

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 119 (1968)

Heft: 4-5

Artikel: Der heutige Stand der Forschung über den Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt

Autor: Keller, H.M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765568>

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: 07.07.2025

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

Der heutige Stand der Forschung über den Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt

Von *Hs. M. Keller*

Oxf. 116

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf

1. Einleitung

Ob ein Einzugsgebiet bewaldet ist, mit Weideland überdeckt, mit Asphalt und Häusern bebaut oder felsig ist, spielt für den Wasserabfluß erst dann eine Rolle, wenn Niederschlag fällt, wenn das Gebiet mit in den Wasserkreislauf einbezogen wird. Im humiden Klima (fast in der ganzen Schweiz) können Bäche schon aus Einzugsgebieten von 50 ha Größe perennierend Wasser führen. Mit zunehmender Größe nimmt die Abflußmenge zu, der Bach wird zum Fluß, und es wird ganz offenbar, daß das Gebiet Wasser produziert hat. In dieser Urproduktion von Wasser hat von alters her der Wald eine bedeutende Rolle gespielt. Der junge Wissenszweig der Forsthydrologie hat es übernommen, die Zusammenhänge zwischen Wald und Wasser auf gesunde wissenschaftliche Grundlagen zu bringen. Gerade die letzten zehn Jahre großer Entwicklung haben namhafte Werke hinterlassen. Kittredge (1948) ging voran, dann wurde unter anderem in Deutschland der Arbeitskreis Wald und Wasser geschaffen (Friedrich, 1954), Kurth (1959) ehrte Burgers Verdienste, und seither sind folgende Werke einschlägig geworden: FAO (1962), Penman (1963), Molchanov (1963), Ven te Chow (1964), International Atomic Energy Agency (1967) und, wohl das beste, von Sopper and Lull (1967). Auch das 1965 von der UNESCO gestartete internationale hydrologische Dezennium hat auf die forsthydrologische Forschung einen stimulierenden Einfluß.

Es ist leicht einzusehen, daß der Wasserertrag eines Baches oder Flusses in erster Linie vom vorherrschenden Klima und namentlich von den Niederschlägen, deren Größe und zeitlichen Verteilung abhängig ist. Als zweite Faktorengruppe spielen die geologische Unterlage, die Bodenverhältnisse und topographischen Merkmale eine bedeutsame Rolle. Eine dritte Faktorengruppe umfaßt die Vegetationsdecke, die Bewirtschaftungs- und die Nutzungsart des Bodens. Ebenso beeinflussen sich viele dieser Faktoren gegenseitig. Daß also mit dem Wald und dessen Bewirtschaftung nur in beschränktem Maße ein Einfluß auf den Wasserabfluß ausgeübt werden kann, ist einzusehen.

Der Einfluß des Waldes kann von verschiedenem Interesse sein. In trockenen und niederschlagsarmen Gebieten geht es vor allem um die Vermehrung der Abflußmenge. Andernorts besteht das Ziel der hydrologischen Bewirtschaftung darin, den Zeitpunkt des Wasseranfalles zu regulieren oder bei starken Regenfällen die Hochwasserspitzen zu brechen und Erosion zu mindern. In letzter Zeit hat auch das Problem der Produktion von qualitativ gutem Wasser an Bedeutung gewonnen.

Je nach Art der Niederschläge und Jahreszeit, in der sie fallen, üben sie einen direkten oder indirekten Einfluß aus auf den Abfluß. Als Regen ist der Einfluß direkt, im Winter eher als im Sommer, wenn durch Verdunstung und Transpiration der Pflanzendecke wieder Wasser verlorengeht. Als Schnee beeinflussen die Niederschläge den Wasserhaushalt nur indirekt, indem sie erst als Schmelzwasser in den Kreislauf eingehen. In den Voralpen und Alpen unterhalb 1800 m speichern sich oft über 300 bis 400 mm Niederschlag in Form von Schnee, der dann im Frühling je nach Witterung rasch oder langsam schmilzt. Dieser Schmelzprozeß wird oft durch heftige Frühjahrsregen noch verstärkt. Deshalb finden wir trotz ausgeglichener Niederschläge ein ausgeprägtes Maximum der Abflußmenge im Frühling oder Frühsommer je nach Höhenlage, ein Minimum meist im Spätherbst oder Winter (Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft, 1967. S. 49 ff).

In diese komplexe Wirkung der Niederschläge auf den Wasserabfluß schaltet sich nun noch der Wald in seiner vielfältigen Gesamtheit ein. Die wichtigsten Wirkungen sind Niederschlagszurückhaltung (Interzeptionsverlust), Transpiration, Beschattung der Bodenoberfläche und im allgemeinen relativ günstige Infiltrationsbedingungen. Nicht alle diese Einflüsse wirken sich positiv, nicht alle negativ aus; in jedem Fall ist es die Summe aller Faktoren, die entscheidet.

2. Wasserertrag

Einzig russische Autoren (Buchkov, 1959; Molchanov, 1963) interpretieren ihre Untersuchungen so, daß sie dem Wald eine Vermehrung des Wasserertrages aus mittelgroßen Einzugsgebieten (über tausend Quadratkilometer) im europäischen Rußland (400 bis 600 mm Niederschlag) zuschreiben. Da die Untersuchungen lückenhaft beschrieben und rein vergleichend sind, müssen jene Ergebnisse vorsichtig aufgenommen werden. In einer ebenfalls vergleichenden Untersuchung in den nordöstlichen USA fanden Lull and Sopper (1966), daß mit zunehmendem Waldflächenanteil scheinbar mehr Wasser produziert wird. Jene größeren Wassererträge stammten aber von höher gelegenen, bewaldeten Gebieten mit mehr Niederschlag, so daß der Wald nicht der Grund des größeren Wasserertrages sein konnte.

Umgekehrt wird in vielen Arbeiten aus der ganzen Welt ein kleinerer jährlicher Wasserertrag aus Waldgebieten im Vergleich mit jeder anderen

Vegetationsdecke bestätigt. Aus der Tschechoslowakei berichten Valek (1959) und Zeleny (1965). Valek untersuchte zwei etwa 400 ha große Einzugsgebiete, das eine zu 95 Prozent, das andere zu 5 Prozent bewaldet. Der jährliche Wasserertrag aus dem Waldgebiet (Fichte-Buche-Tanne-Plantierung) war um 10 mm oder etwa zwei Prozent geringer. In Deutschland sind es die Arbeiten von Kirwald (1955) und Kern (1959). Im Ruhrgebiet findet Kirwald aus dem Waldgebiet Krähe, 285 ha, 27 Prozent oder 145 mm weniger spezifischen jährlichen Abfluß als aus dem 533 ha großen, zu einem Drittel bewaldeten Königswasser. Kern berichtet wohl eingehend über die Hydrologie eines zu zwei Drittel bewaldeten, 627 km² großen Gebietes im Bayerischen Wald, aber ohne Vergleich kann hier die Rolle des Waldes nicht herausgelesen werden. In Japan hat Takeda (1951) zwei Einzugsgebiete von 1900 und 118 ha Größe und unterschiedlicher Bewaldung von 69 und 100 Prozent verglichen. Der Abflußkoeffizient des teilweise bewaldeten Gebietes (1900 ha) war 0,85, der des ganz bewaldeten (118 ha) 0,70. Dies bedeutet, daß unter jenen Klimaverhältnissen mit etwa 3000 mm Niederschlag aus dem Wald nur 70 Prozent zum Abfluß kamen, im teilweise bewaldeten Gebiet dagegen 85 Prozent. Diese vergleichenden Arbeiten bestätigen in ihrer Tendenz die Ergebnisse der schweizerischen Untersuchungen von Burger (1954), der im bewaldeten Sperbelgraben als fünfundzwanzigjähriges Mittel 12 Prozent oder 234 mm weniger jährlichen spezifischen Abfluß beobachtete als im zu einem Drittel bewaldeten Rappengraben.

