

Überraschende Erkenntnisse über den Wasserkreislauf im Wald

Im Waldlabor Zürich werden seit fast fünf Jahren die komplexen Prozesse entlang des Wasserkreislaufs im Wald erforscht, erste Forschungsergebnisse bieten einige teils überraschende Erkenntnisse: Wie wichtig sind Winterniederschläge für den Wasserhaushalt von Wäldern? Welche Rolle spielen Streu und Totholz im Wasserkreislauf? Können tiefere Wurzeln den Wassermangel in oberflächennahen Bodenschichten in Trockenperioden kompensieren?

Marius Floriancic

Der Wasserhaushalt von Wäldern wird angesichts der zunehmenden Häufigkeit langanhaltender Trockenperioden, auch in der Schweiz, immer wichtiger. Die aussergewöhnlich trockenen Sommer der Jahre 2003, 2018 und 2022 führten teilweise zu erheblichen Beeinträchtigungen der Wälder. Da solche extremen Klimabedingungen durch den Klimawandel wahrscheinlicher werden, erforschen wir im Waldlabor Zürich am Hönggerberg die Auswirkungen von Wasserknappheit auf den Wald in einem gross angelegten Monitoring und mit Experimenten rund um die Quantifizierung der wesentlichen Komponenten des Wasserkreislaufs im Wald.

Die Bäume im Waldlabor sind zum Grossteil auf Winterniederschläge angewiesen

Während sich in den letzten Jahrzehnten die Niederschlagsmengen kaum verändert haben, hat bedingt durch die höheren Temperaturen vor allem der Wasserbedarf der Atmosphäre sehr stark zugenommen. Das bedeutet, dass der Anteil an Niederschlag, der verdunstet, immer höher wird und weniger Wasser im Boden, Grundwasser und den Oberflächengewässern verfügbar ist. Hinzu kommt, dass der erhöhte Wasserbedarf der Atmosphäre (oder das Wasserdampfdruckdefizit) den Trockenstress von Bäumen erhöht und vor allem in längeren Perioden ohne Niederschläge den Bäumen hydraulische Schäden zufügen kann. Im Speziellen in der Sommerhälfte des Jahres (April bis September) verdunstet der Grossteil

des Niederschlags wieder zurück in die Atmosphäre, nur geringe Mengen an Wasser können im Boden zwischengespeichert werden und sind verfügbar für die Waldbäume. Deshalb ist speziell die Speicherung von Winterniederschlägen entscheidend für den Wasserhaushalt von Wäldern.

Das konnten wir auch im Rahmen unserer Forschungen im Waldlabor für Fichten und Buchen nachweisen. Baumwasser und Transpiration bestehen – das ganze Jahr über – zu einem Grossteil aus Winterniederschlägen. Durch die Analyse der Zusammensetzung des Wassers (im Speziellen über stabile Wasserisotope – Bestandteile des Wassermoleküls, die eindeutige Signaturen aufweisen, vergleichbar mit einem «Fingerabdruck» des Wassers) kann herausgefunden werden, ob die Fichten und Buchen im Waldlabor eher Winter- oder Sommerniederschläge zur Transpiration im Sommer verwenden (Abb. 1). Dies wurde über drei Jahre in Hunderten Proben analysiert – die Antwort ist eindeutig – der Grossteil des Wassers, das Buchen und Fichten in den Sommermonaten verwendeten, stammt aus Niederschlägen aus dem Winter, und das obwohl im Sommerhalbjahr eigentlich mehr Niederschläge fallen als im Winterhalbjahr.

