

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 112 (1961)
Heft: 10-11

Artikel: Wald und Wasser
Autor: Trüeb, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767509>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

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

Wald und Wasser¹

Von E. Trüeb, Winterthur

Oxf. 907

Wenn wir uns den Beziehungen zwischen dem Wald und dem Wasser zuwenden, so ist damit das Wasser in doppeltem Sinne und in dreifacher Hinsicht angesprochen.

Wir haben uns einerseits zu befassen mit dem Wasser über dem Erdboden, dem Oberflächenwasser, und anderseits mit dem Wasser unter dem Erdboden, dem Grundwasser im weitesten Sinne. Gleichzeitig haben wir uns aber auch mit den drei Phasen des Wassers zu beschäftigen; mit dem gasförmigen Wasser als Wasserdampf in und über den Wäldern, ferner mit dem flüssigen, tropfbaren Wasser und schließlich mit dem festen Wasser als Schnee, Reif und Eis.

Wenden wir uns vorerst kurz dem Wasserhaushalt des Waldes im engeren Sinne zu. Von dem Niederschlag, der über einem Wald niedergeht, wird ein Teil im Blatt- oder Nadeldach zurückgehalten und verdunstet wieder. Bei geringen Niederschlägen und dichter Bewaldung gelangt gelegentlich überhaupt kein Wasser auf den Erdboden. Der Wanderer weiß, daß er unter dem Nadeldach einer alten Tanne auch bei einem starken Regen nachhaltig Schutz findet. Wir haben es mit der Niederschlagszurückhaltung im Walde, der sogenannten *Interzeption* zu tun. Die Interzeption ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die wir hier nicht alle aufzählen können. Eine ausschlaggebende Rolle spielt die Laub- und Nadeloberfläche der Bäume; je größer diese ist, um so mehr wird vom Niederschlag zurückgehalten. Die Speicherkapazität schwankt nach Delfs (1) bei einzelnen Regenfällen zwischen 0,3 und 4 mm. Die Interzeption ist in den Wintermonaten geringer als im Sommer. Verantwortlich dafür sind die höhere relative Luftfeuchtigkeit und die geringere Sonneneinstrahlung während der Wintermonate. Beim Laubholz kommt im Winter noch das Fehlen des Laubes hinzu. Die prozentuale Interzeption schwankt je nach Bestandesaufbau, Alter und Standraum zwischen 0 und 62 Prozent des Niederschlages. Ältere, dichtgeschlossene Nadelholzbestände halten am meisten Wasser zurück, Buschvegetationen am wenigsten. Jüngere Bestände halten weniger Wasser zurück als ältere, durchforstete weniger als dicht geschlossene. Mit der Niederschlagsintensität steigt die absolute Interzeption an, die relative Interzeption fällt dagegen. Dazu ein Beispiel:

¹ Vortrag, gehalten an der Jahresversammlung des Schweizerischen Forstvereins 1961.

Tabelle 1

Abhängigkeit der Interzeption von der Niederschlagssumme
nach H a m i l t o n und R o w e (2)

Niederschlagssumme in mm	2,5 bis 6,4	6,4 bis 12,7	12,7 bis 25,4	25,4 bis 50,8	50,8 bis 152,4	152,4 bis 304,8
Absolute Interzeption in mm	2,2	3,1	3,3	3,9	8,2	13,8
Relative Interzeption in %	50	31	18	12	10	7

Wie bereits erwähnt, variiert die Interzeption auch mit der Art der Bäume, wie dies aus der Tabelle 2 hervorgeht.

Tabelle 2

Relative Interzeption in Prozenten

Autor	Bühler (3) Schweiz		Morosow (4) Rußland			Eidmann (5) Sauerland, Juli 1951			
Niederschlag in mm	700	1500	5—10	10—15	15—20	0—5	5—10	10—20	20—40
<i>Art der Bäume</i>									
Föhre	25	12	38,1	23,3	24,7	—	—	—	—
Buche	29	13	23,7	19,2	13,3	39,7	24,1	19,9	14,8
Rottanne	43	20	56,8	44,4	30,9	68,3	38,0	24,1	10,5
Weißtanne	57	27	—	—	—	—	—	—	—

Bei den Rot- und Weißtannen ist eine verhältnismäßig hohe Rückhaltung festzustellen, während die Laubbäume — vor allem die Buche — eher eine geringere Rückhaltung aufweisen. Wenn auch die verschiedenorts angelaufenen Untersuchungen (2, 6, 7) über Wirkung und Ausmaß der Interzeption noch keine abschließende Beurteilung erlauben, liegen doch hinreichende Grundlagen vor, um durch einen gezielten Bestandesaufbau und eine entsprechende Durchforstung die Interzeption merklich zu beeinflussen. Dies ist von besonderer Bedeutung in Wassermangelgebieten, also bei aridem und semiaridem Klima, aber auch dort, wo in Ballungsräumen die Trinkwasserbeschaffung bereits ernste Schwierigkeiten bereitet. So ist man zum Beispiel im Ruhrgebiet daran, durch die bewußte Senkung der Interzeption den Zufluß zu den Trinkwassertalsperren zu erhöhen.

Neben der Interzeption haben wir uns auch mit der *Evaporation* als weiterer, für die Wasserwirtschaft scheinbar unproduktiver Verdunstung zu befassen. Darunter versteht man die Wasserabgabe des Erdbodens durch Verdunstung ohne Mitwirkung der Vegetation. Nach Engler (8) gibt der vegetationslose Freilandboden dreimal mehr Wasser an die Atmosphäre ab als der Boden des gutbestockten Plenterwaldes und des gleichaltrigen geschlossen belaubten Buchenwaldes. Eingehende Versuche über die Evaporation hat Burger (9) im Versuchsgebiet von Oppligen bei Thun im Kanton Bern durchgeführt. Danach beträgt während des Sommers die Verdunstung des Rottannenbodens ungefähr 27 Prozent und diejenige des Plenterwaldbodens sogar nur 16 Prozent derjenigen des Freilandbodens. Ferner ist auf die langjährigen umfassenden Eberswalder Lysimeterversuche zu verweisen (10). Die geringere Evaporation im Walde ist eine Folge seines feuchteren Binnenklimas. Der Boden ist vor den Sonnenstrahlen und vor dem Wind geschützt. Die Temperatur der Luft ist geringer und ihre Feuchtigkeit ist höher.

Im Gegensatz zur Interzeption und zur Evaporation handelt es sich bei der *Transpiration* — der Pflanzen- oder Blattverdunstung — um einen Wasserentzug aus dem Untergrund, an dem der Wald aktiv beteiligt ist. Die Wälder sind die großen Wasseratmer der Landschaft. Wie ein erfrischender Atem geht ihre verdunstete Feuchtigkeit hinaus und labt Feld und Flur.

Gegenüber dem Wasserverbrauch für die industrielle Fertigung geht der Wald außerordentlich sparsam mit dem Produktionsmittel Wasser um. Während für eine Tonne Wolle etwa 1000 Tonnen Wasser und für eine Tonne Kunstseide bis zu 8000 Tonnen Wasser benötigt werden, begnügt sich der Wald zur Produktion einer Tonne Föhrenholz nach Burger (11) mit etwa 107 und zur Produktion einer Tonne Buchenholz mit etwa 435 Tonnen Wasser. Zahlenmäßige Angaben über das Ausmaß der Transpiration sind noch nicht absolut gesichert (12). Als Übersicht sollen die Werte der Tabellen 3 und 4 dienen.

