

Effekte der forstlichen Fördermaßnahmen des Landesprogramms ländlicher Raum (LPLR) des Landes Schleswig-Holstein auf die Wasserqualität und -quantität

Friederike Rorig

5-Länder-Evaluation 9/2022



Finanziell unterstützt durch:

Wir fördern den ländlichen Raum



Landesprogramm ländlicher Raum: Gefördert durch die Europäische Union - Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER), den Bund und das Land Schleswig-Holstein
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete

Publiziert:

DOI-Nr.: 10.3220/5LE1668000644000

www.eler-evaluierung.de

Der nachfolgende Text wurde in geschlechtergerechter Sprache erstellt. Soweit geschlechtsneutrale Formulierungen nicht möglich sind, wird mit dem Doppelpunkt im Wort markiert, dass Frauen, Männer und weitere Geschlechtsidentitäten angesprochen sind. Feststehende Begriffe aus Richtlinien und anderen Rechtstexten bleiben unverändert.

Thünen-Institut für Waldwirtschaft

M. Sc. Friederike Rorig

Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg

Tel.: +494073962338

Fax: +494073962399

E-Mail: friederike.rorig@thuenen.de

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Braunschweig, November 2022

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs-, Karten- und Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
0 Zusammenfassung und Summary	1
Zusammenfassung	1
Summary	1
1 Einleitung	2
2 Fragestellung	2
3 Daten und Methoden	3
4 Einfluss des Waldes auf Wasser	3
4.1 Sickerwasser	4
4.2 Grundwasser	5
4.3 Trinkwasser	5
5 Förderung waldbaulicher Maßnahmen in SH im Rahmen des LPLR	5
5.1 Gesetzlicher Rahmen	6
5.2 Maßnahmeninhalte und Inanspruchnahme	6
6 Wirkungsanalyse der Forstmaßnahmen	7
6.1 Einfluss des Waldumbaus hin zu Misch- und Laubwäldern auf die Wasserqualität	7
6.2 Einfluss des Waldumbaus auf die Wasserquantität	8
6.3 Wirksamkeit der Förderung	9
7 Trockenstress – die Herausforderung der letzten (und kommenden) Jahre	11
8 Fazit	12
Literaturverzeichnis	14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	N-Flüsse und -Speicher im Wald	8
--------------	--------------------------------	---

Kartenverzeichnis

Karte 1:	Chemischer Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland 2016	4
Karte 2:	Waldverteilung Schleswig-Holsteins	9
Karte 3:	Zustands des Grundwasserkörpers im Hauptgrundwasserleiter bezüglich Nitrat 2014	10
Karte 4:	Flächenoutput der Maßnahmen bezogen auf die Landkreisflächen 2014–2020	11
Karte 5:	Klimatische Wasserbilanz in Deutschland	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zielsetzungen der Fördermaßnahmen Code 8.4 und 8.5 in den SPB	3
Tabelle 2:	Output der TM 8.4 und TM 8.5 auf Basis der Auszahlungsdaten 2014 bis 2020	6
Tabelle 3:	Output TM 8.4 und TM 8.5 mit Bezug auf Holzanteile auf Basis von Auszahlungsdaten	7

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
LPLR	Landesprogramm ländlicher Raum
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BWaldG	Bundeswaldgesetz
BZE	Bodenzustandserhebung
CMEF	Common Monitoring and Evaluation Framework
GAP	Gemeinsamen Agrarpolitik
ha	Hektar
KWB	Klimatische Wasserbilanz
N	Stickstoff
NO ₃	Nitrat
O	nicht programmiertes Ziel
p	prioritäres Ziel
TM	Teilmaßnahme
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
x	sekundäres Ziel

0 Zusammenfassung und Summary

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die im Rahmen des Landesprogramms ländlicher Raum (LPLR) 2014–2022 angebotenen forstlichen Fördermaßnahmen in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Wasserqualität und -quantität behandelt. Der Berichtszeitraum umfasst die Periode 2014 (Maßnahmenstart) bis 2020. Es wird Bezug genommen auf die Gemeinsame Bewertungsfrage 9 (Verbesserung der Wasserwirtschaft). Folgende angebotene und umgesetzte Maßnahmen wurden evaluiert: 8.4 Wiederaufbau Wald, 8.5 Waldumbau. Methodisch stützt sich der Bericht auf die Auswertung der Förderdaten und auf Literaturanalysen.

Im Berichtszeitraum wurden 977 ha durch Naturkatastrophen geschädigter Wald wiederaufgebaut. Auf 756 ha wurde Waldumbau durchgeführt.

Insgesamt sind die forstlichen Maßnahmen geeignet, die Verbesserung der Wasserqualität und -quantität zu unterstützen. Die waldbaulichen Maßnahmen zielen insbesondere auf die Entwicklung stabiler Laub- und Mischbestände. Diese haben positiven Einfluss auf den Wasserhaushalt und die Wasserqualität. Die Wirkungen sind aber aufgrund des geringen Förderumfangs begrenzt und durch die langsamen Wachstumsperioden erst mit großem zeitlichem Abstand zur Durchführung der Maßnahme sichtbar.