Böden, Streu und Totholz speichern eine grosse Menge an Niederschlag

Der Grossteil des von den Bäumen im Waldlabor aufgenommenen Wassers stammt also aus Nieder-

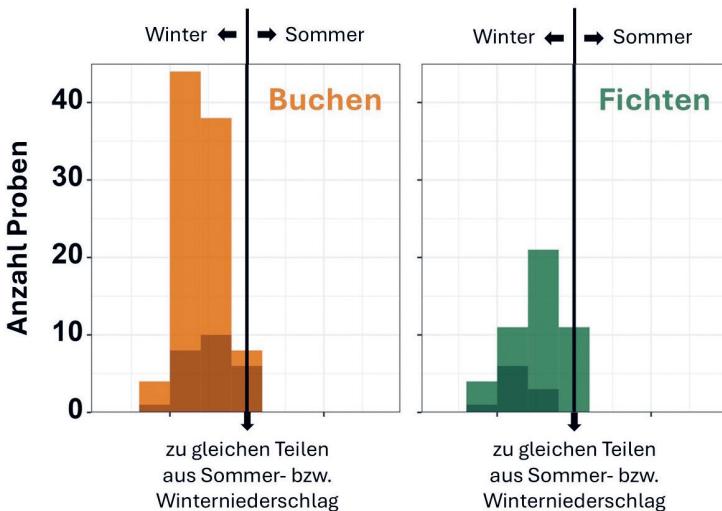


Abb. 1: Analyse der saisonalen Herkunft des Baumwassers von Buchen (links) und Fichten (rechts). Die schwarze Linie bedeutet, dass die Baumwasserprobe zu gleichen Teilen aus Sommer bzw. Winterniederschlag besteht, in allen Proben links der Linie findet sich mehr Winterniederschlag, in allen Proben rechts der Linie findet sich mehr Sommerniederschlag. Die meisten Proben von Buchen und Fichten im Sommer aus dem Waldlabor weisen einen grösseren Anteil an Winterniederschlägen auf. Buchen und Fichten verdunsten im Sommer also zum Grossteil Niederschläge aus dem vorangegangenen Winter.

(Abbildung modifiziert aus Floriancic et al. 2024¹)

schlägen in der Winterhälfte (Oktober bis März) des Jahres. Aus diesem Grund ist die effiziente Speicherung von Winterwasser im Boden essenziell, damit unsere Wälder auch längere Trockenperioden besser überstehen können. Um die Speicherkapazität von Waldböden zu erhöhen, ist es notwendig, so viel organisches Material wie möglich im Wald zu behalten. Damit wird der Bodenbildungsprozess optimal unterstützt. Dies hat nebenbei noch den nicht unwesentlichen, positiven Nebeneffekt, dass wir CO₂ im Boden eine Zeit lang binden und zwischenspeichern können.

Streu und Totholz spielen also eine wichtige Rolle im Bodenaufbau und tragen gleichzeitig wesentlich zum Wasserkreislauf im Wald bei. Unsere Forschungen zeigen, dass etwa 20 % des Jahresniederschlags in den Baumkronen zurückgehalten und direkt wieder in die Atmosphäre verdunstet werden. Weitere 40 % fliessen nach Wochen, Mo-

naten oder sogar Jahren als Oberflächenwasser in den «Holderbach» ab. In zahlreichen Feldversuchen und Laboranalysen konnte außerdem herausgefunden werden, dass rund 18 % des Niederschlags in der Streuschicht und dem Totholz am Waldboden gespeichert und ebenfalls an die Atmosphäre abgegeben werden (Abb. 2). Das ist bemerkenswert, da die absoluten Speicherkapazitäten in dieser Schicht eigentlich sehr klein sind (im Bereich weniger mm), jedoch muss jeder Regentropfen auf dem Weg in den Boden zuerst diese Streuschicht durchfliessen. Besonders im Sommer, wenn die Verdunstungsraten hoch sind, erreicht also nur ein kleiner Teil des Niederschlags tatsächlich den Waldboden und steht den Bäumen direkt zur Verfügung. Trotzdem leistet das in Streu und Totholz zwischen gespeicherte Wasser einen bedeutenden Beitrag für das Waldklima: Es sorgt bei geschlossenem Kronendach für ein feuchtes Mikroklima, senkt den atmo-