Tabelle 3

Mittlere tägliche Bestandestranspiration nach P o l s t e r (13)

Holzart	Blattgewicht	Mittlere tägliche Bestandestranspiration	
	kg/ha	l/ha Tag	mm/Tag
Birke	4 940	47 000	4,7
Buche	7 900	38 000	3,8
Lärche	13 950	47 000	4,7
Douglasie	40 000	53 000	5,3
Rottanne	31 000	43 000	4,3
Föhre	12 550	23 500	2,35

Tabelle 4

Mittlere jährliche Bestandestranspiration nach K i r w a l d (14)

Holzart	Mittlere jährliche Bestandestranspiration
	mm/Jahr
Rottanne	300 bis 320
Buche	250 bis 300
Eiche	120 bis 300
Föhre	120 bis 300
Lärche	bis 680

Betrachten wir den Einfluß der Verdunstung des Waldes gesamthaft, also die Summenwirkung von Interzeption, Evaporation und Transpiration, so muß nach übereinstimmender Auffassung festgestellt werden, daß unter sonst gleichen Bedingungen der Wald im Jahresmittel einen etwas kleineren Gesamtabfluß ergibt als das unbewaldete Gelände. Als nachteilige Wirkung kann dies höchstens in ariden Gebieten gewertet werden, wobei auch dort der Einfluß des Waldes auf das Klima zu beachten ist. In Mitteleuropa mit seinem gemäßigten, eher humiden Klima kommt dem jährlichen Gesamtabfluß gegenüber den Vorzügen eines möglichst ausgeglichenen Abflußregimes eher eine untergeordnete Bedeutung zu. Auf die segensreiche Wirkung des Waldes als ausgleichender Faktor in dieser Hinsicht werden wir noch eingehend zu sprechen kommen.

Vorerst wollen wir uns aber noch kurz dem Wasserhaushalt des Waldbodens zuwenden. In seiner Dissertation untersuchte Burger (15) die physikalischen Eigenschaften von Wald- und Freilandböden. Dabei stellte er als wesentlichsten Unterschied die höhere Luftkapazität des Waldbodens fest, d. h. des Anteils derjenigen Poren, welche zufolge ihrer Größe nicht kapillar wirksam sind. Einer hohen Luftkapazität entspricht auch eine gute Durchlässigkeit. Dies hat den Vorteil, daß nicht nur mäßige Niederschläge, sondern auch kurze, aber intensive Sommerniederschläge ungehindert in den Boden eindringen können. Durch Sickerversuche konnte er zeigen, daß im Wald die Einsickerzeit für eine Wasserprobe von 10 cm Höhe fünf- bis neunmal geringer ist als bei Dauerwiese und sogar bis 17mal geringer als bei kurz zuvor gelockertem Ackerland. Die kleinste Durchlässigkeit fand er bei stark be- stoßener Alpweide und bei Sauerwiese. Durch den Viehtritt wird der Weidboden so weit verdichtet, daß die Grobporen größtenteils verschwinden; der Abfluß erfolgt damit weitgehend oberflächlich und führt damit zur Erosion. Demgegenüber herrscht im Waldboden ein dicht verzweigtes Netz von Wurzelröhren und tierischen Gängen vor, das eine ungehinderte Versickerung

ermöglicht. Die günstigen bodenphysikalischen Eigenschaften des Waldes sind für seinen Wasserhaushalt von überragender Bedeutung. Bereits Kahlschläge führen zu einer Abnahme der Durchlässigkeit, so daß es nach der Wiederaufforstung mehrere Jahre dauert, bis die ursprünglichen Verhältnisse wieder einigermaßen erreicht werden.

Gelegentlich wird dem Wald nachgesagt, er trage dazu bei, die Niederschlagssumme zu erhöhen. Unter besonderen Verhältnissen mag dies zutreffen. Die Erhöhung dürfte aber auch dann nur einige Prozente ausmachen. In diesem Zusammenhang sei auf die negative Interzeption des Waldes hingewiesen. Bei kalter, nebliger Witterung kommt es gelegentlich vor, daß vor allem der Nadelwald die Feuchtigkeit der Luft auskämmt. Auf dem Nadelkleid kommt es im Laufe der Zeit zu einem immer dichter werdenden Reifbelag, der bei Erwärmung abschmilzt und als Niederschlag auf den Waldboden gelangt, während das Freiland niederschlagsfrei bleibt. Abgesehen vom Einfluß auf das Klima im großen, fällt die niederschlagsfördernde Wirkung des Waldes jedoch kaum ins Gewicht.

Damit können wir übergehen zur Auswirkung des Waldes auf die Oberflächengewässer. Infolge der Rückhaltung der Niederschläge im Walde wird eine merkliche Dämpfung der Abflußwelle verursacht. Interzeption und die bessere Ableitung der gefallenen Niederschläge beim gut durchlässigen und lockeren Waldboden in den Untergrund ergänzen sich vorzüglich. Während im Wies- und Ackerland oder gar bei den vielen Hartbelägen der Siedlungs- und Industriegebiete der Abfluß kurz nach Beginn des Regens einsetzt, ist die Anlaufzeit im Wald bedeutend länger. Dieser Sachverhalt geht mit aller Deutlichkeit aus den jahrzehntelangen Untersuchungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen hervor. Seit der Jahrhundertwende werden im Einzugsgebiet des zu 99 Prozent bewaldeten Sperbelgrabens und des nur zu 31 Prozent bewaldeten und zu 64 Prozent mit Weide bedeckten Rappengrabens im Emmental östlich von Sumiswald vergleichende Niederschlags- und Abflußmessungen durchgeführt (8, 16, 17).

Das Abflußprozent des vollbewaldeten Sperbelgrabens ist somit im Mittel um 12 % geringer als dasjenige des nur zu rund einem Drittel bewaldeten Rappengrabens. Diese als klassisch zu bezeichnenden Untersuchungen wurden im Laufe der Jahre durch Versuchsgebiete in den Kantonen Freiburg und Tessin ergänzt. Aber auch im benachbarten Ausland, in den USA, in Südafrika, Rußland, Indien, Indonesien und Japan werden ähnliche Untersuchungen durchgeführt (18, 19). Als Beispiel seien in Tabelle 6 die Resultate angeführt, welche Kirwald (20)¹ im Auftrag des Ruhrtalsperrenvereins durchführte. Damit werden die schweizerischen Untersuchungsbefunde durchweg bestätigt.

¹ Der Ruhrtalsperrenverein in Essen hat uns freundlicherweise die Bewilligung erteilt, die Untersuchungsergebnisse der Jahre 1951/53 zu verwenden. Unter Berücksichtigung der kurzen Versuchsdauer kann es sich dabei erst um vorläufige Resultate handeln. Die Versuche wurden in der Zwischenzeit weitergeführt.

