

Erhöhung des Grundwassereintrages durch gezielten Waldumbau

im Trinkwasserwald

Trinkwasserwald e.V.

Wald.Wasser.Werte.

Erhöhung des Grundwassereintrages durch Waldumbau

auf der Grundlage verschiedener Studien

Baumarten-wechsel	min. m2 / p.a. / mm / Liter *	max. m2 / 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 m/2) und Jahr, in Millimetern bzw. Litern

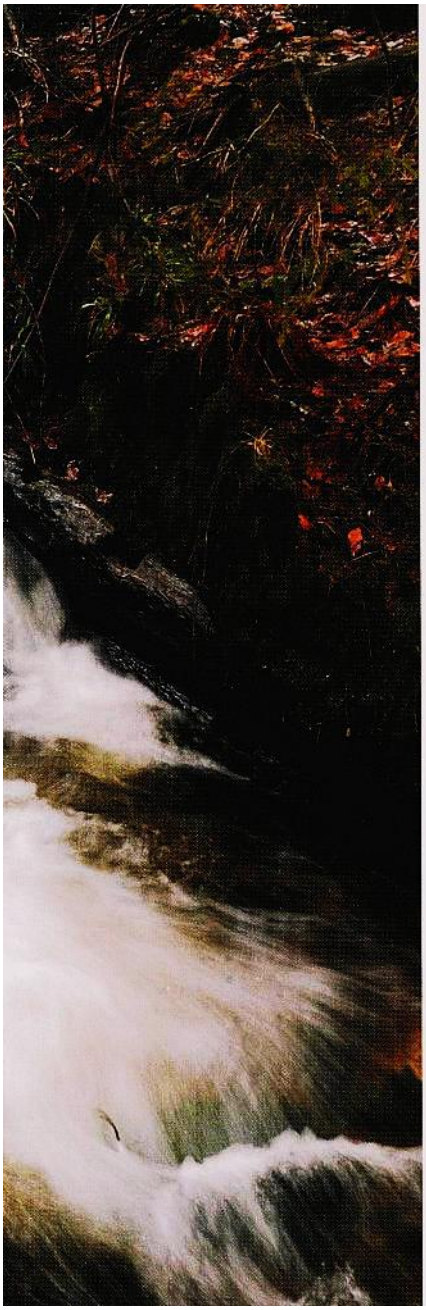
Auszug aus der Broschüre "Buchenwälder", S. 28/29

Dt. Forstwirtschaftsrat, 2. Auflage Mai 2008



"Buchenwälder", S. 31

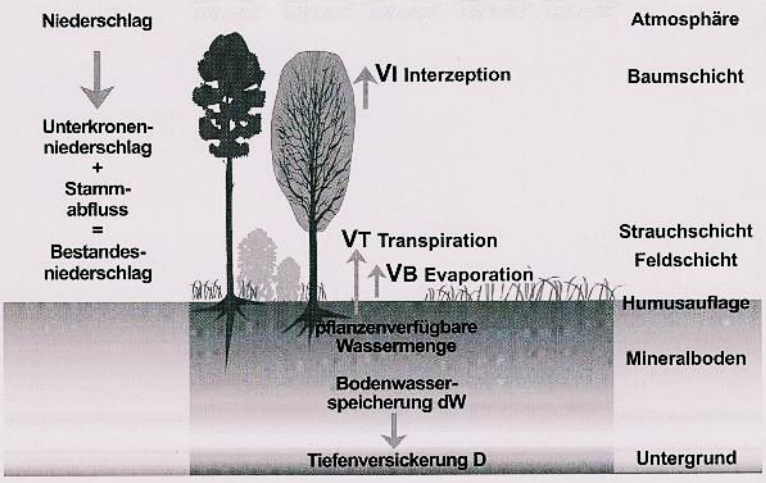
Dt. Forstwirtschaftsrat, 2. Auflage Mai 2008



