

172  
III Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten  
Warszawa, Mai 1930.

---

# Niederschlags- und Abflussbilanz des Wesergebietes

von

Prof. Dr. K. FISCHER (Deutschland).

4. April 1868 -

---

WARSAWA

Herausgegeben vom Ministerium für öffentliche Arbeiten

1930



hat, die Professor v. Seelhorst 1904 und 1905 in Göttingen an Lysimetern mit Hafer, Klee, Winterweizen, Winterroggen, Gerste, Kartoffeln und Brache, teils auf Sand-, teils auf Lehmboden angestellt hat. Die Verdunstungshöhen selbst könnten allerdings nicht auf ganz andere Verhältnisse übertragen werden. Das Jahresmittel der Verdunstung stand ja aber fest, und so brauchten die Monatsmittel nur so gewählt zu werden, dass sie, in Prozenten der Jahresverdunstung ausgedrückt, zwischen den nicht allzuweit voneinander abweichenden Prozentzahlen nach Koehne und nach Mayr liegen (Tab. 1). Natürlich kann auch dies nur ein

TABELLE 1.  
Monatsprocente der Verdunstung.

	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Winter	Sommer	Jahr
Nach Mayr	1,2	0,4	1,4	2,1	4,4	7,8	20,1	15,3	17,9	17,6	8,7	3,1	17,3	82,7	100,0
Nach Koehne	0,9	0,9	1,3	0,4	4,7	8,3	18,6	23,3	19,9	11,3	5,9	4,5	16,5	83,5	100,0
Zwischenwerte	1	1	1	2	4	8	19	19	19	15	7	4	17	83	100

Nährungsverfahren sein; die wahren Zahlen werden stark von der Bodenbewirtschaftung abhängen. So kann Grasschnitt die Verdunstung plötzlich stark senken. Ich habe deshalb auf Feinheiten verzichtet und für Mai, Juni und Juli die Verdunstung gleich hoch angenommen.

Wenn der Niederschlag grösser ist als die Summe aus dem Abfluss und der Verdunstung in derselben Zeit, so muss sich der im Gebiet vorhandene, oberirdisch oder unterirdisch aufgespeicherte Wasservorrat um  $[N - (A + V)]$  vermehren, im entgegengesetzten Fall um  $[(A + V) - N]$  vermindern. In beiden Fällen ist

$$N = A + V + R - B \dots\dots\dots (1)$$

worin  $R$  die aus dem Niederschlag des betrachteten Zeitraums entstehenden, erst später abfließenden oder verdunstenden Rücklagen und  $B$  den Aufbrauch aus früheren Rücklagen bedeutet. Nach dieser Bilanzgleichung (die meines Wissens von Penck herrührt und mit Modifikationen auch schon seit vielen Jahren von Oppokow und anderen benutzt wird) sind die Beträge  $R - B$  in Tab. 2 berechnet worden. Ihnen haften also dieselben Unsicherheiten an wie den  $V$ . Bemerkenswert ist aber, dass nach Koehne wie nach Mayr 17 Prozent der Jahresverdunstung auf das Winter-, also 83 auf das Sommerhalbjahr entfallen (während die Verdunstung freier Wasserflächen wesentlich andere Prozentzahlen ergibt). Die 17 und 83 Prozent führen auf Werte von  $R - B$ , die mit der Erfahrung im Einklang stehen, dass der Wasservorrat in den Flussgebieten Mitteleuropas am Ende des Winters erheblich grösser ist als am Ende des Sommers. Allerdings decken sich die Zeiten der Rücklagenbildung und des Wiederaufbrauchs nicht mit dem Winter- und dem Sommerhalbjahr. Vielmehr kommt man auch bei Annahme etwas

anderer Zahlen immer wieder zu dem Ergebnis, dass in einem Durchschnittsjahr die Speicherung im September beginnt und im Februar im wesentlichen ihr Ende erreicht. Tab. 3 gibt eine Zusammenfassung nach diesen Jahreshälften, die auch

TABELLE 2.

Bilanz im Jahreskreislauf (Mittelwerte 1896/1915 in mm).