Tabelle 5

Niederschlag, Abfluß und Verdunstung im Einzugsgebiet des Sperbel- und Rappengrabens
in den Jahren 1927/28 bis 1941/42

Einzugsgebiet	Bodenbedeckung 1930							Mittl. Niederschlag		
	Total	Wald	Acker u. Wiese	Weide	Wald	Acker u. Wiese	Weide	Total	Sommer	Winter
	ha				‰			mm/Jahr	‰	
Sperbelgraben	55,8	55,3	—	0,5	99	—	1	1685	59	41
Rappengraben	59,2	18,2	3,2	37,8	31	5	64	1738	58	42
	Mittlerer Abfluß			Mittlere Verdunstung		Höhenlage		Hang- neigung		
	mm/Jahr	l/sec. Jahr	‰	mm/Jahr	‰	m ü. M.		‰		
Sperbelgraben	836	26,6	50	849	50	912/1204		40 bis 53		
Rappengraben	1081	34,4	62	657	38	996/1261		34 bis 47		

Tabelle 6

Niederschlag und Abfluß im Einzugsgebiet der Ruhr nach Kirwald (20)

		Königs- wasser	Rönkhauser- bach	Bremecke	Krähe	Marmecke
	Fläche in km ²	3,33	1,33	2,14	2,85	0,36
	Anteil Laubwald	18,8‰	72,2‰	56,2‰	10,2‰	5,9‰
	Anteil Nadelwald	14,0‰	26,9‰	43,8‰	89,3‰	94,0‰
	Anteil Freiland	67,2‰	0,9‰	0,0‰	0,5‰	0,1‰
	Ungefähres mittleres Längsgefälle	~ 62‰	~ 178‰	~ 52‰	~ 50‰	~ 118‰
Mittelwerte 1951/53	Niederschläge in mm/Jahr	1051	1015	846	1027	1125
	A/N Jahresmittel	63‰	49‰	47‰	48‰	39,5‰
	A/N Winterhalbjahr	98‰	77‰	81‰	72‰	58‰
	A/N Sommerhalbjahr	28,5‰	18‰	21‰	23‰	19‰
	Mittlere Abflußspende in l/sec km ²	21,0	15,8	12,6	15,4	14,1

Wenn wir damit im Jahresmittel auch einen etwas geringeren Gesamtabfluß des Waldes gegenüber dem Freiland feststellen, so ist die ausgleichende Wirkung des Waldes auf das Abflußregime bei unseren klimatischen Verhält-

nissen von weit größerer Bedeutung. An einem möglichst ausgeglichenen Abflußregime sind alle Sparten der Wasserwirtschaft interessiert, so die Wildbach- und Rutschhangverbauung, der Flußbau, die Wasserkraftnutzung, sowohl bei Laufwerk- als auch bei Speicherwerkbetrieb, die Fischerei, die Schifffahrt und ganz besonders die Siedlungswasserwirtschaft.

Es ist ja die Besonderheit der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in Mitteleuropa, daß es — von einigen Sonderfällen abgesehen — nicht am Wasser als solchem mangelt, sondern daß die bei Niederwasserführung auftretende Wasserklemme die größten Sorgen bereitet, und daß andererseits das Zuviel an Wasser enorme Schäden verursachen kann; denken wir an die Verheerungen, welche die Wildbäche aber auch die Flüsse des Mittellandes bei Hochwasser anrichten können. Die ausgleichende Wirkung der Wiederaufforstung auf das Abflußregime ist allgemein bekannt und wird auch durch großzügige Beispiele des Auslandes untermauert. So ist vor allem auf die in den letzten 15 Jahren erfolgte Wiederaufforstung im Einzugsgebiet des Tennessee River in den USA hinzuweisen, welche sich auf eine Fläche von 200 000 ha erstreckt.

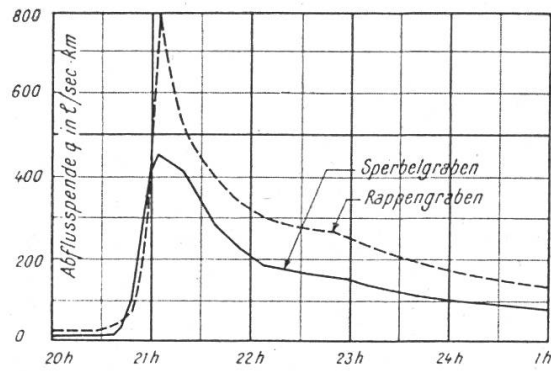
Zur Verdeutlichung der Dämpfung des Hochwasserabflusses durch den Wald wird auf die Abbildungen 1 bis 4 nach Burger (17) verwiesen. Da die Übertragbarkeit dieser Resultate infolge der verhältnismäßig kleinen Einzugsgebiete des Sperbel- und Rappengrabens gelegentlich angezweifelt werden, sollen zur Bekräftigung in den Abbildungen 5 und 6 auch die Abflußganglinien von Bächen des Ruhrgebietes dargestellt werden. Daraus geht hervor, daß der Wald sowohl bei Gewitterregen als auch bei langanhaltendem Landregen, aber auch bei der Schneeschmelze und bei Tauwetter die Abflußwelle recht empfindlich dämpft. Als Zahlenbeispiel seien die in Tabelle 7 enthaltenen Untersuchungsergebnisse für die Jahre 1951 bis 1953 nach Kirwald angeführt.

Tabelle 7
Verhältnis von HHQ zu MQ bzw. von HHQ zu HHQ_K

Gewässer	Bewaldungsprozente			MQ	HHQ _W	HHQ _S	HHQ _V	HHQ _S	HHQ _W	HHQ _S
							MQ	MQ	HHQ _{WK}	HHQ _{SK}
	Laubwald	Nadelwald	Total	l/sec. km ²					%	
Königswasser	18,8	14,0	32,8	21,0	360	217	17,1	10,3	100,0	100,0
Rönkhauserbach	72,2	26,9	99,1	15,8	200	103	12,7	6,5	55,6	47,5
Bremecke	56,2	43,8	100,0	12,6	150	184	11,9	14,6	41,7	84,8
Krähe	10,2	89,3	99,5	15,4	133	49	8,6	3,2	37,0	22,6
Marmecke	5,9	94,0	99,9	14,1	108	319	7,8	22,6	30,0	147,0

HHQ_W bzw. HHQ_S = Höchstes Hochwasser während des Winters bzw. des Sommers
 HHQ_{WK} bzw. HHQ_{SK} = entsprechende HHQ-Werte des Königswassers

Verlauf des Wasserabflusses



Verteilung und Menge der Niederschläge

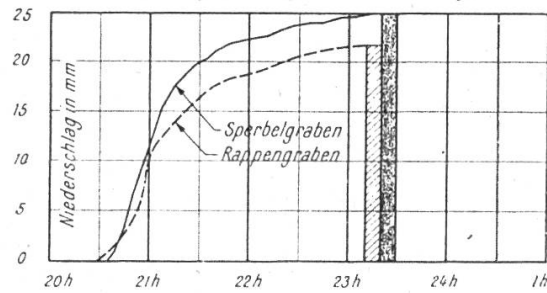
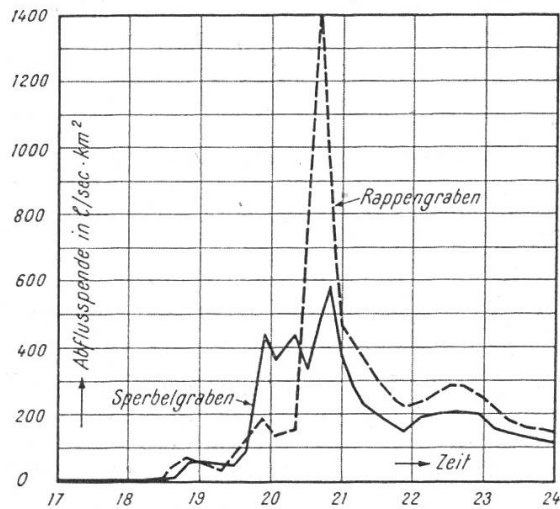


Abb. 1

Niederschlag und Abfluß von Sperbel- und Rappengraben beim Gewitter vom 22. Juni 1939

Verlauf des Wasserabflusses



Verteilung und Menge der Niederschläge

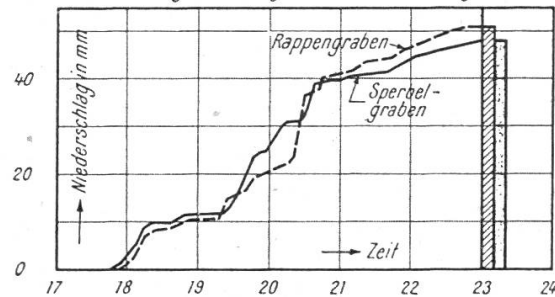


Abb. 1a

Niederschlag und Abfluß von Sperbel- und Rappengraben beim Gewitter vom 10. Juli 1942