Summary

The report addresses the forestry support measures offered under the Landesprogramm ländlicher Raum (LPLR) 2014 to 2022 (Rural Development Programme) in terms of their impact on water quality and quantity. The reporting period covers the period 2014 (start of measures) to 2020. Reference is made to common evaluation question 9 (improving water management). The following measures improving the resilience and environmental value of forest ecosystems were evaluated: 8.4 Wiederaufbau Wald (forest reconstruction), 8.5 Waldumbau (forest conversion). Methodologically, the report is based on the analysis of funding data and literature reviews.

During the reporting period, 977 ha of forest damaged by natural disasters were reconstructed. Forest conversion was carried out on 756 ha.

Overall, the forestry measures are suitable to support the improvement of water quality and quantity. The silvicultural measures aim in particular at the development of stable deciduous and mixed stands. These have a positive influence on the water balance and water quality. However, the effects are limited due to the small scale of the funding and, due to the slow growth periods, are only visible after a period of time.

1 Einleitung

Der vorliegende Bewertungsbericht ist Teil der Evaluation des Landesprogramms ländlicher Raum Schleswig-Holstein 2014 bis 2022 (LPLR). In diesem Bericht wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Förderung zu einer Verbesserung des Wasserhaushaltes und der Wasserqualität beiträgt. Dabei wird im Rahmen einer Literaturanalyse insbesondere beleuchtet, wie sich die Bestockungsverhältnisse auf die Qualität des Sicker- und Grundwassers auswirken und somit auch auf das Trinkwasser. Bezugszeitraum sind die Jahre 2014–2020.

Im zweiten Kapitel wird die Fragestellung beschrieben; Daten und Methoden werden in Kapitel 3 dargestellt.

In Kapitel 4 wird auf der Grundlage eines Literaturreviews der Einfluss des Waldes auf die Wasserqualität und -quantität erörtert. Es wird aufgezeigt, wie die Wechselwirkung Wald-Wasser zu verstehen ist, besonders in Bezug auf den Nitratgehalt im Wasser. Im Speziellen wird auf Trink-, Grund- und Sickerwasser im Wald Bezug genommen.

Dem folgt in Kapitel 5 die Beschreibung der forstlichen Maßnahmen mit deren Output während der untersuchten Periode. Es wird Bezug genommen auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die bei waldbaulichen Maßnahmen, auch im Hinblick auf die Wasserqualität, eingehalten werden müssen.

Im sechsten Kapitel wird darauf eingegangen, wie sich die waldbaulichen Maßnahmen konkret auf die Wechselwirkungen Wald-Wasser auswirken und ob diese neben einem Effekt auf die Quantität auch einen positiven Einfluss auf die Senkung des Nitratgehaltes leisten können. Weiter wird beleuchtet inwieweit die Förderung eine Wirksamkeit hinsichtlich dieser Effekte hat.

In Kapitel 7 wird die Bedeutung des aktuellen Klimawandels in Bezug auf das Thema Wasserqualität und -quantität dargestellt. Im Fazit (Kapitel 8) wird eine Zusammenfassung gegeben und erläutert inwieweit die Förderung fähig ist den Erhalt und die Verbesserung der Wasserqualität und -quantität der Wälder zu unterstützen.

2 Fragestellung

Im Zentrum des vorliegenden Berichts steht die Bewertungsfrage 9 des Common Monitoring and Evaluation Framework (CMEF): ***In welchem Umfang wurde durch die Interventionen im Rahmen des Programms zur Entwicklung des ländlichen Raums die Verbesserung der Wasserwirtschaft einschließlich Düngung und Pflanzenschutz unterstützt?***

Die im Rahmen des LPLR geförderten Forstmaßnahmen sollen vorrangig einen Beitrag zu dem Schwerpunktbereich 5E: Förderung der Kohlenstoffspeicherung und -bindung in der Land- und Forstwirtschaft leisten. Sekundäre Ziele werden im Schwerpunktbereich 3B: Unterstützung der Risikovorsorge und des Risikomanagements in den landwirtschaftlichen Betrieben verfolgt. Aber auch im Hinblick auf andere Schutzgüter (Biodiversität 4A, Wasser 4B, Boden 4C) können die Fördermaßnahmen eine Wirkung entfalten. Der Schwerpunktbereich 4B wurde im LPLR formal nicht adressiert. Es wurde aber im Feinkonzept (Raue et al., 2018) vereinbart, den Beitrag der forstlichen Förderung zu diesem Wirkungsbereich zu evaluieren, und zwar für die Vorhabenarten 8.4 Wiederaufbau Wald und 8.5 Waldumbau (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Zielsetzungen der Fördermaßnahmen Code 8.4 und 8.5 in den SPB

Code	1A	1B	1C	2A	2B	3A	3B	4A	4B	4C	5A	5B	5C	5D	5E	6A	6B	6C
8.4							X ²	O ³	O ⁴	O ⁵					P ¹			
8.5							X ²	O ³	O ⁴	O ⁵					P ¹			

