Zeitschrift: Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Graubünden
Band: 94 (1969-1971)

Artikel: Die Landesverdunstung im schweizerischen Rheingebiet
Autor: Köhl, Anton
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-594782

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Landesverdunstung im schweizerischen Rheingebiet

Anton Köhl

Naturwissenschaften und Technik sind gleicherweise an einer ausreichenden Kenntnis der Verdunstung einer Landfläche interessiert. Die Wasserabgabe des bewachsenen und unbewachsenen Erdbodens an die Atmosphäre, Landes- oder Gebietsverdunstung, auch Evapotranspiration genannt, ist jedoch, wie schon der zuletzt aufgeführte Name andeutet, kein einheitlicher Vorgang, sondern teils physikalischer, teils biologischer Natur. Die direkte Messung mit sogenannten Lysimetern erweist sich denn auch als schwierig und umständlich und liefert zudem immer nur Einzelwerte von lokal begrenzter Gültigkeit. Aus diesen auf einen Mittelwert für ein größeres Areal zu schließen ist gerade in den Bergen mit den großen Unterschieden in den lokalen Faktoren praktisch nicht möglich. Trotz gewisser Fortschritte in der Meßtechnik[1] ist auch heute noch die Aufstellung einer Wasserbilanz das zuverlässigste Mittel zur Bestimmung der Gebietsverdunstung. Es gilt allgemein:

Niederschlag (N) = Abfluß (A) + Verdunstung (V) ± Vorratsänderung (R).

Die Änderungen im Wasservorrat können sowohl positiv als Rücklagen wie auch negativ als Aufbrauch ausfallen. Im Verlaufe der Jahre wird das eine wie das andere vorkommen und damit ein gewisser Ausgleich stattfinden. Für eine längere Periode darf deshalb das Glied R vernachlässigt werden, und es gilt die vereinfachte Formel:

$$N = A + V^2$$

[1] vergleiche hiezu Albrecht F.: Methoden zur Bestimmung der Verdunstung Arch. f. Meteor., Geophysik u. Bioklimatologie, Bd. II Ser. B. 1950.

Die ersten Wasserbilanzen für mitteleuropäische Flußgebiete sind von H. Keller [III] aufgestellt worden. Er findet für die Abhängigkeit des Abflusses vom Niederschlag die allgemeine Formel:

$$A = a.N - b$$

wobei a und b rein empirische Faktoren sind, die aus den Meßdaten für jedes Gebiet ermittelt werden müssen. Für die Verdunstung ergibt sich somit: $V = N - A = (1-a).N + b$

Erfahrungsgemäß liegt nun a meist nahe bei 1. Mit andern Worten: die Verdunstung zeigt eine nur geringfügige Abhängigkeit vom Niederschlag. Im Gegensatz zu den stark veränderlichen N und A ist V also annähernd konstant.

Nach Ertl [I] lassen sich aber die verschiedenen Formeln von Keller auf eine einzige zurückführen, nämlich:

$$A = (N + 948).\gamma - 1298 \quad \text{wobei} \quad \gamma = 1{,}043 - \left(\frac{t + 7}{42}\right)^2$$

a und b sind somit Funktionen der mittleren Jahrestemperatur t des Untersuchungsgebietes. Die Anwendbarkeit der Formel wird dadurch beträchtlich erweitert. Trotzdem bleibt auch sie auf Gebiete mit mittlerem Niederschlag beschränkt, während sie bei zu kleinem, aber auch bei zu großem N versagt.

Erst W. Wundt [VIII] hat Verdunstungszahlen mitgeteilt, die für die ganze Erde anwendbar sind. Seine Ergebnisse lassen sich folgendermaßen wiedergeben:

Jeder mittleren Jahrestemperatur entspricht eine maximale Verdunstungshöhe V_m. Ist der Niederschlag N kleiner als V_m, wird die Feuchtigkeit vollständig zur Bestreitung der Verdunstung benötigt; ein Abfluß findet erst statt, wenn N größer als V_m wird. Das Funktionsbild $V - N$ sollte aus den beiden Geraden $V = N$ für $N < V_m$ und $V = V_m =$ konst. für $N > V_m$ bestehen. Da N und V jedoch nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt sind und insbesondere der momentane Niederschlag sehr viel größer sein kann als die momentane Verdunstung, kann es auch bei $N < V$ zu einem zeitweiligen Abfluß kommen. Die beiden Geraden werden so durch einen kontinuierlichen Linienzug, der sich ihnen asymptotisch nähert, ersetzt.

---

[2] einsinnig verlaufende Vorratsänderungen, wie solche beispielsweise durch Gletscherschwund bewirkt werden können, sind jedoch entsprechend zu berücksichtigen.

