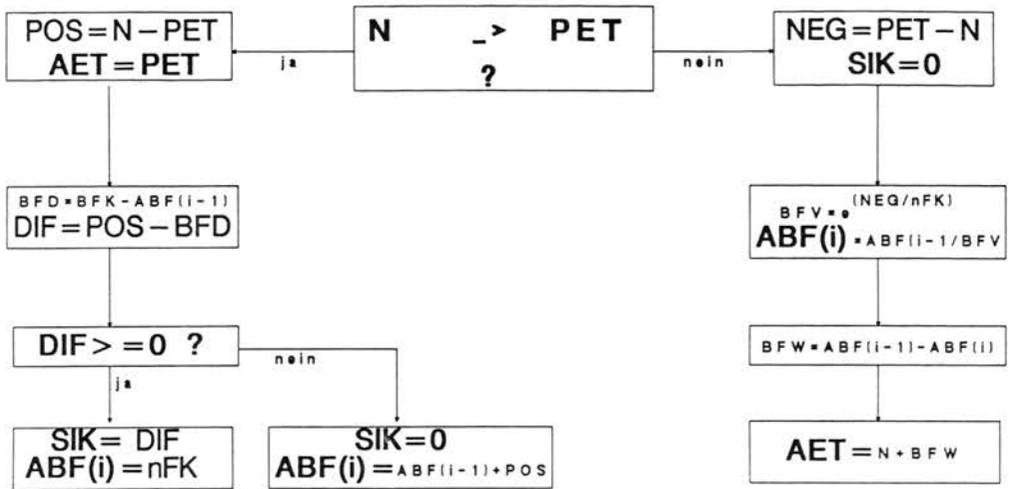
Für den Zeitraum 1901 bis 1930 fällt die hydrologische Bilanz jedoch anders aus. Bei geringeren Niederschlägen von nur 610 mm ist das Wasserdargebot geringer. Die hydrologische Wasserbilanz für diesen Zeitabschnitt lautet demnach:

$$(\text{mm}) \quad 610 = N = A + V = 140 + 470.$$

Die hydrologische Wasserbilanz ist durch die Quantifizierung der Verdunstung ein Maß für die Güte ihrer Bestimmung durch andere Methoden, beispielsweise mit Hilfe der Bodenwasserbilanz.

