

16. Lang, R.: Versuche einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. Intern. Mitteilungen f. Bodenlehre 1915. Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde. Stuttgart 1920.

17. De Martonne, E.: Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. La Météorologie 1926.

18. Dantin Cereceda, J. y Revenga Carbonell, A.: Una nueva relación climatológica: El índice termoplúviométrico. Avance al estudio de la aridez en España. Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Zaragoza. 1940.

19. Birot, P.: Sur une nouvelle fonction d'aridité appliquée au Portugal. Porto 1945.

20. Setzcr, A.: A New Formule for Precipitations Effectiveness. Geogr. Rev. 1946.

21. Meyer, A.: Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. Jena 1920.

22. Laatsch, W.: Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. 1944.

23. Emberger, L.: Sur une formule climatique et ses applications en botanique. La Météorologie. 1932.

24. Du Bief, I.: Evaporation et coefficients climatiques au Sahara. Travaux de l'institut recherches sahariennes. Bd. VI/1950.

25. Capot-Rey, R.: Indice d'aridité au Sahara français. Bull. de l'ass. de Géographes français. 1951.

26. De Martonne, E.: Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. Ann. de Géogr. 1942.

27. Hirth, P.: Die Isonotiden. P. M. Erg. H. 1926.

28. Lautensach, H.: Klimakunde als Zweig länderkundlicher Forschung. G. Z. 1940, S. 393 ff.

29. Creutzburg, N.: Klima, Klimatypen, Klimakarten. P. M. 1950.

30. Wang, T.: Die Dauer der ariden, humiden und nivalen Zeiten des Jahres in China. Tübinger geogr. u. geol. Abh. II/7, 1941.

31. Wilhelmy, H.: Methoden der Verdunstungsmessung und der Bestimmung des Trockengrenzwertes am Beispiel der Südukraine. P. M. 1944.

32. Lauer, W.: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zum Vegetationscharakter. Bonner geogr. Abh. Heft 9, 1952. Hygrische Klimate und Vegetationszonen der Tropen mit besonderer Berücksichtigung Ostafrikas. Erdkunde V/4, 1951.

33. Gaussen, H. u. Bagnouls, F.: L'indice xérothermique. Bull. de l'ass. de Géographes français. 1952.

34. Gaussen, H.: Projets diverses cartes du monde à 1 : 1000 000. La carte écologique du tapis végétal. Congrès International de Géographie. Lisbonne 1949.

WALD UND WASSERHAUSHALT Die Bedeutung neuer Versuche im Harz

Reiner Keller

Mit 1 Abbildung

Summary: Only six experiments in the whole world can be considered as positive contributions to the discussion of the old problem of the influence of forest cover on water regime. But since these experiments have been undertaken in different climatic zones and have used differing methods, no generalisations should be made. In this paper first results of new experiments carried out in forested and deforested areas in the Harz mountains are reported; they provide, among other things, data regarding evaporation, run-off and precipitation, and further, on the transport of suspended matter and pebbles. One result emerging is that forest cover indeed alters the run-off curve but does not raise the level of the low water mark on it.

Nicht nur in der neueren Zeit, sondern auch in den früh- und spätmittelalterlichen Rodungszeiten wurde viel von unverantwortlicher Waldvernichtung gesprochen. So wird z. B. im Jahre 1413 über die Verwüstung des Kottenforstes bei Bonn geklagt (*H. Hessemmer*, 1948), und im Jahre 1837 schreibt *W. Pfeil* eine Studie unter dem Titel „Rührt der niedrige Wasserstand der Flüsse und insbesondere derjenige der Elbe und Oder, welchen man in der neueren Zeit bemerkt, von der Verminderung der Wälder her?“ Daraus geht hervor, daß die Diskussion über dieses Thema schon damals in Fluß war. Die Wissenschaft kann auf die Frage, die vor 115 Jahren und früher gestellt wurde, heute noch keine eindeutige Antwort geben. Das wird auch nicht durch Pressemeldungen geändert, die die weit verzweigten Zusammenhänge zwischen Wald und Wasserhaushalt vergrößern und verallgemeinern und die aktuellen Fragen mit Schlagzeilen beantworten: „Acker – Steppe – Wüste, Kahlschläge – Anfang der Versteppung“ (aus der Beilage „Zwischen Weser und Ems“ Nr. 121 v. 27. 5. 1952). „Wiederaufforstung gegen Wassermangel“ (*Saarl. Volkszeitung*, 22. 9. 1949), „Quellensterben, die ersten Folgen des Kahlschlags, Forstwirtschaft beeinträchtigt, gefährdete Wasserversorgung“ (*Niederdeutsche Ztg. Hamburg*, 28. 10. 1949 u. a.). „Ein Eimer Wasser kostet 5 Pfennig. Die Westzonen trocknen aus“ (*Westfäl. Nachrichten, Münster*, 13. 10. 1949). „Wüstenbildungen zwischen Basel und Kaiserstuhl, nur Aufforstung und Bewässerung kann helfen“ (*Lahrer Ztg.*, 27. 10. 1949, *Rheinischer Merkur, Koblenz* 5. 11. 1949 u. a.). Das sind Gedanken der Tagespresse zu diesem Thema; die Beispiele ließen sich beliebig vermehren (vgl. die Presseschau der Zeitschrift „Wasser und Boden“, Hamburg 1950 ff.).