Gebietsverdunstung in cm pro Jahr nach Wundt

N tm	40	60	80	100	120	140	160
0	21	24	27	27	27	28	28
5	28	35	40	42	42	42	42
10	34	44	52	57	58	59	59
15	38	51	63	71	75	78	78
20	39	57	72	84	92	98	100

Überraschend ist zunächst bei allen bisherigen Untersuchungen, daß die Verdunstung, ausreichender Niederschlag vorausgesetzt, praktisch nur von der mittleren Jahrestemperatur abzuhängen scheint, während andere Klimafaktoren, wie Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit etc., nicht wirksam werden. Die befremdliche Tatsache wird jedoch von Lysimetermessungen bestätigt, was darauf hindeutet, daß die Gebietsverdunstung nicht als Diffusionsvorgang beschrieben werden kann. Andere Vorgänge, wir denken vor allem an den Nachschub der Feuchtigkeit im Erdboden sowie an denjenigen der Verdunstungswärme, bestimmen die Geschwindigkeit der Wasserabgabe. Wir fügen noch hinzu, daß wir im Gegensatz zu Wundt, aber in Übereinstimmung mit Lütschg, Wallén und andern annehmen, daß die Gebietsverdunstung nach Durchlaufen eines flachen Maximums bei weiterer Niederschlagszunahme wieder etwas abnimmt. Nach obigen Ausführungen ist die Aufstellung eines besondern «Abflußfaktors» (A in % von N) wenig sinnvoll oder zweckmäßig.

Auf ältere Untersuchungen aus der Schweiz braucht nicht mehr eingegangen zu werden, da die benützten Werte für N und A heute größtenteils überholt sind. Aber selbst die Resultate von Lütschg (V) dürfen nicht kritiklos übernommen werden. Zunächst, wohl unter dem Eindruck der häufigen Temperaturinversionen in den Bergen, zieht Lütschg es vor, die Verdunstung in Beziehung zur mittleren Meereshöhe anstelle der mittleren Temperatur zu setzen. Bei der engen Relation zwischen Höhe und Temperatur ist es weiter nicht verwunderlich, daß beide Wege gangbar sind und zu gleichen Ergebnissen führen. Dagegen ist die Heranziehung kleiner, hochgelegener und stark vergletscherter Gebiete zur Aufstellung einer Verdunstungsformel in Abhängigkeit von der Meereshöhe unglücklich. Zur Ausschaltung lokaler Einflüsse und unkontrollierbarer Vorratsänderungen (Gletscherschwund) sind großflächige, gletscherarme Gebiete viel angezeigter. Die von Lütschg angegebene Beziehung ergibt des-

halb auch nur unbefriedigende Resultate. Daß deswegen die praktische Beziehung zwischen Verdunstung und Höhenlage nicht auch prinzipiell abgelehnt werden muß, wird durch die Zahlenangaben von Ertl für das Inn- und Isargebiet gut belegt.

Wenn wir uns nunmehr den neuen Untersuchungen von Uttinger (VII) und Walser (VI) zuwenden, können wir feststellen, daß die Kenntnis des Wasserhaushaltes dank verbesserter Meßmethoden und einem dichteren Beobachtungsnetz große Fortschritte gemacht hat. Trotzdem darf auch heute noch die Zuverlässigkeit der Angaben nicht überschätzt werden, worauf beide Autoren ausdrücklich hinweisen. Es wird nun in Anlehnung an Lütschg und Ertl eine lineare Abhängigkeit der Verdunstung von der mittleren Meereshöhe H vorausgesetzt. Das Kurvenbild mit den Walser'schen Werten zeigt auch deutlich diese Abhängigkeit. Mit der Ausgleichsrechnung gelangt man zu dem provisorischen Resultat:

$$V = 66 - 18 . H \qquad V \text{ in cm} \qquad H \text{ in km}$$

Ein Vergleich mit den nach Wundt, Ertl und Lütsch zu erwartenden Zahlen ergibt folgendes Bild:

	mittlere Höhe	500	1000	1500	2000	2500
	mittlere Temperatur	8,4	6,0	3,4	0,75	–2,0
V	provisorisch	57	48	39	30	21
V	nach Wundt	54,5	46	38	30	23
V	nach Ertl	54	47	40	33	26
V	nach Lütschg	36	33	31	29	27

Die unerwartete Übereinstimmung spricht doch entschieden für die Realität einer Beziehung zwischen Verdunstung und Meereshöhe. Wenn die Streuung der Punkte auch noch bedenklich groß ist, lohnt es sich doch, die Sache weiter zu verfolgen. Dazu werden weitere Flußgebiete mit Hilfe der Regenkarte und der Abflußwerte ausgewertet, immer für die Periode 1901–1940, soweit es die Unterlagen erlauben. Dies hat den Vorteil, streng vergleichbare Werte gegeneinander zu setzen. Außerdem bleibt der Einfluß der künstlichen Speicherung noch in erträglichen Maßen und fallen die abnormalen Hitzejahre Ende der vierziger Jahre mit ihrem großen Gletscherschwund nicht ins Gewicht. Ferner muß zu den verwendeten Beobachtungsdaten Stellung genommen werden. Es kann zwar nicht un-