P: prioritäres Ziel; X: sekundäres Ziel; O: nicht programmiertes Ziel

P¹: Stärkung der Senkenfunktion des Waldes durch die Begründung stabilerer Bestände (nicht Maximierung Speicherleistung)

X²: standortgerechte Bestände sind nach heutigen Erkenntnissen besser an die Auswirkungen des Klimawandels angepasst
 O³: Laubholzreiche und standortgerechte Bestände sind in der Regel naturnäher als die nicht standortgerechten (nadelholzdominierten) Ausgangsbestände. Eine naturnähere Bestockung ist die Voraussetzung für eine naturnähre Entwicklung der gesamten Waldlebensgemeinschaft

O⁴: Laubholz ist bezüglich der Wirkungen auf die Wasserqualität und -quantität günstiger einzuschätzen als Nadelholz

O⁵: Verbesserung/Wiederherstellung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit durch eine verbesserte Durchwurzelung des Bodens und veränderte Streuzusammensetzung des Laubholzes.

Quelle: (Raue et al., 2018).

Die Fördermaßnahme Erstaufforstung (Code 8.1) wird an dieser Stelle nicht mit evaluiert. Da es sich bei dieser Maßnahme lediglich um die Auszahlung von Altverpflichtungen handelt, ist die Fördermaßnahme 8.1 nicht Gegenstand der Evaluierung.

Gemäß unserer Evaluierungssystematik werden die Forstmaßnahmen als sogenannte Black-Box-Maßnahmen in den Themenfeldbericht zur Beantwortung der programmbezogenen Bewertungsfragen zum Schutzgut Wasser einfließen, der die Grundlage für die Ex-post-Bewertung in 2026 bildet.

3 Daten und Methoden

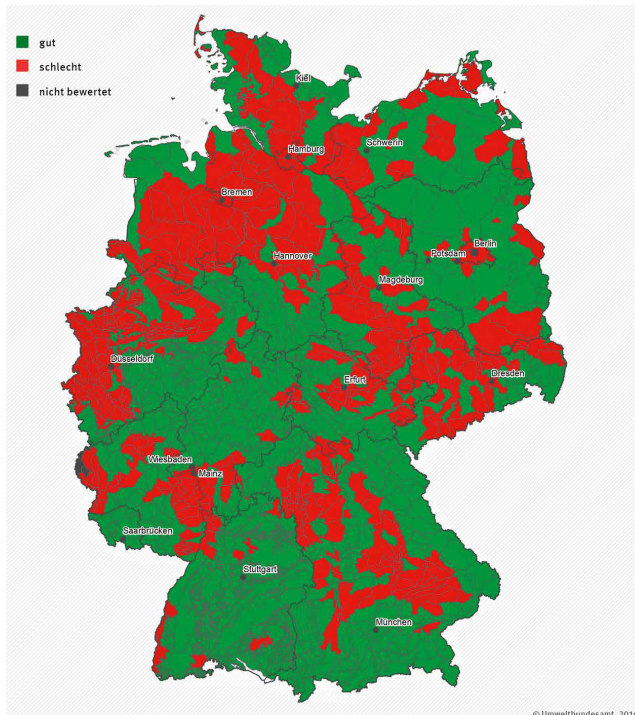
Zunächst wurde eine Literaturstudie durchgeführt. Des Weiteren stützt sich der Bericht auf die Analyse der relevanten Förderdokumente. Es folgte die Aufbereitung und Auswertung der Förderdaten der forstlichen Maßnahmen. Die Förderdaten wurden für die Evaluation durch das Land Schleswig-Holstein bereitgestellt und enthalten Informationen zu der Größe des Waldes, der Fläche auf der eine Maßnahme umgesetzt wurde, sowie der Zuwendungshöhe. Die Auswertung umfasste eine Analyse der räumlichen Verteilung der geförderten Vorhaben nach Kreisen, um zu prüfen, inwieweit die Förderung auch in Gebieten mit Handlungsbedarf erfolgt. Eine Analyse auf Gemeindeebene wäre aussagekräftiger, jedoch werden mittels der gegebenen Daten nicht die genauen Standorte der Forste angegeben, sondern die Adressen der Antragstellenden.