	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Winter	Sommer	Jahr
Weserquellgebiet (14825 km <sup>2</sup> ).															
<i>N</i>	52	61	56	51	56	49	68	67	82	69	58	52	325	396	721
<i>A</i>	18	28	32	34	44	29	22	14	13	11	11	13	185	84	269
<i>V</i>	4	5	5	9	18	36	86	86	85	68	32	18	77	375	452
<i>R - B</i>	30	28	19	8	-6	-16	-40	-33	-16	-10	15	21	63	-63	0
Wesergebiet zwischen Diemel und Aller (7486 km <sup>2</sup> ).															
<i>N</i>	55	61	60	52	62	50	64	67	92	73	59	53	340	408	748
<i>A</i>	18	26	37	33	49	33	25	18	16	14	14	14	196	101	297
<i>V</i>	4	5	5	9	18	36	86	86	85	67	32	18	77	374	451
<i>R - B</i>	33	30	18	10	-5	-19	-47	-37	-9	-8	13	21	67	-67	0
Allergebiet (15594 km <sup>2</sup> ).															
<i>N</i>	50	54	54	47	57	49	60	62	89	69	59	48	311	387	698
<i>A</i>	15	23	29	28	37	27	20	13	13	12	12	14	159	84	243
<i>V</i>	5	5	4	9	18	37	86	87	86	68	32	18	78	377	455
<i>R - B</i>	30	26	21	10	2	-15	-46	-38	-10	-11	15	16	74	-74	0

für eine Reihe anderer Flussgebiete zutreffen. Wo eine Pflanzenart vorherrscht die auch im September und Oktober noch viel Wasser verbraucht, beginnt die Speicherungszeit vielleicht erst später, und im östlichsten Deutschland wird sich

TABELLE 3.

Bilanz nach Halbjahren von September bis Februar und März bis August (mm).

	Weserquellgebiet			Wesergebiet zwischen Diemel und Aller			Allergebiet		
	Sept. Febr.	März Aug.	Jahr	Sept. Febr.	März Aug.	Jahr	Sept. Febr.	März Aug.	Jahr
<i>N</i>	330	391	721	340	408	748	312	386	698
<i>A</i>	136	133	269	142	155	297	121	122	243
<i>V</i>	73	379	452	73	378	451	73	382	455
<i>R - B</i>	121	-121	0	125	-125	0	118	-118	0

mit der Schneeschmelze auch ihr Ende verzögern. Im Wesergebiet herrscht im März noch ziemlich Gleichgewicht zwischen Rücklage und Aufbrauch; erst von April ab hat der Aufbrauch ein starkes Übergewicht. Da im Wesergebiet dann nur noch Schneemengen liegen, die für die hier betrachteten grossen Gebietsflächen unwesentlich sind, so müssen die von April bis August aufgebrauchten Mengen vorher in der Hauptsache unterirdisches Wasser gewesen sein. Sie stellen jedoch nicht den unterirdischen Gesamtbeitrag zum Wasserkreislauf dar, da in der Bilanz diejenigen Beträge nicht zum Ausdruck kommen, die in den Monatsmengen ( $R - B$ ) einander von vornherein aufheben. Auch im Abfluss vom September bis Februar ist viel unterirdisches Wasser enthalten.

Im Mai und Juni ist die Verdunstung grösser als der Niederschlag. Dem Boden wird dann also nicht nur soviel Wasser entzogen, wie mehr verdunstet als niederfällt, sondern ausserdem noch soviel wie abfließt. Trotzdem stammt der Abfluss aber auch in diesen Monaten durchaus nicht nur aus dem Grundwasser; die Bilanz bleibt ja immer

$$A + V = N + (B - R),$$

und sowohl  $N$  wie  $(B - R)$  kann zu  $A$  und zu  $V$  beitragen.

II. Infolge der natürlichen Speicherung mancher Niederschlagsmengen auf längere Zeit muss sich bei der Betrachtung der Schwankungen von Winter zu Winter und Sommer zu Sommer erweisen, dass die Niederschläge eines Halbjahres mindestens noch auf den Abfluss im nächsten Halbjahr einwirken. Zur Durchführung dieses Nachweises seien das Winter- und das Sommerhalbjahr eines Abflussjahres durch die Zeiger (Indizes)  $w$  und  $s$  unterschieden; der Sommer  $s$  soll also dem Winter  $w$  unmittelbar folgen. Das vorhergehende Abflussjahr möge die Zeiger  $w-1$  und  $s-1$  erhalten. Die einzelnen Halbjahreswerte des Niederschlages und Abflusses seien mit  $N_w, N_s, A_w, A_s, N_{w-1}$  usw. bezeichnet, die 20-jährigen Mittel 1896/1915 mit  $\bar{N}_w, \bar{N}_s, \bar{A}_w, \bar{A}_s$ , die Abweichung der einzelnen Halbjahreswerte vom Mittel mit  $\Delta$ , sodass also z. B.

$$\Delta N_w = N_w - \bar{N}_w, \quad \Delta N_{s-1} = N_{s-1} - \bar{N}_s$$

ist.

