



Erhöhung des Grundwassereintrages durch
gezielten Waldumbau

im Trinkwasserwald



Trinkwasserwald e.V.
W a l d . W a s s e r . W e r t e .

Erhöhung des Grundwassereintrages durch Waldumbau

auf der Grundlage verschiedener Studien

Baumarten- wechsel	min. m ² / p.a. / mm / Liter *	max. m ² / p.a. / mm / Liter	min. ha / p.a. / mm / Liter **	max. ha / p.a. / mm / Liter	Region	Quelle
von Fichte auf Buche	125		1.250.000		Hessisches Bergland	Buchenwälder, Deutsche Forstwirt- schaftsrat, 2. Auflage Mai 2008
von Kiefer auf Buche	50	100	500.000	1.000.000	Brandenburg	HAWK, Professor Dr. Rust
von Kiefer auf Eiche / Buche	86	161	860.000	1.610.000	Lüneburger Heide und Mittelgebirge	HAWK, Professor Dr. Rust
von Kiefer auf Buche	64		640.000		Nordost- deutsches Tiefland	BMBF Studie 2003
von Fichte auf Buche	124		1.240.000		Hessisches Bergland	BMBF Studie 2003

*minimale Grundwasserspende **je Quadratmeter** und Jahr, in Millimetern bzw. Litern

** minimale Grundwasserspende **je Hektar** (10.000 m²) und Jahr, in Millimetern bzw. Litern



Die Buche das Wasserwerk im Walde

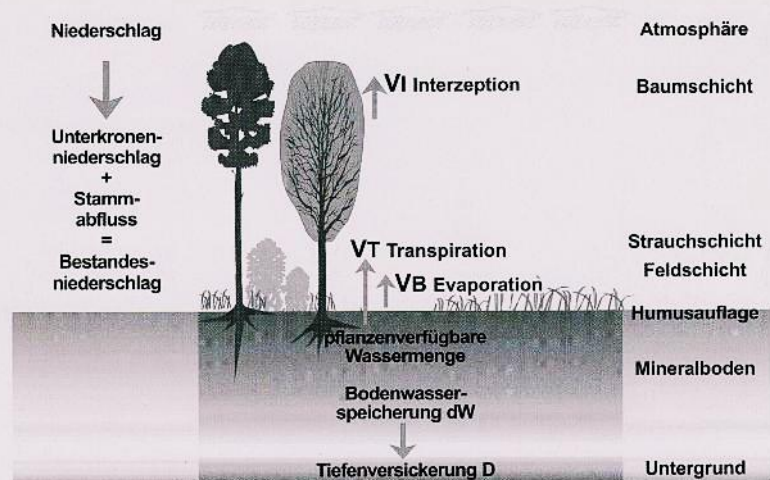
Vergleich Buche zu Nadelholz:
Interzeptionsverluste geringer
Versickerungsrate höher
Grundwasserspende größer



Die Buche das Wasserwerk im Walde

Die Produktion von Wasser in Qualität und Menge ist nach der Holzproduktion die wichtigste materielle Leistung des Waldes. Baumart und Alter, die vertikale Schichtung und Mischung der Wälder sowie ihre Bewirtschaftung beeinflussen maßgeblich die Komponenten des Wasserkreislaufes. Erst durch die Berücksichtigung der strukturellen Besonderheiten der Wälder wird eine treffende Beurteilung ihrer Wasserhaushaltsbedingungen möglich.

In den Buchenökosystemen werden die Niederschläge zu einem deutlich geringeren Anteil als in Nadelwäldern von den Baumkronen aufgehalten. Dies führt zu niedrigeren Interzeptionsverlusten. Im Ergebnis der Umverteilung des Niederschlages im Kronenraum kommt es in den aufwachsenden Beständen zu vermehrtem Stammabfluss. Sowohl die geringe Interzeption als auch der Stammabfluss bestimmen bei gegebenen Niederschlags- und Bodenbedingungen maßgeblich die Höhe und den zeitlichen Verlauf der Grundwasserneubildung und führen zu einem hydrologischen Vorteil gegenüber Nadelholzbeständen. Unter Buche ist die Versickerung deutlich höher als unter Kiefer und Fichte. Die Forstwirtschaft hat über Baumartenwahl und Bestandesbehandlung die Möglichkeit, den Landschaftswasserhaushalt gezielt zu beeinflussen. Vor



dem Hintergrund eines geringer werdenden Wasserdargebotes einerseits und der guten Qualität des Sickerwassers unter Wald andererseits stellt sich zunehmend die Frage nach der wasserwirtschaftlichen Leistung des Waldes im Landschaftswasserhaushalt. Die Bedeutung gerade der Waldareale als Wasserlieferanten hat deshalb wesentlich zugenommen. Die Ergebnisse belegen, dass unter vergleichbaren Witterungs- und Bodenbedingungen die baumartenspezifischen Unterschiede und vegetationsstrukturellen Differenzierungen sowohl in den aufwachsenden als auch in den gleichaltrigen Beständen einen signifikanten Einfluss auf die Wasserhaushaltskennwerte haben. Verdunstung und Grundwasserneubildung sind Funktionen

bestandesbezogener Strukturparameter und des Wachstums der Bestände. Die intensive Erfassung von Struktur- und Prozessparametern in den Ökosystemen und die Quantifizierung ihrer Wechselwirkungen war eine wichtige Voraussetzung für die Bewertung der wasserwirtschaftlichen Leistung der Wälder. Mit Hilfe eines Wasserhaushaltsmodells wurde die Tiefensickerung für drei Bewaldungsszenarien innerhalb eines Forstreviers im nordostdeutschen Tiefland berechnet. Die Tiefenversickerung wurde nun für die ausgewählten Bewaldungsszenarien mit den gegebenen Differenzierungen von Vegetations- und Bodenstruktur berechnet. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen der Buchen- und der Kiefernbestockung. Bei der Buchenbestockung

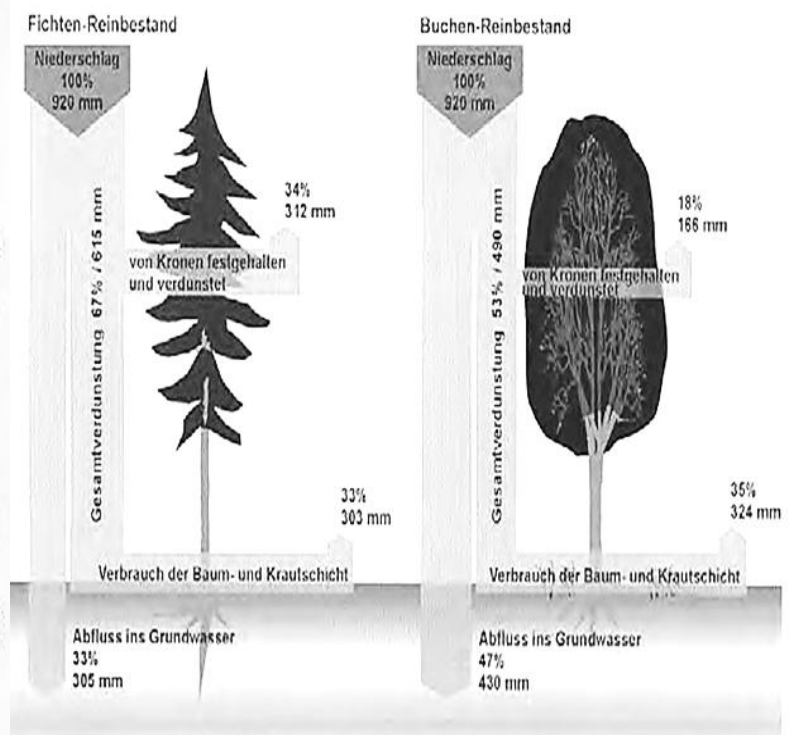


"Buchenwälder", S. 33

Dt. Forstwirtschaftsrat, 2. Auflage Mai 2008

logen die jährlichen Sickerungsraten auf über 85 % der Fläche zwischen 120 und 180 mm, während bei standortgleicher Kiefernbestockung nur auf ca. 8 % der Fläche jährliche Sickerungsraten von 80 bis 120 mm erreicht werden. Auf dem überwiegenden Teil der Fläche liegen hier die Sickerungsraten zwischen 0 und 80 mm pro Jahr. Nach den Ergebnissen der Sickerwasserberechnungen der drei Anbauszenarien beträgt die potentielle Grundwasserspende unter Buche mit ca. 900.000 m³ pro Jahr (= 140 mm/a) das Dreifache der Grundwasserspende der Kiefer. Die Variante mit Kiefer und Buche ordnet sich mit rund 500.000 m³ (= 77 mm/a) möglicher Grundwasserspende zwischen der Kiefern- und Buchenvariante ein.

Damit wird die Buche zum „Wasserwerk“ im Walde.