Es ist vielleicht schon gewagt zu schreiben: „Der gesunde Waldboden ist ... eine große natürliche Speicheranlage. Von den Niederschlägen und Schneeschmelzen werden erhebliche Mengen durch Versickerung längs der Wurzelkanäle in die tieferen Gründe des Waldbodens eingeleitet. Dort können sie den Bäumen das notwendige Lebenselement bieten oder Quellen und Bäche in der regenarmen Zeit speisen“ (*H. Haase*, 1950). Wo ist in Mitteleuropa oder in einem vergleichbaren Klimagebiet gemessen worden, daß der Wald in regenarmen Zeiten das Niedrigwasser erhöht. Brauchen die Bäume in der regenarmen Zeit das gespeicherte Wasser nicht selbst? Woher weiß man, daß im Wald die Versickerung tatsächlich erheblich ist im Vergleich zum Kahlschlag? Sind derartige Behauptungen nicht nur Vermutungen oder gefühlsmäßige Herleitungen? Ein bedeutender deutscher Wasserwirtschaftler kennzeichnet die segensreichen Wirkungen des Waldes folgendermaßen: „Durch Kahlschläge wird die Wasserspeicherfähigkeit des ohne Schutz des Laubdaches allen Witterungseinflüssen ausgesetzten Waldbodens in kurzer Zeit stark verringert. Die Bedeutung dieser Speicherfähigkeit zeigt die Überlegung, daß eine Versickerung von nur 100 mm Niederschlag bei einer Größe der Waldflächen von über 2000 km² schon einer gesicherten Wassermenge von über 200 Mill. cbm entspricht.“ ... Es folgen Ausführungen über Bodenabschwemmung. „Daß es sich bei diesen Gedankengängen nicht

um theoretische Bedenken handelt, zeigen die Erfahrungen, die im größten Umfange bei den starken Abholzungen in Montenegro, Italien, China und in allerneuester Zeit bei den Abholzungen in Nordamerika mit der Versteppung weiter Landstriche bekannt geworden sind.“

Mit diesen Zitaten will ich nicht sagen, daß das alles unrichtig wäre. Aber ein um wieviel größeres Gewicht hätten derartige Überlegungen, wenn sie sich auf Untersuchungen in Mitteleuropa stützen könnten und nicht zurückgreifen müßten auf Hochgebirge und ganz andere Klimagebiete. Die Frage Kahlschlag und Versteppung ist sicherlich in Klimaten mit hygrischen Jahreszeiten und in kontinentalen Klimaten Rußlands, Chinas und Amerikas anders zu beurteilen als in den ozeanischen Klimaten Mittel- und Nordwesteuropas mit Regen zu allen Jahreszeiten. Wenn dem nicht so wäre, dann müßte die Versteppung Mittel- und Nordwesteuropas angesichts der umfassenden Rodungsgebiete der letzten tausend Jahre eindeutig erkennbar sein. Zwar treten Dürreschäden in der Landwirtschaft Mitteleuropas häufiger auf, in manchen Gegenden fast alljährlich bei irgendeiner Kultur. Nicht selten werden in Pressemeldungen derartige Dürreschäden mit der Waldverwüstung und der daraus folgenden Versteppung in Verbindung gebracht. Dabei wird außer acht gelassen, daß die Kulturen der heutigen intensiven Landwirtschaft dürr- und frostempfindlicher geworden sind („Risikoanbau“), d. h. auf den gleichen Feldern wäre vor 80 bis 100 Jahren wohl noch kein Dürreschaden aufgetreten. Außerdem muß damit gerechnet werden, daß das Wasserhaltungsvermögen des landwirtschaftlich genutzten Bodens heute gegenüber früheren Zeiten verändert ist. Der Übergang zur modernen Düngewirtschaft mit überwiegender Kunstdüngerverwendung vernachlässigt die Ergänzung des Bodens mit Humusstoffen. Diese für den Wasserhaushalt des Bodens so wichtigen Humusstoffe wurden früher durch Stall- und Gründüngung auf die Äcker gebracht. Es ist gewagt und stets einseitig, für Wassermangelgebiete, Dürreschäden und dgl. nur die „Waldverwüstung“ verantwortlich machen zu wollen.

Viele Diskussionen um den Fragenkomplex „Wald und Wasser, Erosion und Versteppung“ sind wenig überzeugend und anfechtbar. Anfechtbar sind die Gedankenkonstruktionen, weil 1. fast keine Versuche und Messungen vorliegen über die Wirkung des Waldes auf den Wasserhaushalt und 2. die Ergebnisse der wenigen lokalen Messungen auf größere Gebiete mit anderen geographischen Gegebenheiten übertragen werden.

Die wenigen Messungen und Versuche, die einen Aufschluß über den Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt geben können, sind nach *W. Friedrich* (1949) die folgenden:

1. Die Messungen von *Engler* und *Burger* am Sperbel- und Rappengraben in der Schweiz,
2. Die Messungen von *Hirata* in Japan,
3. Die Versuche von *Bates* und *Henry* in Colorado und
4. Die Messungen von *Valek* im mährischen Mittelgebirge.