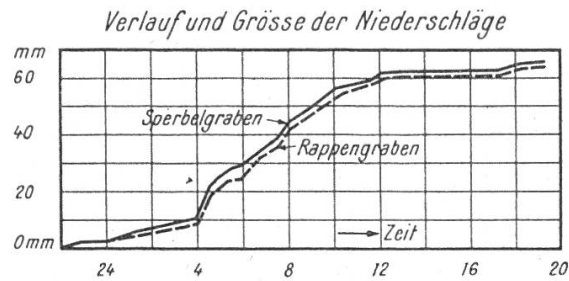
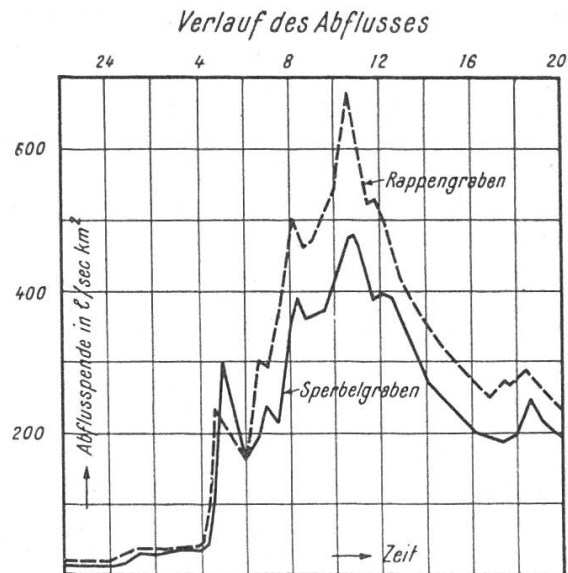


Abb. 2

Niederschlag und Abfluß von Sperbel- und Rappengraben beim Eintagregen vom 1./2. Juli 1932

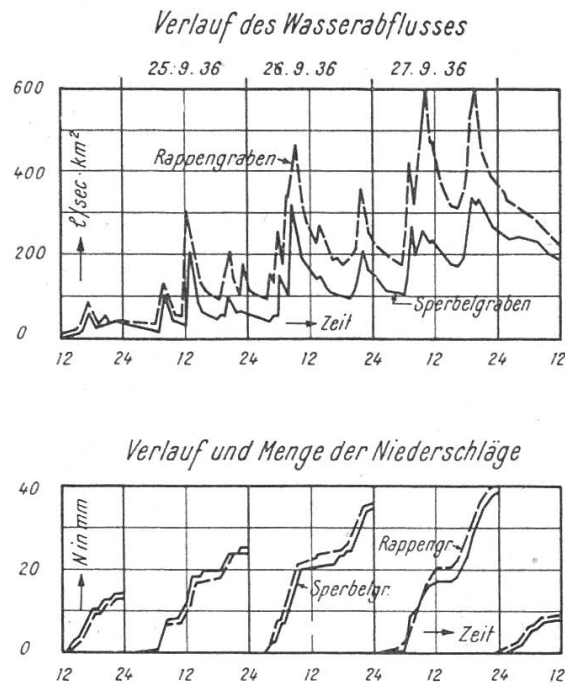


Abb. 3

Niederschlag und Abfluß von Sperbel- und Rappengraben bei mehrtägigem Landregen (24.—28. September 1936)

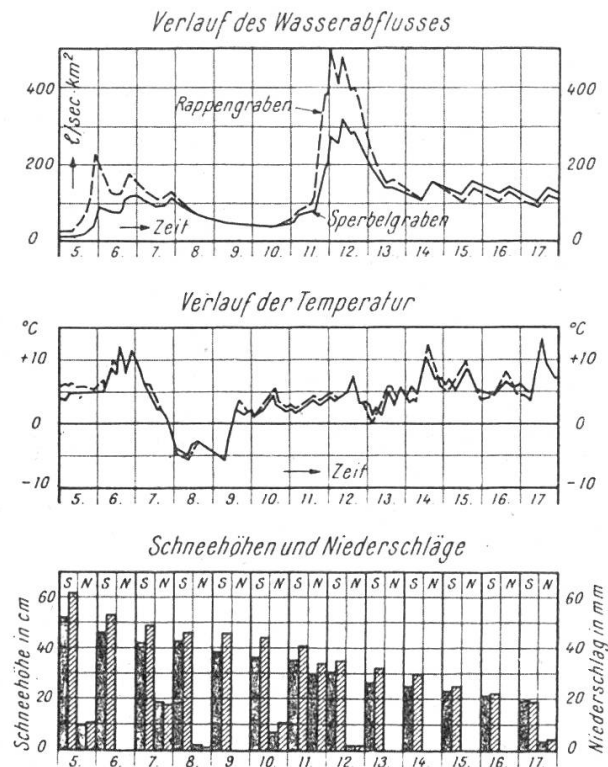


Abb. 4

Niederschlag und Abfluß von Sperbel- und Rappengraben bei Tauwetter mit Schneeschmelze (5.—17. März 1942)

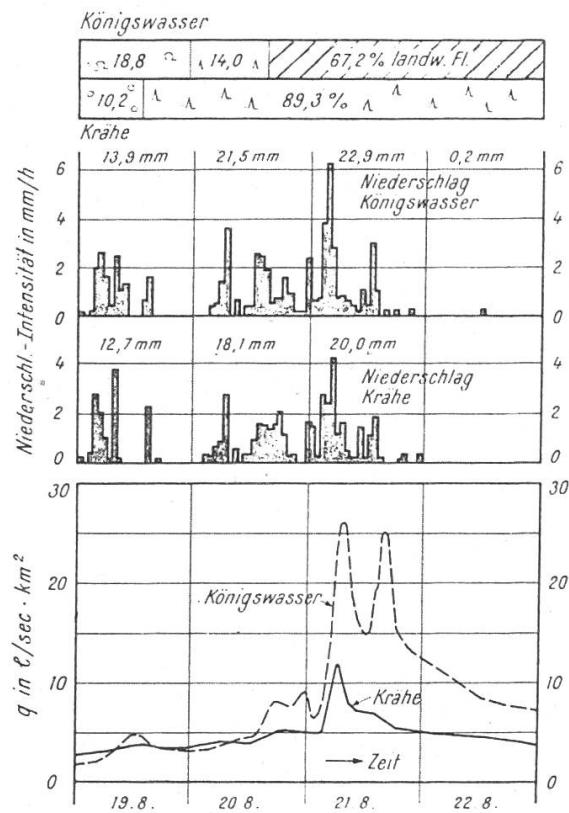


Abb. 5

Niederschlag und Abfluß von Königswasser und Krähe im Ruhrgebiet bei mehrtägigen Sommerniederschlägen (19.—22. August 1952)

