

# Was haben Baumkronen mit dem Grundwasser zu tun?

*Theresa Blume, Lisa Schneider, Andreas Güntner, Markus Morgner, Jörg Wummel  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*

Der Kronendurchlass, d. h. der Anteil des Niederschlags, der durch das Kronendach des Waldes dringt, wird stark von der Art des Niederschlags und den Eigenschaften des Waldbestands beeinflusst. Das komplexe Zusammenspiel dieser Faktoren inklusive ihrer jahreszeitlichen Veränderungen zu entschlüsseln, ist eine große wissenschaftliche Herausforderung und nur mit langjährigem Monitoring in verschiedenen Waldbeständen möglich. Das Langzeit-Umweltobservatorium TERENO Nord-Ost zur Erforschung der regionalen Auswirkungen des Globalen Wandels liefert hierfür ideale Voraussetzungen.

**N**ordostdeutschland ist aufgrund der geringen Niederschläge durch den Klimawandel besonders gefährdet. Da die Landschaft in großen Teilen von Wald geprägt ist, ist ein besseres Verständnis für die Rolle des Waldes im Kontext des Landschaftswasserhaushalts wichtig. Im Hinblick auf ein nachhaltiges Landschaftsmanagement sind hier insbesondere auch vergleichende Studien unterschiedlicher Baumarten und Waldbestände von hoher Bedeutung.

Wäldern kommt innerhalb des Wasserkreislaufs eine besondere Rolle zu. Sie verringern den Oberflächenabfluss, also das Abfließen des Niederschlags direkt auf der Bodenoberfläche, über drei unterschiedliche Prozesse: a) Hohe Wasseraufnahme- und Speicherfähigkeit der Waldböden, b) Wasseraufnahme durch die Bäume und c) Speicherung von Niederschlagswasser im Kronendach sowie direkte Rückführung in die Atmosphäre durch Verdunstung. Eine Verringerung des Oberflächenabflusses ist meist

## Kernaussagen

- Nordostdeutschland ist aufgrund der geringen Niederschläge durch den Klimawandel besonders gefährdet. Schon jetzt fallen die Grundwasserspiegel in der Region.
- Grundwasserneubildung findet hier hauptsächlich im Winter statt, da im Sommer die Vegetation das wenige verfügbare Regenwasser, das durch das Blätterdach bis zum Boden vordringt, sofort wieder aufnimmt.
- Laubwälder ermöglichen mehr Grundwasserneubildung durch erhöhten Kronendurchlass im Winter.

positiv zu sehen, weil dadurch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Hochwassern verringert wird, aber auch Erosion und Schadstoffeintrag in die Gewässer. Außerdem wird im Gegenzug meist mehr Wasser in der Landschaft gespeichert, welches dann über längere Zeit für Mensch und Natur zur Verfügung steht. Allerdings führen insbesondere die Speicherung von Niederschlagswasser im Kronendach (die sogenannte Interzeption) und anschließende direkte Verdunstung dazu, dass weniger Wasser

überhaupt den Bodenspeicher erreicht. Das Vegetationsdach wirkt wie ein Filter und verändert die Menge, die räumlichen Muster und die Dynamik des Niederschlags. In bewaldeten Regionen, in denen Wasser manchmal knapp ist, ist es besonders wichtig zu verstehen, wie verschiedene Waldbestände den dringend benötigten Niederschlagsinput beeinflussen und verringern, da dieser Input einerseits für die Wasserversorgung der Bäume und andererseits für die Grundwasserneubildung relevant ist.



Abb. 1: Durch das dichte Kronendach im Sommer wird ein Teil des Regens zurückgehalten und verdunstet anschließend. (Foto: GFZ)

Der Verlust des Niederschlagsinputs durch Interzeption ist daher über alle Jahreszeiten hinweg von Bedeutung: In vielen Regionen sind Bäume weitgehend auf Wasser aus der ungesättigten Zone (dem Boden) angewiesen und somit während der Vegetationsperiode abhängig von Niederschlägen, während die Grundwasserneubildung oft nur im Winter erfolgt. Im Sommer kommt das Wasser durch erhöhte Interzeption, Verdunstung und Wurzelwasseraufnahme gar nicht erst im Grundwasser an.