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



“Buchenwälder", S. 32

Dt. Forstwirtschaftsrat, 2. Auflage Mai 2008

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

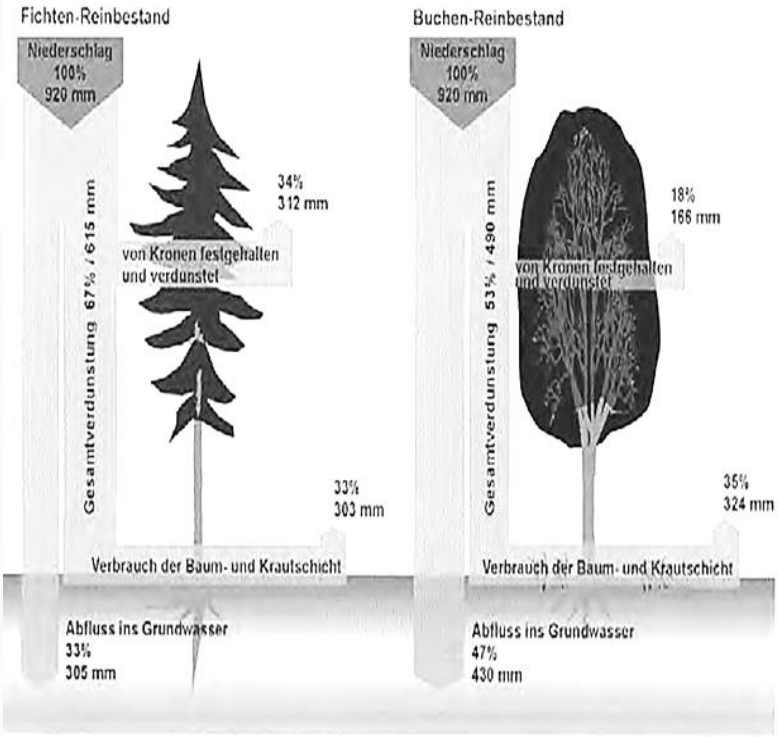


"Buchenwälder", S. 33

Dt. Forstwirtschaftsrat, 2. Auflage Mai 2008

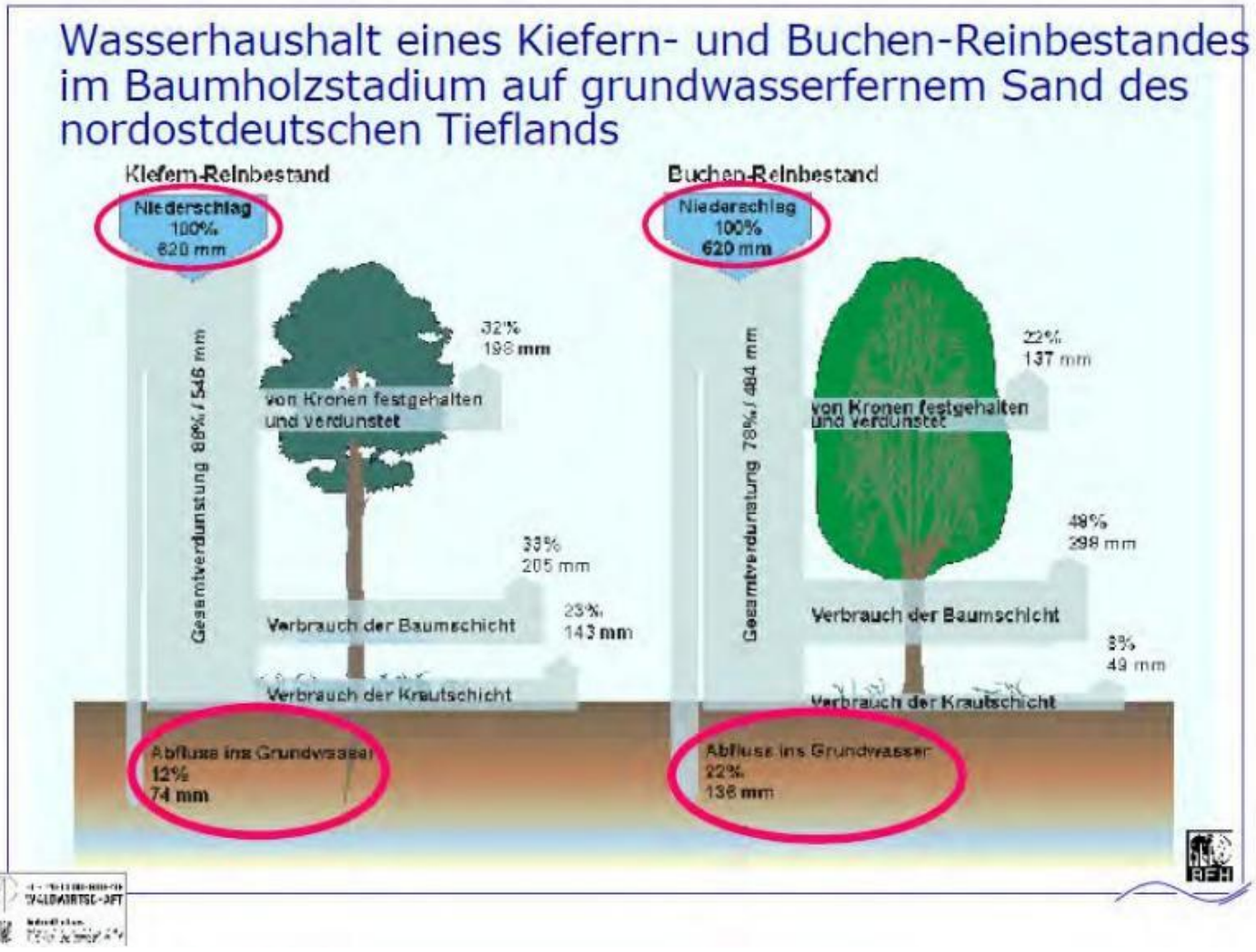
liegen die jährlichen Sickerungsraten auf über 85 % der Fläche zwischen 120 und 180 mm, während bei standortgleicher Kiefernbestockung nur auf ca. 8 % der Fläche jährliche Sickerungsraten von 80 bis 120 mm erreicht werden. Auf dem überwiegenden Teil der Fläche liegen hier die Sickerungsraten zwischen 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.