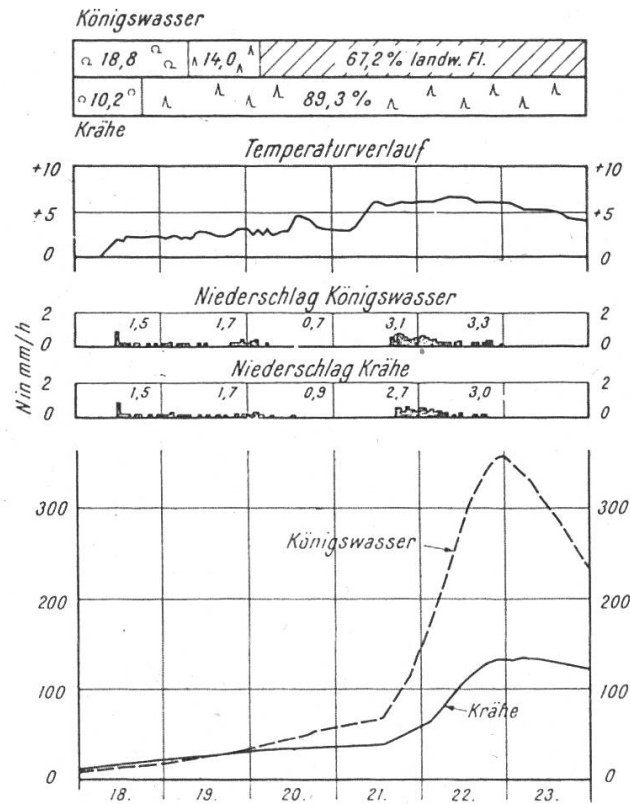


Abb. 6

Niederschlag und Abfluß von Königswasser und Krähe im Ruhrgebiet bei Tauwetter (18.—23. Februar 1953)

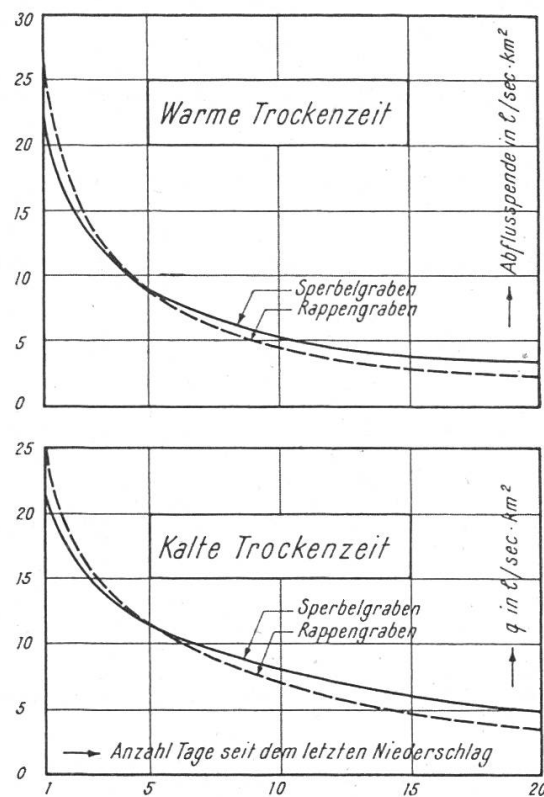


Abb. 7

Abnahme des Abflusses im Sperbel- und Rappengraben bei warmen und kalten Trockenzeiten und ungefähr gleichem Anfangsabfluß

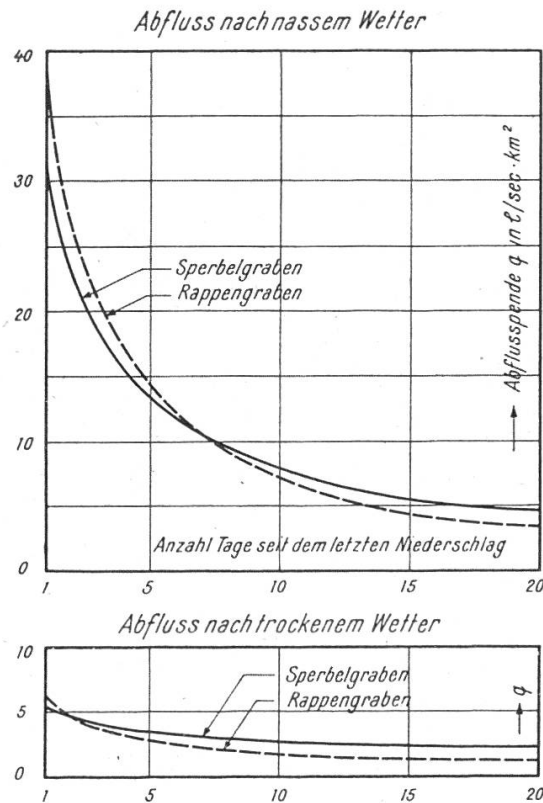


Abb. 8

Abnahme des Abflusses im Sperbel- und Rappengraben bei Sommertrockenzeiten nach nassem und trockenem Wetter, bei ungefähr gleicher Temperatur

Der Wildbach- und Rutschhangverbauung bringt der Wald nicht nur eine Milderung der Abflußwelle bei Hochwasser. In bewaldeten Einzugsgebieten ist auch die Schwebestoff- und Geschiebeführung wesentlich geringer. Daran ist aber auch die Wasserkraftnutzung interessiert, weil dadurch die Auflandung der mit großen Kosten erstellten Stauseen verzögert verläuft. Nach Brown (21) sollen Überschlagsrechnungen ergeben haben, daß bei den heutigen Verhältnissen 38 Prozent der Talsperren der Vereinigten Staaten innert der nächsten 50 Jahre mit Schutt aufgefüllt sein werden, weitere 24 Prozent innerhalb der nächsten 50 bis 100 Jahre, und nur 38 Prozent der Wasserspeicher sollen nach mehr als 100 Jahren noch teilweise brauchbar sein. Diese Angaben dürften zeigen, welche Bedeutung der Verminderung der Schwebestoff- und Geschiebeführung zukommt.

Die Durchwurzelung und die verfilzte Deckschicht aus Laubstreue schützen den Waldboden vor der Erosion. Terrassierung und Bewaldung sind somit die weitaus wirksamsten Mittel im Kampf gegen die verheerenden Folgen des Bodenabtrages. Für die Wildbach- und Rutschhangverbauung ist aber auch noch auf die Entwässerungswirkung des Waldes hinzuweisen. Durch die Interzeption und die Transpiration wird eine wesentlich wirksamere Entwässerung erreicht, als dies mit den üblichen Drainagemethoden möglich wäre. Da die Rutschgefährdung hauptsächlich vom Wassergehalt des Unter-

grundes abhängt, wird verständlich, weshalb versucht wird, durch eine entsprechende Bestandesauswahl und Durchforstung eine möglichst hohe Interzeption zu erzielen.

Aber auch auf die Niederwasserführung ist die Bewaldung von segensreicher Auswirkung. Obwohl der gut bewaldete Sperbelgraben im Jahresmittel mehr Wasser verdunstet als der schlecht bewaldete Rappengraben, konnte Burger (17, 23) zeigen, daß die Niederwasserführung im gut bewaldeten Gebiet weniger tief abfällt als im schlecht bewaldeten. Der Unterschied verstärkt sich mit zunehmender Trockenheit, wobei der Mehrabfluß aus dem gut bewaldeten Sperbelgraben bis zu 45 Prozent betragen kann. Dieser Sachverhalt geht auch aus den Abbildungen 7 und 8 hervor. Wie Jilg (24, 25) zeigen konnte, kann der Quellertrag nach Kahlschlägen auf 65 bis 20 Prozent des früheren Ertrages zurückgehen. Durch das langsamere Abschmelzen des Schnees infolge der Beschattung und der geringeren Temperatur des Waldes findet das Schmelzwasser Zeit, in den Untergrund zu versickern. Andererseits konnte in den USA der Nachweis erbracht werden, daß durch eine gezielte Durchforstung in Bestandeslücken eine Akkumulierung des Schnees erreicht wird, womit der mittlere Gebietsabfluß erhöht werden kann. Am günstigsten für die Schnee-Erhaltung waren kleine Bestandesöffnungen, deren Durchmesser ein Drittel der Bestandeshöhe aufwiesen. Streifenkahlschläge, die während der Hauptsonneneinstrahlung maximal beschattet werden, führten zu einer Schnee-Erhöhung und zu einer verzögerten Schneeschmelze. Die höhere Niederwasserführung bei bewaldeten Einzugsgebieten ist nicht nur für die Wasserkraftnutzung, sondern vor allem für die Siedlungswasserwirtschaft, d. h. für die Trinkwasserversorgung und die Abwasserbeseitigung (23), von größtem Interesse. Der erforderliche Reinigungseffekt eines Klärwerkes wird hauptsächlich bestimmt durch das Selbstreinigungsvermögen des Vorfluters, in den der Kläranlagenabfluß eingeleitet wird. Dies ist vorwiegend eine Funktion der Niederwasserführung, der Vorbelastung mit Abwasserstoffen und der Strömungsverhältnisse. Je geringer die Niederwasserführung eines Vorfluters ist, desto weitgehender ist die Klärung zu betreiben. Die Kosten der Abwasseraufbereitung steigen aber progressiv mit dem Kläreffekt an. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist man deshalb bestrebt, das natürliche Selbstreinigungsvermögen der Flüsse zur Nachklärung der eingeleiteten Abwässer heranzuziehen. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn auch bei Niederwasser eine hinreichende Verdünnung gewährleistet ist.