Die Rechnung mit den  $\Delta$  ist einfacher als eine solche mit  $N$  und  $A$  selbst. Dass  $\Delta A_w$  nicht nur von  $\Delta N_w$ , sondern mindestens auch von  $\Delta N_{s-1}$  abhängt, ebenso  $\Delta A_s$  nicht nur von  $\Delta N_s$ , sondern mindestens auch von  $\Delta N_w$ , würde sich schon durch Bildung einfacher Mittelwerte zeigen lassen. Summiert man zum Beispiel für das Weserquellgebiet über alle Winter, deren Niederschlag über dem Durchschnitt liegt ( $\Delta N_w > 0$ ), so erhält man folgende Summen und Mittel (immer in Millimetern):

Summen (11 Fälle):

$$\Delta A_w = + 218, \quad \Delta N_w = + 291, \quad \Delta N_{s-1} = - 56 \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Mittel} : = + 20, \quad = + 26, \quad = - 5 \dots\dots\dots(3)$$

Die Summe über die übrigen Winter ( $\Delta N_w < 0$ ) ergibt im wesentlichen dieselben Zahlen, nur mit entgegengesetzten Vorzeichen, da bei der Summierung über

alle 20 Jahre  $\Sigma \Delta$  zu Null wird. (Kleine Abweichungen entstehen aus der Abrundung und dadurch, dass der Winter 1896 ausser Betracht bleiben muss, weil die Zahlen für den Sommer 1895 fehlen). Man hat also zunächst das Ergebnis, dass im Durchschnitt  $\Delta A_w$  zugleich mit  $\Delta N_w$  positiv oder negativ ist;  $\Delta N_{s-1}$  ist im Mittel jeder Gruppe so klein, dass es diesen Zusammenhang nicht verwischt. Bildet man jedoch die Mittelwerte für alle Winter, denen ein Sommer mit überdurchschnittlichem Niederschlag voranging ( $\Delta N_{s-1} > 0$ ), so wird

$$\Delta A_w = + 11, \Delta N_w = - 5, \Delta N_{s-1} = + 38 \dots \dots \dots (4)$$

Im Mittel aus dieser Gruppe ist also ein positives  $\Delta A_w$  mit einem negativen  $\Delta N_w$  verbunden, und es ist wohl nicht zweifelhaft, dass die überdurchschnittliche Höhe des Abflusses als Nachwirkung der verstärkten Sommerregen zu betrachten ist.

$\Delta A_w$  ist also als Funktion von  $\Delta N_w$  und  $\Delta N_{s-1}$  aufzufassen. Der einfachste Ansatz hierfür ist:

$$\Delta A_w = a \Delta N_w + b \Delta N_{s-1} \dots \dots \dots (5)$$

Nach den Wertgruppen (3) und (4) würde  $a = 0.85$  und  $b = 0.40$  werden. Hat man sich aber erst einmal überzeugt, dass diese Art der Betrachtung überhaupt am Platze ist, so wird man sich nicht damit begnügen, die Gleichung (5) nur durch Mittelwerte zu erfüllen, sondern man wird ihr auch für die einzelnen Halbjahre so genau wie möglich zu genügen suchen. Man wird also fordern, dass die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen  $A_w$  ein Minimum wird. Nach einem bekannten Satz über die Methode der kleinsten Quadrate würde auch jetzt nur mit den Abweichungen vom Mittel, nicht mit den Zahlen  $A$  und  $N$  selbst gerechnet zu werden brauchen. Der am Schluss vorzunehmende Übergang von den Abweichungen auf  $A$  und  $N$  selbst wird aber klarer, wenn dieser Satz hier nicht angewendet, sondern  $A_w$  als allgemeinste ganze lineare Funktion von  $N_w$  und  $N_{s-1}$ , ebenso  $A_s$  als solche von  $N_s$  und  $N_w$  angesetzt wird, also

$$A_w = a N_w + b N_{s-1} + h \dots \dots \dots (6)$$

$$A_s = c N_s + d N_w + k \dots \dots \dots (7)$$

Der formelmässige Wert von  $A_w$  ist durch die rechte Seite der Gleichung (6) angegeben; der gemessene ist  $A_w$  selbst. Da die Summe über die quadrierten Unterschiede zwischen Formel und Messung ein Minimum sein soll, müssen die Differentialquotienten von

$$\Sigma (a N_w + b N_{s-1} + h - A_w)^2$$

nach  $a$ ,  $b$  und  $h$  gleich Null sein. Der nach  $h$  ergibt

$$\Sigma (a N_w + b N_{s-1} + h - A_w) = 0 \dots \dots \dots (8)$$

Die Summe erstreckt sich von  $w = 1897$  bis  $w = 1915$ , von  $s-1 = 1896$  bis  $s-1 = 1914$ . Geht man von der Summe zu den Mittelwerten über, indem man durch 19 teilt, so wird

$$h = \overline{A_w} (1897/1915) - a \overline{N_w} (1897/1915) - b \overline{N_{s-1}} (1896/1914) \dots (9)$$

Gleichung (6) hätte also von vornherein in der Form

$$A_w - \bar{A}_w (1897/1915) = a [N_w - \bar{N}_w (1897/1915)] + b [N_{s-1} - \bar{N}_{s-1} (1896/1914)] \quad (10)$$

oder

$$\Delta' A_w = a \Delta' N_w + b \Delta'' N_{s-1} \dots \dots \dots (11)$$

geschrieben werden können, worin  $\Delta'$  Abweichungen vom Mittel 1897/1915,  $\Delta''$  solche vom Mittel 1896/1914 bezeichnet, während  $\Delta$  auch weiterhin solche von 1896/1915 bedeuten soll.