sere Aufgabe sein, die Niederschlags- und Abflußmessungen und die dabei angewandten Methoden zu beurteilen, doch einiges ist allgemein zu beobachten. Unter der Voraussetzung einer im Mittel annähernd konstanten Verdunstung, wie sie explizit oder stillschweigend von den meisten Autoren angenommen wird[3], bedeutet eine abnormal große Verdunstung einen zu hoch angesetzten Niederschlag oder einen zu kleinen Abfluß und umgekehrt eine abnormal kleine Verdunstung zu kleinen Niederschlag oder zu großen Abfluß. Während der Niederschlag im Flachland recht genau erfaßt werden kann, ist hierfür im Gebirge ein recht dichtes Beobachtungsnetz notwendig, welches meist fehlt. Je kleiner und akzentuierter ein Flußgebiet ist, um so größer wird der relative Fehler von N. Abflußmessungen sind im Prinzip einfach; eine einzige Meßstelle genügt für ein Gebiet. Doch besteht immer die Möglichkeit, daß ein Teil des Abflusses unterirdisch (als Grundwasser) erfolgt und nicht miterfaßt wird oder daß durch Aufbruch von Rücklagen (Gletscherschwund) ein zusätzlicher Abfluß erfolgt. Flachlandgebiete werden deshalb gerne zu große, vergletscherte Gebiete zu kleine Verdunstungswerte geben.

Wasserhaushalt im schweizerischen Rheingebiet

Fluß	Abfluß-station	Areal km²	mittl. H m	N cm	A cm	V cm
Rhein	Ilanz	776	2 020	188	157	31
	Felsberg	3 249	2 010	157	123	34
	Ragaz	4 455	1 930	151	118	33
	St. Margrethen	6 122	1 800	153	116	37
	Reckingen	14 718	1 120	147	98	49
	Basel	35 925	1 050	143	94	49
Aare	Interlaken	1 140	1 940	204	170	34
	Thun	2 490	1 740	182	141	41
	Brügg	8 317	1 150	148	94	54
	Brugg	11 773	1 000	139	88	51
Reuß	Seedorf	832	2 010	205	174	31
	Melligen	3 382	1 240	169	132	37
Linth	Gäsi	616	1 725	218	176	42
	Hardt ZH	2 176	1 190	184	141	43

[3] Selbst Lütschg kontrolliert seine gemessenen Zahlen für den mittleren Niederschlag eines Gebietes mittels der geschätzten Zahlen für die Gebietsverdunstung.

Julia	Tiefenkastel	325	2 190	144	114	30
Albula	Tiefenkastel	524	2 120	128	94	34
Hinterrhein	Andeer	503	2 250	177	159	18
Plessur	Chur	263	1 860	130	98	32
Tamina	Ragaz	147	1 800	166	132	34
Thur	Andelfingen	1 696	770	136	90	46
Töß	Neftenbach	342	660	130	76	54
Muota	Altdorf	316	1 360	228	188	40
Lorze	Cham	259	690	146	86	60
Broye	Sugiez	697	630	110	64	46

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Einflüsse möchten wir als Mittelwerte für die Gebietsverdunstung folgende Werte empfehlen:

Mittelwerte der jährlichen Gebietsverdunstung
im schweizerischen Rheingebiet

H. ü. M.	500	1000	1500	2000	2500	3000
V cm	57	48	40	32	25	18

Es gelingt nicht in jedem Falle, die auftretenden Differenzen zu erklären und aus der Welt zu schaffen. Wenn auch die Gebietsverdunstung in erster Linie durch die mittlere Temperatur respektive die Höhenlage bestimmt wird, scheinen doch noch andere meteorologische Faktoren vorzuliegen, die einen Einfluß ausüben können. Es ist aber nicht gelungen, diese anhand des vorliegenden Beobachtungsmaterials zu eruieren. Trotzdem glauben wir mit unseren Zahlen der Wirklichkeit näher zu kommen als mit den bisherigen, in der schweizerischen Literatur, speziell den von Lütschg verwendeten Werten.

Literaturnachweis:

I Ertl: Festschrift der Bayr. Landesstelle für Gewässerkunde 1950
II Fischer: Lexikon Bd. Geophysik Art. Verdunstung und Wasserhaushalt
III Keller H.: Niederschlag und Abfluß in Mitteleuropa 1905
IV Keller R.: Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes 1961
V Lütschg O.: Zum Wasserhaushalt des Schweiz. Hochgebirges
VI Walser E.: Niederschlag und Abfluß im Rheingebiet
Wasser- und Energiewirtschaft 1954 und ff., speziell 1960
VII Uttinger H.: Niederschlagskarte der Schweiz 1949
VIII Wundt W.: Gewässerkunde 1953