Effekte eines Waldumbaus auf die Grundwasserneubildung

Prof. Dr. Steffen Rust

In der Fachwelt besteht Einigkeit darüber, dass die Grundwasserneubildungsrate, also die Menge Wasser, die auf einer Fläche in einer Zeiteinheit versickert, durch den Umbau von Nadelbaumbeständen in Laubwälder deutlich erhöht werden kann (Lischeid, Natkhin 2011). Der wichtigste Grund hierfür ist, dass Nadelbäume wie Kiefern und Fichten im Winter ihre Nadeln behalten und deshalb für einige Monate eine sehr viel größere Oberfläche haben als laubwerfende Bäume (Müller, Lüttschwager, Rust 2007; Rust, Scherzer, Hillmann 2008). An dieser Oberfläche bleiben Niederschläge haften und können dann direkt wieder verdunsten, ohne den Boden zu erreichen. Dieser Prozess heißt Interzeptionsverdunstung.

Die Größe des Effektes hängt im Wesentlichen von der Höhe und Verteilung der Niederschläge sowie dem Wasserspeichervermögen des Bodens ab. Auf sandigen Böden ist die Wirkung größer als bei einem hohen Tongehalt. Da die höhere Grundwasserneubildung im Wesentlichen im Winterhalbjahr stattfindet, wirkt sich auch ein hoher Anteil des Niederschlags im Winter positiv auf die Grundwasserneubildung aus.

Die Auswirkungen des Waldumbaus wurden sowohl durch Messungen in Waldbeständen unterschiedlicher Zusammensetzung, als auch in umfangreichen Modellierungsstudien untersucht. Diese berücksichtigen verschiedene Klimaszenarien und kamen zu dem Ergebnis, dass der Effekt des Umbaus durch den Klimawandel noch erhöht werden könnte (Natkhin 2010).

Messungen in Brandenburg belegen in den letzten Jahrzehnten unter Buchen im Vergleich zu Kiefern eine um 50 mm bis 100 mm je Jahr und Hektar höhere Grundwasserneubildung (Anders, Müller, Augustin, Rust 2006). Für den Drawehn südlich von Hamburg würde sich bei unverändertem Klima die Grundwasserneubildung

Expertise der HAWK

Ressourcenmanagement

Teil 2



durch den Umbau von Kiefernreinbeständen in Eichen-Buchen-Mischbestände je nach Standort um 86 mm/a/ha bis 161 mm/a/ha erhöhen. In der Spannweite aller betrachteten Klimaszenarien ergibt sich eine Erhöhung von 68 mm/a/ha bis 171 mm/a/ha. Auch in einem gänzlich anderen Naturraum, dem Harz, führten Untersuchungen zu der klaren Empfehlung, Fichtenwälder in Laubwälder umzuwandeln, wenn man die Grundwasserneubildung erhöhen wolle.

Der Waldumbau hat aber durchaus noch weitere positive Effekte. So kann er dazu führen, dass die Humusform und die Infiltrierbarkeit des Bodens verbessert werden (Fischer, Bens, Hüttl 2002; Schäfer, Bens, Fischer, Hüttl 2002). Dadurch könnten bei Starkregenereignissen Oberflächenabflüsse vermindert werden (Fritz, Weber, Jenssen 2006).

Nadelbaumbestände erhöhen in den besonders mit Luftschadstoffen belasteten Gebieten die Eintragsraten von Schadstoffen in den Boden, da sie mit ihrer großen Oberfläche im Winter Schadstoffe aus der Luft „auskämmen“. Diese Schadstoffe werden teilweise mit dem Sickerwasser wieder ausgetragen. Daher kann die Eignung dieses Wassers als Trinkwasser im Vergleich zu solchem aus Laubwaldbeständen sinken (Mellert, Gensior, Göttlein, Kölling 2005). Durch den ökologischen Waldumbau zu Laubbaumbeständen kann mehr und besseres Trinkwasser aus Wäldern gewonnen werden (Hegg, Jeisy, Waldner 2004). Dies kann regional von erheblicher Bedeutung sein (Lischeid, Natkhin 2011).

Mischbestände mit einem hohen Anteil an Laubbäumen sind widerstandsfähiger gegen Sturmschäden und häufig vorteilhaft aus Sicht des Natur- und Artenschutzes.

Die tatsächliche Erhöhung der Grundwasserneubildung für die folgenden Jahrzehnte an einem konkreten Standort kann nur durch eine aufwändige Modellierung abgeschätzt werden. Die oft genannten 80 mm/a (entspricht 800.000 Liter je Hektar und Jahr) sind



ein Mittelwert aus Studien der letzten Jahrzehnte. Sie können an einem Standort sowohl über-, als auch untertroffen werden.

Literatur

ANDERS, S., J. MÜLLER, S. AUGUSTIN und S. RUST, 2006. Die Ressource Wasser im zweischichtigen Nadel-Laub-Mischbestand. In: P. FRITZ (Hrsg.), *Ökologischer Waldumbau in Deutschland - Fragen, Antworten, Perspektiven*. München: Oekom. S. 152–183

FISCHER, H., O. BENS und RF HÜTTL, 2002. Veränderung von Humusform, -vorrat und -verteilung im Zuge von Waldumbaumaßnahmen im Nordostdeutschen Tiefland. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*. 2002. Bd. 121, Nr. 6, S. 322–334. DOI 10/b2btd4

FRITZ, Peter, Daniela WEBER und Martin JENSSEN (Hrsg.), 2006. *Ökologischer Waldumbau in Deutschland: Fragen, Antworten, Perspektiven*. München: Ökom-Verl. ISBN 978-3-86581-001-4

HEGG, C., M. JEISY und Peter WALDNER, 2004. *Wald und Trinkwasser*. WSL

LISCHEID, Gunnar und Marco NATKHIN, 2011. The Potential of Land-Use Change to Mitigate Water Scarcity in Northeast Germany – a Review. . 2011. Bd. 2011, S. 97–113

MELLERT, K.H, A. GENSIOR, A. GÖTTLEIN und C. KÖLLING, 2005. Risiko erhöhter Nitratkonzentrationen unter Wald in Bayern- Regionalisierung von Inventurergebnissen aus dem Raster des Level I. *Waldökologie online*. 2005. Bd. 2, S. 4–24

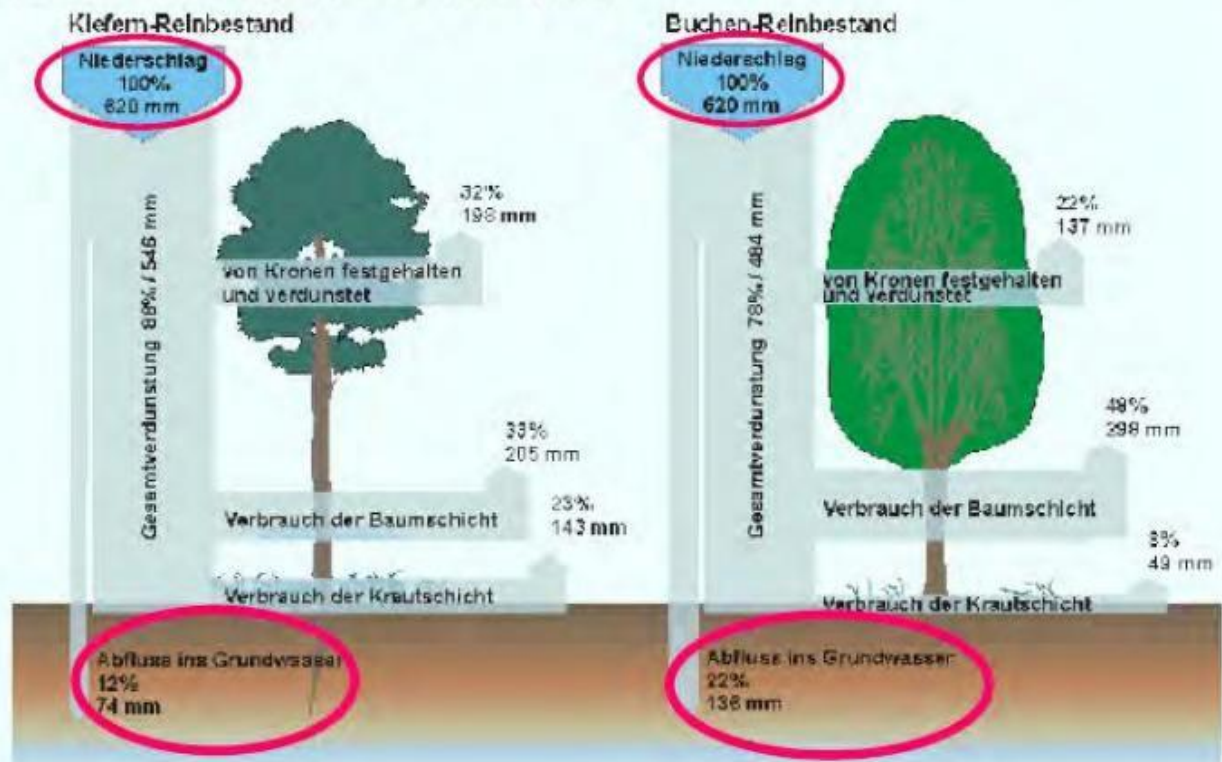
MÜLLER, J., D. LÜTTSCHWAGER und S. RUST, 2007. Zum Wasserhaushalt in Kiefernbeständen auf grundwasserfernen Sandstandorten des nordostdeutschen Tieflandes. In: *Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland—Ökologie und Bewirtschaftung*. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg, S. 78–107. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe

NATKHIN, M, 2010. *Modellgestützte Analyse der Einflüsse von Veränderungen der Waldwirtschaft und des Klimas auf den Wasserhaushalt grundwasserabhängiger Landschaftselemente*. Doktorarbeit. Potsdam

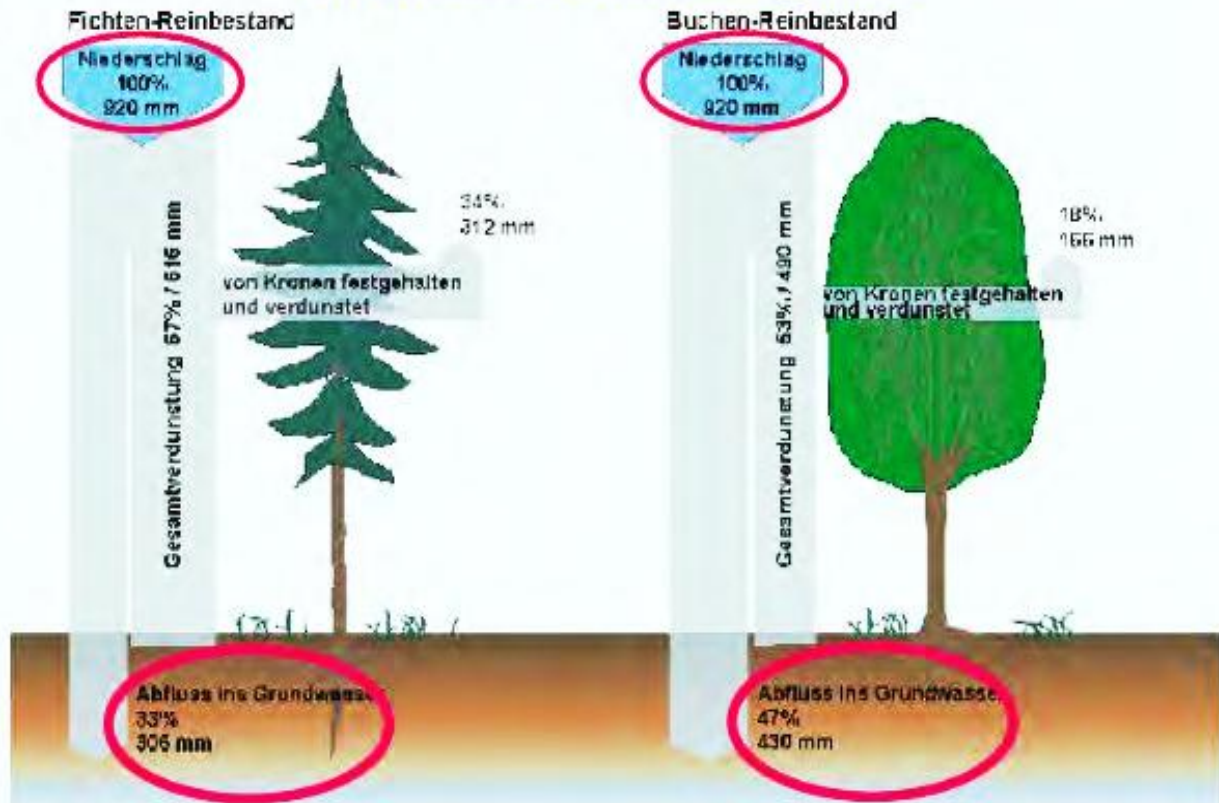
RUST, S., J. SCHERZER und M. HILLMANN, 2008. Ausgesuchte Waldumbauvarianten zur Erhöhung der Grundwasserneubildung in der Ostheide. In: *NoRegret-Genug Wasser für die Landwirtschaft?* Uelzen: Landwirtschaftskammer Niedersachsen. S. 180–189

SCHÄFER, B., BENS, H. FISCHER und RF HÜTTL, 2002. Einfluss des Baumartenwechsels auf die Wasserspeicherfähigkeit von sandigen Böden Nordost-Brandenburgs. *Forst und Holz*. 2002. Bd. 57, Nr. 19, S. 571–575

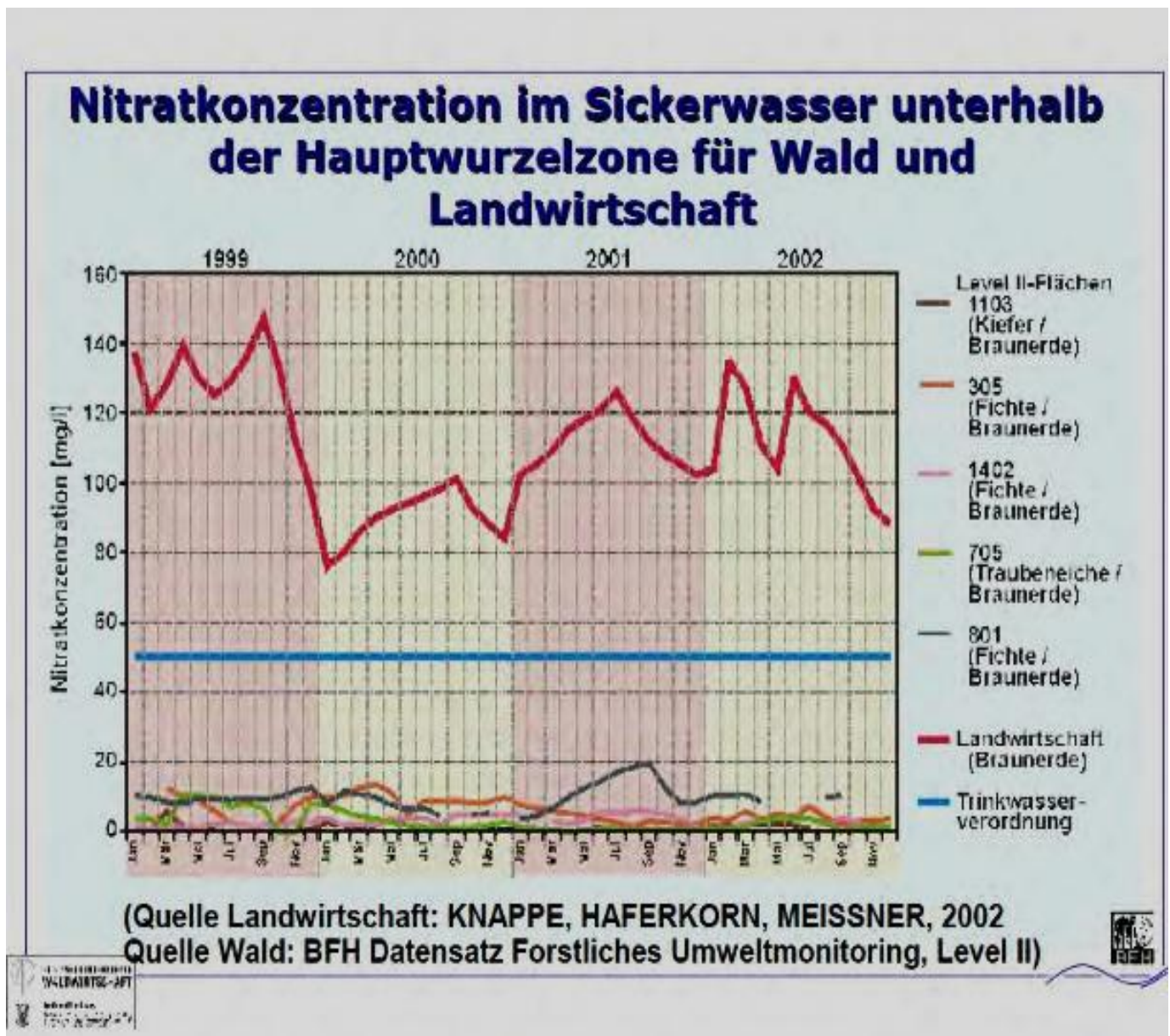
Wasserhaushalt eines Kiefern- und Buchen-Reinbestandes im Baumholzstadium auf grundwasserfernem Sand des nordostdeutschen Tieflands



Wasserhaushalt eines Fichten- und Buchen-Reinbestandes im Baumholzstadium im Hessischen Bergland