4 Einfluss des Waldes auf Wasser

Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen Wald und Wasserqualität und -quantität dargestellt. Generell ist die Trinkwasserqualität in ganz Deutschland zunehmend durch zu hohe Nitratgehalte gefährdet (BMEL und BMU, 2020). An knapp 18 % der Messstellen in Deutschland wird der Schwellenwert von 50 mg/l Nitrat im Grundwasser überschritten, wobei besonders hohe Grenzwertüberschreitungen in Gebieten mit überwiegend landwirtschaftlicher Flächennutzung auftreten. Für die Jahre 2015 und 2016 wurden für Schleswig-Holstein mit 37,3 mg/l überdurchschnittliche hohe Konzentrationen von der Europäischen Umweltagentur-Grundwassernetz festgestellt (Sundermann et al., 2020). Im Wald befinden sich seltener hoch belastete Messstellen. Aufgrund hoher N-Vorräte im Boden und somit abnehmendem Retentionsvermögen, steigt jedoch auch im Wald das Risiko der Überschreitung der Grenzwerte (Kiese et al., 2011). Dies zeigen auch die Ergebnisse der

Bodenzustandserhebung im Wald (BZE): in 52 % der Erhebungspunkte der BZE werden die Grenzwerte für Stickstoff (N) überschritten (Überschreitung von bis zu 10 kg N/ha*a) (BMEL, 2018). Bei diesen Flächen liegt ein Auswaschungsrisiko vor und eine weitere Reduktion der N-Deposition ist nötig (Meeseburg et al., 2016; Fleck et al., 2019). In Karte 1 wird der chemische Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland dargestellt. Sie zeigt, dass 34,8 % aller Grundwasserkörper im Jahr 2016 in einem schlechten chemischen Zustand waren (UBA, 2017).

Karte 1: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland 2016



Quelle: (UBA, 2017).

Die Stickstoffeinträge, überwiegend aus Hochtemperaturprozessen (Autoabgase), Verwertung von Gülle auf landwirtschaftlichen Flächen und Stallabluft aus intensiver Viehhaltung stammend, sind durch die Forstwirtschaft kaum zu beeinflussen. Jedoch stellen Wälder aufgrund ihrer Höhe und der unregelmäßigen Oberfläche des Kronendachs für diese diffusen Einträge einen effektiven Filter dar, der die Atmosphäre von Einträgen entlastet, das Abflusswasser dadurch aber indirekt auch belasten kann. Der Wald als flächige Bodenbedeckung hat somit einen Einfluss auf die Ressource Wasser (Rothe und Mellert, 2004). Dabei hat der Wald als Landnutzung eine passive und eine aktive Wirkung. Die positive passive Wirkung des Waldes ergibt sich aus der im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzung extensiven Bewirtschaftung, wodurch weniger Einträge erfolgen. Aber Wald hat auch eine aktive Wirkung. Diese Wirkung bezieht sich sowohl auf die Menge des Wassers, durch das Filtern und Speichern im Boden, als auch auf die Qualität durch das Sammeln von Stickstoff aus der Luft (Hegg et al., 2004). Somit kann durch die Art der Waldbewirtschaftung beeinflusst werden, wieviel Stickstoff aus der Luft gefiltert und dementsprechend in das Ökosystem eingetragen und potenziell mit dem Wasserabfluss innerhalb des Waldes ausgetragen wird, während die Quellen der Stickstoffeinträge außerhalb des Einflussbereichs der Forstwirtschaft liegen (Rothe et al., 2002; Rothe und Mellert, 2004).

4.1 Sickerwasser

Wasser, das aus Niederschlägen oder Gewässern durch verschiedene Bodenschichten in den Untergrund strömt, wird als Sickerwasser bezeichnet. Das nicht im Boden gespeicherte oder durch Wurzeln aufgenommene Wasser sickert durch die Deckschicht in den Grundwasserleiter. Die Menge und Qualität des Sickerwassers wird im Wald

aktiv durch Wasser- und Stoffflüsse beeinflusst. Aufnahme durch die Wurzeln, biochemische Umwandlung und Ionenaustauschplätze können zu einer Veränderung der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser führen (Hegg et al., 2004). Unter natürlichen Bedingungen ist Stickstoff im Wald ein Mangellement. Stickstoff kommt nicht in Bodenmineralen vor und kann damit nicht durch Verwitterung freigesetzt werden. Bei Stickstoffmangel wäre Ammonium die zentrale anorganische N-Form. Sobald Ammonium aus dem im Humus organisch gebundenen Stickstoff mineralisiert worden ist, wird er von Mikroorganismen oder Pflanzen aufgenommen. Deshalb ist in der Regel kaum Nitrat im Sickerwasser unter Wald vorhanden. Erst wenn mehr Ammonium gebildet wird, als von Pflanzen aufgenommen werden kann, kann sich Ammonium als Ausgangsprodukt für die mikrobielle Nitratbildung im Boden anreichern. Auch Nitrat kann von Pflanzen und Mikroorganismen aufgenommen werden.