Bei Gleichung (7) kann über alle 20 Jahre summiert werden; sie ist also gleichbedeutend mit

$$\Delta A_s = c \Delta N_s + d \Delta N_w \dots \dots \dots (12)$$

Die Ausrechnung ergibt

$$a = 0.757; b = 0.363; c = 0.221; d = 0.111.$$

Für die Übersicht über die Rechnungsergebnisse ist es vorteilhaft, dass in den Schlussgleichungen keine anderen Abweichungen als solche von 1896/1915 vorkommen. Gleichung (11) bleibt bei Einsetzung der Zahlenwerte von  $a$  und  $b$  für das Weserquellgebiet zufällig richtig, wenn man anstatt  $\Delta'$  und  $\Delta''$  die Abweichungen  $\Delta$  von 1896/1915 setzt. Im allgemeinen tritt zu den beiden Gliedern auf der rechten Seite aber noch eine Konstante hinzu, die praktisch allerdings gleich Null ist, da die Mittelwerte aus 1896/1915, 1897/1915 und 1896/1914 und folglich auch  $\Delta$ ,  $\Delta'$  und  $\Delta''$  sich nur um wenige Millimeter von einander unterscheiden.

Will man schliesslich zu  $A$  und  $N$  selbst übergehen, so sind für das Weserquellgebiet folgende 20-jährigen Mittelwerte einzuführen:  $\bar{A}_w = 185$ ;  $\bar{A}_s = 84$ ;  $\bar{N}_w = 325$ ;  $\bar{N}_s = 396$ . Es ist also zu setzen:  $\Delta \bar{A}_w = A_w - 185$  usw., und man erhält schliesslich:

$$A_w = 0.757 N_w + 0.363 N_{s-1} - 205 \dots \dots \dots (13)$$

$$A_s = 0.221 N_s + 0.111 N_w - 40 \dots \dots \dots (14)$$

In dieser Form der Gleichungen ist das konstante Glied wesentlich.

III. Man muss aber mit der Möglichkeit rechnen, dass die Niederschlagsverhältnisse eines Halbjahres nicht nur im nächsten Halbjahr noch nachwirken. Die Ansätze (11) und (12) sind also probeweise zu erweitern in

$$\Delta' A_w = a' \Delta' N_w + b' \Delta'' N_{s-1} + p \Delta''' N_{w-1} \dots \dots \dots (15)$$

$$\Delta' A_s = c' \Delta' N_s + d' \Delta' N_w + q \Delta'' N_{s-1} \dots \dots \dots (16)$$

Tab. 4 enthält die Ergebnisse der Berechnung nach (11) und (12), Tab. 5 nach (15) und (16). Die erweiterten Ansätze (15) und (16) erweisen sich als nicht sachgemäss. Der Beiwert  $p$  wird für alle drei Gebietsteile negativ; es ist aber doch ausserordentlich unwahrscheinlich, dass überdurchschnittlicher Winternieder-

schlag den Abfluss im folgenden Winter vermindern, unterdurchschnittlicher ihn vergrössern soll. Ausserdem sind die Beträge von  $p$  so klein, dass  $p \Delta'' N_{w-1}$ , ohne Vorzeichen genommen, stets unter  $6 \text{ mm}$  bleibt und schon deshalb keine entscheidende Bedeutung hat. Der Beiwert  $q$  in der Gleichung für das Sommerhalbjahr ist bei allen drei Gebietsteilen positiv, für das Allergebiet freilich so klein, dass er selbst in Verbindung mit dem äussersten  $\Delta'' N_{s-1}$  nur gegen  $4 \text{ mm}$  ergibt. Beim Weserquellgebiet steigt seine Wirkung in einem Falle auf  $10$ , sonst aber nicht über  $5 \text{ mm}$ . Auch hier ist die Vernachlässigung des Gliedes also berechtigt, wenn man das Ziel der ganzen Betrachtung darin sieht, zunächst einen Überblick über die durchschnittliche Zusammensetzung des Abflusses der einzelnen Halbjahre zu gewinnen. Dass ein seiner Natur nach rein statistisches Rechnungsverfahren auch die Nachwirkungen äusserster Nässe oder Dürre genau wiedergibt, wird man nicht erwarten dürfen. Entscheidenden Aufschluss über die äussersten Fälle können nur unmittelbare Messungen der unterirdischen Vorratsschwankungen geben, und schon die bisher noch sehr lückenhaften Messungen dieser Art lehren, dass ungewöhnliche Nassen oder Dürren länger als ein halbes Jahr nachwirken. Am merkwürdigsten ist das Ergebnis für das Gebiet zwischen Diemel und Aller. Dort steigt  $q$  auf rund  $0.1$  und wird hiermit  $20$  mal so gross wie der Beiwert für das zwischen den beiden Sommern  $s$  und  $s-1$  liegende Winterhalbjahr ( $d' = 0.005$ ). Im Gebiet zwischen Diemel und Aller würde eine sommerliche Abflussschwankung also von der Niederschlagsanomalie im vorhergehenden Sommer  $20$  mal so