Der Nordosten Deutschlands ist in den letzten Jahrzehnten mit sinkenden Grundwasserspiegeln konfrontiert (Germer et al., 2011; Heinrich et al., 2018). Hinzu kommt, dass eine Reihe von Dürren in den letzten Jahren sowohl die Landwirtschaft als auch die Wälder stark beeinträchtigt hat. Aber selbst im langjährigen Mittel der Jahre 1960 bis 1991 ist die klimatische Wasserbilanz Nordostdeutschlands negativ (DWD<sup>1</sup>). Diese Bilanz errechnet sich als Differenz aus Niederschlagsmenge und Referenzverdunstung. Eine negative Wasserbilanz bedeutet, dass potenziell mehr Wasser verdunstet, als Niederschlag verfügbar ist.

Klimaprojektionen deuten darauf hin, dass sich die jährliche Niederschlagsverteilung und -intensität wahrscheinlich ändern wird: trockenere Sommer, längere Perioden ohne Regen, etwas feuchtere Winter, mehr Niederschläge hoher Intensität (Kunz et al., 2017). Da in vielen

Regionen der Welt ähnliche Veränderungen erwartet werden, ist es unerlässlich, besser zu verstehen, welche Waldbestände am widerstandsfähigsten gegenüber diesen veränderten Bedingungen sind, aber auch, wie die Waldbewirtschaftung, einschließlich der Wahl der Baumarten, den Wasserhaushalt des Waldes beeinflusst.

Der Kronendurchlass wird von einer Reihe verschiedener Faktoren beeinflusst: einerseits Merkmale des Waldbestands, wie Bestandsdichte, Baumkronen und Baumarten, andererseits von den Niederschlagseigenschaften sowie den meteorologischen Bedingungen. Niederschlagseigenschaften sind hier z. B. die Gesamtmenge des Regens über das jeweilige gesamte Regenereignis und auch die Stärke des Regens, also wie viele Liter Regen pro Stunde fallen. Hier wirken sich die Starkregen bei Gewitter anders aus als Nieselregen. Darüber hinaus sind jahreszeitliche Einflüsse zu berücksichtigen, was eine Veränderung der Niederschlagseigenschaften, aber auch eine Veränderung der Baumkronen durch den herbstlichen Laubfall bedeuten kann. Voll belaubte Kronendächer von Laubbäumen und der Boden darunter weisen ein unterschiedliches Speicherverhalten auf als nackte Baumkronen im Winter. Der Blattflächenindex wird häufig zur Beschreibung von Waldbeständen herangezogen. Dieser Index beschreibt, wieviel Blattfläche sich oberhalb eines Quadratmeters Bodenfläche befindet. Da sich

die Blätter und Zweige eines Kronendachs oft in verschiedenen Höhen im Baum gegenseitig überlagern, kann der Blattflächenindex (oder auf Englisch Leaf Area Index = LAI) in vielen Fällen größer als 1 sein. In den von uns untersuchten Waldbeständen in Nordostdeutschland liegt er zwischen 2 und 7. Der LAI ändert sich in Laub- oder Mischwaldbeständen mit den Jahreszeiten. Da die holzigen Anteile der Kronen und die Baumblätter als Komponenten des LAI wahrscheinlich unterschiedliche Auswirkungen auf den Kronendurchlass haben, vergleichen wir speziell zwei Standorte, an denen der LAI über die Jahreszeiten hinweg mehr oder weniger konstant bleibt (zwei Kiefernbestände unterschiedlichen Alters), mit zwei reinen Laubwald- und zwei Mischwaldstandorten. Wir konzentrieren uns insbesondere auf die folgenden Forschungsfragen: a) Wie hängt der Kronendurchlass von den Niederschlagseigenschaften ab und welche Unterschiede gibt es dabei zwischen verschiedenen Waldbeständen? b) Wie unterscheidet sich die Saisonalität des Kronendurchlasses zwischen den Waldbeständen? c) Könnte es Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung geben?