Die im folgenden erwähnten Untersuchungen sind bedeutend aufschlußreicher, da die Abflußverhältnisse an ein und demselben Einzugsgebiet unter verschiedenen Arten der Waldbedeckung untersucht wurden. Bereits 1928 berichteten Bates and Henry über Kahlschläge zu forsthydrologischen Versuchszwecken in Colorado, und heute zeigen eine Vielzahl von amerikanischen Versuchen, wieviel mehr Wasser der Wald verbraucht (Storey, 1962). Kovner (1956) schreibt der Evapotranspiration von Wald im temperierten Klima Nordkarolinas im Mittel von 13 Jahren 214 mm zu. In derselben Versuchsanlage von Coweeta wurde durch Entfernen der gesamten Strauchschicht, aber Stehenlassen der Baumschicht, ein Wassergewinn von jährlich 15 mm erzielt (Johnson and Kovner, 1956). Ebenfalls in Coweeta wurden südexponierte Einzugsgebiete durchforstet unter verbleibender Basalfläche von 78, 70, 65 und 0 Prozent (Kahlschlag) der ursprünglichen Basalfläche von 23 m²/ha. Der Mehrertrag an Wasser ein Jahr später war entsprechend: 0, 25, 50 und 152 mm. Aber schon nach drei Jahren war der Effekt mit Ausnahme des Kahlschlages abgeklungen. Ähnliche Durchforstungen an Nordhang-Einzugsgebieten mit verbleibender Basalfläche von 78, 50 und 0 Prozent ergaben ein Jahr später Wassergewinne von 71, 198 und 380 mm (Hewlett and Hibbert, 1961). Damit ist gezeigt, daß mit zunehmendem Durchforstungsgrad auch der Gewinn an Wasser zunimmt. An Nordhängen ist eine merklich größere Vermehrung zu erwarten als an

Südhängen, wo durch vermehrte Einstrahlung ein größerer Verlust direkt in die Atmosphäre vermutet wird.

Den Schweizer Verhältnissen näher liegt der Versuchswald Fernow in West Virginia. In Eichen-Laub-Mischwäldern wurden folgende Durchforstungsgrade in ihrer Wirkung auf den Wasserertrag geprüft: Auslesedurchforstung mit Restvorräten von 80, 69, 41 und 20 Prozent (kommerzieller Kahlschlag) des ursprünglichen Vorrates von 150 bis 180 m³/ha (Reinhart und Trimble, 1962; Reinhart, Eschner and Trimble, 1963). Der Wasserertrag erhöhte sich in derselben Reihenfolge um 8, 35, 46 und 76 mm während der darauffolgenden Vegetationsperiode. Für das ganze darauffolgende Jahr betragen die Wasserertragsgewinne 8, 35, 63 und 130 mm. Also nur für schwerere Eingriffe ergibt sich ein Wassergewinn während der Vegetationsruhepause.

Im forsthydrologischen Forschungsgebiet von Hubbard Brook in New Hampshire (USA) mit etwa 1200 mm Niederschlag wurde 1965 nach neunjähriger Kalibrierung ein 16-ha-Gebiet kahlgeschlagen (Hart, 1966, US Forest Service, 1967). Sämtliche Vegetation wurde am Boden liegen gelassen und während der Sommermonate das Wiederausschlagen mit chemischen Mitteln bekämpft. 1966 wurde dann ein um 350 mm (29 Prozent) höherer Abfluß gemessen. Weitere Waldbehandlungen, Untersuchungen über Energiebilanz, Evapotranspiration, Herkunft des Grundwassers und andere sind geplant. An Hand der sich stets verbessernden Kenntnis über den Einfluß des Waldes auf den Wasserertrag im Nordosten der USA hofft man, bald beschränkte Verallgemeinerungen vornehmen zu können (Lull and Sopper, 1965; Lull and Reinhart, 1967). Vermehrte Forschung ist dringend, denn die Wassererträge jener Waldgebiete werden jetzt schon stark genutzt von den industriellen Ballungszentren des Ostens.

Auch in Japan wurden Kahlschläge durchgeführt mit dem Zweck, die Evapotranspiration von Waldbeständen erfassen zu können. In jenem feuchten Klima mit 2500 mm Niederschlag wurde eine Wasserertragsvermehrung von fünf Prozent oder 108 mm erzielt durch Kahlschlag eines 2,5 ha großen, östlich geneigten Gebietes (Maruyama und Inose, 1952). Fast der gesamte Abflußzuwachs wurde während des Sommerhalbjahres erzielt. In einer zusammenfassenden Arbeit kommt Nakano et al. (1963) zum Schluß, daß Kahlschlag mit Abtransport sämtlicher Vegetation den größten Effekt hat. Liegenlassen und Ausschlagenlassen haben weniger Wirkung. Die Möglichkeit der chemischen Behandlung zur Verhütung jeglicher Transpiration wurde allerdings nicht untersucht. Eine starke Durchforstung von 50 Prozent des Vorrates brachte in einem 118 ha großen Waldgebiet einen Mehrabfluß von 30 mm oder 13 Prozent (Nagami et al., 1964). Nakano and Kikuya (1964) zeigen, daß bei den von Jahr zu Jahr stark wechselnden Klimabedingungen in Japan die Wirkung von starken Durchforstungen und Kahlschlägen innerhalb weniger Jahre nicht eindeutig festgestellt werden

kann. Intensität und Menge der einzelnen Regenfälle sind selten vergleichbar in der Periode vor und nach dem Eingriff.

In Deutschland hat der Kahlschlag eines 75 ha großen Gebietes im Oberharz (Kiesekamp, 1951; Delfs et al., 1958) einen Mehrabfluß von durchschnittlich 58 mm ergeben, was einem vier Prozent höheren Abfluß oder einer zehn Prozent kleineren Gebietsverdunstung (Evapotranspiration) entspricht. Weitere gebietsweise Kahlschlaguntersuchungen in Europa zur Abklärung der Einflüsse des Waldes auf den Wasserhaushalt sind mir nicht bekannt.