Der Einfluß des Waldes auf die Grundwasserneubildung ist noch nicht abschließend geklärt. Je nach dem Aufbau des Bodenprofils und dem Bestandesaufbau können die Auswirkungen von gegenteiliger Folge sein. Die vorliegende Fragestellung wird dadurch noch unübersichtlicher, weil die ergiebigen Grundwasservorkommen unseres Landes in der Regel eine doppelte Speisung erfahren. Einmal durch echtes Grundwasser, d. h. durch direkte Versickerung des Niederschlages, dann aber meist auch durch Infiltrations-

strömungen aus Oberflächengewässern. Außerdem weist der Wasserhaushalt des Waldes bedeutende jahreszeitliche Unterschiede auf. Nach I j j a s z (26) ist die Grundwasserspeisung bei lichten Waldungen und Schotterböden mit geringer kapillarer Steighöhe im Winter vor allem in Gebieten mit größeren Schneehöhen dank der besseren Durchlässigkeit des Waldbodens beträchtlich höher als in unbewaldeten Gebieten. Der an sich höhere Verdunstungsverlust während des Sommers kann infolge der geringen kapillaren Steighöhe nicht zur Auswirkung kommen. Ausschlaggebend ist die Wasserbilanz des Bestandes. In dieser Hinsicht wären lichte Föhrenforste sehr günstig. Wie wir noch sehen werden, ist in den Trinkwasserschutzgebieten vor allem auch auf eine optimale Humusbildung Rücksicht zu nehmen, so daß aus diesem Grunde gemischte Bestände in der Regel vorzuziehen sind, auch wenn damit eine gewisse Abminderung der Grundwasserspeisung in Kauf genommen werden muß.

Um die Grundwasserwirtschaft der Trinkwasserwerke zu verstehen, ist zu beachten, daß das Wasserdargebot durch die Niederschlagsverhältnisse des Winterhalbjahres bestimmt wird, während die Witterungsverhältnisse des Sommerhalbjahres Verlauf und Ausmaß des Wasserbedarfes bestimmen. In Tabelle 6 haben wir gesehen, daß bei den Gewässern im Oberlauf der Ruhr das Verhältnis von Abfluß zu Niederschlag im Sommerhalbjahr zwischen rund 19 und 29 Prozent schwankt. Demgegenüber betragen die entsprechenden Werte des Winterhalbjahres 58 bis 98 Prozent. Daraus geht klar hervor, *daß hauptsächlich die Niederschläge des Winterhalbjahres für das Ausmaß der Grundwasserspeisung maßgebend sind.* Ein Winter mit geringen Schneefällen oder ein trockener Vorfrühling kann ausreichen, um die Grundwasserspeisung so weit herabzusetzen, daß oft eine Mangellage verursacht wird, die bis zum nächstfolgenden Frühjahr anhält. Demgegenüber genügen einige trockene und heiße Tage, um den Wasserbedarf der Dörfer und Städte bis auf das Doppelte des mittleren Bedarfes hinaufschnellen zu lassen. Die ausgedehnten Grundwasservorkommen unseres Landes sind somit die großen Speicher, welche den Ausgleich zwischen Wasserangebot und Wasserbedarf sicherstellen.

Der Trink- und Brauchwasserbedarf ist infolge der Zunahme von Bevölkerung und Industrie, aber auch infolge des immer stärker ansteigenden Kopfverbrauches im Laufe der letzten Dezennien ungeheuer angewachsen. Die weitere Entwicklung läßt sich noch keineswegs überblicken. Tatsache aber bleibt, daß die Wasserschätze unseres Landes einer immer intensiveren Nutzung unterworfen werden müssen. Dieser Sachverhalt dürfte offensichtlich werden, sobald man sich vergegenwärtigt, wie dicht unsere Städte im Vergleich mit dem benachbarten Ausland bereits überbaut sind. Dazu können wir auf die in der Tabelle 8 enthaltenen Siedlungsdichten verweisen.

Es ist deshalb ein dringendes Gebot unserer Zeit, die Wasserschätze zu pflegen und für einen sparsamen und umsichtigen Wasserhaushalt — vor

Tabelle 8

Siedlungsdichten schweizerischer und deutscher Städte und Wirtschaftsgebiete,
Einwohnerzahlen von 1960

	Einwohner- zahl 1960	Fläche in km ²	Siedlungs- dichte Ew/km ²
Genf	176 200	15,8	10 700
Basel	206 750	24,0	8 650
Wanne-Eickel	107 314	21,32	5 033
Zürich	440 170	87,86	5 010
Essen	727 929	188,62	3 859
Duisburg	502 028	143,91	3 488
Bern	163 200	51,6	3 182
Lausanne	126 300	41,1	3 083
Bezirk Zürich	491 056	161,42	3 042
Mittel der 18 kreisfreien Städte des Ruhrsiedlungsverbandes }	4 196 851	1 453,93	2 887
Mittel des Ruhrsiedlungsgebietes	5 490 233	4 329,43	1 268
Winterthur	80 352	67,81	1 185
Region Winterthur	90 108	112,48	801
Kanton Zürich	952 304	1 728,71	551
Nordrhein-Westfalen	15 653 613	33 957,67	461

allem für ein ausgeglichenes Abflußregime — besorgt zu sein. Die auf unser Land niedergehenden Niederschläge sollen möglichst lange zurückgehalten und nicht auf dem kürzesten Weg dem Meer zugeleitet werden.

Nun sind die Grundwasservorkommen unseres Landes gebietsweise bereits so weit ausgenützt, daß sie künstlich angereichert werden müssen. Nicht überall ist man in der glücklichen Lage wie in Basel, wo das zur Anreicherung benötigte Wasser dem Rhein entnommen werden kann. Es ist deshalb wichtig, daß auch die kleineren Gewässer bei Trockenheit genügend Wasser führen, das sich zur Anreicherung des Grundwassers eignet.

Neben der Frage der Wassermenge ist unseren Trinkwasserversorgungen aber noch eine Sorge erwachsen, die ihr immer mehr zu schaffen macht. Die fortschreitende Verschmutzung unserer Gewässer stellt ein Problem dar, das dringend einer Lösung entgegengeführt werden muß.