## Untersuchungsgebiet TERENO Nord-Ost

Das Untersuchungsgebiet direkt am Ufer des Hinnensees liegt im Müritz-Nationalpark (Teilgebiet Serrahn) im Nordosten



Kontakt: Theresa Blume  
(theresa.blume@gfz-potsdam.de)

<sup>1</sup> <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimakartendeutschland/klimakartendeutschland.html>

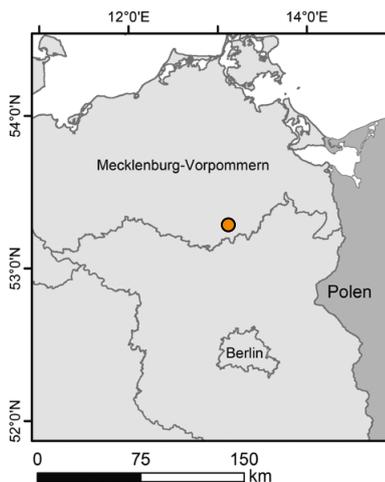


Abb. 2: Lage und Karte des Untersuchungsgebiets



Abb. 3: Rinnensystem für die Messung des Kronendurchlasses und experimentelles Design mit fünf Rinnensystemen bestehend aus je drei Rinnen (Foto: GFZ)

Deutschlands (53°18'N, 13°9'E). Es ist Teil des vom Deutschen GeoForschungs-Zentrum GFZ koordinierten Langzeit-Umweltobservatoriums TERENO Nord-Ost<sup>2</sup>, das zur interdisziplinären Erforschung der regionalen Auswirkungen des Klima- und Landnutzungswandels eingerichtet wurde (Heinrich et al., 2018). Die Landschaft wird von Seen sowie Laub-, Kiefern- und Mischwäldern beherrscht. Der mittlere Jahresniederschlag liegt bei 629 mm (1950 bis 2019; Klimastation „Serahn“; DWD, 2019) und die mittlere Jahrestemperatur bei 8,7 °C (2005 bis 2019; Klimastation „Feldberg/Mecklenburg“).

### Regenrinnen als Messgeräte

Unser Messdesign umfasst Messstellen in sechs benachbarten Waldbeständen (Abb. 2). Die Messplots befinden sich in drei artenreinen Beständen aus junger Kiefer (Alter rund 35 Jahre), Kiefer (70 Jahre) und Buche (135 Jahre) sowie in drei Mischbeständen mit einer Altersmischung zwischen 100 und 170 Jahren. Der Kronendurchlass wird hier mit Rinnensystemen aufgefangen (Abb. 3). Jeweils drei Rinnen leiten das aufgefangene Wasser in eine gemeinsame Messvorrichtung. Um der räumlichen Varia-

bilität innerhalb jeder Parzelle Rechnung zu tragen, wurden fünf dieser Rinnensysteme nach dem Zufallsprinzip innerhalb des Waldbestands verteilt. Die gesamte Auffangfläche der fünf Rinnensysteme pro Standort beträgt 6,6 m<sup>2</sup>. Die Niederschlagsmenge außerhalb des Waldes wurde auf einer nahegelegenen, grasbewachsenen Lichtung mit einem Durchmesser von etwa 40 m gemessen. Beginn und Ende der belaubten und unbelaubten Periode wurden mit Hilfe von automatisiert aufgenommenen Kamerabildern bestimmt.

Für die Kronendurchlassanalysen wurden nur Ereignisse herangezogen, bei denen mindestens vier der fünf Rinnensysteme pro Standort für alle Waldbestände zuverlässige Daten lieferten (d. h. Ereignisse, die an allen Standorten parallel gemessen wurden). Ereignisse, die durch Schnee beeinflusst waren, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Für jedes Niederschlagsereignis wurde der Kronendurchlass-Anteil berechnet, das heißt der Anteil des Niederschlags, der durch die Kronen fällt und den Boden erreicht (Abb. 4).

### Kronendurchlass im Wandel der Jahreszeiten

Zum besseren Verständnis der meteorologischen Randbedingungen wurden zunächst die Eigenschaften der Regenereignisse auf Grundlage von 346 Ereignissen genauer betrachtet. Im Sommer fanden mehr Ereignisse mit hohen Niederschlagsintensitäten statt (Abb. 5). Hohe Intensitäten sind hier oft auf Gewitter zurückzuführen. Insgesamt dominieren jedoch Ereignisse mit geringen Gesamtmengen (weniger als 5 mm, das heißt weniger als 5 Liter pro Quadratmeter Bodenfläche) und geringen Intensitäten (Abb. 5). Die Niederschlagsintensitäten werden in Millimetern pro Stunde (mm/h) angegeben.