Beobachtungen im umgekehrten Sinne, also vor und nach einer Aufforstung, sind in vielen Gebieten der Welt systematisch angeordnet worden. Trotz großer Aufforstungstätigkeit in der Schweiz, wurden in unserem Lande keine solchen Untersuchungen gemacht. In England besteht seit bald 50 Jahren ein großes Aufforstungsprogramm, wobei in neuerer Zeit der Wald auch Wasserschuttfunktionen zu übernehmen hat (Leyton, 1962). Als aber Law (1956) in Lysimetern demonstrierte, daß Wald mehr Wasser verbrauche als Nichtwald, war das Aufforstungsprogramm vorübergehend auf eine harte Probe gestellt, da in England keine großen Erosionsprobleme bestehen.

In Südafrika wird seit 1935 sehr intensiv forsthydrologisch geforscht (Nänni, 1956; Roebell, 1965). Es geht dort um den Wasserverbrauch von Neuaufforstungen, die den Wasserertrag kritisch zu beeinflussen scheinen. Es wurde gezeigt, daß Aufforstungen mit Föhren (*Pinus radiata*, *Pinus patula*) eine Abnahme des Wasserertrages bewirken. So stellten Banks and Kromhout (1963) fest, daß Sommerniederrwasser innert zehn Jahren nach Beginn der Aufforstung (zu 98 Prozent) um 53 Prozent zurückging. In einem zu 53 Prozent aufgeforsteten Gebiet betrug der entsprechende Rückgang nach 18 Jahren 26 Prozent.

Auch aus den USA liegen ein paar langjährige Untersuchungen vor. Im zentralen Teil des Staates New York mit etwa 1000 mm Niederschlag und kontinentalem Klimacharakter hat seit 1932 eine rege Aufforstungstätigkeit stattgefunden. Schneider and Ayer (1961) haben ein paar Einzugsgebiete genauer untersucht und beobachteten eine stete Änderung der Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß. In einem 800 ha großen Gebiet, wo die Waldfläche von 35 auf 58 Prozent vergrößert wurde, nahm der Wasserertrag im Jahresdurchschnitt 1934 bis 1957 jährlich um 9 mm ab. Satterlund and Eschner (1965) stellten in demselben Gebiet fest, daß in den Jahren vor der Aufforstung die Schmelzwasser früher abflossen als in den Jahren nach der Aufforstung. Ebenfalls im Staate New York wurde von Eschner (1965) und Eschner and Satterlund (1966) die Wirkung einer Aufforstung untersucht. Beobachtungen seit 1912 ergaben eine Verminderung des jährlichen Abflusses bis 1950 von insgesamt 196 mm. Bemerkenswert ist, daß dies zu zwei Drittel auf eine Reduktion des Winterabflusses (Oktober bis April), davon 75 mm (etwa ein Drittel) allein im April, zurückgeht. Da

hauptsächlich Nadelhölzer gepflanzt wurden, hat der Interzeptionsverlust von Schnee in den Nadelholzbeständen eine bedeutende Rolle gespielt, so daß weniger Schmelzwasser zum Abfluß kam. Auch hier flossen die Schmelzwasser später und weniger konzentriert ab nach der Einwirkung der Aufforstung. Die kürzeste Zeit, während welcher die Hälfte des jährlichen Wasserertrages abfließt, wuchs von 67 auf 86 Tage. Zwei weitere Beispiele liegen im Gebiet des Tennessee River, welche während der Krisenjahre zum Erosionsschutz aufgeforstet und der Beweidung entzogen wurden (Tennessee Valley Authority, 1955, 1961). In beiden Fällen ist der Wasserertrag nur wenig zurückgegangen, dagegen konnte festgestellt werden, daß sich allein die Ausschließung der Beweidung auf Erosion und Hochwasser günstig auswirkte.

Daß eine Borkenkäferepidemie höhere Abflußmengen hervorrufen kann, wird von Love (1955) berichtet. Im westlichen Colorado (USA) wurden während einer fünf Jahre dauernden Epidemie (1941 bis 1946), die 60 Flächenprozent des Waldes zum Absterben brachte, jährlich um durchschnittlich 30 mm (11 Prozent) größere Wassererträge gemessen. Unmittelbar nach der Epidemie waren es sogar 58 mm oder 22 Prozent der durchschnittlichen jährlichen Abflußmenge. Reduzierte Interzeptionsverluste von Regen und Schnee sowie geringere Transpiration werden als Hauptursachen angegeben.

3. Schneeeablagerung und Schneeschmelze

Die Wirkung eines Waldbestandes auf Schneeeablagerung und Schmelze vollzieht sich vor allem auf drei Arten. Durch Schneeinterzeption, indem das Kronendach einen Teil der Schneeniederschläge vom Boden zurückhält; durch Beschattung der abgelagerten Schneedecke am Boden, was ein langsames Schmelzen zur Folge hat; und durch Wärmestrahlung der Baumstämmen, was eine Reduktion der Schneedecke zur Folge hat.

Diese Wirkungen sind sehr verschieden je nach Bestandesdichte und Baumarten. Bereits 1935 hat Connaughton (1935) in einem *Pinus ponderosa*-Urwald in Idaho (USA) 25 bis 30 Prozent Schneeinterzeption festgestellt, und gegenüber dem Freiland war im Wald noch fünf bis acht Tage länger eine Schneedecke vorhanden. Im Wald selber schienen Verjüngungsflächen die ohnehin lange Schmelzdauer noch zu verlängern. Anderson (1956) fand in der Sierra Nevada Kaliforniens unter verschiedenen Schlagarten im Nadelwald, daß Schattenwirkung auf der Sonnenseite (Süden) und Schutzwirkung auf der Nordseite in Schlaglichtungen die Schneedecke einerseits wesentlich vergrößern und daß andererseits deren Abschmelzen lange hinausgezogen wird. Zu Zwecken des optimalen Wasserertrages von Schnee unter längstmöglicher Schmelzdauer empfahl er deshalb Streifenkahlschläge (Saumschlag) West—Ost, ungefähr eine halbe Baumhöhe breit. Diese Streifen sollten dann in südlicher Richtung vorgetrieben werden. Auch die Untersuchungen Goodells (1959) gehen dahin, daß wohl mit Auflichtung des

Kronendachs die Schneeablagerung und damit der Schmelzwasserertrag gesteigert werden, daß aber gleichzeitig die Schmelzgeschwindigkeit ansteigt und die Schmelzspitze früher erreicht ist. In denselben Versuchswäldern von Fraser (Colorado) haben Love and Goodell (1960) durch streifenweisen Kahlschlag von 50 Prozent der Fläche eines Gebietes den Jahresabfluß im Mittel der ersten vier nachfolgenden Jahre um 80 mm gesteigert. Dieser zusätzliche Abfluß wurde zur Hauptsache während der Schneeschmelze im Mai und Juni beobachtet. Hoover (1960) interpretiert diesen 26prozentigen Mehrabfluß nicht nur mit reduzierten Interzeptionsverlusten, sondern auch mit verringerter Transpiration im Frühjahr. Anderson (1960) berichtet von Untersuchungen in Kalifornien, wo Schmelzwasser aus Gründen der Wasserversorgung möglichst spät im Sommer noch anfallen soll. Kahlschlag von etwa 8 ha großen Flächen hat wohl den Vorteil, daß mehr Schnee gespeichert wird als in 100 Prozent überschirmten Beständen. Andererseits gelangt dieses Schmelzwasser entsprechend früher zum Abfluß. Um beide Faktoren optimal zu gestalten, haben sich streifenweiser Kahlschlag oder Lförmige Schläge von einer Baumhöhenbreite am günstigsten gezeigt. Diese Art von Kleinkahlschlägen mit Räumung von 50 Prozent des Vorrates hat bedeutend mehr Wasser und kleinere Schmelzgeschwindigkeit ergeben als eine Durchforstung mit 50 Prozent Vorratsverminderung.