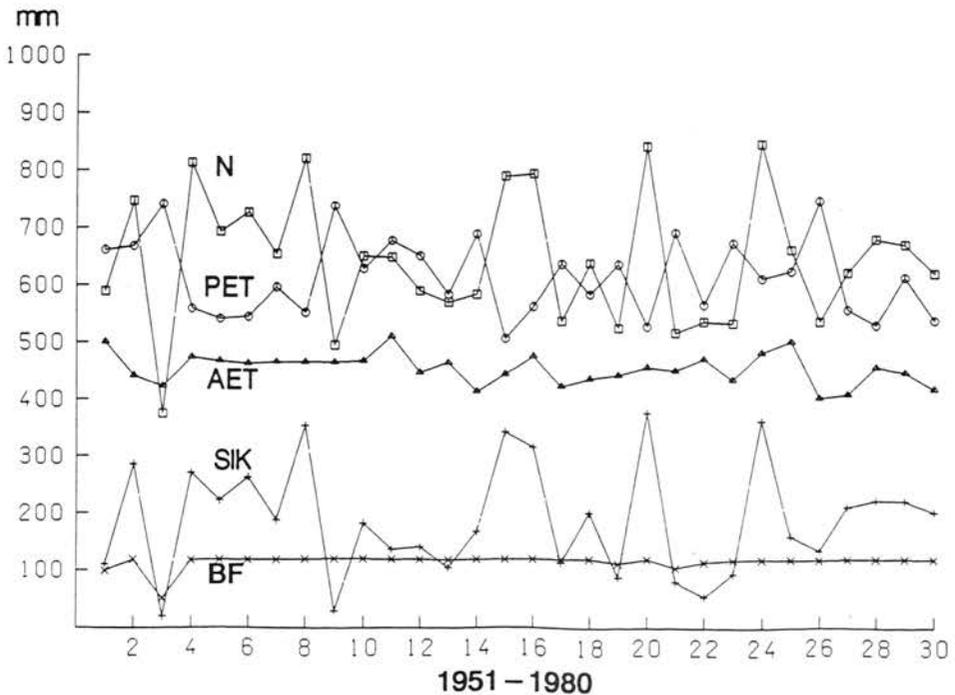
#### 4.3. Die Bodenwasserbilanz

Die detaillierteste Beschreibung der hydrologischen Situation eines Ortes erfolgt mittels der Bodenwasserbilanz. Bei diesem Verfahren spielt die Bodenart eine wesentliche Rolle. Bekanntlich können Böden unterschiedliche Mengen an Wasser speichern und langsam wieder abgeben. Dieser Betrag der Wasseraufnahmefähigkeit wird nutzbare Feldkapazität (nFK) genannt, die zusammen mit dem sogenannten Totwasser, das Pflanzen nicht mehr aus dem Boden entnehmen können, die gesamte Feldkapazität eines Bodens bildet. Entsprechende Daten für den Raum Regensburg können den Erläuterungen der Bodenkarte 1:25000 Blatt Regensburg (WITTMANN, 1975) entnommen werden. Vor diesen Voraussetzungen und unter Verwendung der aktuellen Bodenfeuchte (ABF) des Vortags werden bei der Bodenwasserbilanz Niederschlag ( $N$ ) und potentielle Evapotranspiration (PET) auf täglicher Basis miteinander verglichen, wobei die aktuelle Evapotranspiration (AET) und die Versickerung in die Tiefe (SIK) bzw. lateraler Abfluß gleichzeitig ermittelt werden. Den Ablauf der Quantifizierung all dieser Parameter zeigt das Fließdiagramm in Abbildung 8.



**Abb. 8: Flußdiagramm zur Bestimmung der Bodenwasserbilanz**

N=Niederschlag, PET=Potentielle Evapotranspiration, AET= Aktuelle Evapotranspiration  
 SIK=Versickerung, ABF(i)=Aktueller Bodenfeuchtegehalt am Tag (i), nFK=nutzbare Feldkapazität



**Abb. 9: Jahreswerte der Bodenwasserbilanz für Regensburg**

N=Niederschlag, PET=Pot. Evapotranspiration für Wiese  
 AET=Akt. Evapotranspiration, SIK= Versickerung,  
 BF=Bodenfeuchtewert am Ende eines Jahres bei 120mm nFK

Dieses Verfahren der Bodenwasserbilanz wird in der Agrarmeteorologie und bei den Landwirtschaftsämtern zur Bestimmung des Beregnungsbedarfs eingesetzt. Aus diesem Grund ist auch eine tägliche Berechnungsbasis notwendig. Für das Verfahren selbst ist noch die Wahl der Methode zur Bestimmung der PET offen. Entsprechend dem DWD und den Landwirtschaftsämtern wird das Verfahren von HAUDE (Gleichung 6) verwendet.

Die Bodenwasserbilanz wurde für Regensburg für die Periode 1951-1980 durchgeführt. An dieser Stelle können leider nicht die Detailergebnisse der einzelnen Jahre vorgestellt werden, sondern nur Jahres- und Monatsdurchschnittswerte.