Der Einfluss des Waldes auf die Qualität des Grundwassers



Der Einfluss des Waldes auf die Qualität des Grundwassers

Zentrale Aussagen zum Waldwasserhaushalt

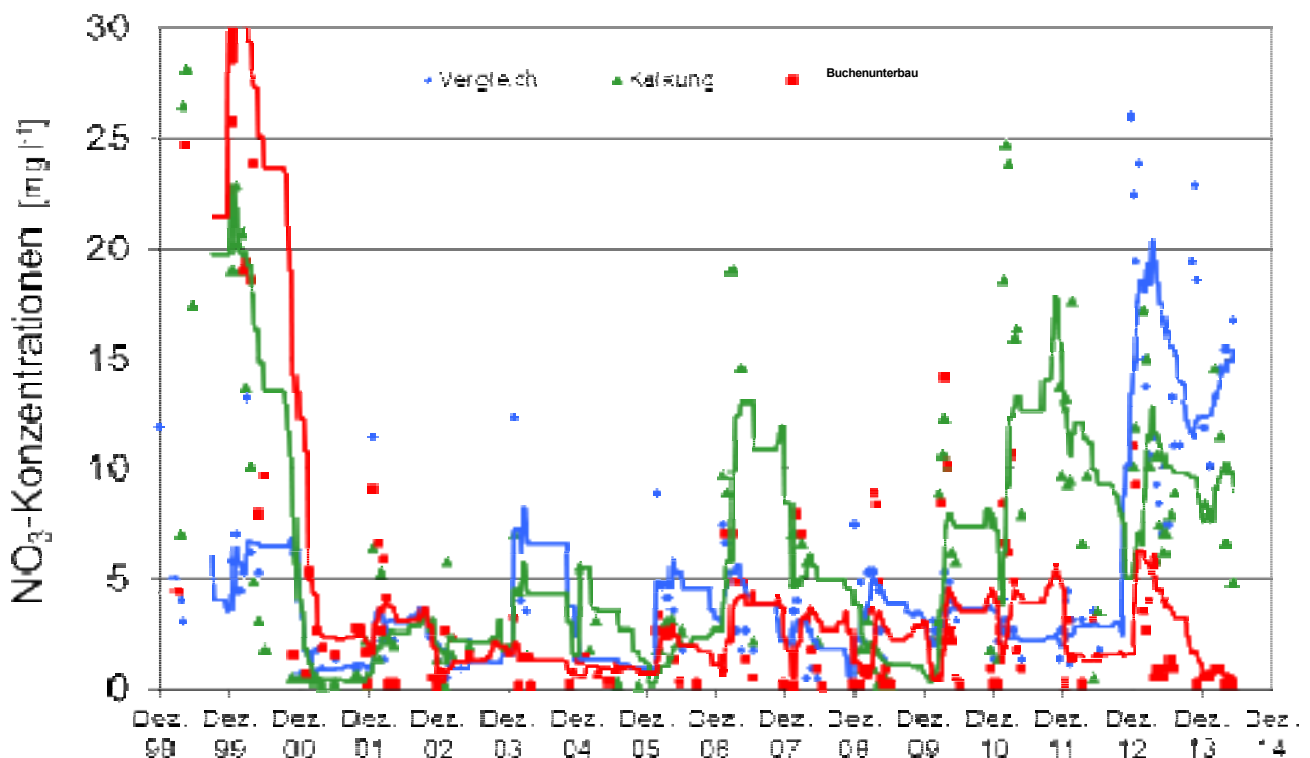
1. auf dem gleichen Standort ist die Grundwasserneubildung bei vergleichbaren Niederschlagsbedingungen unter Laubwäldern erheblich höher als unter Nadelwäldern
2. Wasser aus Waldgebieten ist in der Regel sauberer als solches aus Agrarlandschaften. Sickerwasser aus Laubwäldern ist in der Regel geringer mit Stickstoff belastet als solches aus Nadelwäldern
3. Wald kann Hochwasserspitzen mindern und Bodenerosion reduzieren

Sickerwasseruntersuchungen im Grundwasser-schutz-orientierten Waldumbau

1. Stoffausträge über das Sickerwasser

1. Nitrat

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen den Verlauf der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in den beiden Probenentnahmetiefen von 1,2 m und 2,5 m seit Beginn der Untersuchungen Ende 1999 bis Mai 2014. Während sich in diesem Zeitraum stärkere Schwankungen der Nitratkonzentrationen mit Werten von zeitweilig über 15 mg l⁻¹ auf die gekalkte Versuchsvariante beschränkten (außer zu Messbeginn), kam es ab 2013 zu einem deutlichen Anstieg der Nitratwerte im ungekalkten Referenzbestand. Diese Entwicklung trat nach der Durchforstung im Winter 2011/2012 mit nur kurzer zeitlicher Verzögerung in beiden Tiefenstufen auf. Das anfänglich niedrige Niveau der Nitratwerte von etwa 3-4 mg l⁻¹ in beiden Tiefenstufen (Abbildung 3 und Abbildung 4) liegt zurzeit um ein Vielfaches darüber.



Buchenunterbau, Abbildung 3. Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter den 3 Versuchsflächen in 1,2 m Tiefe (durchgezogene Linien sind Trendlinien)

Sickerwasseruntersuchungen im Grundwasser-schutz-orientierten Waldumbau

Dagegen stellt sich unter dem Buche-Nachanbau zurzeit eine vollkommen andere Situation dar. Nach der Durchforstungsmaßnahme fiel der übliche saisonale Anstieg im Winter 2012/2013 zwar etwas stärker aus, in den darauffolgenden Monaten fielen die Nitratwerte jedoch auf das bereits in den Vorjahren häufig festgestellte Niveau wenig über der chemischen Nachweisgrenze (0,1 mg l-1). Der saisonale Anstieg im Winter 2013/2014 blieb gänzlich aus. Auch in 2,5 m Bodentiefe änderte sich nach der Durchforstung nichts an dem niedrigen Belastungsniveau.

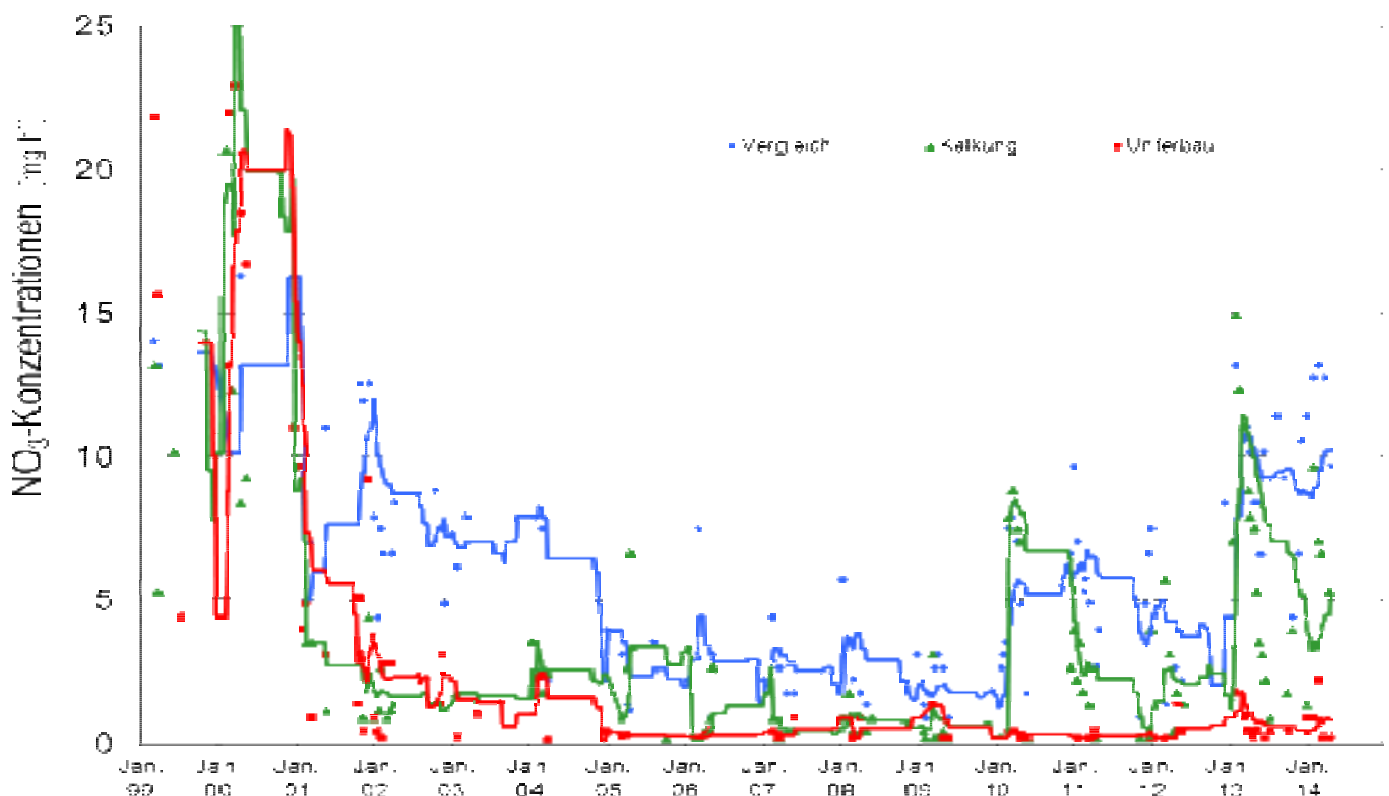


Abbildung 4: Verlauf der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in 2,5 m Tiefe unter Wald (durchgezogene Linie: Trendlinien / positiv **Buchenunterbau**)

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Beurkundung der Grundwasserneubildung

Wissenschaftliche Prognose zum Grundwassermehrertrag

Abschlussbericht vom 30.11.22



Vorgelegt durch:



Trinkwasserwald® e.V.
Alexander Pillath
Lange Str. 22
20359 Hamburg



UDATA GmbH
Florian Zeitler
Hindenburgstr. 1
67433 Neustadt/Weinstr.