Im Nordosten der USA spielt vor allem die unterschiedliche Wirkung von Nadel- und Laubholzbeständen eine Rolle. Lull and Pierce (1960) berichten, daß im Laubmischwald die maximale Schneeablagerung etwa 25 Prozent größer ist als unter Nadelholzbeständen. Der Schnee schmilzt jedoch rascher, so daß die Schmelzperiode im Nadelwald etwa 20 Prozent länger dauert. Dasselbe bestätigen Lull and Rushmore (1960), welche Anfang April (etwa Mitte der Schmelzperiode) sowohl unter Laub- wie unter Nadelholz einen gleich hohen Schneewasserwert messen. Vor Anfang April gab es unter Laubholz mehr, nachher unter Nadelholz mehr Schneewasser. Entsprechend sind die Folgen verschieden schwerer Durchforstungen. Bei schweren Eingriffen wird mehr Schnee abgelagert, gelangt aber schneller zum Abfluß; bei schwachen Eingriffen wird nur wenig mehr Schnee abgelagert, der aber später schmilzt. Nachteilige Wirkungen des Waldes während der Schneeschmelze erwähnen Eschner and Satterlund (1963) in Central New York. Wenn die Schneedecke in Waldgebieten lange in den Frühling erhalten bleibt, ist es möglich, daß noch Schnee schmilzt, wenn bereits warme Frühlingsregen einsetzen. Dies hat größere Abflußspitzen zur Folge. Um die Schmelzwasser in jenen Gebieten bestmöglich unter Kontrolle zu haben, wird deshalb eine gute Verteilung von Wald und offenen Flächen empfohlen.

4. Interzeption

Über die Niederschlagszurückhaltung im Walde berichteten bereits Hoppe (1896, 1902) und Ebermayer (1900). Ebermayer stellte bei Buche

20 Prozent und bei Fichte 30 bis 40 Prozent Wasserverlust im Kronendach fest. In neuerer Zeit sind die Interzeptionserscheinungen eingehender und genauer untersucht worden. Helvey and Patric (1965a) unterscheiden und definieren Gesamtniederschlag (gross rainfall), durch die Krone getropfter Niederschlag (throughfall), Stammabfluß (stemflow), Interzeptionsverlust im Kronendach (canopy interception loss), Interzeptionsverlust der Streu (litter interception loss) und gesamter Interzeptionsverlust (total interception loss). Bei der Interzeptionsforschung geht es also darum, die oben erwähnten Teilfaktoren unter verschiedensten Bedingungen zu bestimmen. Im folgenden seien ein paar neuere Arbeiten erwähnt. In den USA sind es Untersuchungen unter anderen von Helvey (1964), Helvey and Patric (1965b), Miller (1966) und Helvey (1967); in England unter anderen von Law (1958), Reynolds and Leyton (1963) und Stalfelt (1963); in Deutschland von Delfs (1955), Kern (1961) und Eidmann (1959, 1962). Aus all diesen teilweise sehr eingehenden Untersuchungen geht hervor, daß winterkahle Laubholzbestände (Buche) im allgemeinen einen bedeutend kleineren gesamten Interzeptionsverlust aufweisen als Nadelholzbestände (Fichte). Im Sommer ist der durch die Kronen tropfende Niederschlag etwa gleich, der Stammabfluß bei Laubhölzern aber wesentlich größer. Im Winter ist im blattlosen Laubbestand sowohl der durch die Kronen tropfende Niederschlag wie der Stammabfluß größer als in Nadelholzbeständen. Eidmann (1962) gibt im Jahresmittel von fünf Jahren im Rothaargebirge für Buche gesamte Interzeptionsverluste von 7,6 Prozent des Gesamtniederschlages an, für Fichte 25,9 Prozent.

5. Niederwasser

In der ganzen Welt sind viele Wildbäche und Erosionsgebiete durch Aufforstungen und Waldwiederherstellung in ihrem Zustand verbessert worden. Diese mildernden Wirkungen des Waldes auf Hochwasser sind weitherum bekannt geworden und sollen hier nicht weiter erörtert werden. Wie das Niederwasser jedoch durch den Wald beeinflußt wird, ist gerade in neuerer Zeit wichtig und deshalb wiederholt untersucht worden. In Coweeta untersuchten Johnson and Meginnis (1960) das Niederwasserregime vor und nach verschiedenen Arten von Kahlschlag. Sie berichten, daß die Wasserführung in niederschlagsfreien Perioden (Rezession) und in einem bewaldeten Gebiet rascher abnimmt als in einem kahlgeschlagenen Gebiet. Ebenso wurden nach dem Kahlschlag höhere Niederwassermengen gemessen als vorher. Es ist hier noch beizufügen, daß trotz des Kahlschlags die guten Infiltrationsbedingungen des Waldbodens erhalten blieben, der Boden und der Unterboden also durch die Niederschläge auch nach dem Kahlschlag nachhaltig mit Wasser versorgt wurden. Dadurch, daß dem Boden durch Transpiration kein Wasser entzogen wurde, war bedeutend mehr Bodenwasser zur Speisung des Abflusses vorhanden. Daß nicht nur Grundwasser allein für

die Speisung der Bäche während Trockenperioden verantwortlich ist, demonstrierte Hewlett (1961) in einem Bodenmodell, wo er nachwies, daß aus einem ungesättigten Boden bedeutende Mengen Wasser zum Abfluß gelangen können. Japanische Untersuchungen von Maruyama and Neta (1954) zeigen nach einem Kahlschlag ebenfalls flachere Abflußrezessionen als vorher.

Auch während Aufforstungen sind Niederwasserbeobachtungen gemacht worden. Nänni (1959) fand in Südafrika nach vier Jahren noch kein unterschiedliches Verhalten des Niederwasserabflusses. Johnson and Meginnis (1960) untersuchten eine Aufforstung in Coshoghton (Ohio) in der Zeitperiode 1 bis 6 und 13 bis 17 Jahre nach Beginn und fanden, daß die Abflußrezession mit zunehmendem Alter der Aufforstung deutlich steiler wurde. Die herbstlichen Niederwasser waren entsprechend tiefer. Solange also die tiefen Boden- und Gesteinsschichten mit den Bodenhorizonten, an die die Vegetation Wasser abgibt, verbunden sind, kann die Vegetationsdecke einen Einfluß auf Niederwassermengen haben. Wissenschaftlich einwandfreie Untersuchungen sind mir nicht bekannt, wonach der Wald die Niederwasser vergrößern soll.

