

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 80 (1929)
Heft: 2

Artikel: Wald und Wasserhaushalt
Autor: Burger, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767816>

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: 06.05.2025

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

in einiger Entfernung von den Sträuchern, an offenen Stellen des Unterholzes, die beim Brande daher keine Wärme entwickelt hatten, massenhaft auf den Boden und gelangten alsdann bei eintretender Regenzeit zur Keimung. Durch den Waldbrand sind somit Stellen besiedelt worden, die vorher von diesen Arten nicht besetzt waren. Umgekehrt scheinen die alten Stöcke vielfach einzugehen, so daß durch den Brand teilweise eine lokale Umschichtung der das Unterholz bildenden Sträucher zustande kommen dürfte.

Wald und Wasserhaushalt.

Von Hans Burger.

Es gab bis in allerneueste Zeit wenig Einrichtungen, die erlaubten, Niederschlag und Abfluß eines Gebietes und damit die Wasserbilanz möglichst genau festzustellen. Die Initiative zum Bau solcher Stationen ist von den Forstleuten ausgegangen, die beabsichtigten, den Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt zu erforschen.

Die ersten derartigen Stationen wurden im Jahre 1900 im Emmental angelegt. Zehn Jahre später erstellten auch die Amerikaner in den Rocky Mountains, bei Wagon Wheel Gap, in Colorado in zwei kleinen Tälern, die sie mit A und B bezeichneten, solche Einrichtungen.

1919 berichtete Engler in seiner bekannten Mitteilung „Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer“ über die Resultate unserer Beobachtungen im Emmental. Im Supplementsband Nr. 30 der Monthly Weather Review, U. S. A., 1928, haben Beates & Henry die Ergebnisse der amerikanischen Wassermessstation veröffentlicht. Beide Publikationen tragen trotz der Gleichartigkeit des Gegenstandes so wenig gemeinsame Züge, daß es angebracht erscheint, den Ursachen dieser Tatsache etwas nachzuspüren. Dazu ist es in erster Linie notwendig, sich die fraglichen Einzugsgebiete etwas näher anzusehen.

Die Flächen der Einzugsgebiete sind nicht sehr verschieden. Der Rappengraben besitzt 70 ha, der Spergelgraben 56 ha. Das Tälchen A in den Rocky Mountains hat eine Fläche von 55 ha, das Tälchen B von 49 ha.

Die amerikanischen Gebiete liegen auf rund 3000 m Meereshöhe in den kontinentalen Rocky Mountains. Unsere beiden Täler befinden sich dagegen auf rund 1000 m über Meer im stark ozeanischen Voralpengebiet.

Die geologische Unterlage und die Bodenbildung erweisen sich als besonders beachtenswert. In beiden schweizerischen Ein-

zugsgebieten besteht die geologische Unterlage aus polygener Nagelfluh, die wassertechnisch als undurchlässig gilt. Aus dieser Süßwassermolasse entsteht ein etwas schwerer Lehm, der ohne Waldbedeckung dicht lagert, schwer durchlässig ist und großen Oberflächenwasserabfluß verursacht.

Die Unterlage der amerikanischen Einzugsgebiete besteht dagegen aus Augit-Quarz-Latit, einem Gestein, das physikalisch grobkörnig zerfällt. Die Felsunterlage ist daher an den Hängen mehr oder weniger stark überlagert von Gesteinstrümmern, wobei die Zwischenräume nur unvollkommen mit verwittertem Boden, besonders Feinerde, ausgefüllt sind. Dieser Boden ist fast vollkommen durchlässig, vermag fast alle Niederschläge sofort aufzunehmen, liefert wenig Oberflächen-, sondern beinahe ausschließlich Sicker- und Grundwasser.

Bezüglich des Klimas ist besonders auf die sehr verschiedene Niederschlagsmenge aufmerksam zu machen. In den amerikanischen Einzugsgebieten fielen im Jahresmittel 21 Zoll oder 530 mm, in den Emmentaler Tälern aber rund 1560 mm oder zirka dreimal mehr. Das Jahresmittel schwankt im Emmental von 1100—2000 mm, in den amerikanischen Tälchen nur von 430—610 mm Niederschlag. Tägliche Niederschläge von mehr als 30 mm sind in den Rocky Mountainsgebieten höchst selten, während im Emmental 70—80 mm recht oft gemessen worden sind.