Bundesforschungsanstalt für Holzwirtschaft von Thünen Institut

Auszug aus der BMBF Studie 2003, S. 12



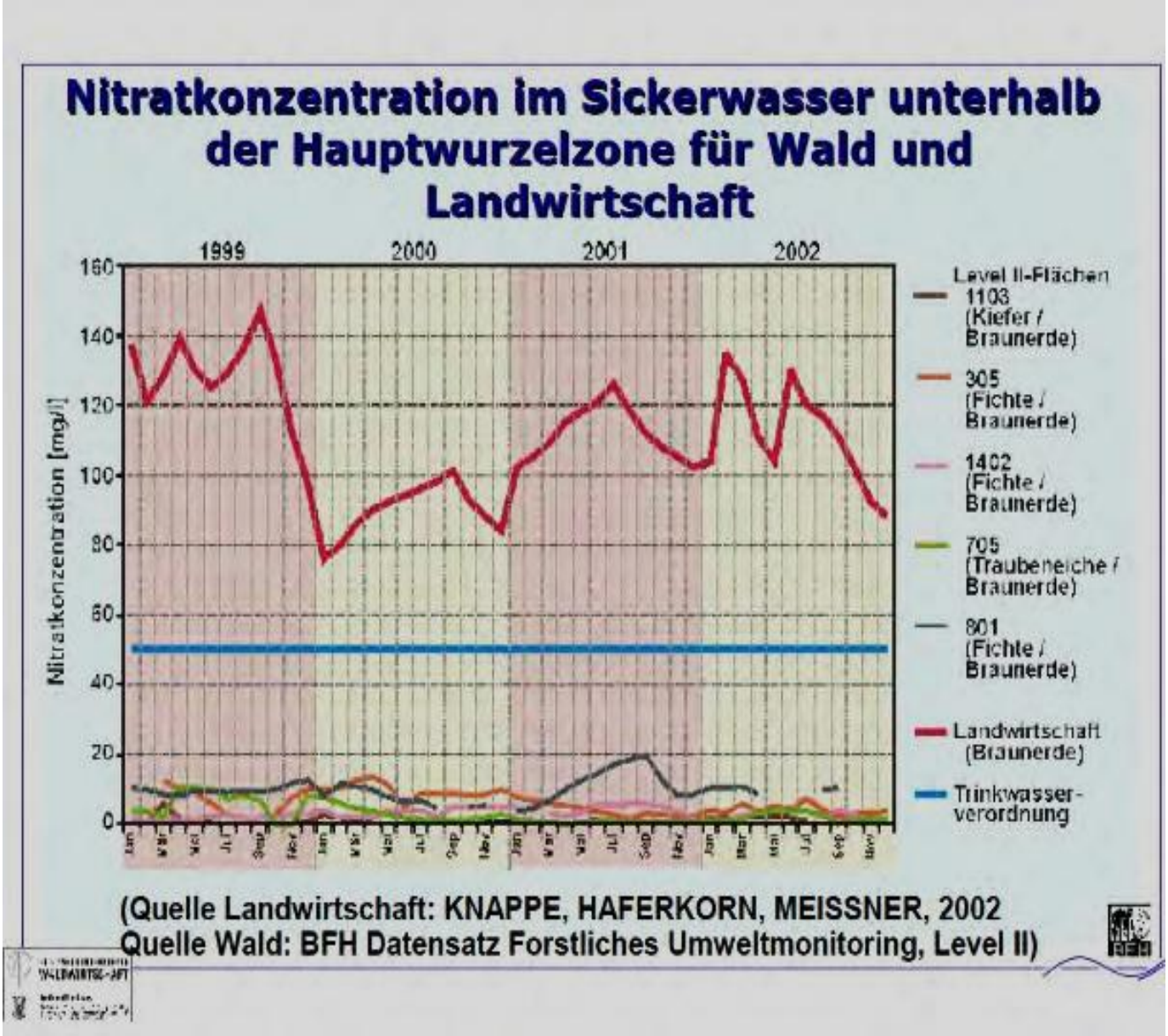
Bundesforschungsanstalt für Holzwirtschaft von Thünen Institut