HAWK Göttingen
Fakultät Ressourcenmanagement
Prof. Steffen Rust
Büsgenweg 1A
37077 Göttingen

Beurkundung der Grundwasserneubildung

1 Aufgabenstellung

Die Verfügbarkeit von Boden- und Grundwasser in Deutschland wird sich im Zuge des Klimawandels zukünftig drastisch verändern. Ursachen hierfür sind der Klimawandel, neue Waldbaustrategien und veränderte Wassernutzungsansprüche. Dies hat potenziell weitreichende Folgen, sowohl für die Entwicklungsfähigkeit der Land- und Forstwirtschaft, als auch der urbanen Ballungsräume und der Industrie.

Die Erhöhung der Grundwasserneubildungsraten durch Waldumbau wurde als besonders nachhaltige Adaptionstrategie identifiziert. Hierbei werden Flächen, die mit Baumarten bestückt sind, die sich für zukünftige Herausforderungen als ungeeignet erwiesen, durch geeignetere Arten ersetzt. Dies dient neben der Etablierung eines auch in Zukunft nachhaltigen Bestandes hauptsächlich der Erhöhung der Grundwasserneubildung (GWN) zur Klimawandelmitigation.

Ziel des Projekts ist die wissenschaftliche Beurkundung der zukünftig zu erwartenden zusätzlichen Grundwasserneubildung bei geplanten oder bereits durchgeführten Waldumbaumaßnahmen an 14 Standorten bei Stuttgart und Leipzig. Die potenziell gesteigerten Grundwasserneubildungsraten der nächsten 50 Jahre sollen mit einem forsthydrologischen Modellierungsansatz dargestellt werden. Durch Berücksichtigung der wichtigsten Klimaszenarien kann abgeschätzt werden, in welchem Bereich das Ergebnis nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist.

2 Datengrundlage

Die für die Studie relevanten Forst-, Boden- und Geländedaten wurden durch den Auftraggeber bereitgestellt. Geliefert wurde:

- Die Gebietsabgrenzungen in Form von GIS-Shapes.
- Die Bodenkarten 1:50.000 (BK50) von Baden-Württemberg (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022) und Sachsen (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2020), welche zur Parametrisierung der Böden im Modell Verwendung fand.
- Die kartierten forstlichen Standortdaten und ertragskundlichen Kennwerte, mit denen der derzeitige Bestand der Flächen charakterisiert wurde.
- Die forstliche Prognose der Bestandesentwicklung durch Herrn Prof. Rust, welche die Grundlage der Parametrisierung des zukünftigen Bestands im Modell bildete.
- Das digitale Geländemodell des ATKIS mit einer Rasterweite von 50m (DGM50), woraus Hangneigung und Exposition abgeleitet wurden, die als Parameter in die Wasserhaushaltsmodellierung einfließen.

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Beurkundung der Grundwasserneubildung

Ferner wurde der Bezug der Klimadaten für den historischen und zukünftigen Zeitraum durch den Auftragnehmer selbst vorgenommen. Verwendet wurden fünf Member des EURO-CORDEX Ensembles (Jacob et al., 2014), welche als frei verfügbare Datensätze von der CORDEX-Homepage heruntergeladen wurden (<https://euro-cordex.net/>). Die verwendeten Member sind in Tabelle 1 aufgelistet. Um eine Bandbreite der wahrscheinlichen Entwicklung aufzeigen zu können, wurde der zukünftige Zeitraum einmal unter Annahme des Klimawandelszenarios RCP 4.5 und einmal unter Annahme des Klimawandelszenarios RCP 8.5 modelliert.

Tabelle 1: Verwendete CORDEX-Ensemblemember. Spalte „Modell“ benennt Modellname und -Institution sowie Modellrealisations-ID.

Modell
1 ICHEC-EC-EARTH (KNMI-RACMO22E v1, r1i1p1)
2 ICHEC-EC-EARTH (KNMI-RACMO22E v1, r12i1p1)
3 MOHC-HadGEM2-ES (SMHI-RCA4 v1, r1i1p1)
4 MPI-M-MPI-ESM-LR (MPI-CSC-REMO2009 v1, r1i1p1)
5 MPI-M-MPI-ESM-LR (MPI-CSC-REMO2009 v1, r2i1p1)

3 Untersuchungsgebiet

Gegenstand der Untersuchungen des Gesamtprojekts sind 21 Waldflächen bei Stuttgart sowie eine bei Leipzig. Eine Modellierung der Grundwasserneubildung wurde für 13 der Flächen bei Stuttgart und für die Fläche bei Leipzig durchgeführt (Tabelle 2) Diese waren bisher mit Fichte, Tanne oder Lärche bestockt und haben eine Gesamtfläche von 26,64 Hektar. Es handelt sich dabei um Kommunalwald verschiedener Gemeinden, der mit dem Spendenengagement der ~~Waldverbände~~ zu einem Traubeneichenbestand umgebaut werden soll.

Für acht weitere Flächen bei Stuttgart wurde keine Modellierung durchgeführt. Diese Flächen waren zuletzt mit Esche bestockt und wurden aufgrund des Eschentriebsterbens zu Traubeneiche überführt. Da bei der Überführung von Laubwald zu Laubwald keine höhere Grundwasserneubildung aufgrund des Waldumbaus zu erwarten ist, war für diese Flächen keine Modellierung erforderlich. Durch den Umbau von Laubwald zu Laubwald bleiben die Voraussetzungen für eine maximale Grundwasserneubildung erhalten.

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Beurkundung der Grundwasserneubildung

Tabelle 2: Name der untersuchten Flächen, Lage, Größe und Art der bisherigen Bestockung. Koordinaten beziehen sich auf WGS84, Größe in Hektar. dGZ100 gibt die Ertragsklasse bezüglich des zu erwartenden durchschnittlichen jährlichen Gesamtwachses bei Umbau der Bestände an (vgl. Abbildung 2).

Nr.	Projektfläche	Koordinaten	Größe	Vorbestockung	dGZ100
1	Rutesheim	48.82773 / 8.94783	0.9	Fichte	TEi6
2	Weissach	48.81752 / 8.91247	0.9	Fichte	TEi7
3	Grafenau (1+2)	48.72816 / 8.92576 48.72751 / 8.92544	3.7	Fichte	TEi7
4	Grafenau (3)	48.72671 / 8.92540	2.23	Fichte	TEi7
5	Grafenau (4)	48.72421 / 8.92735	0.75	Fichte	TEi6
6	Aidlingen I (Fläche 4)	48.66570 / 8.82931	1.5	Tanne/Fichte	TEi6
7	Aidlingen (Fläche 5)	48.66072 / 8.88486	1.66	Fichte	TEi6
8	Aidlingen II (Fläche 6)	48.65807 / 8.88710	1.4	Fichte	TEi6
9	Aidlingen (Fläche 8)	48.69603 / 8.90565	1.4	Fichte	TEi6
10	Korntal- Münchingen	48.84370 / 9.12191	1.2	Fichte	TEi7
11	Leipzig Zwenkau	51.24079 / 12.35896	9.0	Lärche/Fichte	TEi6
12	Sachsenheim Häfnerhaslach 1	49.027268 / 8.893378	0.7	Fichte	TEi6
13	Sachsenheim Häfnerhaslach 2	49.034145 / 8.890543	0.6	Fichte	TEi7
14	Walheim	49.007305 / 9.117937	0.7	Fichte	TEi6

Beurkundung der Grundwasserneubildung

5 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 5 zeigt die Werte der Wasserhaushaltsterme Niederschlag, Evaporation, Transpiration, Interzeption und Grundwasserneubildung, gemittelt über alle modellierten Standorte, wobei für jeden Standort, wie in Kapitel 4.1 und 4.4 dargelegt, jeweils 5 LWF-Brook90 Modellrealisationen mit den Klimadaten von je einem der Ensemblemember aus Tabelle 1 gerechnet wurden.