Den Verlauf der Jahressummen der Elemente Niederschlag, PET, AET, Versickerung und Bodenfeuchte (am Ende eines jeden Jahres) bei einer angenommenen nutzbaren Feldkapazität von 120 mm (etwaiger Durchschnittswert für Regensburger Verhältnisse) und Wiese als Nutzungsart zeigt die Abbildung 9. Die Niederschlagswerte zeigen die bekannten Schwankungen mit den Maxima um und über 800 mm sowie den Minima unter 550 mm. Besonders auffällig ist das extreme Trockenjahr 1953 mit nur 375 mm Jahresniederschlag. Der 30-jährige Durchschnitt beträgt 643 mm. Die PET schwankt zwischen 747 mm und 529 mm bei einem Mittelwert von 615 mm. Die AET erreicht Werte bis 510 mm und fällt bis auf 404 mm ab, ihr Durchschnitt liegt bei 454 mm. Parallel zu den Niederschlagsschwankungen verläuft die Linie der Versickerung. Ihr höchster Wert lautet 377 mm, ihr niedrigster 20 mm, der Mittelwert steht bei 189 mm. Da am Anfang und Ende der Normalperiode derselbe Bodenfeuchtwert vorliegt und somit Wasserspeicherung und -aufbrauch sich aufheben, kann die vereinfachte Bodenwasserbilanz "N = AET + SIK" zur hydrologischen Bilanz "N = V + A" umgesetzt werden mit den folgenden Werten:

$$(mm) \quad 643 = N = V(AET) + A(SIK) = 454 + 189.$$

Werden die durchschnittlichen Monatswerte für 1951-1980 der Bodenwasserbilanz im zugehörigen Diagramm (Abb. 10) analysiert, so sind einige Auffälligkeiten hervorzuheben. Der Feuchtespeicher im Boden ist erst zum 1. Februar mit 99 % Sicherheit wiederaufgefüllt. Es wird dann kontinuierlich mit Ausnahme des Julis bis zum August entleert. Dies bedeutet, daß in all diesen Monaten Wasserdefizit vorherrscht, AET und Versickerung zusammen größer sind als der Niederschlagsinput, und daß dieses Defizit nur durch Entnahme aus dem Boden ausgeglichen werden kann. Versickerung findet in allen Monaten statt. Die höchsten Werte fallen in den Wintermonaten an, Minima treten im Mai und September auf. Trotz der hohen Sommerniederschläge kommt das sekundäre Maximum im Juli etwas überraschend. Von den 30 registrierten Jahren ist bei 20 die Versickerung im Monat Juli gleich Null. Von den übrigen 10 Jahren erreicht der Juli 1954 mit 135 mm Versickerung einen Spitzenwert. In diesem Monat fielen auch mit 237 mm die höchsten Niederschläge während der 30 Jahre.

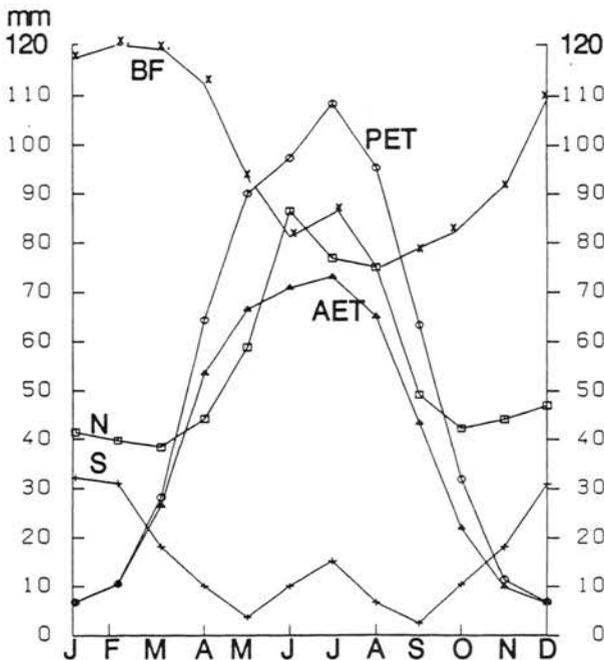
Die aktuelle Verdunstung ist mit Ausnahme von April und Mai geringer als die zugehörige monatliche Niederschlagsmenge. Die Unterschiede von Mai bis August bei der AET betragen weniger als 8 mm.

Die Variabilität der einzelnen Monate im Gesamtzeitraum ist jedoch erheblich größer. So reicht die Spanne des Julis von 48 bis 97 mm. Ähnliche Differenzen werden in den anderen Sommermonaten festgestellt.