5. Nach *Friedrich* sollen unter Leitung von *Hoover* in den Coweeta-Versuchsforsten in Nord-Carolina noch weitere Beobachtungen durchgeführt werden. Im Mittelpunkt der Diskussion stehen Fragen von praktischem Interesse:

1. Erhöht der Waldbestand den Niederschlag?
2. Vergrößert der Wald die Niedrigwasserführung, rührt der niedrige Wasserstand der Flüsse und des Grundwassers von der Entwaldung her? Ist der Wald ein Wasserspeicher? Ersetzt er durch sein Rückhaltevermögen Talsperrenraum?
3. Eng verknüpft mit diesen Punkten ist die Frage, ob ein Waldbestand mehr oder weniger Wasser verbraucht als Acker und Grünland, ob Wald die Verdunstung durch seine größere Oberfläche (Transpiration und Oberflächenverdunstung) vermehrt oder ob er die Gesamtverdunstung vermindert infolge seines besonderen windgeschützten, relativ feuchten und ausgeglichenen Bestandsklimas.
4. Wie groß ist die „Interception“ im Wald, d. i. die Niederschlagsmenge, die in den Bäumen hängen bleibt und wieder verdunstet, ohne den Erdboden erreicht zu haben.
5. Wie ist der Einfluß des Waldes auf Hochwasser?
6. Wie verhält sich die Erosion auf bewaldeten, entwaldeten und landwirtschaftlich genutzten Flächen, wie wirkt sich Entwaldung auf Geschiebe- und Schwebstoffführung aus?

Es muß damit gerechnet werden, daß die Antworten auf diese Fragen für verschiedene Landschaften und Klimate verschieden ausfallen werden. Das geht schon aus der Aufgliederung der Gesamtverdunstung, wie sie von verschiedenen Autoren auf Grund ihrer Versuche angegeben wird, hervor (s. Tabelle).

Es ist bekannt, daß der Wald in verschiedenen Klimaten den Niederschlag erhöht. Das kann man insbesondere in Bergwäldern der Tropen und Subtropen oder auch an nebelreichen Küsten beobachten, wo Bäume und Moose wichtige Kondensationspunkte sind und teilweise von dem Nebelniederschlag versorgt werden (vgl. *R. D. Schmidt*, 1952). Derartige niederschlagserhöhende Wirkungen der Bäume sind im gemäßigten Klima Deutschlands mit Niederschlägen von 600 bis nahezu 2000 mm noch nicht überzeugend nachgewiesen worden. Nach der derzeitigen Auffassung können die zusätzlichen Nebelniederschläge, die nicht von den Niederschlagssammellern erfaßt werden, vernachlässigt werden. Bei Messungen im Erzgebirge sollen sie nach *Rubner* (aus *E. Kirwald*, 1944) von Mai bis September weniger als 5 mm monatlich ausgemacht haben. *J. Schubert* (1937) hat in der Letzlinger Heide feststellen können, daß der Wald den Jahresniederschlag um 5,9 % erhöht und daß dieser niederschlagserhöhende Einfluß in einem Trockenjahr merklicher zu sein scheint als in einem feuchten Jahr. Man weiß, daß im Flachland geringe Reliefunterschiede Einfluß auf die Regenhöhe nehmen können, und es wäre möglich, daß dadurch auch der Wald im Flachland geringfügig niederschlagserhöhend wirken könnte. Es wird auch daran gedacht, daß das Bestandsklima des Waldes an der Niederschlagserhöhung beteiligt ist.

Aber auch hierzu fehlen weitere Messungen. Ob diese eventuell im Flachland nachweisbare Niederschlags-erhöhung noch im Mittelgebirge festgestellt werden kann, ist zu bezweifeln. Bei den Versuchen in Colorado ermittelte man eine Niederschlags-erhöhung von 1 bis 2% im Waldland.

In Einzeluntersuchungen wurde von Hoppe festgestellt, daß an Buchenschäften 12,8%, an Eichenstämmen 5,7%, an Ahorn 5,9% der Niederschläge abfließen und sich dadurch den normalen Regenmessern, die unter den Kronen aufgestellt werden, entziehen. Ney fand, daß am Buchenstamm vor dem Laubausbruch 18,4% und nachher 4,7% abfließen. Eine Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse und Anschauungen über den forstlichen Wasserhaushalt hat E. Kirwald (1944) gegeben. Aber auch er muß bei der Übersichtstabelle „Durchschnittliche Verteilung von Niederschlägen in verschiedenen Waldarten“ darauf hinweisen, daß die Angaben nicht allgemein gültig sind und nur als Vergleichszahlen zu werten sind. „Der Wasserverbrauch des Waldes wurde schätzungsweise eingesetzt.“ Zahlreiche Untersuchungen zum Wasserverbrauch, insbesondere zur Transpiration der Waldbäume, wurden und werden von botanischer Seite durchgeführt (vgl. Literaturangaben bei R. Keller, 1952). Die Transpirations- und Verdunstungswerte werden jedoch an Einzelpflanzen bestimmt, und der Schluß vom Teil aufs Ganze birgt eine gewisse Unsicherheit in sich, da es noch an einer großen Zahl von Messungen mangelt.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse zur Frage Wald und Wasser sind infolge fehlender Versuche ungesichert. Auf der anderen Seite ist aber die Frage stets aktuell und von praktischer Bedeutung für die Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft, für Hochwasserschutz, Landwirtschaft u. ä. Der Arbeitskreis „Wald und Wasser“ der Bundesanstalt für Gewässerkunde hat sich unter der Leitung von W. Friedrich die Aufgabe gestellt, in Deutschland die Erforschung dieser Probleme zu fördern. Erfahrungsaustausch, Auswertung in- und ausländischer Versuche für mitteleuropäische Verhältnisse und die gegenseitige Abstimmung der Versuche in Deutschland sollen hierzu helfen.