Beim Niederschlag zeigen sich, wie in 4.4. bereits erwähnt, nur geringfügige Unterschiede von etwa +50mm zwischen den historischen und zukünftigen Modellläufen, und praktisch kein Unterschied zwischen den Klimaszenarien RCP4.5 und 8.5. Bei **Fortführung des Fichtenbestandes** zeigt sich bei den Verdunstungstermen Evaporation, Transpiration und Interzeption ebenfalls wenig Unterschied zwischen dem historischen und prognostizierten Zeitraum. Die Evaporation bleibt weitgehend gleich, während Transpiration und Interzeption leicht ansteigen, vermutlich aufgrund des weiteren Wachstums des Bestandes und der damit verbundenen LAI-Zunahme. Im Falle eines zukünftigen **Umbaus zum Eichenbestand** jedoch steigt die Evaporation verglichen mit historischen Fichtenbestand um den Faktor 2.5, während sich die Transpiration in etwa um 50%, die Interzeption um etwa 75% reduziert.

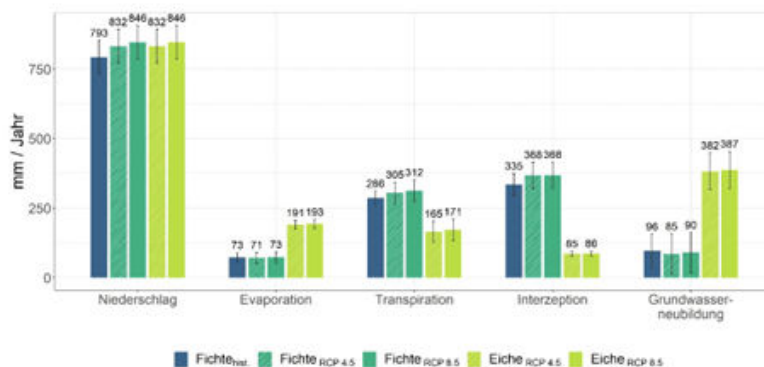


Abbildung 5: Modellierte Wasserbilanzterme. Die Höhe der Balken und die Zahlen über den Balken geben jeweils den Mittelwert der Jahressummen als Durchschnitt der 14 untersuchten Flächen an. Die Fehlerbalken zeigen den Bereich von minus bis plus einer Standardabweichung um den Mittelwert. $F_{i, hist}$ bezieht sich auf den Zeitraum 1970 bis 2021, die Modellierung für die Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 wurde für die Jahre 2022 bis 2072 durchgeführt. Fichte_{RCP4.5} und Fichte_{RCP8.5} zeigen die Modellergebnisse für den Fall, dass die Nadelwaldbestände fortgeführt werden, Eiche_{RCP4.5} und Eiche_{RCP8.5} für das Szenario, dass die Bestände zu Traubeneichen umgebaut werden.

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Tabelle 3: Modellerte Wasserbilanzterme für die 14 Untersuchungsflächen. Angegeben ist jeweils der Mittelwert der Jahressummen in mm pro m². Der historische Zeitraum beinhaltet die Jahre 1970 bis 2021, der zukünftige Zeitraum, der jeweils unter der Annahme des Klimaszenarios RCP 4.5 bzw. RCP 8.5 modelliert wurde, beinhaltet die Jahre 2022 bis 2072. Der historische Zeitraum wurde auf Grundlage der aktuellen Nadelwaldbestände modelliert, für den zukünftigen Zeitraum wurden zwei verschiedene Waldbauszenarien untersucht, einmal die Fortführung der Nadelwaldbestände („Fichte“), einmal der Umbau hin zu Traubeneichenbeständen („Eiche“). Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.

Fläche	Niederschlag			Interzeption					Evaporation				
	hist.	RCP 4.5	RCP 8.5	Fichte hist.	Fichte RCP 4.5	Fichte RCP 8.5	Eiche RCP 4.5	Eiche RCP 8.5	Fichte hist.	Fichte RCP 4.5	Fichte RCP 8.5	Eiche RCP 4.5	Eiche RCP 8.5
Aidlingen (5)	755	795	807	324	364	364	77	78	60	56	57	208	210
Aidlingen (8)	779	821	837	361	404	405	78	78	62	57	59	203	205
Aidlingen I (4)	745	781	795	359	241	242	73	74	48	122	124	222	225
Aidlingen II (6)	745	781	795	324	372	372	73	74	63	56	58	167	169
Grafenau (1+2)	806	846	864	390	434	435	99	101	58	53	55	176	177
Grafenau (3)	806	846	864	367	421	423	96	98	69	61	63	183	185
Grafenau (4)	806	846	864	334	383	385	81	82	89	80	82	205	207
Korntal-Münchingen	840	882	897	340	375	375	100	100	92	88	90	185	187
Leipzig Zwenkau	724	760	772	219	324	326	79	80	105	72	74	185	188
Rutesheim	751	788	802	350	371	372	82	83	58	60	61	184	186
S. Häfnerhaslach 1	815	854	864	318	348	348	78	79	73	70	71	198	201
S. Häfnerhaslach 2	815	854	864	311	346	346	94	94	90	84	85	197	199
Walheim	961	999	1013	335	371	370	88	88	89	82	83	184	186
Weissach	751	788	802	351	392	393	97	98	60	55	56	174	176
Mittelwert	793	831	846	335	368	368	85	86	73	71	73	191	193

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Fläche	Transpiration					Grundwasserneubildung						
	Fichte hist.	Fichte RCP 4.5	Fichte RCP 8.5	Eiche RCP 4.5	Eiche RCP 8.5	Fichte hist.	Fichte RCP 4.5	Fichte RCP 8.5	Eiche RCP 4.5	Eiche RCP 8.5	Differenz Fichte - Eiche RCP 4.5	Differenz Fichte - Eiche RCP 8.5
Aidlingen (5)	268	277	284	123	128	97	92	95	373	375	281	280
Aidlingen (8)	318	339	348	155	163	37	20	25	377	383	357	358
Aidlingen I (4)	244	196	201	103	106	88	212	217	369	374	157	157
Aidlingen II (6)	281	296	303	132	136	74	53	59	401	409	348	350
Grafenau (1+2)	311	330	339	206	213	45	29	34	358	367	329	334
Grafenau (3)	313	333	342	203	211	55	30	35	356	364	326	329
Grafenau (4)	300	332	339	153	161	80	49	57	398	406	349	349
Korntal-Münchingen	308	340	346	215	222	97	77	85	375	382	298	297
Leipzig Zwenkau	251	306	319	166	174	146	58	54	323	323	265	270
Rutesheim	298	323	328	175	182	43	33	40	340	345	307	306
S. Häfnerhaslach 1	262	275	281	133	138	159	156	160	437	440	281	280
S. Häfnerhaslach 2	269	287	293	167	173	140	131	134	385	389	254	254
Walheim	281	305	313	147	153	252	237	242	572	578	335	336
Weissach	306	327	333	232	240	33	15	20	279	283	264	264
Mittelwert	286	305	312	165	171	96	85	90	382	387	296	297

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Tabelle 4: Modellerte Grundwasserneubildung für die 14 Untersuchungsflächen bezogen auf die Größe der jeweiligen Flächen. Angegeben ist jeweils der Mittelwert der Jahressummen in m³. Der historische Zeitraum beinhaltet die Jahre 1970 bis 2021, der zukünftige Zeitraum, der jeweils unter der Annahme des Klimaszenarios RCP 4.5 bzw. RCP 8.5 modelliert wurde, beinhaltet die Jahre 2022 bis 2072. Der historische Zeitraum wurde auf Grundlage der aktuellen Nadelwaldbestände modelliert, für den zukünftigen Zeitraum wurden zwei verschiedene Waldbauszenarien untersucht, einmal die Fortführung der Nadelwaldbestände („Fichte“), einmal der Umbau hin zu Traubeneichenbeständen („Eiche“).