Betrachtet man den mittleren Anteil des Kronendurchlasses pro Regenereignis (Abb. 6), wird deutlich, dass der Kronendurchlass im Sommer und Winter für die beiden reinen Kiefernstandorte keine Unterschiede aufweist. Dies entspricht der Tatsache, dass die Kiefern auch im Winter ein ähnlich dichtes Kronendach haben wie im Sommer. Dagegen gibt es bei den reinen Laubwäldern und den Mischwäldern im Sommer eine starke Reduzierung des Kronendurchlasses.

<sup>2</sup> Die Helmholtz-Gemeinschaft betreibt insgesamt vier TERENO-Observatorien (engl. TERrestrial ENVIRONMENTAL Observatories), in denen die Auswirkungen des Globalen Wandels auf terrestrische Ökosysteme in Deutschland erforscht werden ([www.tereno.net](http://www.tereno.net))

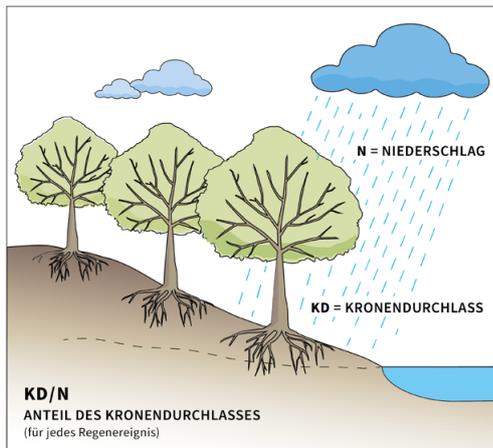


Abb. 4: Berechnung des Kronendurchlass-Anteils (Grafik: T. Blume/P. Klinghammer, GFZ)

Im Sommer erreichen im Mittel nur 28 bis 43 % des Niederschlags den Boden. Im Winter sind es zwischen 33 (bei den jungen Kiefern) und 56 % (bei den Buchen). Hier haben die beiden reinen Laubbestände deutlich mehr Kronendurchlass als die beiden reinen Kiefernbestände.

Wieviel Regen durch das Kronendach abgefangen wird, hängt jedoch auch von der Stärke des Regens, also seiner Intensität ab. Im Sommer werden z. B. Nieselregen mit einer Intensität von weniger als 0,5 mm/h im dichten Kronendach der Buchen fast komplett zurückgehalten (Abb. 7). Dies ist im jungen Kiefernwald nicht der Fall. Auch im Winter werden die Nieselregen-Ereignisse noch zu großen Teilen selbst in der blattlosen Krone der Buchen zurückgehalten, der Kronendurchlass liegt hier im Median bei 25 %, bei den jungen Kiefern jedoch weiterhin deutlich darunter, ähnlich wie im Sommer. Bei höheren Niederschlagsintensitäten steigt der Kronendurchlass bei den Buchen im Winter auf rund 75 %, während die Werte für die jungen Kiefern z. T. noch unter 50 % liegen (Abb. 7). Im Vergleich über alle Standorte gibt es im Winter für alle Ereignisse mit Intensitäten geringer als 6 mm/h einen Zusammenhang zum LAI, dem Blattflächenindex (das Maß für die Dichte des Kronendachs). Im Sommer da-

gegen ist dies nur für die Ereignisse mit geringen Intensitäten zwischen 0,5 und 2 mm/h der Fall. Der Grund dafür ist wahrscheinlich, dass im Sommer die Blätter der Laubbäume bei Starkregen weniger effektiv als Rückhalt wirksam sind, da sie durch die Stärke des Regens in Bewegung geraten und der aufliegende Wasserfilm abtropft. Dies ist bei den Nadeln der Kiefern und bei den kahlen Zweigen der Laubbäume im Winter weniger stark ausgeprägt.