Die Versuche im Harz

In Deutschland boten sich nach dem zweiten Weltkrieg bedeutende Waldflächen in der Eifel, im Sauerland, im Harz, im niederrheinischen Tiefland und anderswo zum Studium der Fragen „Wald und Wasserhaushalt“ an. Große Waldgebiete waren durch die Kampfhandlungen des Krieges und durch die überaus starken Holzeinschläge der Nachkriegszeit entwaldet worden. Bisher wurden diese Möglichkeiten nur im Harz durch Forstmeister Wagenhoff und Forstmeister Kieseckamp ausgenutzt¹⁾. Die ersten Ergebnisse der Versuche wurden dem Arbeitskreis „Wald und Wasser“ auf einer Zusammenkunft im Versuchsgelände vom 6. bis 8. Mai 1952 mitgeteilt.

Engler und Burger wollen in ihren Versuchen, die sie im Sperbel- und Rappengraben in der Schweiz

durchführten, den Wasserhaushalt von Weide und Waldland gegenüberstellen. Im Harz werden aber entwaldete und bewaldete Gebiete verglichen, um speziell die Wirkungen eines Kahlschlages bzw. eines Waldbestandes auf den Wasserhaushalt kennenzulernen.

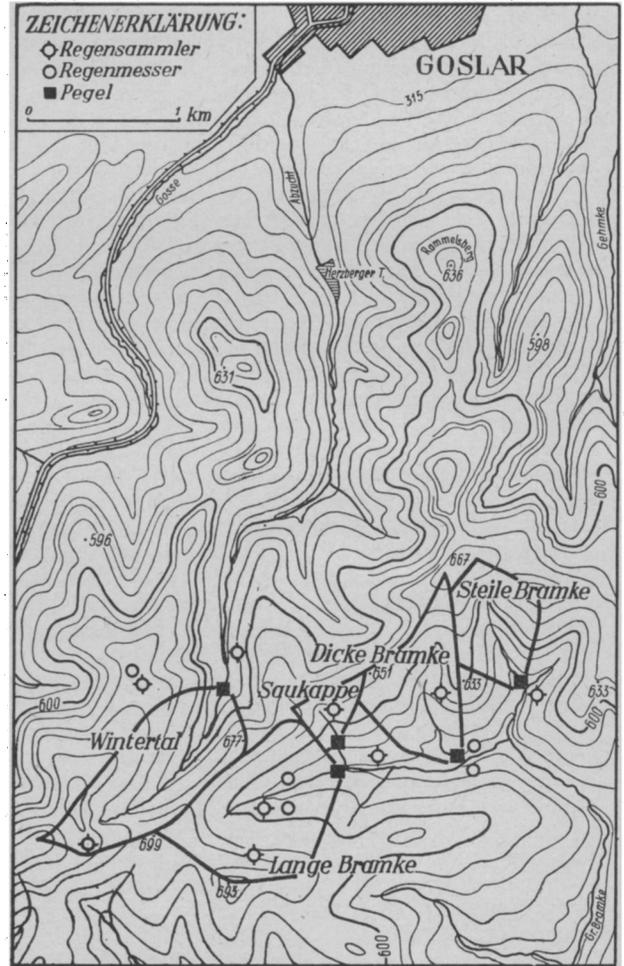


Abb. 1: Die Lage der hydrologischen Versuchsgebiete im Harz

Fünf Versuchsgebiete, deren Morphologie und Geologie ähnlich sind (Devon, insbesondere oberdevonische Kahlenberger Sandsteine), wurden ausgewertet; wo die Exposition nicht übereinstimmt, können Gebiete so zusammengefaßt werden, daß die resultierende Exposition gleich ist. Die Versuchsgebiete im Harz sind:

1. Wintertal, 85 ha, 38 % Gefälle, bewaldet.
 2. Lange Bramke, 75 ha, 32 % Gefälle, entwaldet.
 3. Steile Bramke, 42 ha, bewaldet, Althölzer.
 4. Dicke Bramke, 38 ha, bewaldet, jüngerer Bestand.
 5. Saukappe, 12 ha, bewaldet, jüngerer Bestand.
- Zusammen 252 ha.

Die Versuchsgebiete liegen in einer Höhe von 500 bis 760 Metern.

¹ neuerdings auch in der NW-Eifel durch das Landesamt für Gewässerkunde Nordrhein-Westfalen.