4.2 Grundwasser

Die Grundwasserbildung wird von dem Wurzelwerk der Bäume beeinflusst. Da durch tiefreichende Wurzeln mehr Wasser dem Boden entzogen werden kann, ist die Grundwasserbildung im Vergleich zu Äckern oder Weiden tendenziell verringert. Der Wald hat zudem eine direkte Wirkung auf das vom Niederschlag gespeiste Grundwasser. Ein Teil des Niederschlages wird von Ästen, Blättern bzw. Nadeln aufgefangen, verdunstet oder gelangt verzögert als Bestandsniederschlag oder Stammabfluss auf den Boden oder wieder in die Atmosphäre. Dabei wird der Grad der Verdunstung oder des Abflusses durch die Bestandsart beeinflusst (Hegg et al., 2004). Die Qualität des Grundwassers wird durch die darüber liegenden Schichten beeinflusst. Wenn der Stickstoffbedarf einer Vegetation gedeckt ist, verbleibt der Stickstoff im Boden und wird von dort mit dem Sickerwasser ausgetragen. Unter sauerstoffarmen Bedingungen kann N auch reduziert und gasförmig an die Atmosphäre abgegeben werden (Lachgas). Die Menge des Sickerwassers nimmt somit auch Einfluss auf den Nitratgehalt des Grundwassers. Die Sickerwassermenge ist unter Laubhölzern höher als unter Nadelhölzern, somit findet in Laubwäldern eine stärkere Verdünnung der Nitratkonzentration im Sickerwasser statt (Rothe et al., 2002; Rothe und Mellert, 2004).

4.3 Trinkwasser

Der Wald bietet viele Ökosystemleistungen, darunter auch die Bereitstellung von Trinkwasser (zu großen Teilen gespeist aus Grundwasser). Es liegen über 40 % der Wasserschutzgebietsflächen im Wald, was rund 2,1 Millionen ha Waldfläche ausmacht und 18 % der Gesamtfläche des Waldes in Deutschland entspricht. 98 % der im Wald gewonnenen Wassermenge hat Trinkwasserqualität (BMEL, 2021). Grundwasser aus bewaldeten Gebieten ist weniger belastet in Bezug auf zum Beispiel Nitrat und Pestizide. Die chemische und biologische Verunreinigung des Grundwassers ist gering, da viele wassergefährdende Aktivitäten (Ausbringung von Dünger und Pestiziden) im Wald stark eingeschränkt sind (Hegg et al., 2004). Jedoch zeigte die Bodenzustandserhebung (BZE), die Auskunft über das Risiko von Überschreitungen der Grenzwerte gibt, dass in 52 % der Erhebungspunkte im Wald die kritischen Eintragsraten für Stickstoff überschritten werden (Überschreitung von bis zu zehn kg N/ha*a) (BMEL, 2018). Bei diesen Flächen liegt ein Auswaschungsrisiko vor und eine weitere Reduktion der N-Deposition ist nötig (Meesenburg et al., 2016; Fleck et al., 2019).

5 Förderung waldbaulicher Maßnahmen in SH im Rahmen des LPLR

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über den gesetzlichen Rahmen der Fördermaßnahmen, die Fördermaßnahmen selbst und den Förderumfang gegeben.

5.1 Gesetzlicher Rahmen

Der gesetzliche Rahmen definiert die Baseline, auf der die forstlichen Maßnahmen aufbauen. Den grundsätzlichen Rahmen für die Waldbewirtschaftung in Deutschland gibt das Bundeswaldgesetz (BWaldG) im § 1 vor; in diesem Gesetz ist auch die Forderung nach Multifunktionalität der Wälder verankert. Das BWaldG verweist auf eine ordnungsgemäße Forstwirtschaft. In diesem Rahmen sind zum Beispiel der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Düngung unüblich und werden nur in Ausnahmefällen angewendet. Dies ist auch in Bezug auf den Wasserhaushalt von Bedeutung. Das Bundesnaturschutzgesetz mit § 5 Absatz 3 fordert zudem, dass forstliche Nutzungen das Ziel zu verfolgen haben, naturnahe Wälder aufzubauen und nachhaltig zu bewirtschaften, was einen hinreichenden Anteil standortheimischer Forstpflanzen miteinbezieht (BMEL, 2021). Diese Anforderungen werden auch in der Waldstrategie des BMEL aufgegriffen.

Das Landesforstgesetz Schleswig-Holstein (LWaldG) bildet den rechtlichen Rahmen für die Bewirtschaftung des Waldes und die forstlichen Förderungen beruhen auf den Richtlinien für die Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen (Forstförderrichtlinie).

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) verpflichtet Bund und Länder, spätestens bei der Überschreitung von 50 mg/l Nitratkonzentration im Grundwasser geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um einen guten Zustand wiederherzustellen (Bach et al., 2021; WRRL). Für die Bestimmung des chemischen Zustands nach WRRL werden die Parameter Nitrat (NO₃) und Pflanzenschutzmittel (PSM), sowie regional unterschiedliche Schwellenwerte herangezogen. Dabei sind die Anforderungen der Grundwasserrichtlinie (RL 2006/118/EG) maßgebend.

Besonders vor dem Hintergrund der WRRL müssen die Effekte der Waldwirtschaft auf die Gewässer und den Wasserhaushalt, zur Förderung des guten ökologischen und chemischen Zustands der Oberflächengewässer, sowie für den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers stärker miteinbezogen werden.