Ein Vergleich der Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Kronendurchlasses für beide Jahreszeiten über alle Waldbestände macht ebenso deutliche Unterschiede zwischen den reinen Laub- und Nadelwäldern sichtbar. Bei den Laub- und Mischwäldern gibt es im Sommer ein deutliches Maximum bei den sehr geringen Durchlassanteilen und ein zweites, niedrigeres Maximum bei hohen Anteilen; die Verteilungen unterscheiden

sich deutlich von denen der Winter-Ereignisse (Abb. 8). Für die beiden Kiefernwälder ist dies nicht der Fall. Im Winter haben die beiden reinen Laubwälder dagegen ihr Maximum bei den höheren Durchlasswerten. Bei den Mischwäldern ähneln die Verteilungen im Sommer denen der Laubwälder, aber das Wintermaximum bei hohen Kronendurchlassanteilen ist viel weniger ausgeprägt. Stattdessen ähnelt ihre Winterverteilung aufgrund der beigemischten Kiefern sehr viel mehr der Verteilung der Kiefernbestände (Abb. 8). Das liegt daran, dass im Sommer das Kronendach der Mischwälder durch die Blätter der Laubbäume dominiert wird, während hier im Winter die Kiefernadeln im Vergleich zu den blattlosen Zweigen der Laubbäume eine größere Speicherwirkung haben.

Die jährlichen Schwankungen des Grundwasserstands im Messgebiet (Abb. 9) zeigen, dass der Grundwasserstand über

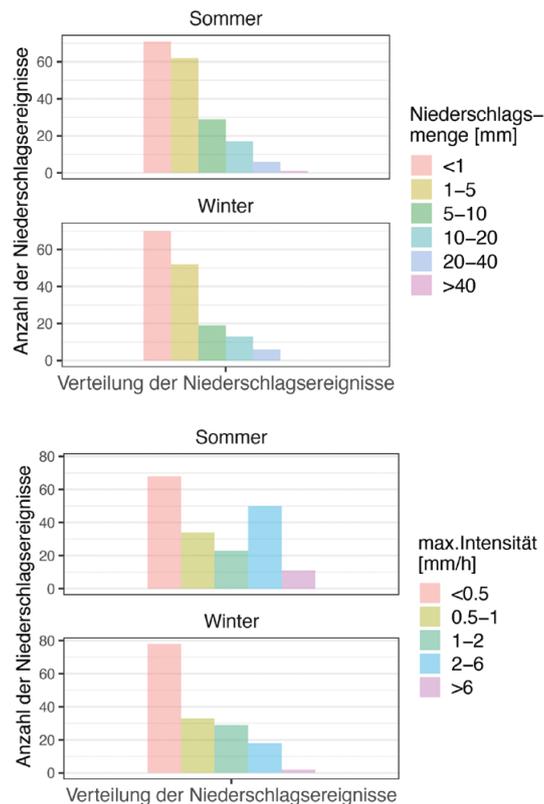


Abb. 5: Eigenschaften der untersuchten 346 Niederschlagsereignisse – Verteilung von Niederschlagsmenge und Intensität für die belaubte (Sommer) und unbelaubte Zeit (Winter)

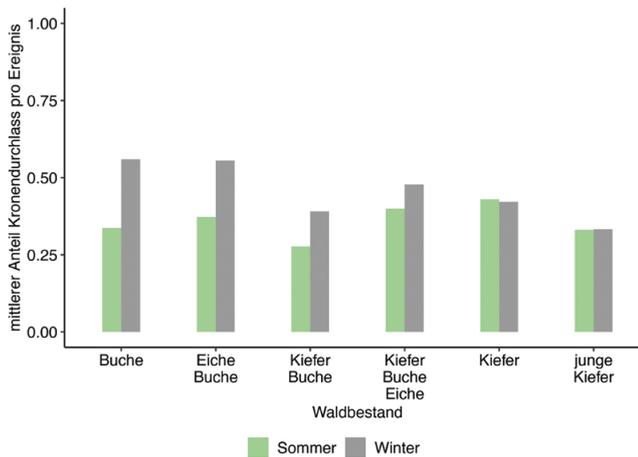


Abb. 6: Der mittlere Anteil des Kronendurchlasses für alle sechs Waldbestände und beide Jahreszeiten. Der Anteil wurde berechnet als Verhältnis des Kronendurchlasses zum Gesamtniederschlag außerhalb des Waldes. Im Winter kann sich wegen des höheren Kronendurchlasses in Laub- und Mischwäldern mehr Grundwasser neu bilden, als im Sommer.