Auszug aus der BMBF Studie 2003, S. 12



Auszug aus der BMBF Studie 2003, S.70

Der Einfluss des Waldes auf die Qualität des Grundwassers



Auszug aus der BMBF Studie 2003, S.77

Der Einfluss des Waldes auf die Qualität des Grundwassers

Zentrale Aussagen zum Waldwasserhaushalt

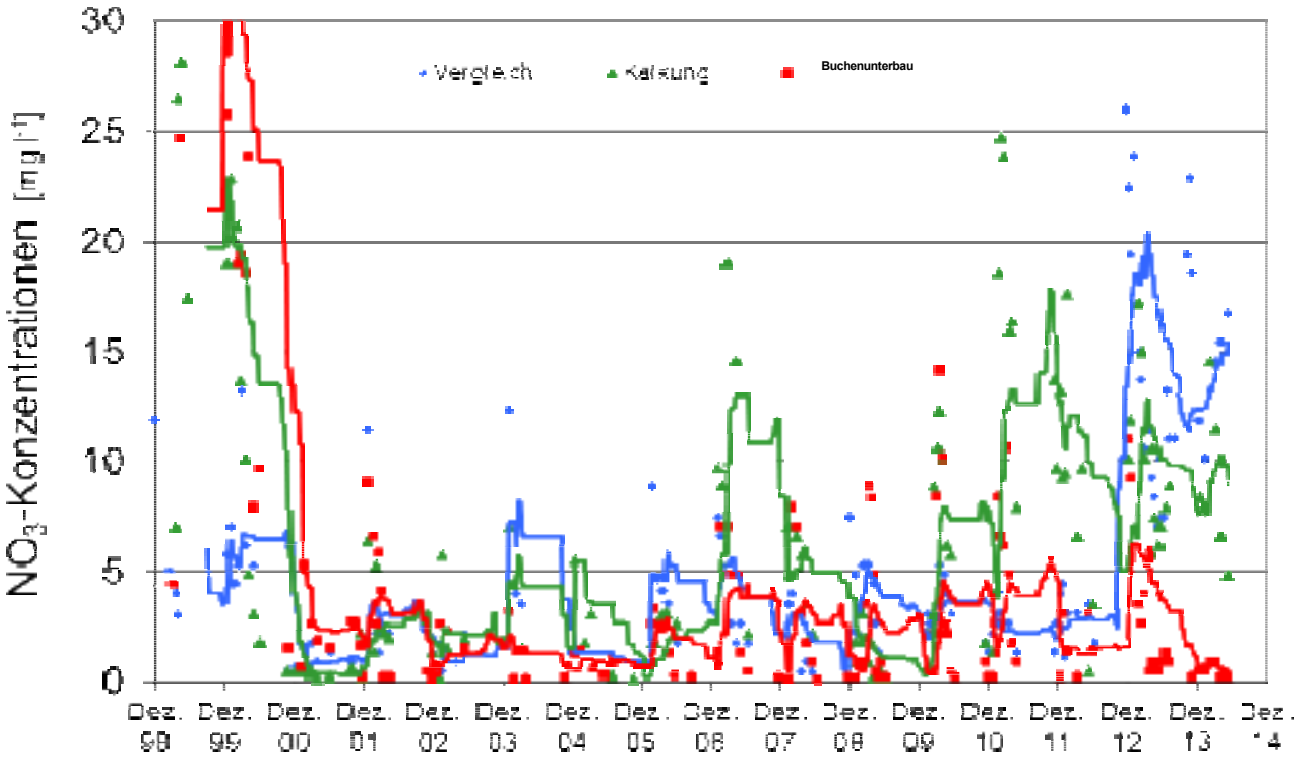
1. auf dem gleichen Standort ist die Grundwasser-neubildung bei vergleichbaren Niederschlags-bedingungen unter Laubwäldern erheblich höher als unter Nadelwäldern
2. Wasser aus Waldgebieten ist in der Regel sauberer als solches aus Agrarlandschaften. Sickerwasser aus Laubwäldern ist in der Regel geringer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

Sachstandsbericht Juli 2014, S. 1-2

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-1auf 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-1in 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.