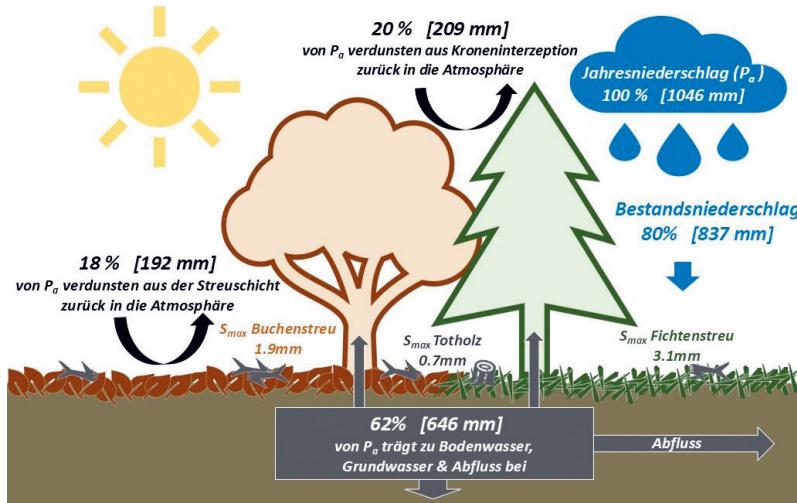


Abb. 2: Untersuchungen an der Versuchsfläche im Waldlabor zeigen, dass etwa 18 % vom Jahresniederschlag in der Streu und im Totholz zurückgehalten werden. Dieses Wasser ist wesentlich für das Mikroklima im Wald, verringert das Wasserdampfdruckdefizit und hilft den Waldbäumen, Trockenperioden besser zu überstehen.

(Abbildung modifiziert aus Florianic et al. 2022²)

sphärischen Wasserbedarf und hilft den Bäumen, Hitzetage besser zu überstehen. Böden und organisches Material auf dem Waldboden sind daher entscheidende Elemente, um Wasser in unseren Wäldern zu speichern. Im Hinblick auf zukünftige Trockenperioden sollten sie entsprechend sorgfältig bewirtschaftet werden.

Tiefe Wurzeln helfen den Bäumen über Trockenperioden

Wir haben an unserem Versuchsstandort im Waldlabor auch genauer untersucht, inwieweit die Bäume ihre Wasseraufnahmetiefe bei zunehmender Trockenheit verändern. Um Saftfluss- und Dendrometer-Sensoren an flacheren und tieferen Wurzeln zu installieren, haben wir den Wurzelraum von Fichten und Buchen freigelegt. Saftflusssensoren messen die Wassermenge, die durch den Stamm fliesst, und Dendrometer zeichnen kontinuierlich Veränderungen im Durchmesser der Wurzeln auf. Die Wurzeln schrumpfen tagsüber und dehnen sich nachts bei

Wassersättigung wieder aus. Leidet der Baum unter Trockenheit, kann der Wasserspeicher in der Nacht nicht vollends aufgefüllt werden, was sehr gut in den Dendrometer-Messungen ersichtlich ist, da bei Trockenheit der Ausgansdurchmesser nicht mehr erreicht wird. Seit bereits drei Jahren messen wir so die Wasserflüsse in Wurzeln und im Stamm von Buchen und Fichten.

Erste Analysen zeigen, dass der Saftfluss in den flachen Wurzeln mit zunehmender Trockenheit im Boden abnimmt (Abb. 3). Sobald der Boden auszutrocknen beginnt, können also die flacher liegenden Wurzeln nicht mehr mit voller Kapazität Wasser aufnehmen. In den tieferen Wurzeln bleibt der Saftfluss jedoch annähernd konstant, auch wenn der Oberboden auszutrocknen beginnt. Daraus können wir schlussen, dass tiefere Wurzeln die Transpiration in Trockenperioden unterstützen und den Bäumen helfen, Trockenperioden besser zu überstehen. Allerdings nimmt auch der Saftfluss im Stamm bei zunehmender Trockenheit im Boden ab. Das bedeutet,