Auch die Temperaturen verlaufen in den amerikanischen Gebieten gleichmäßiger als im Emmental. Etwa vom Oktober an können die Amerikaner mit Schneefall rechnen und die Schneedecke bleibt meist bis Februar oder März, worauf Schneeschmelze eintritt. Im Emmental fällt der erste bleibende Schnee meist erst im Dezember, der oft unter Föhneinfluß schon wenige Tage nachher wegschmilzt. Mit dauernder Schneebedeckung können wir höchstens in den Monaten Januar und Februar rechnen und auch in dieser Zeit treten oft längere Tauwetterperioden ein.

Die Vegetation der beiden amerikanischen Gebiete war in der ersten Beobachtungsperiode möglichst gleichartig. Unbestockt waren in Gebiet A etwa 21 %, in Tälchen B 16 %. Der vorhandene Wald war ein lichter Gebirgswald, mit rund 50 % Nadeln, die sich nach einem Waldbrand im Jahr 1885 angesiedelt haben, teilweise mit einzelnen Koniferen durchsetzt und einem Rest von Douglasien-, Fichten- und Föhrenbeständen. Im Jahr 1919 wurde das Gebiet B vollständig kahl geschlagen, das Nutzholz abtransportiert und alles Abholz 1920 verbrannt.

Unsere Emmentaler Gebiete wurden zum vornherein so ausgewählt, daß das eine Tälchen, der Sperbelgraben, möglichst vollkommene, das andere möglichst wenig Bewaldung aufwies. Der Rappengraben besitzt 35 % Fichten-, Tannen- und Buchenwald, 29 % mit Erle bestockter Weide, endlich 36 % Acker, Wiesen und offene Weide. Der Spergelgraben ist

bedeckt mit 97 % gut geschlossenen Tannen-, Fichten- und Buchenwaldes und nur 3 % offenen Landes.

Die Einrichtungen der Amerikaner sind besonders bezüglich der meteorologischen Stationen den schweizerischen weit überlegen. Ihre Stationen waren von Anfang an ausgestattet mit Thermographen, Hygrographen, Anemometern mit elektrischer Aufzeichnung, Bodenthermometern, Regenmessern, Schneepegeln, Evaporimetern und zur Kontrolle der Thermographen mit feuchten und trockenen Thermometern, ferner mit Minimum- und Maximumthermometern. Unsere Stationen besaßen anfänglich nur Regenmesser und Schneepegel und nur die beiden Hauptstationen zugleich ein gewöhnliches Stationsthermometer. Später wurden dann allerdings alle Stationen mit Thermometern ausgerüstet, die täglich dreimal abgelesen werden.

Die Amerikaner konnten ihre Beobachtungen ausführen lassen durch Beamte des Wetterbureaus und des Forstdienstes, während wir immer die zufällig an Ort und Stelle wohnenden Bauern und Hirten als Beobachter verwenden müssen, mit denen wir, besonders bei dem häufigen Wechsel, einen fortwährenden Kampf führen müssen gegen größere oder geringere Gleichgültigkeit und Verständnislosigkeit, was zum Teil allerdings mit der etwas mageren Bezahlung der Leute zusammenhängen mag.

Weiter ist zu erwähnen, daß die Amerikaner schon von Anfang an ganzjährige Messungen anstellten, was leicht dadurch möglich war, daß sie ihre kleinen Staubecken zudeckten und, wenn nötig, im Winter heizten. Bei uns wurde jahrelang beim ersten Frost der Betrieb eingestellt und oft erst im Mai wieder begonnen. Für die letzten 10 Jahre besitzen wir nun allerdings auch vollständige Beobachtungen, wobei wir genötigt waren, in längeren Frostperioden den Abfluß durch direkte Eichung zu ermitteln.

Nun zu den Resultaten. Wenn man mit den Abflußverhältnissen im Emmental vertraut ist, so erscheint es einem auffallend, wie regelmäßig der Abfluß in den amerikanischen Einzugsgebieten erfolgt. Es bereite den Autoren keine Schwierigkeiten, das Jahr in zeitliche Abflußperioden zu zerlegen. Sie unterscheiden:

- Eine Frühjahrshochwasserperiode vom 1. März bis 10. Juli,
- eine Sommerregenperiode vom 11. Juli bis 30. September,
- eine Herbst- und Winterperiode vom 1. Oktober bis Ende Februar.