Zum Abschluß werden Jahre mit unterschiedlichen Regenmengen, verschiedene Feldfrüchte und Böden miteinander verglichen. Die Daten hierzu sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Die Jahre 1953, 1957 und 1966 können als Beispiel für differente hygrische Verhältnisse dienen, wobei Boden- und Vegetationsart gleich gewählt wurden. 1953, im Jahr mit den geringsten Niederschlägen überhaupt, übertrifft die Jahressumme der AET sogar die Niederschläge. Dies ist nur durch den Aufbrauch des Bodenfeuchte-speichers bis auf 40 % seines Nutzungsvermögens möglich. Die AET beträgt in diesem Jahr nur 57 % der PET, die Versickerung ist mit 21 mm minimal. Das Jahr 1957, das mit seinen Niederschlägen und seiner Lufttemperatur mit dem langjährigen Durchschnitt fast identisch ist, erreicht bei der Versickerung mit 189 mm genau den Mittelwert und bei der AET den ihrigen fast.

Das Verhältnis AET zu PET liegt diesmal bei 78% . Das Jahr 1966 gehört zu den niederschlagsreichen Jahren. Entsprechend sinkt die PET etwas, es steigen bei diesem erhöhten Wasserdargebot dagegen AET und Versickerung. Die AET schöpft mit 85 % die potentiell mögliche fast aus.



**Abb. 10: Bodenwasserbilanz für Regensburg (1951-1980)**

N=Niederschlag, S=Versickerung, PET=Pot. Evapotranspiration AET= Akt. Evapotranspiration.  
BF= Bodenfeuchtewert am 1.eines jeden Monats bei 120 mm nutzbarer Feldkapazität

Tab. 7: Vergleich von Bodenwasserbilanzen unterschiedlicher Jahre, Feldfrüchte und Böden

a) Vergleich dreier unterschiedlicher Jahre; nFK = 120 mm, Vegetationsart = Wiese

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<b>Niederschlag:</b>													
1953 *	10.0	22.4	4.2	42.6	40.2	71.9	94.7	33.2	13.3	14.1	9.9	18.5	375.0
1957 **	21.6	74.1	34.9	26.6	29.8	101.0	125.9	82.2	98.2	8.9	10.6	41.0	654.8
1966 ***	26.0	36.8	54.3	95.8	42.2	62.6	132.2	73.3	36.1	91.3	32.6	111.6	794.8
<b>Potentielle Verdunstung:</b>													
1953	6.0	12.0	56.8	89.0	120.9	86.3	97.9	118.6	90.0	46.0	12.0	5.4	741.1
1957	7.0	12.0	37.7	68.5	83.9	115.7	114.6	73.3	40.9	27.7	9.5	6.3	597.0
1966	7.3	17.4	22.7	59.7	91.9	104.7	75.3	67.8	66.6	32.4	11.7	6.7	563.7
<b>Aktuelle Verdunstung:</b>													
1953	6.0	11.8	44.3	54.9	54.0	48.0	77.1	71.6	33.0	13.8	4.7	3.1	422.5
1957	7.0	12.0	36.1	59.2	52.1	78.6	74.2	66.4	40.5	25.3	8.8	6.1	466.2
1966	7.3	17.2	22.2	58.3	77.4	58.6	69.0	62.5	59.1	27.3	11.4	6.7	476.9
<b>Versickerung:</b>													
1953	4.1	16.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	21.0
1957	15.4	61.3	1.5	4.1	.0	.0	17.6	13.5	54.8	.0	.0	21.1	189.3
1966	19.2	23.4	27.8	40.9	.0	.0	42.3	2.2	5.8	31.6	20.4	104.2	317.9