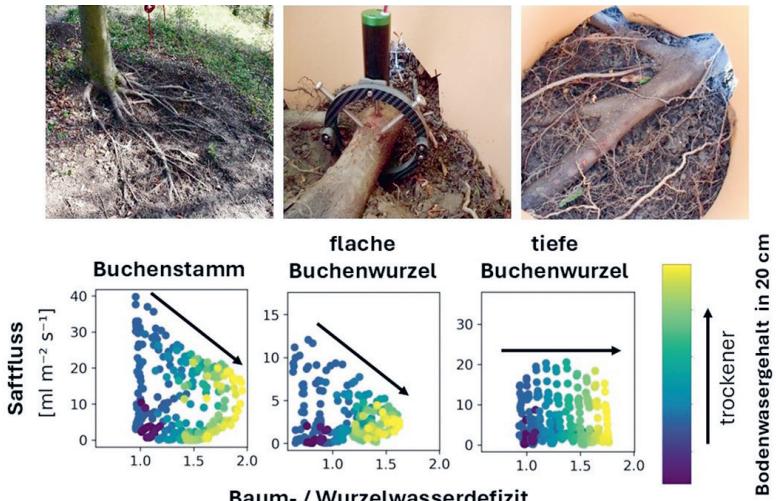


Abb. 3: Bilder der freigelegten und mit Sensoren bestückten Buchenwurzeln (oben) und Saftflussmessungen an Buchenstamm, flachgründiger Buchenwurzel und tieferer Buchenwurzel (unten). Analysen zeigen, dass der Saftfluss in der flachen Buchenwurzel bei zunehmender Trockenheit im Boden auf 20 cm abnimmt, auch der Saftfluss im Buchenstamm nimmt mit zunehmender Trockenheit ab, in der tiefen Buchenwurzel bleibt der Saftfluss jedoch annähernd konstant.

(Abbildung modifiziert aus Martinetti et al. 2025³)

dass der Baum unter Trockenstress leidet, sobald nicht mehr alle Wurzeln mit voller Kapazität Wasser aufnehmen können. Der Baum muss also die Photosynthese und den Wasserverbrauch reduzieren, um keine hydraulischen Schäden zu erleiden.

Das Waldlabor Zürich bietet dank seiner Nähe zum Campus Hönggerberg der ETH Zürich ausgezeichnete Möglichkeiten, die Prozesse entlang des Wasserkreislaufs im Wald besser zu erforschen. So können wichtige Erkenntnisse erlangt werden, um die Resilienz und Wirtschaftlichkeit der Schweizerischen Wälder in Zeiten sich schnell verändernder Umweltbedingungen sicherzustellen.

Dr. Marius Floriancic ist Leiter des ökohydrologischen Experiments im Waldlabor Zürich. Er erforscht und lehrt am Institut für Umweltingenieurwissenschaften der ETH Zürich im Fachbereich Hydrologie die Prozesse entlang des Wasserkreislaufs.

Weiterführende Links und Informationen

Waldlabor Zürich – www.waldlabor.ch

Monitoring des Wasserkreislaufs – <https://hyd.ifu.ethz.ch/ecohydrab/waldbat.html>

Literaturverweise

1. Floriancic MG, Allen ST & Kirchner JW 2024 Iso-topic evidence for seasonal water sources in tree xylem and forest soils; *Ecohydrology*; <https://doi.org/10.1002/eco.2641>
2. Floriancic MG, Allen ST, Meier R, Truniger L, Kirchner JW & Molnar P 2022 Potential for significant precipitation cycling by forest-floor litter and deadwood; *Ecohydrology*; <https://doi.org/10.1002/eco.2493>
3. Martinetti S, Carminati A, Molnar P & Floriancic MG (2025) Contrasting the soil–plant hydraulics of beech and spruce by linking root water uptake to transpiration dynamics; *Tree Physiology*; <https://doi.org/10.1093/treephys/tpae158>