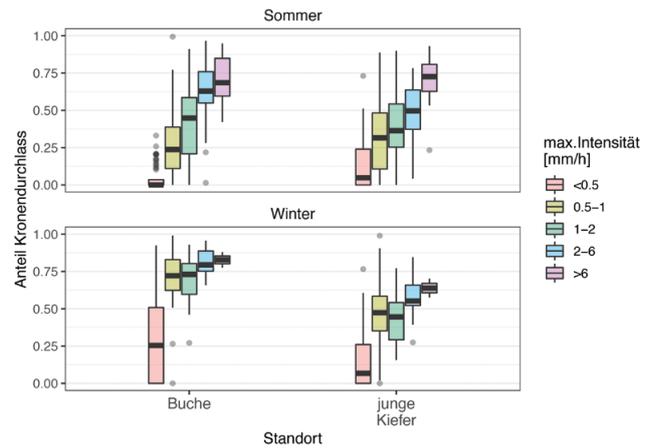


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Kronendurchlass (wiederum als Anteil des Gesamtniederschlags außerhalb des Waldes) und Niederschlagsintensität (gemessen außerhalb des Waldes), beispielhaft für zwei der Waldbestände und beide Jahreszeiten<sup>3</sup>

den Sommer meist stark abnimmt (Ausnahme hier ist das Jahr 2017 mit einem besonders nassen Sommer). Dies liegt daran, dass das Regenwasser, das den Boden tatsächlich erreicht, meist durch die Wurzeln der Bäume direkt wieder aufgenommen wird. Grundwasserneubildung findet also nur im Winter statt.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das komplexe Zusammenspiel der jahreszeitlichen Veränderungen der Niederschlagseigenschaften einerseits und der Baumkronen andererseits und die daraus resultierenden Auswirkungen auf den Kronendurchlass können nur auf der Grundlage einer langfristigen Messung und einer großen Anzahl parallel gemessener Niederschlagsereignisse in verschiedenen Waldbeständen entschlüsselt werden. Wir haben festgestellt, dass die verschiedenen Merkmale der Baumkronen, d. h. die Holzigen Elemente (Äste und Zweige) und die Kiefernadeln einerseits sowie die Blätter andererseits, unterschiedlich auf die Niederschlagsereignisse reagierten. Wir nehmen an, dass die Blätter bei hohen Niederschlagsintensitäten als Speicher weniger effizient

ent werden und der Kraft des Regens nachgeben, während dies bei den weniger flexiblen Kiefernadeln und hölzernen Bestandteilen des Kronendachs weniger ausgeprägt ist (Blume et al., 2022).

Die Verteilungen der Kronendurchlass-Anteile zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Laub-, Misch- und Kiefernbeständen. Dabei verhalten sich die Mischbestände im Sommer wie Laubwaldbestände und im Winter wie Kiefernbestände: Ihre Sommerverteilung ist ähnlich wie bei den Laubwaldbeständen, aber das Wintermaximum bei hohen Kronendurchlassanteilen ist deutlich weniger ausgeprägt. Stattdessen ähnelt ihre Winterverteilung aufgrund der beigemischten Kiefern sehr viel mehr der Verteilung der Kiefernbestände. Eine detailliertere Beschreibung der Ergebnisse findet sich in Blume et al. (2022). Setzt man die obigen Beobachtungen in den Kontext des Wasserbedarfs der Bäume und der Grundwasserneubildung, so ergibt sich daraus, dass Laubwaldbestände aufgrund der höheren Durchlassanteile im Winter in Bezug auf die Grundwasserneubildung von Vorteil sind. In der Untersuchungsregion ist die Grundwasserneubildung im Sommer wegen