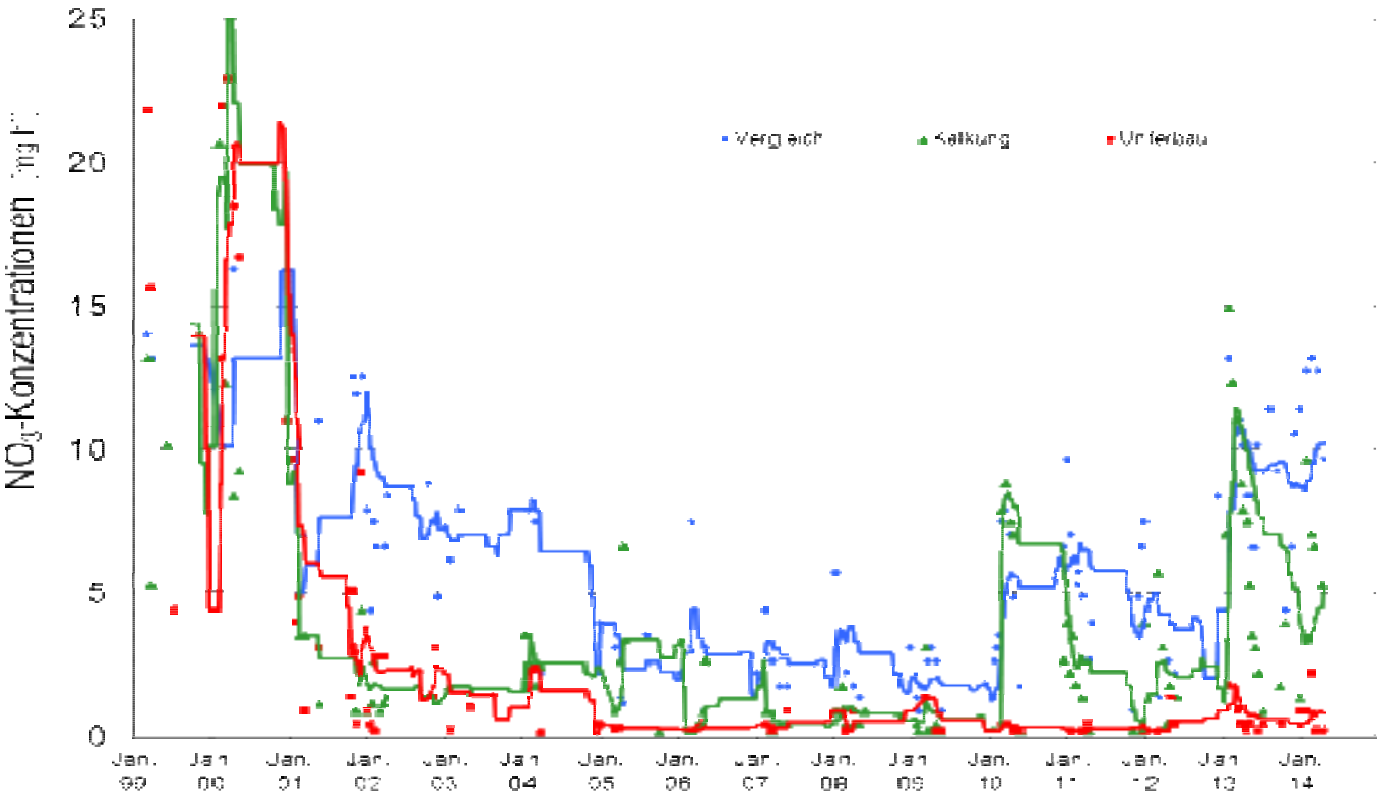


Abbildung 4: Verlauf der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in 2,5 m Tiefe unter Wald (durchgezogene Linie: Trendlinien / positiv **Buchenunterbau**)

Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität

2.3.1 Wasserhaushalt und Wasserrückhalt verbessern

Dem Wasserhaushalt kommt eine **Schlüsselfunktion** bei der Anpassung von Wäldern an zunehmende Trocken- und Hitzeereignisse zu. **Bei allen waldbaulichen Eingriffen ist daher besonderes Augenmerk auf die Bewahrung bzw. Verbesserung des Waldinnenklimas und des Bodenwasserangebots zu legen**, um Temperaturextreme abzupuffern und die Konkurrenz um Wasser abzumildern (Bolte und Ibisch 2007; Ellison et al. 2017; Vose et al. 2016).

Während es insbesondere bei trockenheitsanfälligen Fichtenbeständen unter bestimmten Umständen geboten sein kann, durch stärkere **Durchforstungseingriffe** kurzfristig eine Entlastung des Wasserhaushalts für die verbliebenen Bäume herbeizuführen (Gebhardt et al. 2014; Kohler et al. 2010; Kunert 2017), müssen in allen anderen Beständen Eingriffe wie Durchforstung, Holzernte und Walderschließung so schonend und ökosystemverträglich wie möglich gestaltet werden, um das Waldinnenklima soweit wie möglich zu erhalten (Vose et al. 2016).

Günstig auf das Waldinnenklima wirkt sich vor allem der Anbau von **Laubwäldern** aus, die in der Regel eine höhere Tiefensickerung und Grundwasserneubildung aufweisen als Nadelwälder (Ellison et al. 2017; Lasch et al. 2012). Positive Effekte auf den Wasserhaushalt von Waldbeständen haben außerdem z. B. die Erhöhung des Totholzanteils, der Erhalt alter Wälder, die Erhöhung bzw. der Erhalt des Wasserrückhaltepotenzials der Waldböden durch den Einsatz bodenschonender Forsttechnik, die Schließung von Drainagegräben, eine Wegeentwässerung in den Waldbestand und die Reaktivierung des Wasserspeicherpotenzials von Waldmooren durch deren Wiedervernässung.

Waldumbau in Brandenburg: Grundwasserneu bildung unter Klimawandel

PROBLEMSTELLUNG

- Die Grundwasserneubildung unter Wald ist eine wichtige Funktion im Landschaftswasserhaushalt.
- Baumarten unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihres Beitrags zur Grundwasserneubildung.
- Der zu erwartende Klimawandel verlangt eine angepasste Auswahl der Baumarten für den Waldumbau.
- Steigende Temperaturen und sinkende Sommerniederschläge können sich negativ auf den Landschaftswasserhaushalt auswirken, eine geeignete Baumartenwahl kann diesem Effekt entgegenwirken.