Die erste Wirkung eines Kahlschlages ist die vollständige Abdrosselung der Transpiration. In welchem Ausmaß die Bodenverdunstung nach dem Wegfall des schützenden Baumklimas den Ausfall der Transpiration wettmachen kann und wie sich Oberflächenabfluß und Versickerung verhalten, sind zu klärende Fragen. Die fortschreitende Begrünung auf den Versuchsflächen im Harz durch *VACCINIETUM*, *AIRA FLEXUOSA* und verschiedene andere Gräser verändern kontinuierlich die geographisch-ökologischen Bedingungen für den Wasserhaushalt. Infolgedessen ist es kaum möglich, eine natürliche homogene Beobachtungsreihe zu erhalten; d. h. man kann keinen Versuch mit gleichbleibenden geographisch-ökologischen Gegebenheiten anstellen, es sei denn, man würde die Begrünung künstlich verhindern.

Die Wasserbilanz der Jahre 1949—1951 an den Versuchsflächen im Harz zeigt, daß die Beseitigung der Transpiration infolge Kahlschlages die Gesamtverdunstung vermindert und den Abfluß erhöht. Im Mittel der Jahre ist der Abfluß auf dem Kahlschlag um 6,2% größer. Zu ähnlichen Ergebnissen kam man in der Schweiz und in den Karpathen, wo die Abflußerhöhung 12% bzw. 7% betrug. Das entwaldete Gebiet spendete im Vergleich zum Waldland das meiste Wasser im Trockenjahr 1945; in diesem Jahr war der Kahlschlagabfluß um 7% größer. Die umfassende Wiederbegrünung trat in diesem Jahr kurz nach dem Kahlschlag noch nicht so hervor, die Transpiration auf dem Kahlschlag war noch minimal. Man könnte sagen, daß der Wald im Trockenjahr erst einmal für sich sorgt und nur das Wasser, welches er nicht nötig hat, dem Abfluß überläßt.

Weit verbreitet ist die Auffassung, der Wald würde aus größeren Rücklagen die Niedrigwasserführung der Flüsse in Trockenzeiten heben können. Die obige Mitteilung und andere Beobachtungen und Messungen an den Versuchsflächen im Harz lassen von dieser günstigen Wirkung des Waldes nichts erkennen. Im Harz war die Entwaldung nicht verbunden mit einer umfassenden Bodenabtragung. Die Rohhumusdecke, die saure, schwachpodsolierte Braunerde blieb über sandigem, 0,60 bis 1 m mächtigem Lehm erhalten.

Wenn die Entwaldung mit einer Vernichtung der wasserhaltenden Bodendecke verbunden ist, dann ist in Trockenzeiten vom Kahlschlag keine höhere Wasserspende zu erwarten. Eine so umfassende Bodenabspülung tritt im Mittelgebirge aber nur ganz lokal auf. Sie ist dagegen im Hochgebirge weiter verbreitet. So ist zu verstehen, daß die Messungen in der Schweiz mehrfach die günstige Wirkung des Waldes erkennen ließen. O. Lüttschg hat z. B. in den Hochtälern der Landschaft Davos Abflußspenden im Sertigbachtal von 10,3 Lit./sec./qkm und im Landwassergebiet von 9,3 Lit./sec./qkm gemessen. Beide Flußgebiete haben mehr als 10% Waldanteil. Die Nachbartäler, die nur 7% und weniger Waldland haben, hatten auch kleinere Abflußspenden (R. Keller 1951). Der Wald vergrößert im Hochgebirge die winterliche Abflußspende durch das Wasserhaltungsvermögen seines Bodens. Die unbewaldeten Gebiete sind im Hochgebirge in der Regel arm an humusreichem Boden und reich an nacktem Fels. Eine Übertragung

dieser Verhältnisse auf die Mittelgebirgslandschaften ist nicht gerechtfertigt, wie die Beobachtungen im Harz beweisen.

Indessen ist noch nicht sicher, ob die niedrigen Wasserspenden des Waldes in Trockenzeiten zurückgeführt werden müssen auf die Verdunstung. Es besteht noch die Möglichkeit, die allgemein höhere Abflußverlusthöhe wenigstens teilweise mit einer stärkeren Versickerung im Waldboden zu erklären:

Aufschlußreich und überzeugender als absolute Zahlenwerte einer kurzen Beobachtungszeit können die von *Kiesekamp* mitgeteilten Werte zum Abflußgang in den verschiedenen Jahreszeiten sein. Im Winter, zur Zeit der Vegetations- und Transpirationsruhe, ist kein Unterschied im Abfluß von Wald und Kahlschlag festzustellen. Von Mai ab benötigt der Wald größere Wassermengen zur Transpiration, sein Abfluß wird dadurch für die Sommermonate geringer als der des Kahlschlages. In einem trockenen Sommerhalbjahr zehrt der Wald von den Wasser-rücklagen im Boden; der Waldboden trocknet aus (im Vergleich zu seiner maximalen Wasserhaltung), der Kahlschlag bleibt relativ feucht. Feuchtigkeitsmessungen hierzu sind mir nicht bekannt. W. Weisbrod (1937) fand bei Versuchen in Halle am 13. 12. 1929 folgenden natürlichen Wassergehalt (Gewichtsprozent):

	30-40	40-50	50-60	60-70	Tiefe
	cm	cm	cm	cm	
Brache	15,10	14,63	16,04	16,58	
Hafer	14,96	10,74	9,40	13,60	

Ähnlich dürfte die Tabelle über den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens unter Wald und Kahlschlag am Ende der Vegetationsperiode sein. Dieser Jahresgang des Abflusses im Wald- und Kahlschlaggebiet spricht jedenfalls nicht für eine unterschiedliche Versickerung auf den beiden Versuchsflächen.