der Wasseraufnahme der Bäume und der insgesamt nicht sehr hohen Niederschlagsmengen sehr gering bis nicht vorhanden. Andererseits scheint der Kiefernbestand im Sommer einen Vorteil zu haben, da die höheren Kronendurchlassanteile auch bei geringeren Niederschlagsmengen mehr Wasser für die Wurzelaufnahme bereitstellen. Da die prognostizierten Veränderungen der Niederschläge im Zuge des Klimawandels jedoch auch eine Zunahme der Niederschlagsintensität beinhalten, könnte diese Änderung die Laubbaumbestände mit ihrem Blätterdach, das bei hohen Intensitäten als Abfangspeicher ineffizient wird, sogar begünstigen. Dies ist besonders vorteilhaft in Verbindung mit den sandigen Böden in der untersuchten Region, deren hohe Wasseraufnahmefähigkeit Oberflächenabfluss unwahrscheinlich macht. In diesen Böden werden die großen und intensiven Ereignisse wahrscheinlich in eine größere Tiefe infiltrieren als die kleinen und schwachen Ereignisse, wodurch das Wasser weniger für die Verdunstung zur Verfügung steht und gleichzeitig ein größeres Volumen an Wurzeln mit Wasser versorgt wird. Aktuelle Untersuchungen sollen zeigen, ob Buchenbestände ihr dichtes Kronen-

<sup>3</sup> Hier dargestellt ist ein sogenannter Boxplot. Der schwarze Balken in jeder „Box“ ist der Median für die entsprechende Gruppe an Ereignissen. Median bedeutet, dass 50 % der Ereignisse über und 50 % der Ereignisse unter diesem Wert liegen. Der Median ist robuster als der oft gebrauchte arithmetische Mittelwert, da er weniger stark auf einzelne besonders große oder kleine Werte reagiert. Innerhalb der farbigen Boxen liegen 50 % aller gemessener Werte der jeweiligen Gruppe, dabei liegen 25 % der Werte über und 25 % unterhalb des Medians. Je größer die Box, desto stärker streuen die Werte.

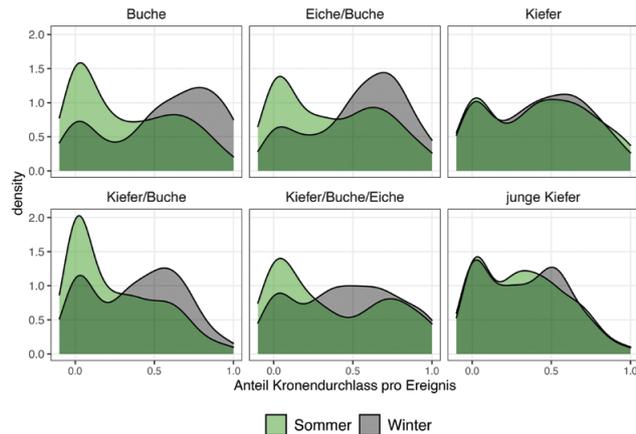


Abb. 8: Die Verteilung der Kronendurchlass-Anteile über alle Regenereignisse und für alle sechs Waldbestände. Die Verteilung der Sommer-Ereignisse ist hellgrün dargestellt, die der Winter-Ereignisse grau. Durch die halbtransparente Darstellung ist die Fläche, wo sich beide Verteilungen überlagern, dunkelgrün.

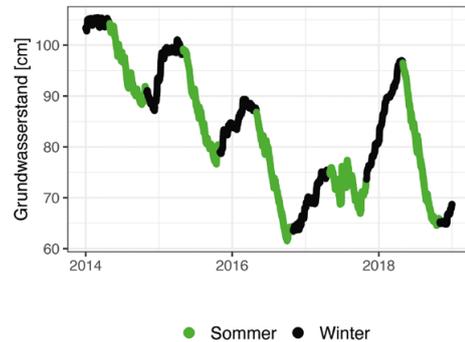


Abb. 9: Schwankungen des Grundwasserstands im Messgebiet. Es ist deutlich zu sehen, dass der Grundwasserstand meist nur in den Wintermonaten steigt, nur dann findet Grundwasserneubildung statt. Der Sommer 2017 war ungewöhnlich nass, sodass hier auch im Sommer z. T. Grundwasserneubildung stattgefunden hat.

dach und den daraus resultierenden geringeren Wasserzufluss im Sommer bis zu einem gewissen Grad durch Stammabfluss als stark konzentrierten Wasserzufluss zu ihren Wurzeln kompensieren können.