METHODE

- Nutzung des Waldwachstumsmodell 4C (Lasch & Suckow 2007) an 800 ÖWK[1]-Standorten in Brandenburg.
- Berechnung der monatlichen Versickerungsraten als Maß für die Grundwasserneubildung.
- Nutzung ertragstafelbasierter Reinbestände (Alter 55 Jahre) für Kiefer, Douglasie, Buche und Eiche zur Modellinitialisierung.
- Zuordnung der Bodeninformation zu ÖWK-Standorten nach BÜK 1000.
- Simulation einer einfachen Bewirtschaftung (Entnahme von 15% der Stämme alle 5 Jahre).

KLIMASZENARIEN UND KLIMAUNSICHERHEIT

- Meteorologische Daten für 1977-2006 und Klimaszenarien des statistischen Modells STAR II (Endlicher & Gerstengarbe 2007) für 2342 meteorologische Stationen werden eingesetzt.
- Die Szenarien weisen eine Temperaturerhöhung von jeweils 0K, 1K, 2K und 3K bis 2060 für Deutschland auf.
- Pro Szenario und Station sind 100 Realisierungen verfügbar, die sich in der Niederschlagsentwicklung unterschieden.
- Die Simulationen werden für den Zeitraum 2031 - 2060 für alle Realisierungen durchgeführt, gemittelt und die Ergebnisse der Grundwasser-neubildung verglichen mit den Ergebnissen der Simulationen für 1977 - 2006.

ERGEBNISSE I

- Die Grundwasserneubildung unter Kiefer und Douglasie ist unter dem Gegenwartsklima sowohl ganzjährig als auch in der Vegetationsperiode deutlich geringer als unter Buche und Eiche (Abb. 1).
- Dieser Vorteil der Laub- gegenüber den Nadelbaumarten (geringere Interzeptionsverluste im Winter) findet sich unter allen Klimaszenarien wieder (Tab. 1), z.B. im Jahresgang für das 3K-Szenario für Buche und Kiefer (Abb. 2).
- Im Mittel über alle simulierten Standortbedingungen ist ein Trend zum Rückgang der Grundwasserneubildung unter den Klimaszenarien für alle Baumarten zu erkennen (Tab. 1).

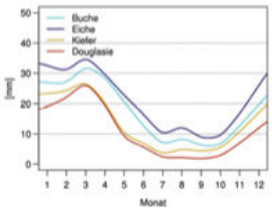


Abb. 1 Mittlere monatliche Versickerungsrate im Zeitraum 1977-2006 der vier Baumarten

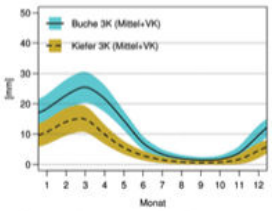


Abb. 2 Mittlere monatliche Versickerungsrate mit der Variation der 100 Realisierungen im Zeitraum 2031-2060 für Buche und Kiefer unter dem 3K-Szenario

Tab. 1 Mittlere jährliche Versickerungsrate für vier Baumarten und die Klimaszenarien. Der Variationskoeffizient VK gibt die mittlere Variation der Versickerungsrate durch die 100 Realisierungen an.

	Kiefer		Douglasie		Buche		Eiche	
Szenario	Mittel [mm]	VK [mm]	Mittel [mm]	VK [mm]	Mittel [mm]	VK [mm]	Mittel [mm]	VK [mm]
Basis	195	-	160	-	240	-	284	-
0K	172	28	141	26	219	27	262	28
1K	146	28	118	26	198	27	239	28
2K	113	26	88	23	173	26	209	27
3K	79	22	59	20	142	25	176	27

ERGEBNISSE II

- Der prozentuale Rückgang der jährlichen Versickerungsrate ist für alle Baumarten unter dem 3K-Szenario in den nord-westlichen forstlichen Wuchsgebieten am geringsten, in den mittleren und südlichen forstlichen Wuchsgebieten am höchsten (Abb. 3).
- Die Laubbaumbestände zeigen auf Grund der höheren jährlichen Versickerungsraten einen deutlich geringeren prozentualen Rückgang der Versickerungsraten gegenüber den Nadelbaumbeständen.

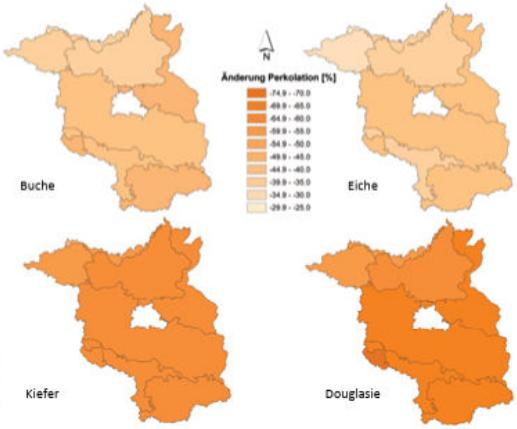


Abb. 3 Mittlere Änderung der jährlichen Versickerungsrate (Perkolation) für das 3K-Szenario, 2031-2060, gegenüber dem Basiszeitraum 1977-2006, gemittelt über die forstlichen Wuchsgebiete (schwarz umrandet, Wolff 2002)

FAZIT: Der Umbau von Nadelbaum- zu geeigneten Laubbaumbeständen ist eine zweckvolle Anpassungsmaßnahme an den projizierten Klimawandel, welche die zu erwartenden Beeinträchtigungen des Landschaftswasserhaushalts verringert.