Auch in dieser Hinsicht hilft der Wald. Er schützt nicht nur vor der immer mehr sich ausdehnenden Überbauung mit Wohnhäusern und Industriebetrieben mit ihren meist nur ungenügend geklärten Abwässern, die große innere Oberfläche des humosen Waldbodens stellt auch einen ganz vorzüglichen Filter für das Sickerwasser dar (27, 28, 29). So konnte Minder (30) zeigen, daß der Nitratgehalt in bewaldeten Grundwassergebieten wesentlich geringer ist als bei Wies- und Ackerland, besonders wenn es gedüngt wird. Während er bei Bewaldung in der Regel nur wenige Milligramme im Liter Grundwasser feststellte, fand er bei Wies- und Ackerland 20 und mehr Milligramm Nitrat im Liter. Neben dem Interesse der Trinkwasserwirtschaft an der Gewässerreinhaltung im Hinblick auf die Erhaltung der Volksgesundheit, ist die Reinhaltung unserer Gewässer aber auch hinsichtlich der Erhaltung der Grundwassermenge zu fordern. Eine namhafte Speisung erfahren unsere Grundwasservorkommen durch die Versickerung der vielen kleinen Seitenbäche in den Schuttkegeln beim Übergang ins Haupttal. Diese Speisung ist bei den kristallklaren Bächen aus bewaldeten Talhängen gewährleistet. Wo diese Seitenbäche aber aus überbauten Einzugsgebieten stammen, ist eine zunehmende Verschmutzung festzustellen. Die mitgeführten Schwebestoffe führen zu einer fortschreitenden Verstopfung der Versickerungszonen. Damit geht die so dringend benötigte Speisung des Grundwassers immer mehr verloren. Dazu ein Beispiel. In früheren Jahren versickerte der Mederbach, der aus dem Gebiet des Hausersees stammt, in der Schotterebene von Niedermarthalen, wo er auch zur Bewässerung verwendet wurde. Mit der immer häufigeren Einleitung von ungeklärten Abwässern vor allem aus dem Gebiet von Marthalen verstopfte die Sickerzone immer mehr. Im angrenzenden Wald bildete sich bald ein Sickerteich, der sich infolge der fortschreitenden Kolmation des Untergrundes, bedingt durch die mitgeführten Feststoffe und die im nährstoffreichen Wasser sich massenhaft entwickelnden Algen, immer mehr ausdehnte. Zum Schutz des Waldes mußte dem Mederbach eine Abflußrinne nach der Thur gebaggert werden. Obwohl die etwa 2,5 km lange Rinne im gut durchlässigen Schotter ausgehoben wurde und keinen Sohleneinbau erhielt, verlegte sich ihre Sohle in kürzester Zeit. Damit geht das Wasser des Mederbaches, das früher mit zur Speisung des Grundwasserstromes von Ellikon a. R. beigetragen hat, heute fast restlos als Abfluß in die Thur verloren.

Mit dem ansteigenden Wasserbedarf und der immer intensiveren Ausnützung unserer Grundwasservorkommen erlangt aber auch die Gewinnung von uferfiltriertem Grundwasser immer mehr Bedeutung. Dazu werden Fassungen längs des Flußufers angelegt und durch eine stärkere Brunnenabsenkung oder den Vortrieb von Horizontalfiltersträngen unter den Fluß selbst wird die Infiltration von Flußwasser in die wasserführenden Schotter erhöht. Voraussetzung für dieses Vorgehen ist neben einer hinreichenden Wasserführung des Flusses auch bei Niederwasser besonders die Güte des

Flußwassers. Wohl wird bei der Durchsickerung des Schotterkörpers das Flußwasser weitgehend filtriert. Der Chemismus des Wassers wird aber kaum verändert. Wesentlich ist aber, daß sich die Flußsohle im Laufe der Zeit nicht abdichtet, wie dies beim gestauten Fluß der Fall sein kann, besonders wenn er zuviel Schwebestoffe führt oder so reich an Nährstoffen ist, daß sich die Algen darin massenhaft entwickeln können. Kommt es zu einer fortschreitenden Abdichtung der Flußsohle, so geht nicht nur die Infiltrationsleistung zurück. Bei einer Kolmationshaut aus vorwiegend organischem Material kann es auch zu einer Sauerstoffzehrung in der dichtenden Schicht kommen. Sauerstoffarme oder gar sauerstofffreie Grundwässer neigen zur Eisen- und Manganlösung mit all ihren unangenehmen Folgen. Die geschilderten Gefahren sind bei Flüssen aus bewaldeten Einzugsgebieten in der Regel nicht zu erwarten. Deshalb werden von den Wasserfachleuten solche Flüsse zur Gewinnung von uferfiltriertem Grundwasser überaus geschätzt.

Abschließend wollen wir uns noch kurz mit den Vorzügen des Waldes bei der Bewirtschaftung der Trinkwasserschutzgebiete befassen. Damit eine Verunreinigung des zu gewinnenden Trinkwassers vermieden werden kann, ist es allgemein üblich, Quellen und vor allem Grundwasserfassungsgebiete mit Schutzzonen zu umgeben. Dadurch wird die unerwünschte Überbauung ferngehalten. Aber auch die animalische Düngung ist in der engeren Schutzzone im Hinblick auf eine Gefährdung des Trinkwassers in bakterieller Hinsicht zu untersagen. Dies hat zur Folge, daß die ohnehin meist geringe Humusschicht über den Schottern immer mehr degeneriert. Wie wir gesehen haben, ist aber eine kräftige Humusschicht zur Erzielung einer genügenden Filtrierung des versickernden Niederschlages unbedingt erforderlich. Hier hilft nur der Wald. Durch eine gezielte Bestandeswahl bei der Wiederaufforstung der Trinkwasserschutzgebiete kann die Humusbildung gefördert werden. Da im Wald eine animalische Düngung entfällt, können mit der Bewaldung auch die sonst meist lästigen Diskussionen mit den Schutzzonenbauern vermieden werden, die es im Interesse der Ertragssteigerung mit dem Düngeverbot oft nicht allzu genau nehmen.

Ein überaus instruktives Beispiel einer ausgedehnten bewaldeten Trinkwasserschutzzone stellt das Fassungsgebiet der Münchner Stadtwerke an der Mangfall in der Nähe vom Miesbach in Oberbayern dar. Von dieser Schutzzone sind 1855 ha im Besitze der Stadtwerke, wovon 1300 ha forstwirtschaftlich genutzt werden. Aus diesem rund 45 km von München entfernten Gebiet können täglich bis zu 390 000 m³ besten Grundwassers nach der Stadt abgeleitet werden. 1960 betrug die jährliche Entnahme 118 Millionen m³, was die wirtschaftliche Bedeutung dieses äußerst ergiebigen Grundwasservorkommens genügend unterstreichen dürfte. Durch einen planmäßigen Landkauf und eine gezielte Wiederaufforstung ist es im Laufe der letzten 90 Jahre gelungen, diese Schutzzone systematisch der Trinkwassernutzung dienstbar zu machen.