Gegen Ende der Vegetationszeit müssen sich die Rücklagen im Waldboden erst wieder ergänzen, bevor der größte Teil des Niederschlags den Abfluß ernähren kann. *Kiesekamp* berichtete, daß die Niederschläge nach dem trockenen Oktober 1951 auf den Kahlschlag sofort größere Abflußmengen brachten, während der Abfluß aus dem Walde erst im Dezember an den des entwaldeten Gebietes heranreichte. Im September und Oktober werden zwischen Wald und Kahlschlag sehr große Abflußdifferenzen beobachtet, da der Wald in dieser Zeit noch transpiriert, die Kahlschlagvegetation jedoch keine nennenswerte Verdunstung mehr verursacht. Den günstigen Einfluß des Waldes auf den Verlauf der Hochwasser, der oftmals in der Literatur hervorgehoben wird, bestätigen auch die Versuche im Harz. Der Wald gleicht aber die Hochwasserspitzen nicht immer aus; bei bestimmten Verhältnissen, etwa wenn eine verzögerte Schneeschmelze im Walde mit Starkregen zusammenfällt, kann gerade der Wald ein Hochwasser verursachen, während im Kahlschlag, wo die Schneedecke schon längst aufgetaut ist, zu gleicher Zeit kein Hochwasser entsteht. Die Spitzenabflüsse der bewaldeten Versuchsflächen im Harz lagen bei 90, 140, 20, 30 und 38 Liter/sec/km². Auf den unbewaldeten Flächen erreichten die Spitzenabflüsse 420, 240, 130, 101 und 95 Liter/sec/km².

Die Hochwassermengen wurden an den in Abb. 1 durch schwarze Punkte bezeichneten Stellen, wo auch die laufenden Abflußmengenmessungen gemacht wurden, bestimmt. Man hat dort Bassins errichtet, die man durch Herablassen eines Schützes bis zur gezielten Höhe volllaufen läßt, während man gleichzeitig die zum Vollaufen benötigte Zeit bestimmt. Die normal anfallenden kleinen Wassermengen wurden durch Schwimmerpegel, z. T. durch Schreibpegel laufend beobachtet und durch Absolutmessungen an den Dreieckseinschnitten der Überfälle kontrolliert.

Das Gefälle der Quellmulden bis zu den Abflußmeßstellen ist sehr groß. Daher mußten vor der eigentlichen Meßstelle Schotterfangstellen und vor dem Einlaß zum Meßkanal Beruhigungsbecken eingerichtet werden. Thermographen, Erdbodenthermometer zur Abflußbestimmung bei Bodenfrost und Niederschlagsmesser vervollständigen die Meßanlage. An einer Stelle werden für verschiedene Wasserstände durch ein Flaschengerät selbsttätig Wasserproben entnommen. So können auch Schwebstoffmengen und chemische Zusammensetzung des Wassers bei verschiedenen Abflußmengen beobachtet werden. Außerdem wurden in zwei Versuchsgebieten die Bachquellen eingefast und deren Wasserspende gemessen. Durch diese Einrichtung erhält man einen Überblick über die Wassermengen, die dem Bach aus der Quelle zufließen, und über die, die ihn oberflächlich erreichen. Der Oberflächenabfluß wird ferner auf Kleinversuchsfächen gemessen, die etwa 3 m² groß sind. Auf diesen Kleinversuchsfächen kann neben dem Oberflächenabfluß auch die Erosion beobachtet werden.

Kiesekamp machte die bemerkenswerte Mitteilung, daß der Oberflächenabfluß auf dem Kahlschlag, der in erster Linie für die Bodenabspülung verantwortlich ist, keineswegs die allgemein erwarteten Werte erreichte. Bei vergleichbaren Niederschlägen von 7 bis 23 mm flossen in der entwaldeten Langen Bramke nur 2,6 % oberflächlich ab und in den bewaldeten Gebieten des Wintertals, der Dicken und Steilen Bramke 1,4–1,8 %. Diese kleinen Oberflächenabflüsse reichen aber aus, um nach kräftigen Niederschlägen die erste Flutwelle zu erzeugen. Die erste vom Oberflächenabfluß erzeugte Flutwelle ist steil und von kurzer Dauer; sie ist reich an Schwebstoffen. Die nachfolgende zweite Flutwelle ist breiter und bringt meist klares Wasser, da sie über die Versickerung, das Grundwasser und die Quellen zum Abfluß gelangt.

Besonders groß ist der Abfluß an den Stellen, deren Bodendecke beschädigt ist, z. B. an den Runsen, die sich aus den Schleifspuren der Holzabfuhr und an den Wegen entwickelt haben. Im Jahre 1950 brachten diese humus- und vegetationsfreien Mineralbodenflächen 16,1 bzw. 17,3 % Oberflächenabfluß. Die Versuchsfächen auf Nadelstreu hatten 0,1 bzw. 1,4 %, auf *AIRA FLEXUOSA* 0,1 bzw. 0,2 % und auf Humus 3,5 bzw. 4,7 % Oberflächenabfluß. Bei Bodenfrost, Tauwetter und ähnlichen Witterungsverhältnissen war das Verhalten der Flächen noch unterschiedlicher.