5.2 Maßnahmeninhalte und Inanspruchnahme

Mit der Teilmaßnahme 8.4 wird die Wiederherstellung von standortgerechten Laub- und Mischbeständen nach der Zerstörung des in der Regel nicht standortgerechten (Nadelholzdominierten) Ausgangsbestandes durch eine Kalamität gefördert. Die Teilmaßnahme 8.5 fördert den Umbau von nicht standortgerechten (Nadel-)Beständen hin zu standortgerechten Laub- und Mischbeständen. Ziel der Teilmaßnahmen (TM) ist die Entwicklung stabiler, standortangepasster Wälder unter Berücksichtigung der ökologischen und ökonomischen Leistungsfähigkeit sowie des Klimawandels. Eine ausführliche Maßnahmenbeschreibung findet sich in (Franz, 2019).

Tabelle 2: Output der TM 8.4 und TM 8.5 auf Basis der Auszahlungsdaten 2014 bis 2020

Teilmaßnahme	Output		Zielerreichung bezogen auf ...	
	ha	Euro	die Fläche	ausgezahlte Mittel
8.4 Wiederaufbau Wald	977	6.126.165	81%	85%
8.5 Waldumbau	756	4.203.553	76%	73%

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Förderdaten.

Von 2014 bis 2020 wurden 977 Hektar innerhalb der Fördermaßnahme Wiederaufbau Wald und 756 Hektar innerhalb der Fördermaßnahme Waldumbau 8.5 gefördert. Insgesamt wurde eine Fläche von 1733 ha Wald gefördert. Schleswig-Holstein hat eine Fläche von 1,6 Mio. Hektar und circa 0,17 Mio. Hektar sind mit Wald bedeckt, was 11 % der Landesfläche ausmacht (Landesportal Schleswig-Holstein, 2021). Mit der Förderung wurden also knapp 1 % der Waldfläche erreicht.

Tabelle 3: Output TM 8.4 und TM 8.5 mit Bezug auf Holzanteile auf Basis von Auszahlungsdaten

Teilmaßnahme 8.4	Output		Teilmaßnahme 8.5	Output	
	ha/%	Euro		ha/%	Euro
Wiederaufbau Wald	977	6.126.165	Waldumbau	756	4.203.553
Ausgangsbestockung			Ausgangsbestockung		
Nadelholz [%]	80		Nadelholz [%]	62	
Mischung [%]	14		Mischung [%]	20	
Laubholz [%]	5		Laubholz [%]	18	
Zielbestockung			Zielbestockung		
Nadelholz [%]	0		Nadelholz [%]	0	
Mischung [%]	53		Mischung [%]	34	
Laubholz [%]	47		Laubholz [%]	66	

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Förderdaten.

Die Ausgangsbestockung war vor allem bei Wiederaufbau Wald durch Nadelholz geprägt. Einen Überblick hierfür bietet Tabelle 3: von den 977 ha Waldfläche die im Rahmen der TM 8.4 umgebaut wurden, waren 80 % Nadelholzreinbestände, 14 % Mischbestände und 5 % Laubholzbestände. Die TM 8.5 wurde zu 62 % aus Nadelholzbeständen umgebaut (20 % Mischbestände, 18 % Laubholzbestände). Da als Zielbestockung Nadelholzbestände nicht gefördert wurden, liegt hier der Anteil bei null. Beide Teilmaßnahmen zusammengefasst wurden insgesamt rund 1250 Hektar Nadelholzreinbestand in Laub- und Mischbestände umgebaut, was eine erhebliche Erhöhung des Laubholzanteils darstellt. Innerhalb der TM 8.4 machte diese fast eine Verzehnfachung aus und bei TM 8.5 immerhin eine Verdopplung im Vergleich zur Ausgangsbestockung.

6 Wirkungsanalyse der Forstmaßnahmen

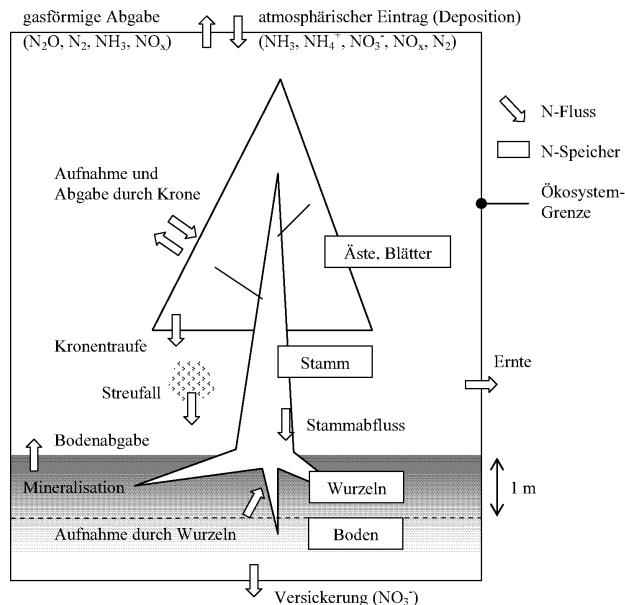
Im Folgenden wird dargestellt, wie die Art der Waldbewirtschaftung, die durch die Förderung angepasst werden soll, die Wasserqualität und -quantität in Schleswig-Holstein (das waldärmste Bundesland) beeinflusst. Abschließend wird der potenzielle Wirkungsbeitrag der Förderung beleuchtet.