TABELLE 4.

Gleichungen, die nur auf das unmittelbar vorhergegangene Halbjahr zurückgreifen.

(Niederschlags- und Abflusshöhen in  $\text{mm}$ )

W I N T E R	S O M M E R
a) Weserquellgebiet ( $14825 \text{ km}^2$ ).	
$A_w = 0.757 \Delta N_w + 0.363 \Delta N_{s-1}$	$A_s = 0.221 \Delta N_s + 0.111 \Delta N_w$
$A_w = 0.757 N_w + 0.363 N_{s-1} - 205$	$A_s = 0.221 N_s + 0.111 N_w - 40$
b) Wesergebiet zwischen Diemel und Aller ( $7486 \text{ km}^2$ ).	
$A_w = 0.760 \Delta N_w + 0.388 \Delta N_{s-1} - 2$	$A_s = 0.209 \Delta N_s + 0.036 \Delta N_w$
$A_w = 0.760 N_w + 0.388 N_{s-1} - 222$	$A_s = 0.209 N_s + 0.036 N_w + 4$
c) Allergebiet ( $15594 \text{ km}^2$ ).	
$A_w = 0.658 \Delta N_w + 0.342 \Delta N_{s-1} - 2$	$A_s = 0.216 \Delta N_s + 0.045 \Delta N_w$
$A_w = 0.658 N_w + 0.342 N_{s-1} - 180$	$A_s = 0.216 N_s + 0.045 N_w - 14$

stark beeinflusst werden als von der im dazwischen liegenden Winter. Man könnte daran denken, dies mit der starken Speisung aus Grundwasser und Quellen in Zusammenhang zu bringen, welche die Weser auf ihrer oberen Laufstrecke durch dieses Gebiet empfängt. Der Abfluss könnte sich dadurch sehr wohl so verzögern, dass die Niederschlagsanomalien eines Halbjahres mehr auf das zweit- als auf das nächstfolgende Halbjahr wirken. Nur wäre kaum zu verstehen, dass sich diese Wirkung auf den Sommer beschränken und nicht auch auf den Winter erstrecken sollte. Es bleibt also durchaus ungewiss, ob die Vorgänge im Gebietsteil zwischen Diemel und Aller durch die Gleichungen in Tab. 5 der Sache nach wirklich richtiger dargestellt werden als durch die in Tab. 4.

TABELLE 5.

Gleichungen, die auf die beiden vorhergegangenen Halbjahre zurückgreifen.

(Niederschlags- und Abflusshöhen in mm)

W I N T E R	S O M M E R
a) Weserquellgebiet (14825 km <sup>2</sup> ).	
$\begin{aligned} \Delta A_w &= 0.759 \Delta N_w + 0.367 \Delta N_{s-1} \\ &- 0.021 \Delta N_{w-1} \\ A_w &= 0.759 N_w + 0.367 N_{s-1} \\ &- 0.021 N_{w-1} - 200 \end{aligned}$	$\begin{aligned} \Delta A_s &= 0.245 \Delta N_s + 0.111 \Delta N_w \\ &+ 0.052 \Delta N_{s-1} + 1 \\ A_s &= 0.245 N_s + 0.111 N_w \\ &+ 0.052 N_{s-1} - 69 \end{aligned}$
b) Wesergebiet zwischen Diemel und Aller (7486 km <sup>2</sup> ).	
$\begin{aligned} \Delta A_w &= 0.750 \Delta N_w + 0.405 \Delta N_{s-1} \\ &- 0.073 \Delta N_{w-1} - 2 \\ A_w &= 0.750 N_w + 0.405 N_{s-1} \\ &- 0.073 N_{w-1} - 201 \end{aligned}$	$\begin{aligned} \Delta A_s &= 0.265 \Delta N_s + 0.005 \Delta N_w \\ &+ 0.097 \Delta N_{s-1} - 1 \\ A_s &= 0.265 N_s + 0.005 N_w \\ &+ 0.097 N_{s-1} - 50 \end{aligned}$
c) Allergebiet (15594 km <sup>2</sup> ).	
$\begin{aligned} \Delta A_w &= 0.657 \Delta N_w + 0.357 \Delta N_{s-1} \\ &- 0.069 \Delta N_{w-1} - 2 \\ A_w &= 0.657 N_w + 0.357 N_{s-1} \\ &- 0.069 N_{w-1} - 164 \end{aligned}$	$\begin{aligned} \Delta A_s &= 0.223 \Delta N_s + 0.043 \Delta N_w \\ &+ 0.019 \Delta N_{s-1} \\ A_s &= 0.223 N_s + 0.043 N_w \\ &+ 0.019 N_{s-1} - 22 \end{aligned}$