Die Erosionswirkungen entsprechen weitgehend dem Oberflächenabfluß. Die entwaldete Lange Bramke lieferte alljährlich die 3,5fache Menge an Schotter und Schwebstoff. Man sieht hieraus, daß die Erosionswirkungen im Kahlschlag keineswegs so verheerend

sein müssen wie es vielfach angenommen wird. Wesentlich ist, daß die Bodendecke erhalten bleibt. Die Kahlschlagvegetation bietet schon einen beachtlichen Schutz vor der Erosion.

Möglicherweise liefern die Kleinversuchsfächen infolge der fehlenden Lauflänge des Wassers keine richtigen Zahlen für die Erosion. In jedem Falle geben sie aber vergleichbare Werte für den Bodenabtrag bei verschiedener Bodenbedeckung. Die größte Unsicherheit bei fast allen Untersuchungen im Wasserhaushalt liegt in der Bestimmung des Gebietsniederschlags. So ist es auch bei den Versuchen im Harz, obwohl dort auf den 252 ha Versuchsgelände oder in deren unmittelbarer Nachbarschaft 16 Niederschlagssammler Typ *Friedrich-Haase* und ein Niederschlagsschreiber aufgestellt wurden. Die vergleichbare Niederschlagsmessung im Waldgebiet und auf den entwaldeten Flächen, auf den Kammlagen, an den Hängen und in den Tälern, unmittelbar am Boden und zwei Meter über der Bodenoberfläche verursacht dabei die besonderen bekannten Schwierigkeiten. In dem schneereichen Gebirge erhalten die Kammlagen besonders in den Wintermonaten weniger Niederschläge als die Tallagen; auf den Kahlschlägen fällt mehr Schnee als im Walde, an den Nordhängen mehr als an den Südhängen.

Wie unsicher unsere Kenntnis über Verdunstung und Abfluß geographisch verschiedener Gebiete ist, zeigt die nachfolgende Tabelle:

Die Wasserbilanz und Aufgliederung der Gesamtverdunstung in den bisherigen Versuchen (zusammengestellt von *W. Friedrich*, 1949)

	Nieder- schlag mm	Gesamt- ver- dunstung mm	Inter- ception mm	Erbod- ver- dunst. mm	Transpi- ration mm	
Schweiz	Sperbelgraben bewaldet	1600	649	232	117	300
	Rappengraben 30 % Wald	1660	629	196	298	135
Wagon Wheel Cap	bewaldet	540	382	64	190	128
Colorado USA	entwaldet	528	343	13	229	101
Coweeta Nord- Carolina USA	bewaldet	1690	1076	181	395	500
	entwaldet	1800	682	13	593	76

Als Jahresmittel 1949–1951 teilt *Kiesekamp* für Versuchsfächen im Harz folgende Wasserbilanz mit:

a) Mittel der Jahre 1949–1951:

	Niederschlag mm	N–A (Ges.-Verdunst. mm)	Abfluß in mm (gemessen)
Lange Bramke bewaldet	1235	600	635
Wintertal entwaldet	1186	504	682

b) in den einzelnen Beobachtungsjahren:

Lange Bramke	1949	940	394	546
	1950	1534	667	867
	1951	1083	450	633
Wintertal	1949	974	481	493
	1950	1577	770	807
	1951	1153	549	604

Der Niederschlag und der Abfluß wurden so, wie oben beschrieben, gemessen. Die Differenz deutet man als Gesamtverdunstung, vorsichtiger müßte man sagen „Abflußverlusthöhe“, da die Versickerung darin enthalten sein kann. Übereinstimmend zeigen alle Versuche, daß entwaldete und wenig bewaldete Gebiete eine geringere Verdunstung haben als Waldgebiete. Das ist aus den oben gegebenen Erläuterungen verständlich. Es wäre wichtig zu wissen, wie sich Grünland und Ackerfläche in dieser Beziehung zum Walde verhalten. Die geringen Unterschiede, die sich bei Versuchen im Sperbel- und Rappengraben zeigten, sind nicht so überzeugend, daß man sie ohne weiteres auf mitteldeutsche Verhältnisse übertragen könnte.

Die Aufteilung der Verdunstung auf Interception, Erdbodenverdunstung und Transpiration beruht teilweise auf Schätzungen.