[1]ÖWK - ökologische Waldzustandskontrolle

LITERATUR

Lasch, P. & Suckow, F. (2007). MLUV des Landes Brandenburg (Hrsg.): Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalde: 230-237.

Endlicher, W. & Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.) (2007). Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. PIK und Deutsche Gesellschaft für Geographie, Potsdam.

Autoren M. Gutsch, P. Lasch, F. Suckow, C. Reyer PIK FB II Klimawirkung & Vulnerabilität

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

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

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 Adaptionsstrategie 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 (Sächsischen Landesamtes 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 einflossen.

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

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 [redacted] 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 Gesamtzuwaches 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

5

Trinkwasserwald e.V. UDATA HAWK

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

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.

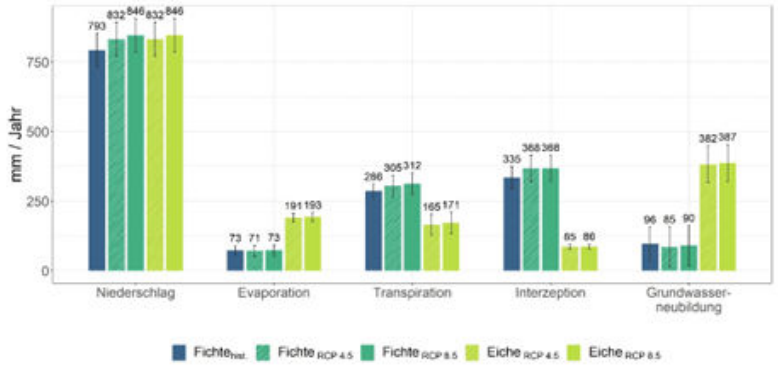


Abbildung 5: Modellierte Wasserbilanzterme. Die Höhe der Balken und die Zahlen über den Balken geben jeweils den Mittelwert der Jahressummen als Durchschnitt der 14 untersuchten Flächen an. Die Fehlerbalken zeigen den Bereich von minus bis plus einer Standardabweichung um den Mittelwert. Fi $_{hist.}$ 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.

Trinkwasserwald e.V. UDATA Umwelt & Bildung HAWK

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

Tabelle 3: Modellierte 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-Münch-ingen	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: Modellierte Grundwasserneubildung für die 14 Untersuchungsflächen bezogen auf die Größe der jeweiligen Flächen. Angegeben ist jeweils der Mittelwert der Jahressummen in m^3. 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	Flächengröße [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**
Korntal-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

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 m^3 pro ha und Jahr (RCP 8.5). **Bei Umbau zu Eiche** ergibt sich hingegen eine GWN von im Mittel 3620 m^3 pro ha und Jahr (RCP 8.5), was einem **Mehrertrag von im Mittel 2927 m^3 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 m^3 pro ha und Jahr (RCP 8.5) und beim Umbau zu Eiche von im Mittel 2600 m^3 (RCP 8.5), was einem Mehrertrag von 1908 m^3 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 m^3**.

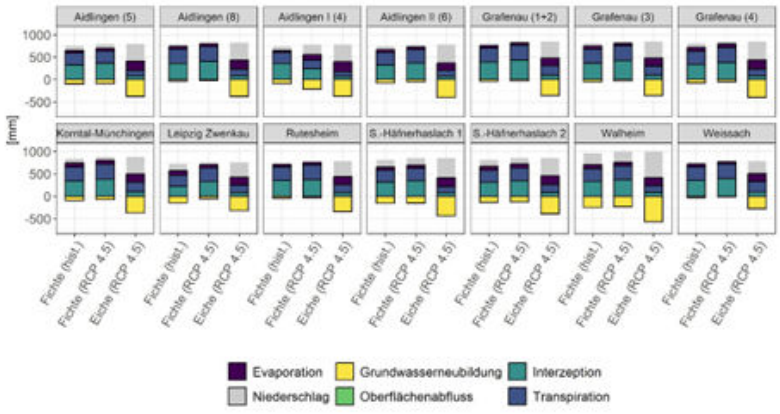


Abbildung 6: Vergleich der modellierten Wasserhaushaltsterme für die 14 untersuchten Flächen unter Annahme des Klimaszenarios RCP 4.5. Dargestellt ist der Mittelwert der Jahressumme. Fichte $_{hist.}$ bezieht sich dabei auf den Zeitraum 1970 bis 2021, die Modellierung für das Klimaszenarien RCP 4.5 auf 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.

Trinkwasserwald e.V. UDATA HAWK

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

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 historischem 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 GWNB 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 m^2/m^2 und 5,72 m^2/m^2 prognostiziert wurde, liegt er bei den letztgenannten Flächen deutlich niedriger (3,4 m^2/m^2 bis 4,1 m^2/m^2). 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

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

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.