IV. Aus den Gleichungen in Tab. 4 folgt:

1. Auf die Schwankungen des Abflusses von Winter zu Winter und Sommer zu Sommer wirken auch die Schwankungen der Niederschlagsmenge des vorhergehenden Halbjahres, jedoch schwächer als die des Halbjahres, dessen Abfluss betrachtet wird. Auf den Winterabfluss wirken die Schwankungen im eigenen Halbjahr ungefähr doppelt so stark wie gleich grosse Schwankungen im vorhergehenden Sommer. Denn die partiellen Differenzenquotienten  $\frac{\Delta A_w}{\Delta N_w}$  sind etwa doppelt so gross wie die partiellen Quotienten  $\frac{\Delta A_w}{\Delta N_{s-1}}$ . Im Weserquellgebiet und zwischen Diemel und Aller gehen von  $\frac{\Delta A_w}{\Delta N_w}$  durchschnittlich 76, im Allergebiet 66 Prozent in  $A_w$  ein, von  $\frac{\Delta A_w}{\Delta N_{s-1}}$  dagegen im Quellgebiet nur 36, zwischen Diemel und Aller 39, im Allergebiet 34 Prozent. (Die Koeffizienten der Gleichungen sind hier und im folgenden immer auf zwei Stellen abgerundet gedacht, also 0.757 in 0.76 usw. Zu beachten ist, dass nur die Niederschlagschwankungen in der Höhe der angegebenen Prozentsätze wirken. So darf zum Beispiel aus der für das Weserquellgebiet geltenden Gleichung

$$A_w = 0.76 N_w + 0.36 N_{s-1} - 205$$

nicht gefolgert werden, in  $A_w$  gingen 76 Prozent von  $N_w$  und 36 Prozent von  $N_{s-1}$  ein. Das Abzugsglied  $-205$  hebt einen Teil der 76 und 36 Prozent wieder auf).

2. Die Sommerschwankungen des Niederschlags wirken im Winterabfluss weit stärker nach, als gleich grosse Winterschwankungen des Niederschlags im Sommerabfluss nachwirken. Von den Sommerschwankungen gehen in den Winterabfluss im Weserquellgebiet durchschnittlich 36, zwischen Diemel und Aller 39, im Allergebiet 34 Prozent ein, dagegen von den Winterschwankungen in den Sommerabfluss im Weserquellgebiet nur 11, in den andern beiden Gebieten 4 Prozent.

3. Auf den Gesamtabfluss wirken die Winterschwankungen des Niederschlags aber weit stärker als gleich grosse Sommerschwankungen. Es beträgt der Gesamtabfluss

	aus $\Delta N_w$	aus $\Delta N_s$
im Weserquellgebiet ....	76 + 11 = 87 Proz. <sup>1)</sup>	22 + 36 = 58 Proz. <sup>2)</sup>
zwischen Diemel und Aller	76 + 4 = 80 „	21 + 39 = 60 „
im Allergebiet .....	66 + 4 = 70 „	22 + 34 = 56 „

V. In der Meteorologischen Zeitschrift 1929, Heft 7, habe ich dargelegt, wie die Halbjahresgleichungen auch dazu benutzt werden können, zu bestimmten Vorstellungen über die Schwankungen der Landesverdunstung zu gelangen. Man muss hierzu freilich irgend eine plausible Annahme darüber machen, wie sich die aus den  $\Delta N$  hervorgehenden Verdunstungsmengen auf die beteiligten Halbjahre verteilen. Ich will diesen Weg hier nicht weiter verfolgen, sondern einen

<sup>1)</sup> Nämlich 76 im Winter und 11 im darauf folgenden Sommer.

<sup>2)</sup> Nämlich 22 im Sommer und 36 im darauf folgenden Winter.

anderen Gesichtspunkt in den Vordergrund rücken. Keller hat die durchschnittlichen Beziehungen zwischen Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa seinerzeit durch die bekannten Bänder dargestellt, deren Mittellinien durch

$$A = 0.942 N - 405, \quad V = 0.058 N + 405 \text{ (in mm)}$$

gegeben sind. Die Bänder sind mit Strahlenbüscheln identisch, die sich mit unwesentlicher Abrundung in der Form

$$A = (94 + \gamma) \frac{N}{100} - (405 - 9 \gamma)$$

$$V = (6 - \gamma) \frac{N}{100} + (405 - 9 \gamma)$$

TABELLE 6.