Bei den Versuchen im Harz fallen die hohen Verdunstungsbeträge auf. Eine mittlere Verdunstung von 500 mm auf kaum bewachsenem und von 600 mm auf bewaldetem Boden in Höhenlagen um 700 m über NN scheint mir etwas hoch zu sein. Zur Klärung dieser Frage wäre es zweckmäßig,

1. die Abflußverlusthöhe des gesamten Flußgebietes, also nicht nur von 75 bzw. 85 ha, sondern auch von 100–200 km² ergänzend mitzuteilen. In dem größeren Einzugsgebiet dürfte schon wieder ein großer Teil des Spalten- und Kluftwassers in den Oberflächenabfluß gelangt sein,
2. in 30 bis 40 Jahren nach Wiederbewaldung der heute entwaldeten Langen Bramke nochmals die Abflußdifferenzen zwischen beiden Flußgebieten zu bestimmen. Dann erst läßt sich sicher sagen, wie weit die heute feststellbaren Unterschiede zwischen beiden Versuchsgebieten auf die Entwaldung zurückgehen und wie weit Unterschiede in der geologischen Struktur, in der Morphologie, in Boden- und Klimaverhältnissen wirksam werden konnten,
3. zusätzlich zu den bisherigen Messungen Angaben über die jährlichen Zuwachsleistungen bzw. über die Gesamtmenge der transpirierenden Masse (Oberfläche) in den verschiedenen Versuchsflächen zu erhalten. Die transpirierende Masse steht nämlich in einer gewissen Beziehung zur Transpiration und damit auch zur Gesamtverdunstung.

Es lassen sich zu den Versuchen im Harz sicherlich noch die einen oder anderen kritischen Bemerkungen und Ergänzungen vorbringen. Trotzdem dürften diese Versuche in ihrer Anlage in Mitteleuropa den Fragenkomplex am umfassendsten beobachten und wissenschaftlich die einwandfreiesten Ergebnisse liefern. Es bleibt zu wünschen, daß diese Versuche im Harz und Parallelversuche an anderen Stellen endlich einmal mit der genügenden Ausdauer fortgesetzt werden können.

Schrifttum

1. *Hesmer, H.*: Die Holzartenzusammensetzung des nordrhein-westfäl. Waldes. Decheniana, Bd. 103, S. 92–106, Bonn 1948.

2. *Pfeil, W.*: Rührt der niedrige Wasserstand der Flüsse und insbesondere derjenige der Elbe und Oder, welchen man in der neueren Zeit bemerkt, von der Verminderung der Wälder her? Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft, Bd. 11, Leipzig 1837, S. 62–91.

3. *Haase, H.*: Die großen Talsperren des Harzes. In: Teiche und Talsperren, 400 Jahre Harz-Wasserwirtschaft. Clausthal-Zellerfeld 1950.

4. *Prüß, M.*: Wasserwirtschaftliche Gefährdung der Ruhrkohlenförderung durch zu starke Abholzung im Ruhrgebiet. Decheniana, Bd. 103, S. 37–47. Bonn 1948.

5. *Burger, H.*: Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben. Ergebnisse für die Jahre 1915/16 bis 1926/27 im 18. Bd., 2. Heft 1934, Ergebnisse für die Jahre 1927/28 bis 1941/42 im 23. Bd., 1. Heft 1943 der Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

6. *Engler, A.*: Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteilungen der schweizerischen Anstalt f. d. forstliche Versuchswesen 12. Bd., Zürich 1919.

7. *Hirata, T.*: The relation between the forest and water in Japan. Imperial Forestry Experimental Station Meguro 1929.

8. *Bates, C. G. and Henry, A. J.*: Forest and stream flow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. Monthly Weather Review, Suppl. Nr. 30, Washington 1928.

9. *Valek, Z.*: Forschungs- und Beobachtungsergebnisse über den Einfluß von Kulturbeständen auf den Abfluß von Niederschlägen in den Wildbachgebieten der Kychova und Zdechova in den Jahren 1928–34.

10. *Hoover, M. D.*: Effect of removal of forest vegetation upon water-yields. Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 25 (1944) S. 969–977.

11. *Schmidt, R. D.*: Die Niederschlagsverteilung im andinen Kolumbien. In: Studien zur Klima- und Vegetationskunde der Tropen von *W. Lauer, R. D. Schmidt, R. Schröder* und *C. Troll*. Bonner Geographische Abhandlungen, Heft 9, Bonn 1952, S. 99–120.

12. *Kirwald, E.*: Forstliche Wasserhaushaltstechnik, Neudamm 1944.

13. *Schubert, J.*: Der Niederschlag in der Letzlinger Heide. Ztschr. f. Forst- u. Jagdwesen 69, 1937, Heft 12, S. 604–615.

14. *Kiesekamp*: Die Ergebnisse seiner Versuche werden in den Bonner Geographischen Abhandlungen ausführlich veröffentlicht, (vgl. die kurze Mitteilung in der Allg. Forst- u. Jagdzeitschrift).

15. *Keller, R.*: Natur und Wirtschaft im Wasserhaushalt der rheinischen Landschaften und Flußgebiete. Forsch. z. dt. Landeskunde, Bd. 57, Remagen 1952.

16. *Keller, R.*: Niederschlag, Abfluß und Verdunstung im Schweizer Hochgebirge, Erdkunde, Bd. IV, 1950, S. 54–67.

17. *Lütsch-Lötscher, O.*: Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, s. d. Lit. Angabe zu dieser Forschungsreihe bei *Keller, R.* 1950.

18. *Weisbrod, W.*: Die Wasserfrage bei der Bodenschätzung. In: Braunkohle 1937, Heft 49, S. 877–883.

19. Waldverwüstung und Wasserhaushalt. Ergebnisse der Tagung des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens am 30. 4. 1947. Decheniana, Bd. 103, Bonn 1948.

20. *Friedrich, W.*: Wald und Wasserhaushalt. In: Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Nr. 11. S. 29 bis 36, Bielefeld 1949.