6.1 Einfluss des Waldumbaus hin zu Misch- und Laubwäldern auf die Wasserqualität

Die jeweilige Baumart ist eine der wichtigsten Einflussgrößen auf den Nitratgehalt des Sickerwassers. In einer Vielzahl von Studien (Hegg et al., 2004) wurden Bestände mit Buchen, Fichten, Kiefern und vereinzelt auch Eichen, Erlen und Tannen hinsichtlich der Nitratkonzentration im Sickerwasser untersucht. Nitrat-Austräge unter Fichtenbeständen sind signifikant höher als unter vergleichbaren Standorten unter Buchen (Mellert et al., 2007). In allen von Hegg et al. (2004) untersuchten Publikationen wurde festgestellt, dass das unter Laubbäumen produzierte Trinkwasser höherwertiger, also hier die Nitratkonzentration niedriger ist (Hegg et al., 2004). Aufgrund ihrer ganzjährigen Benadelung haben Nadelbäume mit ihrem höheren Blattflächenindex im Vergleich zu Laubbäumen eine höhere Kapazität, Luftschadstoffe auszuwaschen. Die höhere Blattfläche führt zu einer höheren Trockendeposition und somit zu einem höheren Nitratgehalt im Kronendurchlauf, was wiederum Einfluss auf das Sickerwasser nimmt und zu einem höheren Stickstoff und Säureeintrag führt (Rothe und Mellert, 2004; Hegg et al., 2004). Der N-Gehalt durch Kronendurchlauf ist in Fichtenbeständen 1,6 mal höher als in Beständen mit Buchen (Rothe et al., 2002). Stickstoff wird in naturnahen Vegetationen zwischen Boden und Pflanze in einem Kreislauf gehalten. Sickerwasserverluste des Stickstoffes werden mittels Aufnahme durch die Luft kompensiert. In der Regel befindet sich dieser Kreislauf im Wald im Gleichgewicht wie in Abbildung 1 dargestellt. Bei Unterbrechung des Kreislaufes entsteht ein Ungleichgewicht im Boden durch zusätzlichen Stickstoffeintrag (Folgen: erhöhter Nitratreintrag im Grundwasser). Aufgrund von Luftverschmutzung kann es zu erhöhten Stickstoffeinträgen und

somit zu einem Ungleichgewicht im Kreislauf kommen. Besonders anfällig für solche Störungen sind Nadelwälder, da auch im Winter partikulär gebundener Stickstoff aus der Luft gefiltert wird. Der tendenziell saurere Boden unter Nadelwäldern (im Vergleich zum Laubwaldboden) ist schlechter in der Lage, Stickstoff aufzunehmen (Hegg et al., 2004).

Abbildung 1: N-Flüsse und -Speicher im Wald



Quelle: (Köchli, 2005).

Vorteile von Bepflanzungen mit Laubbäumen in Bezug auf die Wasserqualität sind zudem die größeren Durchwurzelungstiefen, durch die dem Sickerwasser Nährstoffe über eine längere Strecke, also bis in tiefere Bodenschichten, entzogen werden können, was besonders bei hohen Stickstoffeinträgen die Nitratkonzentration senkt. Der unter Laubbäumen stärker ausgeprägte Mineralbodenhumus ist in der Lage mehr Stickstoff in stabiler Form zu speichern (im Gegensatz zu dem weniger mächtigen Boden unter Nadelwäldern). Dieser eigentlich positive Effekt der Stickstoffspeicherung erhöht jedoch auch die Gefahr von hohen Nitratausträgen im Falle eines Sturmwurfes oder nach Kahlschlag (Hegg et al., 2004).