Bodenfeuchtwerte des letzten Tages im Jahr 1953: 51.5; 1957: 119.24; 1966: 120.0

\* (trocken) \*\* (durchschn.) \*\*\* (feucht)

b) Vergleich unterschiedlicher nutzbarer Feldkapazität im Trockenjahr 1953

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
N	10.0	22.4	4.2	42.6	40.2	71.9	94.7	33.2	13.3	14.1	9.9	18.5	375.0
PET	6.0	12.0	56.8	89.0	120.9	86.3	97.9	118.6	90.0	46.0	12.0	5.4	741.1
AET (nFK=180)	6.0	11.9	48.0	62.9	65.8	51.9	74.0	72.9	38.8	16.8	5.1	3.2	457.5
AET (nFK=120)	6.0	11.8	44.3	54.9	54.0	48.0	77.1	71.6	33.0	13.8	4.7	3.1	422.5
AET (nFK=70)	6.0	11.7	37.6	44.6	42.1	47.0	86.6	68.9	24.8	10.6	4.7	3.1	387.9
Sic (nFK=180)	4.1	16.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	21.0
Sic (nFK=120)	4.1	16.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	21.0
Sic (nFK=70)	4.1	16.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	21.0

Bodenfeuchtwert des letzten Tages bei 180 mm: 76.5; bei 120 mm: 51.5; bei 70 mm: 36.0

c) Vergleich unterschiedlicher Fruchtarten im Jahr 1957 bei 120 mm nutzbarer Feldkapazität; dieses Jahr 1957 entspricht in etwa dem 30-jährigen Durchschnitt.

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
N	21.6	74.1	34.9	26.6	29.8	101.0	125.9	82.2	98.2	8.9	10.6	41.0	654.8
<b>Potentielle Evapotranspiration:</b>													
Wiese	7.0	12.0	37.7	68.5	83.9	115.7	114.6	73.3	40.9	27.7	9.5	6.3	597.0
Wl. Weizen	6.2	10.7	40.4	68.5	96.8	162.5	163.7	77.7	27.7	18.2	9.4	5.6	686.4
Zuckerrübe	1.8	4.4	17.5	42.1	64.5	125.0	163.7	99.9	46.2	13.4	3.9	1.9	584.4
Mais	1.8	4.4	17.5	28.1	38.7	78.1	114.6	75.5	42.2	26.8	3.9	1.9	433.5
<b>Aktuelle Evapotranspiration:</b>													
Wiese	7.0	12.0	36.1	59.2	52.1	78.61	74.2	66.4	40.5	25.3	8.8	6.1	466.2
Wl. Weizen	6.2	10.6	38.5	59.2	57.5	94.34	81.5	66.7	27.5	17.1	8.2	5.5	472.9
Zuckerrübe	1.8	4.4	17.2	39.7	49.8	94.85	98.7	85.5	44.9	12.9	3.8	1.9	455.5
Mais	1.8	4.4	17.2	27.3	34.5	72.61	86.7	68.3	41.8	24.5	3.7	1.8	384.7
<b>Versickerung:</b>													
Wiese	15.4	61.3	1.5	4.1	.0	.0	17.6	13.5	54.8	.0	.0	21.1	189.3
Wl. Weizen	16.1	62.7	.9	2.2	.0	.0	.0	2.6	67.6	.0	.0	30.2	182.5
Zuckerrübe	20.0	69.4	17.7	7.3	.0	.0	.5	.0	42.5	.0	2.8	39.2	199.4
Mais	20.0	69.4	17.7	11.2	.0	25.7	30.5	11.7	53.4	.0	.0	30.5	270.2

Bodenfeuchtwert des letzten Tages bei allen Fruchtarten: 120 mm

Im Trockenjahr 1953 wurden drei unterschiedliche Bodenarten miteinander verglichen. Nutzbare Feldkapazitätswerte von 180 mm besitzen beispielsweise Parabraunerden aus Löß, 120 mm sind dagegen ein Durchschnittswert, der von zahlreichen Böden erreicht wird. Nur 70 mm weisen geringer mächtige Böden im Kristallin oder Jura auf. Bei entsprechend höherer nutzbarer Feldkapazität steigt auch die aktuelle Verdunstung; die Versickerungswerte sind fast identisch. Gemäß der größeren AET ist auch der Bodenspeicher prozentual mehr entleert.