Diese Abflußperioden liefern natürlich in den einzelnen Jahren verschiedene Abflußmengen, aber der Charakter der verschiedenen Jahresabflußkurven ist sehr ähnlich. Meist Ende März beginnt die Schneeschmelze und verursacht eine Hochwasserwelle, die etwa Mitte Mai ihr Maximum erreicht, bis Anfang Juli rasch abfällt, dann ziemlich langsam sinkt, bis im folgenden Frühjahr die neue Schneeschmelze einsetzt. Selbst-

verständlich vermögen Gewitter, Regentage, vorübergehend höhere Wintertemperaturen die Regelmäßigkeit etwas zu stören, aber die Ausschläge sind relativ gering.

Die Publikation von Engler zeigt im Gegenteil, daß es im Emmental schwierig war, jahreszeitliche Abflußperioden auseinander zu halten, weil Gewitter, Landregen, Trockenperioden, Tauwetter und Schneeschmelzen so unregelmäßig auftreten und so große Schwankungen im Wasserstand verursachen, daß die Abflußkurven verschiedener Jahre sehr wenig gemeinsamen Charakter aufweisen würden.

Bates & Henry melden, daß in ihren Gebieten nur 29 % des Niederschlages zum Abfluß gelangten, so lange beide Gebiete noch bestockt waren. Nach dem Kahlschlag im Gebiete B erhöhte sich das Abflußprozent auf 35 %, während es im Tälchen A bei unveränderter Vegetation gleich blieb.

Wir müssen im Emmental mit Abflußprozenten von 60—70 % rechnen, wie sich ja überhaupt die Abflußprozente der meisten unserer Schweizerflüsse zwischen 60—80 % bewegen.

Das geringe Abflußprozent der amerikanischen Einzugsgebiete läßt sich einmal erklären aus der kleineren Niederschlagsmenge, dann durch die wenig intensiven Niederschläge und durch die relativ große Sommerverdunstung. Bates & Henry nehmen an, daß vom ganzen Sommerregen vom 11. Juli bis 30. September nur etwa 3 % zum Abfluß gelangen, 97 % aber von den oberen Bodenschichten aufgesaugt werden und wieder verdunsten.

In unserem Sperbelgraben sind dagegen noch im trockensten Monat, im September 1911, 16 % des Niederschlages abgelaufen und das Abflußprozent von Mai bis Oktober 1911 betrug rund 40 %. Das minimale Abflußprozent des Rappengrabens muß sich vielleicht später eine Korrektur gefallen lassen.

Eine grundsätzliche Differenz zwischen den amerikanischen Einzugsgebieten und unseren Tälchen im Emmental liegt also darin, daß die Rocky Mountains-Bäche hauptsächlich durch Winter- und Schneeschmelzwasser gespeist werden, das je nach der Aufnahmefähigkeit und Speichereignisfähigkeit des Bodens in den Trockenzeiten rascher oder langsamer versiegt. Die Sommerniederschläge gewinnen wenig Einfluß auf den Wasserabfluß. Ausgesprochene Hochwasserwellen, wie bei uns z. B. nach Gewittern, stellen sich nicht ein oder sind wenigstens recht harmlos. Sie zeigen oft die Eigentümlichkeit einer Doppelwelle. Das Oberflächenwasser verursacht zuerst eine kurze Welle, die bald wieder abflaut und der Bach beginnt erst neu anzusteigen, wenn das Sicker- und Grundwasser nachwirkt. Die Wassermenge, die die Oberflächenwelle liefert, ist unbedeutend im Vergleich zum Abfluß aus der Grundwasserwelle.

Wenn die Winterniederschläge den Gang des Jahresabflusses beherrschen, so ist das nur möglich, wenn in den amerikanischen Einzugsgebieten der Oberboden fast vollkommen durchlässig ist. Die Nachhaltigkeit ihrer Bäche läßt sich ferner nur erklären durch die Annahme, die geologische Felsunterlage ihrer Tälchen sei mit tiefgründigen Trümmerschichten überlagert.