6. Ufernahe Vegetation

Der Einfluß des Waldes auf den Wasserabfluß ist nicht über dem ganzen Einzugsgebiet derselbe. In Gebieten, wo der Schutz des Waldes erwünscht ist, die Sommerwasserverluste aber nicht erwünscht sind, wurde versucht, durch Beseitigung der ufernahen Waldbestände die sommerlichen Abflussmengen zu erhöhen. Rowe (1963) berichtet von einer erfolgreichen solchen Behandlung in Südkalifornien, weist aber darauf hin, daß solche Aktionen vorsichtig und auch im Hinblick auf Erosion sorgfältig geplant werden müßten. Aber schon früher hatten Dunford and Fletscher (1947), Croft (1948) und Rycroft (1955) gezeigt, daß ufernahe Vegetation wegen ihrer erhöhten Transpiration in unmittelbarer Nähe des Grundwassers mehr Wasser verbraucht als uferferne Vegetation. Dies kommt auch in den südafrikanischen Aufforstungsversuchen zum Ausdruck (Banks, 1962), wo durch Aufforstung bis ans Bachufer mehr Wasser der Nutzung verloren ging als bei Freilassung eines Streifens beidseits des Baches. Einzig Rich et al. (1961) haben durch Entfernen ufernaher Vegetation in Arizona (2000 m ü. M., 800 mm Niederschlag) keine eindeutige Wasserertragssteigerung beobachten können. Da in jenen hochgelegenen Trockengebieten wenig Wasser zum Abfluß kommt (zehn Prozent der Niederschläge), sind aus meßtechnischen Gründen nur relativ große Veränderungen des Regimes festzustellen. Dazu hat offenbar die erwähnte Räumung der ufernahen Vegetation nicht ausgereicht.

Umgekehrt zeigen diese Arbeiten, daß ein guter Waldbestand stark transpirierender Baumarten nahe dem Bachufer einen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Entwässerung unserer Wildbachgräben leisten kann.

7. Wasserqualität

Nachdem in früheren Jahren unter dem Ausdruck Wasserqualität meist nur Schwebestoffgehalt, Trübung und Verfärbung des Bach- und Flußwassers verstanden wurde, geht es in neueren Wasserqualitätsuntersuchungen um die chemische Zusammensetzung und die biologische Qualität des Wassers. Auf die drastische Erhöhung des Schwebestoffgehaltes und der Trübung durch Wegebau, Holzerei, Entblößung und Kahlschlag soll hier nicht mehr eingegangen werden. Da es aber heute vor allem um die Reinhaltung der Gewässer und die Produktion von qualitativ gutem Wasser für die Wasserversorgung geht, steht die chemische und biologische Qualität des Wassers aus bewaldeten Einzugsgebieten im Vordergrund. So werden in den USA ganze Einzugsgebiete speziell für die Wasserproduktion bewirtschaftet (Lull, 1962). Erst in den letzten Jahren sind Qualitätsuntersuchungen in diesem Sinne begonnen worden. So berichten zum Beispiel Johnson et al. (1966) über chemische Verwitterung und Wasserqualität in Neuengland, Kunkle and Meiman (1967) über chemische und biologische Wasserqualität in den Rocky Mountains von Colorado, Sturges (1967) über die Qualität von Sumpfwasser in Wyoming und Juang and Johnson (1967) über den Chlorzyklus in einem Waldgebiet Neuenglands. Die sich ständig mehrenden Untersuchungen der Wasserqualität aus teilweise und ganz bewaldeten Einzugsgebieten beweisen, daß hier dringende Probleme abgeklärt werden müssen, um die Wasserproduktion der Zukunft richtig zu planen. Daneben spielt heute vermehrt auch die radioaktive Verschmutzung eine Rolle. Balek (1965) zeigt, daß bei Niederwasser die Radioaktivität am kleinsten, bei Hochwasser am größten ist. Die zukünftige Planung ist aber nicht nur auf einzelne Versuche angewiesen. Es braucht mehr. Überwachungssysteme der Wasserqualität, die zum Beispiel in den USA durch Vice and Swenson (1965), in Deutschland von Friedrich (1965) ausgearbeitet wurden, beweisen dies. Dieses Gebiet der forstlichen Hydrologie wird wohl in Zukunft in allen Teilen der Welt intensiver erforscht werden müssen.

8. Modelle und Prognosen

Heute müssen auch Wasserproduktion und Wasserversorgung geplant werden. Planung verlangt Prognosen, und Prognosen verlangen Kenntnis und Information. Die neuesten statistischen Methoden erlauben es, sehr viel Information zu verwerten. Dennoch ist schon ohne Statistik versucht worden, die Physik des Wasserabflusses modellhaft zu verstehen (Snyder, 1939).

Durch Auswertung vieler Daten haben Kohler und Hamon (1964) Formeln für die Abflußmenge aufgestellt, die als unabhängige Variable die Gesamtregenmenge und den Bodenfeuchtigkeitszustand gebrauchen. Meist liegt dann die Schwierigkeit der Anwendung darin, für die Konstanten vernünftige Werte einzusetzen. Ohigara (1966) hat sogar solche empirische Prognoseformeln dazu benützt, die Reaktion von Einzugsgebieten auf eine

Behandlung zu testen. Die neuen mathematischen Modelle, die dank dem Computer weit über die empirischen Formeln hinausgehen, erfassen jede Phase der hydrologischen Zyklen einzeln und erlauben eine weit bessere Einbeziehung aller Information. Snyder (1963, 1964) hat für Verhältnisse im Süden der USA sehr wertvolle Modelle erarbeitet. In Kalifornien wurde ebenfalls ein hydrologisch-mathematisches Modell entwickelt, welches die Abflußmenge voraussagen, Änderungen im Regime feststellen und das Verständnis der physikalischen Vorgänge verbessern soll (Crawford and Linsley, 1964). Diese Modelle sind für gemischt bewirtschaftete Einzugsgebiete mittlerer Größe wertvoll. Für kleine und forstliche Einzugsgebiete fehlen solche Arbeiten noch, die zukünftige Forschung hat hier also eine große Aufgabe vor sich.

9. Schlußbemerkungen

Im Schlepptau der allgemeinen hydrologischen Forschung hat die forstliche Hydrologie gerade in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erlebt. Es geht um das Wasser, es geht um den Wald, zwei Probleme, die von immer größerer Bedeutung sein werden. Durch das internationale hydrologische Dezennium wird die Forschung animiert, die Ausbildung von Fachleuten gefördert, und die Nationen werden zur intensiven Beobachtung hydrologischer Daten aufgefordert.