Fläche	Flächen- größe [m ²]	Grundwasserneubildung						
		Fichte hist.	Fichte RCP 4.5	Fichte RCP 8.5	Eiche RCP 4.5	Eiche RCP 8.5	Diff. Fichte - Eiche RCP 4.5	Diff. Fichte - Eiche RCP 8.5
Aidlingen (5)	16600	1610	1526	1575	6190	6218	4665	4643
Aidlingen (8)	14000	514	281	351	5281	5366	4999	5015
Aidlingen I (4)	15000	1313	3174	3257	5528	5607	2354	2351
Aidlingen II (6)	14000	1032	748	829	5614	5723	4866	4894
Grafenau (1+2)	37000	1658	1055	1240	13228	13579	12173	12340
Grafenau (3)	22300	1218	669	783	7930	8108	7261	7326
Grafenau (4)	7500	600	368	425	2986	3045	2618	2620
Kornthal-Münchingen	12000	1164	928	1014	4505	4583	3577	3569
Leipzig Zwenkau	90000	13095	5211	4815	29034	29079	23823	24264
Rutesheim	9000	388	299	357	3062	3109	2763	2751
S. Häfnerhaslach 1	7000	1111	1094	1120	3060	3081	1966	1961
S. Häfnerhaslach 2	6000	841	784	805	2308	2331	1525	1526
Walheim	7000	1763	1658	1694	4006	4047	2348	2353
Weissach	9000	300	134	176	2507	2547	2373	2372
Summe	266400	26605	17928	18440	95238	96424	77310	77984
Mittelwert pro ha	-	999	673	692	3575	3620	2902	2927

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Beurkundung der Grundwasserneubildung

Die stark reduzierte Transpiration und Interzeption resultiert, abzüglich der zunehmenden Evaporationsverluste, in **stark steigenden Grundwasserneubildungsraten von im Mittel fast 300mm** (Tabelle 3). Die absoluten zukünftigen Grundwasserneubildungsraten liegen entsprechend höher, bei rund 380 bis 390mm. Die Streuung liegt bei relativ geringen +/- 50mm. Aufgrund des kaum veränderten Wasserhaushalts zwischen historischen und zukünftigen Fichtenbeständen gelten diese Ergebnisse sowohl verglichen mit dem historischen Fichtenbestand als auch mit einem angenommenen zukünftigen Fichtenbestand. Auffallend bei alledem sind außerdem die nahezu deckungsgleichen Ergebnisse der Szenarien RCP4.5 und RCP8.5.

Bezieht man die Ergebnisse auf die Größe der jeweiligen Fläche (Tabelle 4) ergibt sich bei Fortführung der Fichtenbestände eine GWN von im Mittel 692 m³ pro ha und Jahr (RCP 8.5). **Bei Umbau zu Eiche** ergibt sich hingegen eine GWN von im Mittel 3620 m³ pro ha und Jahr (RCP 8.5), was einem **Mehrertrag von im Mittel 2927 m³ pro ha und Jahr** entspricht. Bezieht man diese Werte auf die Gesamtfläche des Projekts von 37,09 ha (alle 21 Standorte), ergibt sich bei Fortführung der Fichtenbestände eine GWN von im Mittel 497 m³ pro ha und Jahr (RCP 8.5) und beim Umbau zu Eiche von im Mittel 2600 m³ (RCP 8.5), was einem Mehrertrag von 1908 m³ entspricht. **In der Summe über alle 14 untersuchten Flächen**, was einer Flächengröße von ca. 27 ha entspricht, ergibt sich durch den Umbau zu Eichenbeständen ein **Mehrertrag von 77984 m³**.

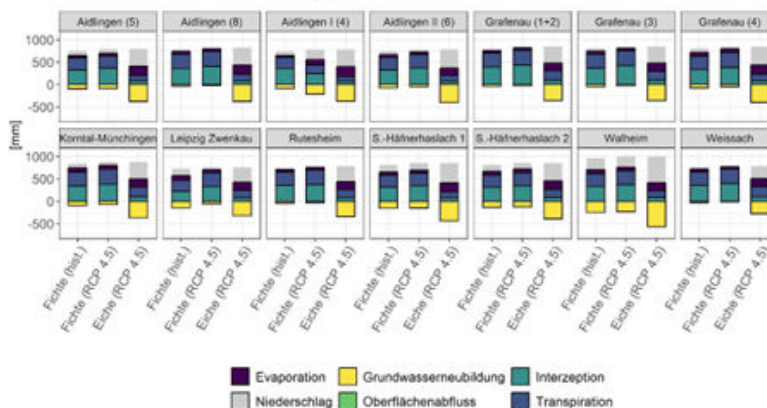


Abbildung 6: Vergleich der modellierten Wasserhaushaltsterme für die 14 untersuchten Flächen unter Annahme des Klimaszenarios RCP 4.5. Dargestellt ist der Mittelwert der Jahressumme. Fichte_{hist.} bezieht sich dabei auf den Zeitraum 1970 bis 2021, die Modellierung für das Klimaszenario RCP 4.5 auf den Zeitraum von 2022 bis 2072. Fichte_{RCP4.5} zeigt die Modellergebnisse für den Fall, dass die Nadelwaldbestände fortgeführt werden, Eiche_{RCP4.5} für das Szenario, dass die Bestände zu Traubeneichen umgebaut werden. Die Grundwasserneubildung ist als negative Säule dargestellt. Abbildung 8 im Anhang zeigt dasselbe unter Annahme des Klimaszenarios RCP 8.5.

Beurkundung der Grundwasserneubildung

Während Abbildung 5 den Mittelwert der Wasserhaushaltsterme über alle modellierten Standorte hinweg darstellt, sind in Abbildung 6 dieselben Ergebnisse, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Standorten, zu sehen. Dabei zeigen sich **nur geringfügige Unterschiede zwischen den Standorten** bezüglich der Anteile der einzelnen Wasserhaushaltsterme an der Wasserbilanz. Auch das Muster, dass sich beim Vergleich der Szenarien ergibt, unterscheidet sich meist kaum vom oben beschriebenen Durchschnitt (vgl. Tabelle 3). Ausnahmen stellen die Flächen Aidlingen I (4) und Leipzig Zwenkau dar. Auf der Fläche Aidlingen I (4) wird für 2022 bis 2072 eine höhere GWN als für den historischen Zeitraum vorhergesagt. Grund dafür ist vermutlich, dass der dortige Fichtenbestand aktuell sehr alt ist und im Modell angenommen wird, dass er 2023 geerntet und daraufhin neu begründet wird. Daher ist der Fichtenbestand über den größten Teil des modellierten Zeitraums vergleichsweise jung. Da junge Bestände eine geringere Transpirations- und Interzeptionsrate aufweisen, steht mehr Wasser für die GWN zur Verfügung. Die Fläche Aidlingen I (Fläche 4) ist insofern besonders interessant, da hier ein **Vergleich zwischen einem jungen Fichtenbestand und einem jungen Traubeneichenbestand** gezogen werden kann. Auch in diesem Fall ist die modellierte Grundwasserneubildung unter Traubeneiche höher als unter Fichte, jedoch ist der **Unterschied mit 157 mm GWN pro Jahr wesentlich geringer als der Flächendurchschnitt** von 297 mm pro Jahr. Für die Fläche Leipzig Zwenkau ergab die Modellierung eine Abnahme der GWN zwischen dem historischen und dem zukünftigen Zeitraum bei Fortführung der Lärchen-/Fichtenbestände. Dies ist vermutlich auf die zu Beginn der Modellierung jungen Fichten, die unter den Lärchen wachsen, zurückzuführen, deren LAI im Laufe der Modellierung besonders stark zunimmt (vgl. Abbildung 1). Interessant ist, dass sich die Fläche Leipzig Zwenkau darüber hinaus bezüglich der Wasserhaushaltsterme kaum von den anderen Flächen unterscheidet, obwohl der Bestand nicht nur aus Fichten, sondern vor allem aus Lärchen besteht, die im Winter ihre Nadeln verlieren. Dadurch sollte weniger Transpiration und Interzeption stattfinden und mehr Wasser zur Bildung von Grundwasser zur Verfügung stehen. Allerdings weist Leipzig Zwenkau von allen Flächen auch die geringste Niederschlagsmenge auf, sodass insgesamt vergleichsweise wenig Wasser vorhanden ist.

Bezüglich der absoluten Werte der modellierten GWN im Referenzzeitraum und bei Fortführung der Fichtenbestände zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Flächen: Während Aidlingen (8), Grafenau (1+2), Grafenau (3), Rutesheim und Weissach mit im Mittel 43 mm GWN pro Jahr unter dem Durchschnitt von 96 mm pro Jahr liegen, ist die GWN bei Leipzig Zwenkau, Sachsenheim Häfnerhaslach 1, Sachsenheim Häfnerhaslach 2 und Walheim mit im Mittel 174 mm pro Jahr deutlich höher als der Durchschnitt. Diese Unterschiede entstehen vermutlich vor allem aufgrund des jeweiligen maximalen LAI. Während für die erstgenannten Flächen ein vergleichsweise hoher LAI von zwischen 5,18 m²/m² und 5,72 m²/m² prognostiziert wurde, liegt er bei den letztgenannten Flächen deutlich niedriger (3,4 m²/m² bis 4,1 m²/m²). Bezüglich der GWN, die nach dem Umbau zu Traubeneichen zu erwarten ist, unterscheiden sich die Standorte deutlich weniger, was vermutlich auf das ähnliche Alter der neu gepflanzten Bestände zurückzuführen ist. Eine Ausnahme stellt die

Beurkundung der Grundwasserneubildung

Fläche Walheim dar, für die sich bei allen Szenarien eine überdurchschnittlich hohe GWN ergab. Diese ist wahrscheinlich auf die vergleichsweise hohen Niederschlagswerte zurückzuführen, die für Walheim prognostiziert werden, wodurch bei einer ähnlichen Evaporations-, Transpirations- und Interzeptionsrate mehr Wasser versickern kann.