Der hier beschriebene Datensatz ist einer von vielen, die im TEREÑO-Observatorium Nord-Ost erhoben werden. Eine Reihe weiterer Beispiele wird in Heinrich et

al. (2018 und 2019) präsentiert. Da die Auswirkungen des globalen Wandels vielfältig und komplex sind, sind eine breite Aufstellung des Observatoriums und langjährige Messungen zur Erfassung der Veränderungen wichtig. Die langjährigen Messungen werden ergänzt durch paläoklimatologische Studien, die eine Einordnung der beobachteten Dynamiken in den historischen Zusammenhang ermöglichen (z. B. Theuerkauf et

al., 2021). Aus den Forschungsergebnissen können Handlungsoptionen im Zuge einer verbesserten Anpassung an den Klima- und Landschaftswandel mit seinen jeweils regionalspezifischen Auswirkungen und Herausforderungen abgeleitet werden.

Danksagung: Wir danken dem Müritznationalpark für die langjährige Unterstützung und Kooperation.

## Literatur

- Blume, T., Schneider, L., Güntner, A. (2022). Comparative analysis of throughfall observations in six different forest stands: Influence of seasons, rainfall- and stand characteristics. *Hydrological Processes*, 36 (3), Article e14461. <https://doi.org/10.1002/hyp.14461>
- Germer, S., Kaiser, K., Bens, O., Hüttl, R. F. J., CGR Centre for Geoeological Research, G. C., GFZ Publication Database (2011). Water Balance Changes and Responses of Ecosystems and Society in the Berlin-Brandenburg Region - a Review. *Die Erde*, 142 (1–2), 65–95. [https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/item\\_244481](https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/item_244481)
- Heinrich, I., Balanzategui, D., Bens, O., Blasch, G., Blume, T., Böttcher, F., Borg, E., Brademann, B., Brauer, A., Conrad, C., Dietze, E., Dräger, N., Fiener, P., Gerke, H. H., Güntner, A., Heine, I., Helle, G., Herbrich, M., Harfenmeister, K., Heußner, K.-U., Hohmann, C., Itzerott, S., Jurasinski, G., Kaiser, K., Kappler, C., Koebsch, F., Liebner, S., Lischeid, G., Merz, B., Missling, K. D., Morgner, M., Pinkerneil, S., Plessen, B., Raab, T., Ruhtz, T., Sachs, T., Sommer, M., Spengler, D., Stender, V., Stüve, P., Wilken, F. (2018). Interdisciplinary Geo-ecological Research across Time Scales in the Northeast German Lowland Observatory (TERENO-NE). *Vadose Zone Journal*, 17 (1), 1–25. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.06.0116>
- Heinrich, I., Balanzategui, D., Bens, O., Blume, T., Brauer, A., Dietze, E., Gottschalk, P., Güntner, A., Harfenmeister, K., Helle, G., Hohmann, C., Itzerott, S., Kaiser, K., Liebner, S., Merz, B., Pinkerneil, S., Plessen, B., Sachs, T., Schwab, M. J., Spengler, D., Vallentin, C., Wille, C. (2019). Regionale Auswirkungen des Globalen Wandels: Der Extremsommer 2018 in Nordostdeutschland. *System Erde*, 9 (1), 38–47. <https://doi.org/10.2312/GFZ.syserde.09.01.6>
- Kunz, M., Mohr, S., Werner, P. C. (2017). Niederschlag. In *Klimawandel in Deutschland* (pp. 57–66). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3_7)
- Theuerkauf, M., Blume, T., Brauer, A., Dräger, N., Feldens, P., Kaiser, K., Kappler, C., Kästner, F., Lorenz, S., Schmidt, J. P., Schult, M. (2021). Holocene lake-level evolution of Lake Tiefer See, NE Germany, caused by climate and land cover changes. *Boreas*, 51 (2), 299–316. <https://doi.org/10.1111/bor.12561>