Aus diesen Ausführungen dürfte mit aller Deutlichkeit hervorgehen, wie vielseitig, aber auch wie komplex, die Auswirkungen des Waldes auf den Wasserhaushalt sind. Nicht nur für den Gebirgswald ist die ausgleichende Wirkung auf das Wasserregime außerordentlich segensreich. Auch im Mittelland ist man auf sie angewiesen. Dies immer mehr, je stärker der Wasserbedarf ansteigen wird. Besonders in der Nähe der Ballungsgebiete mit ihrem immensen Wasserverbrauch und der fortschreitenden Überbauung mit Hartbelägen und all ihren nachteiligen Folgen für den Wasserhaushalt ist es wichtig, daß der Wald mithilft, jeden Tropfen länger zurückzuhalten, um die heute schon auftretende Wasserklemme zu überbrücken und den Ausgleich zwischen der Hochwasser- und der Niederwasserführung zu bewerkstelligen.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Flüsse, welche im Mittelland entspringen, ein viel ungünstigeres Abflußregime aufweisen als die Gebirgsflüsse, bei welchen die größte Wasserführung bei der sommerlichen Schneeschmelze auftritt. Im Gegensatz zu den Flüssen mit alpinem Regime, wo Wasserführung und Höchstwert des Trinkwasserbedarfes parallel verlaufen, tritt bei den Flüssen des Mittellandes eine ausgesprochene Divergenz zwischen Trinkwasserbedarf und Wasserführung auf. Aus diesem Grunde ist das Mittelland auf die Erhaltung und umsichtige Pflege des Waldes ganz besonders angewiesen.

Es ist somit absolut keine Übertreibung, wenn mit Härtel, dem ehemaligen Chef der österreichischen Wildbachverbauung, gesagt wird: «Ohne Wald kein Wasser, ohne Wasser kein Leben.»

Résumé

Forêt et eau

Les influences de la forêt sur le régime des eaux sont nombreuses et complexes. Il y a d'abord l'évaporation due à la forêt qui joue un certain rôle et au sujet de laquelle il faut distinguer trois effets distincts. La retenue d'une partie des précipitations dans les houppiers des arbres, appelée *interception*, diminue la proportion de l'eau qui s'infiltré dans le sol; cette retenue varie avec les différents types de peuplement. En revanche, l'évaporation de l'eau du sol, sans l'aide de la végétation, est bien plus faible en forêt qu'en terrain découvert. L'évaporation par les plantes, la *transpiration*, est un phénomène productif qui est nécessaire à la fabrication des substances organiques. Prise dans son ensemble, cette évaporation due à la forêt a pour effet une légère diminution de la moyenne annuelle de l'écoulement de l'eau par rapport aux terrains découverts. Ce phénomène est cependant sans importance en Europe centrale.

Bien plus importante est l'action régulatrice de la forêt sur le régime des eaux. Grâce aux caractéristiques physiques favorables des sols forestiers, les précipitations y pénètrent plus facilement que dans les sols des terrains déboisés. Par ce fait, la proportion des eaux s'écoulant en surface est diminuée en faveur de celles s'infiltrant dans le sol et qui ne réapparaîtront que lentement. Ce phénomène empêche, dans une large mesure, la formation de hautes eaux dévastatrices et a une influence favo-

nable sur l'étiage des cours d'eau dans les régions boisées. Cette action régulatrice améliore aussi le réapprovisionnement de la nappe phréatique, ce qui est tout à l'avantage des réseaux d'eau potable qui prennent de nos jours de plus en plus d'importance. De plus, grâce au boisement les environs des captages d'eau potable peuvent être protégés contre les dangers provoqués par l'établissement de bâtiments ou par la culture de ces terrains. A l'aide d'essences forestières appropriées, il est possible de produire un humus forestier qui possède un excellent pouvoir de filtration.

L'importance de la forêt augmentera d'autant plus que, dans nos régions très peuplées, le problème de l'eau deviendra plus pressant.

Traduction Farron

Literaturverzeichnis

1. *Delfs J.*: Die Niederschlagszurückhaltung im Walde. Mitteilung des Arbeitskreises «Wald und Wasser» Nr. 2, Koblenz 1955.
2. *Hamilton E.L.* und *Rowe P.B.*: Rainfall Interception by Chaparral in California, California Forest and Range Experiment Station, U. S. Forest Service 1949.
3. *Bühler*: Die Niederschläge im Walde. Mitteilung der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, Zürich 1892.
4. *Mosorow*: Zitiert bei *Hornsmann E.*, Allen hilft der Wald, München 1958.
5. *Eidmann F.E.*: Untersuchungen über die Interzeption und den Abfluß an der Bodenoberfläche in Buchen- und Fichtenbeständen. Forschung und Beratung, Düsseldorf 1954.
6. *Delfs J.*, *Friedrich W.*, *Kiesekamp H.* und *Wagenhoff A.*: Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag, herausgegeben vom Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover 1958.
7. *Brown P.B.* und *Colman E.A.*: Disposition of Rainfall in two Mountain Areas of California.
8. *Engler A.*: Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, XII. Band, Zürich 1919.
9. *Burger H.*: Waldklimafragen III. Mitteilung, in Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, Zürich 1933.
10. *Friedrich W.*: Über die Verdunstung vom Erdboden, zusammenfassender Bericht über die Eberswalder Lysimetermessungen, GWF Heft 24, 1950.
11. *Burger H.*: Holz, Blattmenge und Zuwachs, V. Mitteilung: Fichten, und Föhren in X. Mitteilung: Die Buche, in Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, Zürich 1941 und 1950.
12. *Raber O.*: Water utilization by trees, with special reference to the economic forest species of the north temperate zone U. S. Dep. of Agriculture, Miscellaneous Publication Nr. 257, Washington, D. C. June 1937.

13. *Polster H.*: Die physiologischen Grundlagen der Stoffherzeugung im Walde, München 1950.
14. *Kirwald E.*: Forstlicher Wasserhaushalt und Forstschutz gegen Wasserschäden, Stuttgart-Ludwigsburg 1950.
15. *Burger H.*: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden, Diss. ETH Zürich 1923.
16. — Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer II. Mitteilung, in Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, XVIII. Band, Zürich 1934.
17. — Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer III. Mitteilung, in Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, XIII. Band, Zürich 1943.
18. *Johnson E. A. and Kovner J. L.*: Effect on Streamflow of Cutting a Forest Understory, Forest science, Volume 2, Nr. 2, June 1956.
19. *Dils R.*: Influence of Forest Cutting and Mountain Farming on some Vegetation, Surface Soil and Surface Runoff Characteristics, U. S. Dep. of Agriculture, Forest Service, Southeastern, Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, Station Paper Nr. 24, June 1953.
20. *Kirwald E.*: Über Wald und Wasserhaushalt im Ruhrgebiet, Eigenverlag des Ruhrtalsperrenvereins, Essen 1955.
21. *Brown C. B.*: Rates of silting in representative reservoirs, throughout the United States. Americ. Geophys. Union, Annual Meeting 1937.
22. *Burger H.*: Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt, in Mitteilungen Nr. 1 des Arbeitskreises «Wald und Wasser», Koblenz 1954.
23. *Friedrich W.*: Wald und Wasser, in Mitteilungen Nr. 1 des Arbeitskreises «Wald und Wasser», Koblenz 1954.
24. *Jilg O.*: Die Gefährdung unserer Quell- und Grundwasservorkommen, Wasser und Abwasser, Wien 1959.
25. — Gas — Wasser — Wärme, 1961, Heft 1.
26. *Ijjasz E. L.*: Grundwasser und Baumvegetation unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Ungarischen Tiefebene, Dissertation der Universität München, Sopron 1938.
27. *Kirwald E.*: Wald und Wasserversorgung, GWF, Heft 20, 1952.
28. — Wald und Wasserhaushalt, GWF, Heft 16, 1954.
29. *Gordienko M.*: Über den Einfluß des Waldes auf den Grundwasserstand und auf die Wasserverhältnisse im Boden, Forstwirtschaft-Holzwirtschaft, Heft 6, 1951.
30. *Minder L.*: Eisen-Mangan-Grundwasser, Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie, Vol. XXII, Basel 1960.
31. *Dietrich V.*: Waldbestockung und Waldpflege zum Schutz der Wasserversorgung, GWF Heft 14, 1952.
32. *Eigenbrodt A.*: Wasser für München, GWF Heft 42, 1960.