Sehr große Differenzen treten bei verschiedenen Fruchtarten auf. Die Verdunstungskoeffizienten für jede Fruchtart nach der HAUDE-Formel wurden vom DWD zur Verfügung gestellt. Für den Vergleich wurde das durchschnittliche Jahr 1957 und ein Boden mit 120 mm nutzbarer Feldkapazität gewählt. Zuckerrüben und Wiese besitzen ähnliche PET-Werte, Winterweizen liegt erheblich darüber, während Mais überraschend niedrige Resultate erzielt. Bei der aktuellen Verdunstung erreichen Wiese, Winterweizen und Zuckerrübe fast identische Ergebnisse, Mais erheblich geringere. Bei der Versickerung unterscheiden sich die Jahressummen für Zuckerrüben, Wiese und Winterweizen kaum, Mais dagegen zeigt um ein Drittel höhere Werte. Dies bedeutet, daß Mais weniger Wasser verbraucht und damit dem Boden geringere Mengen an Feuchtigkeit entzieht. Die Bodenfeuchte ist bei Mais ständig höher als bei den anderen Feldfrüchten. Aus diesem Grund kommt es bei Mais auch schneller zur Bodenfeuchtesättigung und damit bei geneigten Hängen eher zu schädlichem Oberflächenabfluß.

Die Bodenwasserbilanz zeigt sich so insgesamt durch den Einfluß von Bodenart und Fruchtart als sehr variabel.

## Literatur

- DAMMANN, W. (1965): Meteorologische Verdunstungsmessung, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. in: Die Wasserwirtschaft 55: 315-321.
- DEISENHOFER, H.E., KUMM, H. & H. WOLLKOPF (1982): Berechnung von monatlichen Gebietsniederschlagshöhen mit dem Sammelgebietsverfahren am Beispiel des Iller-Einzugsgebietes. Offenbach.
- DITTMANN, CH. (1982): Regensburg Stadtklima und Luftverunreinigung. in: Acta Albertina Ratisbonensia 41. Regensburg.
- FRIEDRICH, W. (1950): Über die Verdunstung vom Erdboden, zusammenfassender Bericht über Eberswalder Lysimetermessungen. in: Gas- und Wasserfach 91.
- HENNING, I. & D. HENNING (1977): Klimatologische Wasserbilanz von Deutschland. in: Annalen der Meteorologie NF 12: 109-113.
- HERRMANN, R. (1977): Einführung in die Hydrologie. Stuttgart.

- HORMANN, K. (1981): Räumliche Interpolation von Niederschlagswerten. in: Beitr. z. Hydrologie 8: 5-40.
- KELLER, R. (1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Boppard.
- KERN, H. (1975): Mittlere jährliche Verdunstungshöhen 1931-1960. in: Schriftenr. Bay. Landesamt f. Wasserwirtschaft 2. München.
- KÖPF, E. & A. ROTHASCHER (1980): Das natürliche Grundwasserangebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufes. in: Schriftenr. Bay. Landesamt f. Wasserwirtschaft 13. München.
- LANG, R. (1987): Regionale Unterschiede des Wasserhaushaltes und seiner Komponenten in Bayern. in: Ber. zur dt. Landeskde. 61: 365-389.
- MAYR, J. (1928): Über die Ergebnisse der Verdunstungsversuche in München-Bogenhausen. in: Wasserkraft und Wasserwirtschaft 23.
- ROCZNIK, F. (1971): Geschichte und Ergebnisse der meteorologischen Forschung in Regensburg. in: Acta Albertina Ratsibonensia 32: 199-223.
- SCHÖNWIESE, CH.-D. (1985): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Stuttgart.
- TROLL, C. & K.-H. PAFFEN (1964): Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. in: Erdkunde 18: 5-27.
- WALTER, H. & H. LIETH (1960-1970): Klimadiagramm - Weltatlas. Jena.
- WITTMANN, O. (1975): Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25000, Blatt Regensburg. München.
- WUNDT, W. (1937): Die Beziehungen zwischen Mittelwerten von Niederschlag, Abfluß, Verdunstung und Lufttemperatur für die Landflächen der Erde. in: Dt. Wasserwirtschaft 32.