Ein Blick auf die heute vorhandenen Forschungsergebnisse zeigt, daß wohl in einigen Problemkreisen gerade in den letzten Jahren viel nützliche Arbeit geleistet worden ist (Barner, 1965; Wicht, 1966), daß aber bis zur gewissenhaften Abklärung vieler Fragen und bis zur praktischen Anwendung noch ein großer Schritt zu tun ist.

Résumé

L'état actuel de la recherche dans le domaine de l'influence de la forêt sur le régime hydrique

La recherche en hydrologie forestière a pris un nouvel essor au cours de la dernière décennie. Le fait qu'en général la forêt réduise les maximums des hautes eaux et diminue l'érosion n'est pas l'objet dans cet exposé de considérations supplémentaires. En revanche, d'autres effets de la forêt, actuellement tout aussi importants, y sont examinés plus à fond.

De nouvelles recherches sur la production d'eau de régions forestières montrent que, de toutes les couvertures végétales, la forêt est en général celle qui consomme le plus d'eau. Ce fait est confirmé par un grand nombre d'essais sous forme de coupes rases (augmentations de la production d'eau) et de reboisements (diminutions de la production d'eau). En ce qui concerne la couverture de neige et la fonte des neiges, les forêts résineuses et les forêts feuillues agissent de manière assez différente, en ce sens que la forêt résineuse laisse tomber sur le sol à travers ses houppiers

des quantités plus faibles de neige, mais par une couverture plus ombrageante prolonge plus longtemps la fonte que la forêt feuillue dénudée en hiver. Ces différences sont principalement dues aux propriétés d'interception différentes des peuplements résineux et des peuplements feuillus. Etant donné que la forêt est un gros consommateur d'eau, les étiages sont en général dans les régions forestières, et dans des conditions comparables, plus faibles que dans les régions déboisées. Après une pluie, le débit des eaux diminue en forêt plus rapidement qu'en terrain découvert.

De tous les peuplements forestiers, ce sont ceux qui se trouvent sur les berges des cours d'eau qui exercent la plus grande influence sur leur débit. L'élimination par coupes rases de ces peuplements peut conduire à une augmentation très marquée de la production d'eau. Ce n'est que récemment que la qualité de l'eau (chimique, biologique) de ruisseaux et de rivières d'origine forestière a fait l'objet de recherches en raison des besoins croissants en eau des grandes villes. Dans ce domaine, comme dans celui des modèles de débit et des pronostics, il y a beaucoup de problèmes importants que la recherche en hydrologie forestière devrait résoudre dans un proche avenir.

Traduction : Farron

Literaturverzeichnis

A

- Anderson, H. W.*, 1956: Forest Cover Effects on Snowpack Accumulation and Melt, Central Sierra Snow Laboratory. Transactions American Geophysical Union 37 (3): 307–312. — *Anderson, H. W.*, 1960: Prospects for Affecting the Quantity and Timing of Water Yield through Snowpack Management in California. Proceedings Western Snow Conference 1960: 44–50.

B

- Balek, J.*, 1965: The Importance of Beta-Radioactivity Measurements in Representative and Research Basins. Intern. Assoc. of Scientific Hydrology, Publ. No. 66: 347–350 (Budapest Symposium). — *Banks, C. H.*, 1962: The Hydrological Effects of Riparian and Adjoining Vegetation. Proceedings of the Fifth World Forestry Congress, Vol. 3: 1672–1678. — *Banks, C. H.*, and *Kromhout, C.*, 1963: The Effect of Afforestation with *Pinus Radiata* on Summer Baseflow and Total Annual Discharge from Jonkershoek Catchments. Forestry in South Africa 3: 43–65. — *Barner, J.*, 1965: Experimentelle Methoden und Ergebnisse zur Klärung der Wechselwirkungen zwischen Wald und Wasserhaushalt. Schriftenreihe der forstlichen Abteilung der Universität Freiburg i. Br., Band 4: 85–109. — *Bates, C. G.*, and *Henry, A. J.*, 1928: Forest and Streamflow Experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. US Weather Bureau, Monthly Weather Review Supplement No. 30, 79 p. — *Bochkov, A. P.*, 1959: The Forest and the River Runoff. International Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 48: 174–181 (Symposium Hannoversch Münden). — *Burger, H.*, 1954: Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1942/43 bis 1951/52. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 31 (1): 9–58.

C

- Connaughton, C. A.*, 1935: The Accumulation and Rate of Melting of Snow as Influenced by Vegetation. Journal of Forestry 33 (6): 564–569. — *Crawford, N. H.*, and *Linsley, R. K.*, 1964: A Conceptual Model of the Hydrologic Cycle. IASH Publ. No. 63: 573–587 (Symposium Berkeley). — *Croft, A. R.*, 1948: Water Loss by Stream Surface Evaporation and Transpiration by Riparian Vegetation. Transactions American Geophysical Union. 29 (2): 235–239.

D

Delfs, J., 1955: Die Niederschlagszurückhaltung im Walde. Mitt. des Arbeitskreises Wald und Wasser. Nr. 2, 54 S. — *Delfs, J., Friedrich, W., Kieseckamp, H., und Wagenhoff, A.*, 1958: Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Aus dem Walde, Mitt. der niedersächsischen Landesforstverwaltung, Heft 3, 223 S. und Tabellenband. — *Dunford, E. A., and Fletscher, P. W.*, 1947: Effect of Removal of Stream-Bank Vegetation upon Water Yield. Transactions American Geophysical Union 28 (1): 105—110.

E

Ebermayer, E., 1900: Einfluß der Wälder auf die Bodenfeuchtigkeit, auf das Sickerwasser, auf das Grundwasser und auf die Ergiebigkeit der Quellen. Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart, 51 S. — *Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft*, 1967: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1966. Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, 258 Seiten. — *Eidmann, F. E.*, 1959: Die Interzeption in Buchen- und Fichtenbeständen; Ergebnis mehrjähriger Untersuchungen im Rothaargebirge (Sauerland). Int. Ass. Scientific Hydrology, Publ. No. 48: 5—25 (Symposium Hannoversch Münden). — *Eidmann, F. E.*, 1962: Über den Wasserhaushalt von Buchen- und Fichtenbeständen. IUFRO-Kongreß, Wien, 1961, 2. Teil, Band 1: 11—4 (21 S.). — *Eschner, A. R., and Satterlund, D. R.*, 1963: Snow Deposition and Melt under Different Vegetative Covers in Central New York. US Forest Service Research Note NE-13, 6 p. — *Eschner, A. R.*, 1965: Forest Protection and Streamflow from an Adirondack Watershed. Diss. State University College of Forestry at Syracuse University, 210 p. — *Eschner, A. R., and Satterlund, D. R.*, 1966: Forest Protection and Streamflow from an Adirondack Watershed. Water Resources Research, 2 (4): 765—783.

F

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1962: Forest Influences, FAO Forestry and Forest Products Studies No. 15, 307 p., Rome. — *Friedrich, W.*, 1954: Wald und Wasser. Mitteilungen des Arbeitskreises «Wald und Wasser» Nr. 1: 1—7. — *Friedrich, W.*, 1965: Main Principles of Designing Water Temperature and Water Chemistry Networks. Int. Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 67: 319—324.