Berechnete<sup>1)</sup> und gemes

Jahr	Weserquellgebiet						Weser zwischen Diemel		
	Winter			Sommer			Winter		
	be- rech- net	ge- mes- sen	Diffe- renz	be- rech- net	ge- mes- sen	Diffe- renz	be- rech- net	ge- mes- sen	Diffe- renz
1896				100	99	+ 1			
1897	165	175	-10	78	82	- 4	166	187	-21
1898	174	170	+ 4	85	123	-38	196	200	- 4
1899	150	120	+30	78	85	- 7	194	156	+38
1900	147	146	+ 1	90	79	+11	138	145	- 7
1901	229	234	- 5	99	84	+ 6	216	224	- 8
1902	190	214	-24	86	84	+ 2	237	285	-48
1903	160	149	+11	89	89	0	217	199	+ 18
1904	184	200	-16	59	47	+12	190	212	-22
1905	188	183	+ 5	105	95	+10	172	158	+14
1906	215	224	- 9	90	100	-10	222	244	-22
1907	198	205	- 7	78	76	+ 2	175	202	-27
1908	188	170	+ 18	76	104	-28	178	165	+ 13
1909	139	141	- 2	74	65	+ 9	125	108	+17
1910	192	211	-19	90	92	- 2	262	265	- 3
1911	167	162	+ 5	39	34	+ 5	171	162	+ 9
1912	120	121	- 1	107	91	+16	99	98	+ 1
1913	236	228	+ 8	87	90	- 3	261	243	+ 18
1914	228	219	+ 9	109	115	- 6	217	210	+ 7
1915	249	233	+16	67	61	+ 6	256	230	+26
Mittel	185	185	11 <sup>2)</sup>	84	84	9 <sup>2)</sup>	194	194	17 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Berechnet nach den Gleichungen in Tab. 4.

<sup>2)</sup> Arithmetisches Mittel der ohne Vorzeichen genommenen Differenzen.

schreiben lassen, wobei  $\gamma = 0$  das durch die Mittellinien dargestellte „Durchschnittsverhalten“ für Mitteleuropa ergibt, während die Werte  $\gamma = \pm 6$  den von Keller angenommenen Grenzlinien der Bänder entsprechen. <sup>1)</sup> *N* darf bei  $\gamma = + 6$  nicht unter 500, bei  $\gamma = 0$  nicht unter 560, bei  $\gamma = - 6$  nicht unter 625 mm sinken; sonst ändern sich die Beziehungen. Diese sind nur solche zwischen Mittelwerten aus genügend langen Jahresreihen oder Reihen mit genügender Annähe-

<sup>1)</sup> „Abflussverhältnis, Abflussvermögen und Verdunstung von Flussgebieten Mitteleuropas“. Im Anschluss an H. Keller von Karl Fischer. Zentralblatt der Bauverwaltung 1925, Heft 41, Berlin. Verlag Hackebeil. Ein Neudruck hat der II. Baltischen hydrologischen und hydrometrischen Konferenz, Tallinn (Reval) 1928, vorgelegen.

sene Abflusshöhen (mm).

TABELLE 6.

gebiet und Aller			Allergebiet					
Sommer			Winter			Sommer		
be- rech- net	ge- mes- sen	Diffe- renz	be- rech- net	ge- mes- sen	Diffe- renz	be- rech- net	ge- mes- sen	Diffe- renz
112	121	— 9				97	100	— 3
91	99	— 8	140	160	—20	73	78	— 5
111	158	—47	153	167	—14	86	126	—40
95	97	— 2	128	111	+17	83	92	— 9
108	80	+28	126	122	+ 4	85	73	+12
93	81	+12	152	156	— 4	78	67	+11
120	121	— 1	187	234	—47	95	93	+ 2
117	143	—26	144	140	+ 4	99	101	— 2
69	68	+ 1	159	168	— 9	57	53	+ 4
125	111	+14	156	155	+ 1	118	122	— 4
98	102	— 4	211	223	—12	93	103	—10
92	89	+ 3	162	180	—18	79	79	0
91	112	—21	158	133	+25	72	90	—18
115	122	— 7	99	96	+ 3	87	82	+ 5
115	124	— 9	189	191	— 2	92	92	0
61	63	— 2	141	132	+ 9	42	40	+ 2
119	90	+29	76	77	— 1	102	86	+16
94	79	+15	206	185	+21	78	65	+13
113	88	+25	185	178	+ 7	96	78	+18
84	70	+14	224	202	+22	64	58	+ 6
101	101	14 <sup>2)</sup>	158	158	13 <sup>2)</sup>	84	84	9 <sup>2)</sup>