Da, wie anhand Abbildung 5 und in Kapitel 4.4 bereits festgestellt, die Unterschiede in den Klimavariablen und daraus resultierend auch in den Wasserhaushaltstermen sehr gering sind, ergibt sich auch bei der Betrachtung der einzelnen Standorte das gleiche Bild. Für weitere Betrachtungen sei auf Abbildung 9 bis Abbildung 22 im Anhang verwiesen.

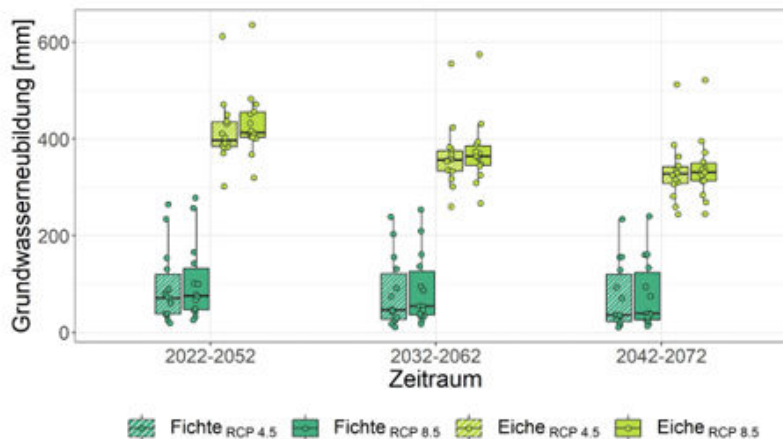


Abbildung 7: Entwicklung der modellierten Grundwasserneubildung über einen Zeitraum von 50 Jahren. Datengrundlage ist das 30-jährige Mittel auf den 14 untersuchten Flächen. Die Werte der einzelnen Flächen sind als Punkte dargestellt. Fichte_{RCP4.5} und Fichte_{RCP8.5} zeigen die Modellergebnisse für den Fall, dass die Nadelwaldbestände fortgeführt werden, Eiche_{RCP4.5} und Eiche_{RCP8.5} für das Szenario, dass die Bestände zu Traubeneiche umgebaut werden.

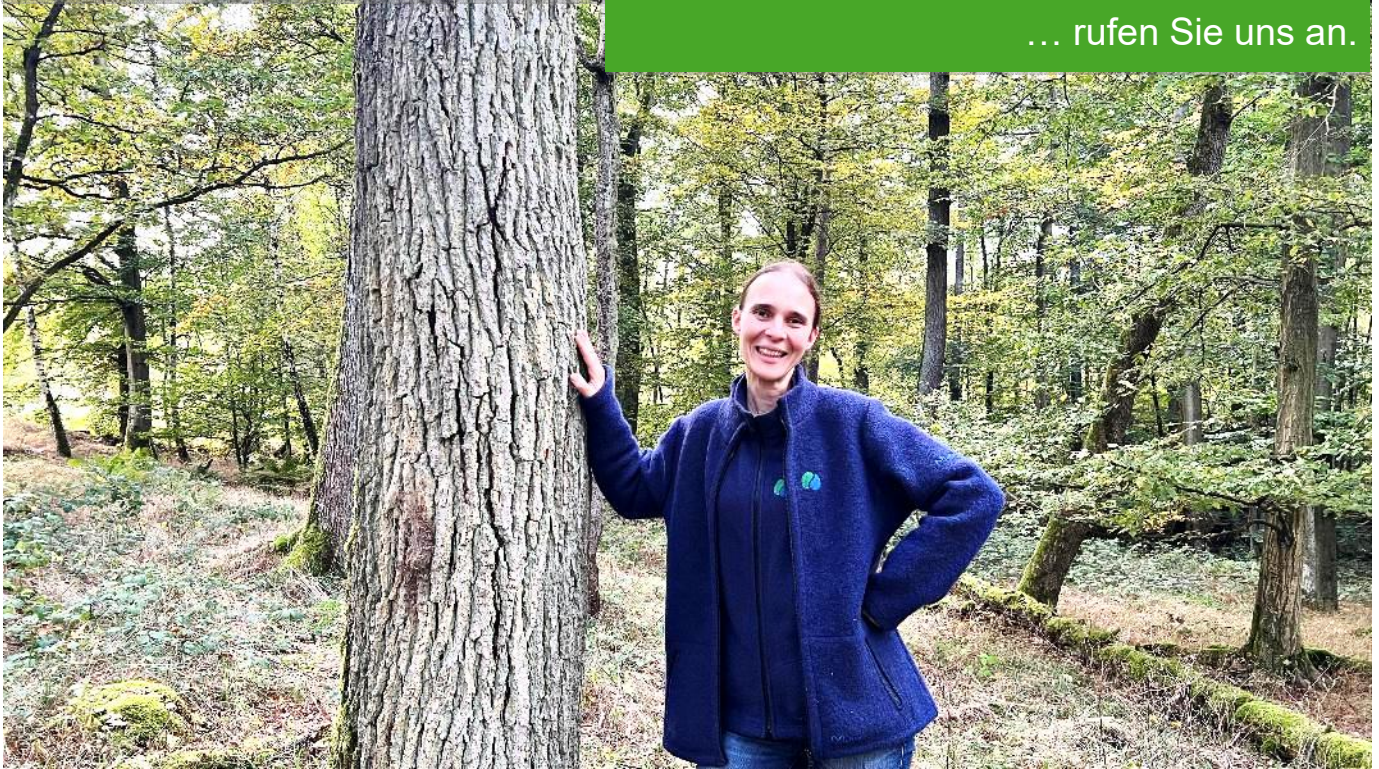
Bisher wurden in diesem Bericht die Mittelwerte über den kompletten 50-jährigen prognostizierten Zeitraum 2022-2072 dargestellt. Abbildung 7 zeigt nun zeitlich genauer aufgeschlüsselt die Mittelwerte der Grundwasserneubildungsraten über drei 30-jährige Zeiträume, welche innerhalb des 50-jährigen Prognosezeitraums jeweils um 10 Jahre gegeneinander verschoben sind. Es wird ersichtlich, dass die Grundwasserneubildungsrate mit fortschreitender Zeit perspektivisch abnimmt. Diese Tendenz ist besonders deutlich bei den ab 2022 modellhaft neu mit Eichen bestückten Beständen, und kaum ausgeprägt (obgleich vorhanden) bei den modellhaft neu mit Fichten bestückten Beständen. Diese abnehmende Tendenz ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf das sukzessive Wachstum der Bestände zurück zu führen, welche die anfallenden Niederschlagsmengen zunehmend in Transpiration und Interzeption umwandeln, und somit der Grundwasserneubildung das Wasser abgraben. Die mit 300 mm sehr hohen zusätzlichen Grundwasserneubildungsraten relativieren sich, gegen Ende des Prognosezeitraums ist mit niedrigeren Raten zu rechnen. Obwohl

Beurkundung der Grundwasserneubildung

sich damit die hohen Grundwasserneubildungsraten der Eiche den niedrigeren Raten der Fichte angleichen, ist zu erwarten, dass auch langfristig die Neubildungsraten der Eiche mit deutlichem Abstand über denen der Fichte liegen werden. Denn der Hauptgrund der erhöhten Grundwasserneubildungsraten unter Eiche ist die blattfreie Zeit außerhalb der Vegetationsperiode (also über den Winter), welche ohnehin die höchste saisonale Neubildungsrate aufweist. Der Blattwurf der Laubbäume verstärkt die Neubildung durch minimierte Transpirations- und Interzeptionsverluste in dieser Periode, wodurch die hohen Differenzen zwischen Fichte und Eiche zu erklären sind.

>> Bei Fragen zum Thema ...

... rufen Sie uns an.



Dr. Katharina Meyer-Schulz

Forstfachliche Leitung

katharina-meyer-schulz(at)trinkwasserwald.de

Mobil: 0151-183 41 141

Trinkwasserwald e.V.

Lange Straße 22

20359 Hamburg

Tel.: 040 / 287 88 230

www.trinkwasserwald.de

>> Trinkwasserwald

Copyright



Copyright

Eine Weitergabe dieser Unterlagen und der darin enthaltenen Informationen an Dritte, sowie die Verwendung, Verwertung oder Nachahmung in Gänze oder in Teilen, ist nur nach Erteilung einer vorherigen schriftlichen Zustimmung von Trinkwasserwald e. V. zulässig.

Sämtliche vorgestellten Inhalte sind geistiges Eigentum von Trinkwasserwald e. V. bzw. der erwähnten Quellen, für die in beiden Fällen der Urheberrechtsschutz gilt.