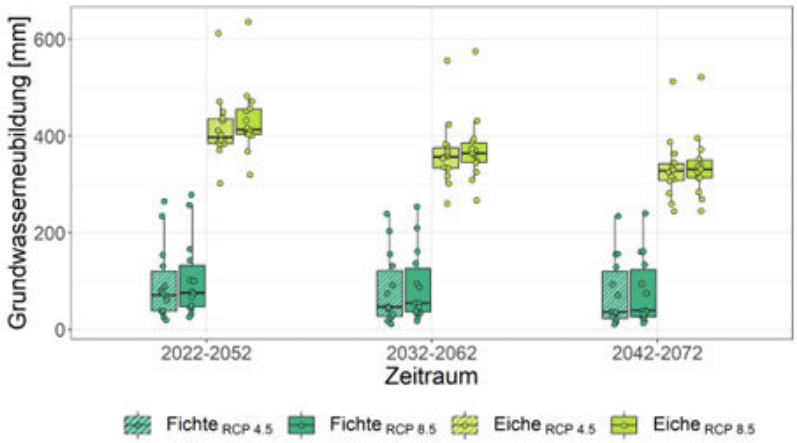


Abbildung 7: Entwicklung der modellierten Grundwasserneubildung über einen Zeitraum von 50 Jahren. Datengrundlage ist das 30-jährige Mittel auf den 14 untersuchten Flächen. Die Werte der einzelnen Flächen sind als Punkte dargestellt. $Fichte_{RCP4.5}$ und $Fichte_{RCP8.5}$ zeigen die Modellergebnisse 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 bestückt 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

Auszug Wissenschaftliche Untersuchung

Waldumbau bei Leipzig und Stuttgart

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.

Trinkwasserwald e.V.

UDATA

HAWK

>> Bei Fragen zum Thema ...

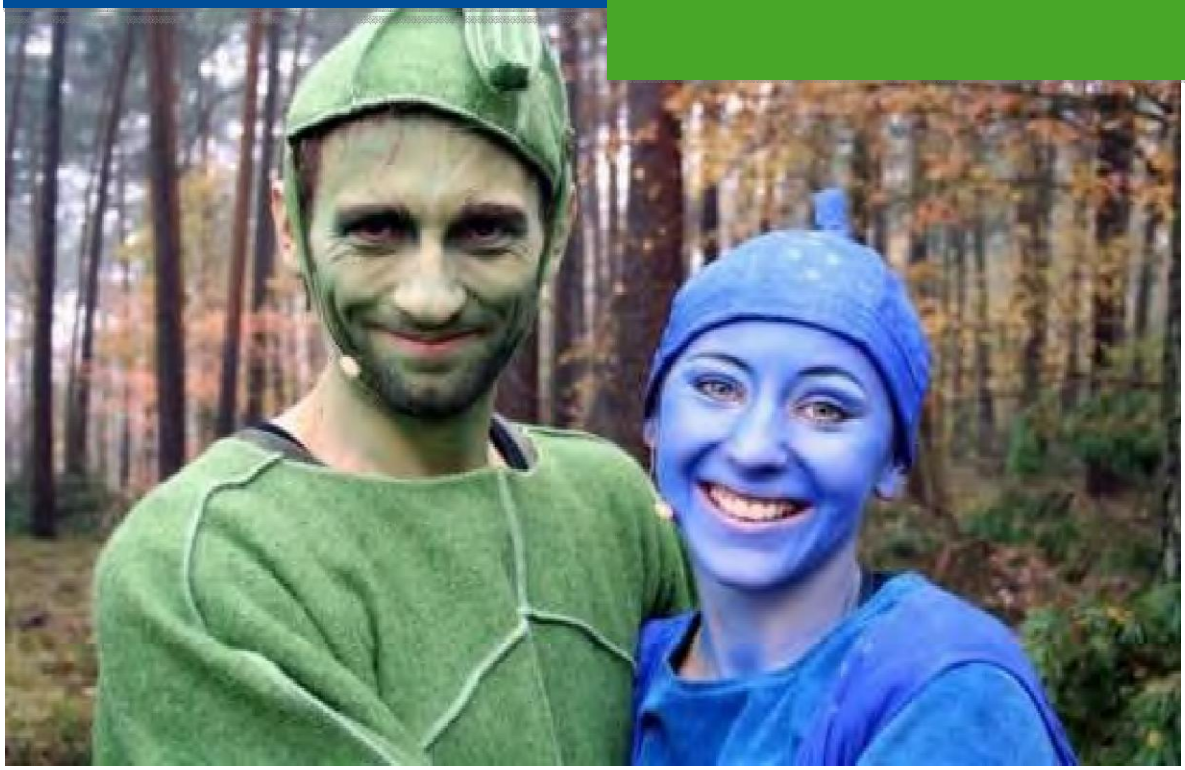
… rufen Sie uns an.



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.