G

Goodell, B. C., 1959: Management of Forest Stands in Western United States to Influence the Flow of Snow-fed Streams. International Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 48: 49—58 (Symposium Hannoversch Münden).

H

Hamon, W. R., 1964: Computation of Direct Runoff Amounts from Storm Rainfall. Int. Assoc. Scientific Hydrology. Publication No. 63: 52—62 (Symposium Berkeley). — *Hart, G.*, 1966: Forest Cutting to Increase Streamflow in the White Mountains. New Hampshire Forest Notes No. 89, 4 p. — *Helvey, J. D.*, 1964: Rainfall Interception by Hardwood Forest Litter in the Southern Appalachians. US Forest Service Research Paper SE-8, 9 p. Southeastern Forest Exp. Sta. Asheville NC. — *Helvey, J. D., and Patric, J. H.*, 1965a: Design Criteria for Interception Studies. International Association of Scientific Hydrology, Publication No. 67: 131—137 (Symposium Quebec). — *Helvey, J. D., and Patric, J. H.*, 1965b: Canopy and Litter Interception of Rainfall by Hardwoods of Eastern United States. Water Resources Research 1 (2): 193—206. — *Helvey, J. D.*, 1967: Interception by Eastern White Pine. Water Resources Research 3 (3): 723—729. — *Hewlett, J. D.*, 1961: Soil Moisture as a Source of Base Flow from Steep Mountain Watersheds. Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, Station Paper No. 132, 11 p. — *Hewlett, J. D., and Hibbert, A. R.*, 1961: Increases in Water Yield after Several Types of Forest Cutting. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology 6 (3): 5—17. — *Hoover, M. D.*, 1960: Prospects for Affect-

ing the Quantity and Timing of Water Yield through Snowpack Management in Southern Rocky Mountain Area. Proceedings Western Snow Conference 1960: 51–53. — *Hoppe, E.*, 1896: Regenmessungen unter Baumkronen. Mitt. aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs. Heft 21, 75 S. — *Hoppe, E.*, 1902: Regenergiebigkeit unter Fi-Jungwuchs. Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 28: 97–114.

I

International Atomic Energy Agency, 1967: Isotopes in Hydrology, Proceedings of a Symposium Vienna, 14–18 November 1966, Vienna, 738 p.

J

Johnson, E. A., and *Kovner, J. L.*, 1956: Effect on Streamflow of Cutting a Forest Understory. *Forest Science* 2 (2): 82–91. — *Johnson, E. A.*, and *Meginnis, H. G.*, 1960: Effect of Altering Forest Vegetation on Low Flows of Small Streams. *International Association of Scientific Hydrology*, Publ. No. 51: 257–266. — *Johnson, N.*, et al., 1966: Bulk Chemical Changes and Rate of Chemical Weathering in Central New Hampshire, *Trans. Am. Geophys. Union*: 47: 83–84. — *Juang, F. H. T.*, and *Johnson, N. M.*, 1967: Cycling of Chlorine through a Forested Watershed in New England. *Journal of Geophysical Research*, 72 (22): 5641–5647.

K

Kern, H., 1959: Abflußvorgang und Wasserhaushalt eines typischen Waldflusses, dargestellt am Beispiel des Schwarzen Regen. *Mitteilungen des Arbeitskreises Wald und Wasser*. Nr. 3: 55–62 (Koblenz). — *Kern, K. G.*, 1961: Die Ergebnisse vergleichender Niederschlagsmessungen in Fichten-Reinbeständen und Tannen-Fichten-(Buchen-)Plenterwald-Versuchsflächen. *Universität Freiburg i. Br. Schriftenreihe der forstlichen Abteilung I*: 255–265. — *Kiesekamp, H. E.*, 1951: Der Einfluß des Waldes und der Großkahlschläge auf den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag im Oberharz. Dissertation, Göttingen, 92 S. — *Kirwald, E.*, 1955: Über Wald und Wasserhaushalt im Ruhrgebiet. *Mitteilungen über Forschungsarbeiten des Ruhrtalsperren-Vereins Essen*. 104 Seiten. — *Kittredge, J.*, 1948: *Forest Influences*, McGraw Hill Book Comp. New York, Toronto, London, 394 p. — *Kohler, M. A.*, 1964: *Rainfall Runoff Models*. IASH Publ. No. 63: 479–491 (Symposium Berkeley). — *Kovner, J. L.*, 1956: Evapotranspiration and Water Yields Following Forest Cutting and Natural Regrowth. *Proceedings, Society of American Foresters* 1956: 106–110. — *Kunkle, S. H.*, and *Meiman, J. R.*, 1967: *Water Quality of Mountain Watersheds*. Colorado State University, Hydrology Papers No. 21, 53 p. — *Kurth, A.*, 1959: (Herausgeber) *Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. H. Burger*, *Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen*, 35 (1), 265 S.

L

Law, F., 1956: The Effect of Afforestation upon the Yield of Water Catchment Areas. *Journal of the British Waterworks Association*, Nov. 1956: 489–494. — *Law, F.*, 1958: Measurement of Rainfall, Interception and Evaporation Losses in a Plantation of Sitka Spruce Trees. *Intern. Association of Scientific Hydrology*, Publication No. 44: 397–411. — *Leyton, L.*, 1962: Forestry and Water Problems in Great Britain. *Proceedings of the Fifth World Forestry Congress in Seattle 1960*, Vol. 3: 1691–1695. — *Love, L. D.*, 1955: The Effect on Stream Flow of the Killing of Spruce and Pine by the Engelmann Spruce Beetle. *Transaction American Geophysical Union*, 36 (1): 113–118. — *Love, L. D.*, and *Goodell, B. C.*, 1960: Watershed Research on the Fraser Experimental Forest. *Journal of Forestry*, 58 (4): 272–275. — *Lull, H. W.*, and *Pierce, R. S.*, 1960: Prospects in the Northeast for Affecting the Quantity and Timing of Water Yield through Snowpack Management. *Proceedings Western Snow Conference 1960*: 54–62. — *Lull, H. W.*, and *Rushmore, F. M.*, 1960: Snow Accumulation and Melt under Certain Forest Conditions in the Adirondacks. *US Forest*

Service, Northeastern Forest Experiment Station, Station Paper No. 138, 16 p. — *Lull, H. W.*, 1962: Management for Water Production on Municipal Watersheds. Proceedings of the Fifth World Forestry Congress in Seattle 1960, Vol. 3: 1686—1690. — *Lull, H. W.*, and *Sopper, W. E.*, 1965: How Harvesting Forest Products Affects Water Yields in Appalachia. Proceedings Society of American Foresters 1965: 108—112. — *Lull, H. W.*, and *Sopper, W. E.*, 1966: Factors that Influence Streamflow in the Northeast. Water Resources Research 2 (3): 371—379. — *Lull, H. W.*, and *Reinhart, K. G.*, 1967: Increasing Water Yield in the Northeast by Management of Forested Watersheds. US Forest Service Research Paper NE-66, 45 p.