In unseren Emmentaler Gebieten mit wenig tiefer Bodenschicht über dem undurchlässigen Fels, bei schwerem, undurchlässigem Boden, ist einmal der Oberflächenabfluß selbst im Wald größer und die Nachwirkung der Niederschläge auf den späteren Abfluß ist auf einige Monate beschränkt. Daher rühren auch unsere öfteren gefährlichen Hochwasserwellen bei Gewittern, Landregen, raschen Schneeschmelzen usw. Hier liegt auch die Erklärung für unsere niederen Wasserstände schon relativ kurze Zeit nach der Schneeschmelze oder nach längeren Regenperioden, namentlich aber nach niederschlagsreichen Gewittern, wenn eine Trockenperiode nachfolgt.

Das amerikanische Gebiet A zeigte während der ganzen Beobachtungszeit gleichartige Abflußverhältnisse. Im Tälchen B waren die Verhältnisse vor dem Kahlschlag fast gleich wie im Gebiet A. Nach dem Kahlschlag lieferte das nackte Einzugsgebiet B den Beginn der Schneeschmelzeflut 12 Tage früher, der maximale Wasserstand betrug 50 % mehr und die totale Abflußmenge vom 1. März bis 10. Juli stieg um rund 20 %. Auch Sommer- und Winterabfluß wurden durch den Kahlschlag erhöht.

Daß die Schneeschmelzhochwasserwelle im fahlen Gebiet rascher eintritt und einen bedeutend höheren maximalen Stand erreicht als im bewaldeten Tälchen, ist ein Resultat, das vollkommen mit unseren Emmentaler Versuchen übereinstimmt. Was uns an den amerikanischen Resultaten auf den ersten Blick etwas befremdet, ist die Tatsache, daß der Kahlschlag die minimalen Wasserstände nicht herunterdrückte, sondern verbesserte.

Die Amerikaner geben dafür folgende Erklärung. Im bewaldeten Gebiet bleibt im Winter ein großer Teil des Schnees an den Baumkronen hängen. Die verdunstende Oberfläche wird dadurch viel größer, als wenn der Schnee in dicker Schicht auf dem Boden liegt. Im fahlen Gebiet ist deshalb die Winterverdunstung kleiner, es gelangt bei der Schneeschmelze mehr Wasser in den Boden und dieses Mehr an Sickerwasser wirke erhöhend auf die Frühjahrsflut, den Sommerabfluß und Winterabfluß bis zur nächsten Schneeschmelze.

Dem Wasserverbrauch des Waldes durch Transpiration im Sommer messen die Amerikaner wie Engler keinen großen Einfluß auf den Wasserabfluß bei, indem sie übereinstimmend wahrscheinlich machen, die Tran-

spiration des Waldes werde reichlich ausgeglichen durch die höhere Verdunstung aus dem kahlen Boden.

Was uns die amerikanischen Abflußexperimente besonders im Vergleich mit der Publikation Englers zeigen, ist, was ich schon im Vortragszyklus März 1928, ohne Kenntnis der amerikanischen Resultate, besonders hervorhob, daß wir Erfahrungen aus einem Abflußgebiet nicht auf andere kritiklos übertragen dürfen und daß der Wald je nach Klima, geologischer Unterlage und Bodenverhältnissen einen ganz verschiedenen Einfluß auf den Wasserabfluß ausüben könne.

Die amerikanischen Einzugsgebiete bilden nun verglichen mit den Emmentaler Tälchen recht extreme Gegensätze. In den Rocky Mountains haben wir ausgesprochen kontinentalen Klimacharakter, geringe Niederschläge und ausgesprochene Jahreszeitperioden mit schneereichen Wintern und trockenen Sommern. Dazu kommt eine fast vollkommen durchlässige Bodenoberfläche, ein dadurch bedingter minimaler Oberflächenabfluß und große, die Hänge bedeckende Schuttlager, die ideale Wasserspeicher darstellen.

Im Emmental finden wir im Gegensatz dazu ein ausgesprochen ozeanisches Klima, dreimal höhere und intensivere Niederschläge, sehr veränderliches Wetter mit viel Nebel und wenig beständigen Wintern. Der Boden ist durchschnittlich an der Oberfläche stark verschlossen, ganz besonders auf der Weide, bedingt deshalb viel oberflächlichen Abfluß, und der Boden ist ferner nur mäßig tiefgründig, die Wasserspeicherungsmöglichkeit infolgedessen relativ gering.