nung an die Mittel; sie beruhen also auf Vergleichen zwischen Gebieten und gelten nicht für die Schwankungen, die in den einzelnen Gebieten von Jahr zu Jahr vor sich gehen. Auch für diese Schwankungen muss man aber nach einem Durchschnittsverhalten suchen, das vielleicht in jedem Gebiet anders ist. Die Gleichungen in Tab. 4 sind ein Versuch zur Aufstellung eines solchen Durchschnittsverhaltens für das Wesergebiet. Wie Keller immer und immer wieder erklärt hat, die Abweichungen von seinen Mittellinien seien nicht als Fehler, sondern als Charakteristik des Sonderverhaltens der einzelnen Gebiete aufzufassen, so sehe ich auch bei meinen Gleichungen in den Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Werten keine Fehler, sondern einen Ausdruck dafür, ob sich die Schwankungen von Jahr zu Jahr ungefähr nach dem Durchschnittsverhalten vollzogen oder sich durch irgend welche nun näher zu untersuchende Ursachen anders gestaltet haben. Dieser Gesichtspunkt war für mich einer der Gründe dafür, die Gleichungen so einfach wie möglich zu halten und nicht nach einem Höchstgrad rechnerischer Erfüllung zu streben, der eine weitergehende Unterteilung als nach Halbjahren erfordern würde.

Tab. 6 enthält die nach Tab. 4 berechneten und daneben die gemessenen Abflusshöhen der Halbjahre. Das arithmetische Mittel der ohne Vorzeichen genommenen Differenzen zwischen ihnen beträgt beim Weserquellgebiet im Winter 11, im Sommer 9 mm, beim Gebiet zwischen Diemel und Aller, in dem die Verhältnisse vorläufig am wenigsten klar liegen, 17 und 14, beim Allergebiet 13 und 9 mm. Ein typisches Beispiel für eine starke Abweichung vom Durchschnittsverhalten bietet der Sommer 1898 mit dem Winter 1899. Im Sommer 1898 liegt der berechnete Wert um 38 bis 47 mm zu niedrig, im Winter 1899 um 17 bis 38 mm zu hoch. Der Zusammenhang zwischen diesen unmittelbar aufeinander folgenden Ausschlägen nach entgegengesetzter Seite liegt klar zutage. Die Niederschlagsmenge war im Mai und Juli 1898 erheblich grösser, im August und September aber erheblich kleiner als durchschnittlich. Der Überschuss des ersten Vierteljahres konnte somit grossenteils noch im Sommer selbst aufgezehrt werden und auf den Winter 1899 wirkte der Sommer 1898 wie ein trockener Sommer, während er in Tab. 6 mit dem vollen Halbjahresbetrag des Niederschlags in Rechnung gestellt ist, der im Weserquell- und im Allergebiet ungefähr von durchschnittlicher, zwischen Diemel und Aller sogar von überdurchschnittlicher Höhe war. Und so wird es überhaupt einen Unterschied ausmachen, ob Überschüsse oder Fehlbeträge des Niederschlags mehr am Anfang oder mehr am Ende eines Halbjahres eintreten. Der nächste Schritt zur Verfeinerung der Rechnung wäre also wohl eine Spaltung der Halbjahre in Vierteljahre, und für eine Vorausberechnung der Nachwirkungen müsste man wohl noch weitergehen. <sup>1)</sup> Sehr zweifelhaft ist mir aber, ob dies auch für die Aufstellung eines Durchschnittsverhaltens vorteilhaft wäre, das vor allem dazu dienen soll, die allgemeinen Zusammenhänge und die Beson-

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu: W. v. Kesslitz: a) „Beziehungen zwischen Abfluss- und Niederschlagshöhe im Gebiete österreichischer Alpenflüsse“. Meteorologische Zeitschrift 1922, Heft 6, Braunschweig. b) „Über verschiedene Methoden zur Vorausberechnung von Monatsmittelwerten der Wasserführung österreichischer Alpenflüsse“. Zeitschrift „Die Wasserwirtschaft“, 1928, Heft 7, 8 und 9, Wien.

derheiten der Einzelfälle hervortreten zu lassen. Je einfacher sich die Gleichungen des Durchschnittsverhaltens gestalten lassen, umso leichter werden sie dazu dienen können, eine Reihe von Flussgebieten nach übereinstimmenden, nur in der Grösse der Koeffizienten von einander abweichenden Formeln zu behandeln. Aus der Grösse der Koeffizienten wird sich später vielleicht auf das unterirdische Speichervermögen der einzelnen Gebiete schliessen lassen.

*Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivellements in Berlin.*



BIBLIOTEKA  
UNIWERSYTECKA  
GDAŃSK

946665

627