M

Maruyama, I., and *Inose, T.*, 1952: Experiment of Forest Influences upon Stream Flow at Kamabuti. Bulletin of the Government Forest Experiment Station, Meguro, Japan, 53: 1—52. — *Maruyama, I.*, and *Neta, K.*, 1954: Experiment of Forest Influences upon Streamflow at Kamabuti. Bulletin Government Forest Experiment Station, Meguro, Japan, 68: 123—132. — *Miller, D. H.*, 1966: Transport of Intercepted Snow from Trees during Snow Storms. (US Forest Service Research Paper PSW-33, 30 p.). — *Molchanov, A. A.*, 1963: The Hydrological Role of Forests. (Translated from Russian by A. Gourevitch.) Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 405 p.

N

Nagami, S., *Yoshino, S.*, and *Abe, T.*, 1964: Effect of Cutting on Runoff for Warm Season. Bulletin of the Government Forest Experiment Station, Meguro, Japan, 170: 59—74. — *Nakano, H.*, *Kikuya, A.*, and *Morisawa, M.*, 1963: Effects of Changes in Forest Conditions, Especially Cutting on Runoff, (I). Effects on Water-yearly, Plentiful, Ordinary, Low and Scanty Runoffs. Bulletin Government Forest Experiment Station Meguro, Japan, 156: 1—84. — *Nakano, H.*, and *Kikuya, A.*, 1964: Effects of Changes in Forest Conditions, Especially Cutting on Runoff, (II). Effects on Storm Runoff and Peak Discharge Due to a Rainfall. Bulletin of the Government Forest Experiment Station, Meguro, Japan, 170: 1—58. — *Nänni, U. W.*, 1956: Forest Hydrological Research at the Cathedral Peak Research Station. Journal of the South African Forestry Association 27: 2—35. — *Nänni, U. W.*, 1959: Base Flow in Cathedral Peak Streams. Journal of the South African Forestry Association 33: 7—48.

O

Ohigara, S., 1966: One Day Rainfall and its Corresponding Runoff. Bulletin of the Tokyo University Forests, No. 62: 147—152.

P

Penman, H. L., 1963: Vegetation and Hydrology. Technical Communication No. 53. Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, 124 p.

R

Reinhart, K. G., and *Trimble, G. R., Jr.*, 1962: Forest Cutting and Increased Water Yield. Journal American Water Works Association 54 (12): 1464—1472. — *Reinhart, K. G.*, *Eschner, A. R.*, and *Trimble, G. R., Jr.*, 1963: Effect on Streamflow of Four Forest Practices in the Mountains of West Virginia. US Forest Service Research Paper NE-1, 79 p. — *Reynolds, E. R. C.*, and *Leyton, L.*, 1963: Measurement and Significance of Throughfall in Forest Stands. Seiten 127—41 in «The Water Relations of Plants» edited by A. J. Rutter and F. H. Whitehead. Blackwell Scientific Publications, London, 394 p. — *Rich, L. R.*, *Reynolds, H. G.*, and *West, J. A.*, 1961: The Workman Creek Experimental Watershed. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Station Paper No. 65, 18 p. — *Roebell, H.*, 1965: Forsthydrologie in der Republik Südafrika. Allgemeine Forstzeitschrift 20 (30/31): 483—484. — *Rowe, P. B.*, 1963: Streamflow Increases after Removing Woodland-Riparian

Vegetation from a Southern California Watershed. *Journal of Forestry*, 61 (5): 365—370. — *Rycroft, H. B.*, 1955: The Effect of Riparian Vegetation on Water Loss from an Irrigation Furrow at Jonkershoek. *Journal of the South African Forestry Association* 26: 2—9.

S

Satterlund, D. R., and *Eschner, A. R.*, 1965: Land Use, Snow and Streamflow Regimen in Central New York. *Water Resources Research* 1 (3): 397—405. — *Schneider, W. J.*, and *Ayer, G. R.*, 1961: Effect of Reforestation on Streamflow in Central New York. US Geological Survey Water Supply Paper 1602, 61 p. — *Snyder, M.*, 1963: TVA Concepts in Hydrologic Model Building and Evaluation. US Forest Service Conference on Hydrologic Analysis, Fort Collins, Colorado, Nov. 14, 1963. 24 p. — *Snyder, M.*, 1964: A Water Yield Model Derived from Monthly Runoff Data. *Int. Assoc. Scient. Hydrology, Publication No. 63*: 18—30 (Symposium Berkeley). — *Snyder, F. F.*, 1939: A Conception of Runoff — Phenomena. *Transactions American Geophysical Union* 20: 725—738. — *Sopfer, W.*, and *Lull, H. W.*, 1967: Forest Hydrology, Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology at Pennsylvania State University, University Park, Aug. 29—Sept. 10, 1965. Pergamon Press. 813 p. — *Stalfelt, M. G.*, 1963: On the Distribution of the Precipitation in a Spruce Stand. An Attempted Analysis. Seiten 115—126 in «The Water Relations of Plants». A. J. Rutter and F. H. Whitehead editors. Blackwell Scientific Publications, London, 394 p. — *Storey, H. C.*, 1962: Increasing Water Yields by Effective Cutting Methods. Proceedings of the fifth World Forestry Congress, Vol. 3: 1682—1685. — *Sturges, D. L.*, 1967: Water Quality as Affected by a Wyoming Mountain Bog. *Water Resources Research*, 3 (4): 1085—1089.

T

Takeda, S., 1951: On the Annual Discharge and Especially on Increased Runoff Due to Heavy Rain. *Bulletin of the Government Forest Exp. Station, Meguro, Japan*, 50: 1—96. — *Tennessee Valley Authority*, 1955: Influences of Reforestation and Erosion Control upon the Hydrology of the Pine Tree Branch Watershed, 1941 to 1950, Technical Monograph No. 86, Knoxville, Tenn. 95 p. — *Tennessee Valley Authority*, 1961: Forest Cover Improvement Influences upon Hydrologic Characteristics of White Hollow Watershed, 1935—1958. Hydrological Data Branch. Report No. 0—5163A.

U

United States Forest Service, 1967: Report 1966, Northeastern Forest Experiment Station. 98 p.

V

Valek, Z., 1959: Beitrag zur Hydrologischen und Hydrotechnischen Verwendbarkeit der Holzarten. *Int. Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 48*: 322—340 (Symposium Hannoversch-Münden). — *Ven Te Chow*, 1964: (Editor) Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Comp. New York, London. — *Vice, R. B.*, and *Swenson, H. A.*, 1965: A Network Design for Water Quality. *Int. Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 67*: 325—335 (Symposium Québec).

W

Wicht, C. L., 1966: Trends in Forest Hydrological Research. *South African Forestry Journal* 57: 17—25.

Z

Zeleny, V., 1965: Water Balance of two Experimental Upper Watersheds in the Moravian Beskydy Mountains in CSSR. *Intern. Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 66*: 474—479 (Budapest Symposium).