Wie kann und muß in diesen Fällen nach unseren heutigen Erkenntnissen der Wald auf den Wasserabfluß wirken? Was wir heute sicher wissen, ist, daß der Wald in der Hauptsache nur durch den Boden einwirken kann. Unsicher sind wir noch über den Einfluß, den ein Wald ausüben kann durch Veränderung der Niederschläge und durch seine Transpiration.

Wir können nach allen Erfahrungen durch Bewaldung das Klima eines Einzugsgebietes nur unmerklich verändern. Wir haben gar keinen Einfluß auf die geologische Unterlage eines Gebietes. Auch die Gründigkeit des Bodens und damit sein Wasserspeichungsvermögen können wir durch Bewaldung nur auf sehr weite Sicht vergrößern. Unsere Bodenuntersuchungen beweisen aber sicher, daß wir durch eine naturgemäße Wiederbewaldung verdichtete Weideoberböden soweit auflodern können und eine solche Durchlässigkeit erreichen, daß wenigstens die maximal für einen gegebenen Boden mögliche Wasserspeicherung und -Regulierung gesichert ist. Unter natürlicher, ungenutzter Gras- und Krautvegetation ist der Boden allgemein locker. Verhärtet und undurchlässig wird er erst, wenn das Gras regelmäßig gemäht oder gar geweidet wird. Einmal

verändert sich dabei die Vegetation und sodann verhärtet der Tritt des Viehes die Bodenoberfläche in weitgehendem Maße.

Allgemein wirkt also der Wald so lange günstig auf den Ausgleich des Wasserabflusses, als durch seine Anwesenheit das Oberflächenwasser vermindert wird. Seine Wirkung ist größer, wenn der Boden tiefgründig ist oder auf durchlässigem Untergrund lagert. Die Wirkung muß im Gegenteil um so unvollkommener sein, je flachgründiger der Boden und je undurchlässiger der Untergrund ist.

Handelt es sich um Böden, wie grobkörnige Schutthalden usw., die schon an sich jeden eintretenden Niederschlag und jedes Schmelzwasser ohne oberflächlichen Abfluß in sich aufnehmen können und unterirdisch ableiten, so verliert die Waldbestockung einen Teil ihrer Bedeutung als Wasserregulator, wie das eben bei den Einzugsgebieten der amerikanischen Wassermessstationen der Fall ist.

Auch hier aber wirkt der Wald noch sehr günstig auf die Verminderung der maximalen Frühjahrschneeschnelzenflut, indem er die Schneeschmelze infolge Beschattung allgemein verzögert. Bei schon an sich vollkommen durchlässigen Böden kann aber die Bestockung bei geringer Niederschlagshöhe eventuell ungünstig auf die Niederwasserstände einwirken. Sowohl der Wasserverbrauch durch Transpiration als auch das Zurückhalten eines Teiles der Niederschläge durch die Baumkronen macht sich relativ um so stärker geltend, je kleiner die jährliche Niederschlagsmenge eines Gebietes ist.

Worin die amerikanischen mit den schweizerischen Untersuchungen wiederum vollständig übereinstimmen, das sind die Ergebnisse über den Einfluß der Bestockung auf die Schuttlieferungen. Das Einzugsgebiet B lieferte nach dem Kahlschlag sieben bis achtmal mehr Schutt als vor demselben, während die Sinkstoffmenge im unveränderten Gebiet A konstant blieb. Ein großes Experiment in Utah von 1915—1919 ergab für feinen Kalkleimboden bei nur 18 % der Fläche mit Vegetation bestockt drei- bis viermal mehr Sinkstoffe als bei einer Bedeckung mit 44 % Vegetation. Eine weitere Untersuchung in Missouri mit lehmigem, landwirtschaftlichem Boden führte zu folgendem Resultat: Ein Einzugsgebiet mit voller Blaugrassbestockung lieferte im Abflußwasser mehr als 100mal weniger Sinkstoffe als unbebauter Acker.

Die amerikanischen Untersuchungen zwingen uns also keineswegs, unsere heutigen Anschauungen über die Rolle des Waldes im Wasserhaushalt zu ändern. Sie zeigen uns aber anderseits bestimmt, mit welcher Vorsicht man Erfahrungszahlen eines Einzugsgebietes auf andere anwenden muß. Sie beweisen auch die Notwendigkeit, ähnliche Versuche unter anderen Bedingungen zu wiederholen, aber nur, wenn sie mit den vollkommensten Einrichtungen einwandfrei ausgeführt werden können.