6.2 Einfluss des Waldbaus auf die Wasserquantität

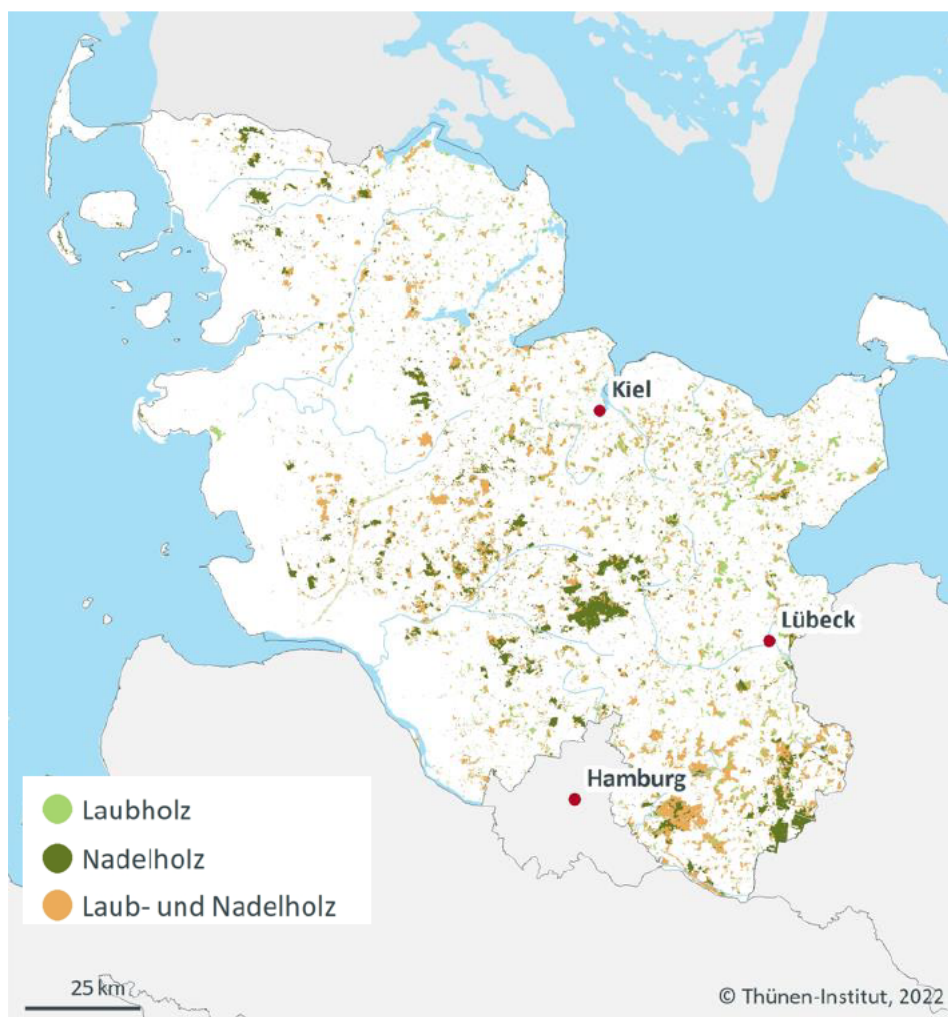
Wasserverfügbarkeit und Grundwasserneubildung in Laub- und Mischwäldern sind höher als in Nadelwäldern, was die Gefahr von Trockenstress verringert (BMEL, 2021). Hier hat die saisonale Belaubung eine zentrale Bedeutung, da diese Einfluss auf die Grundwasserneubildung durch Winterniederschläge nimmt. Die fehlende Belaubung sorgt dafür, dass im Winter keine Transpiration von Laubbäumen stattfindet, wohingegen Nadelbäume über die Vegetationsperiode hinaus transpirieren (Reise et al., 2020). Große Unterschiede bestehen zwischen den Baumarten in Bezug auf die Sickerwassermenge und die Sickerwasserzusammensetzung und in Folge dessen auch auf die Grundwasserneubildung. Aus höheren Interzeptionsverlusten in den Nadelbeständen resultiert eine Verringerung der Wassermenge und Erhöhung der Stoffkonzentrationen im Sickerwasser (Hegg et al., 2004). Buchen haben zwar eine hohe Transpiration, jedoch eine geringe Interzeption und Evaporation. Durch ausgedünnte Bodenschichten findet eine Evaporation im Vergleich zu Nadelbäumen im geringeren Maße statt, wodurch sich auch die hohen Sickerwasserraten erklären lassen. Durch diesen Effekt wird der Oberboden im Sommer feucht gehalten, wovon wiederum andere Baumarten profitieren können. Der Lichteinfall auf den Oberboden

beeinflusst die Bodenoberflächentemperatur. Je höher die Temperatur des Bodens ist, desto höher ist der mikrobielle Humusabbau. Ein starker Humusabbau führt zur Absenkung der Wasserspeicherkapazität des Waldbodens (Reise et al., 2020). Die Resilienz der Wälder wird also maßgeblich vom Zustand des Bodens beeinflusst. Die Vitalität wird durch das pflanzenverfügbare Wasserangebot, sowie durch die physikalische, chemische und die mikrobiologische Beschaffenheit des Bodens bestimmt. Somit spielt der Waldboden nicht nur eine besondere Rolle in der Trinkwasserversorgung, sondern auch für die lokalen Wasserkreisläufe und den Landschaftswasserhaushalt. Eine hohe Wasserqualität wird durch die Puffer- und Filterwirkung der Böden gewährleistet, des Weiteren ein effizientes Hochwasserrückhaltevermögen (BMEL, 2021).

6.3 Wirksamkeit der Förderung

Die forstlichen Fördermaßnahmen des Wiederaufbaus Wald und des Waldumbaus im Rahmen des LPLR sind grundsätzlich dazu geeignet die Wasserqualität und -quantität der Wälder zu unterstützen. Die Erhöhung des Laub- und Mischwaldanteils, mit einer induzierten Verbesserung der Wasserspeicherung und Wasseraufnahme, kann die Konzentrationen von Schadstoffen im Sickerwasser verringern und somit einen Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität und -quantität leisten.

Karte 2: Waldverteilung Schleswig-Holsteins



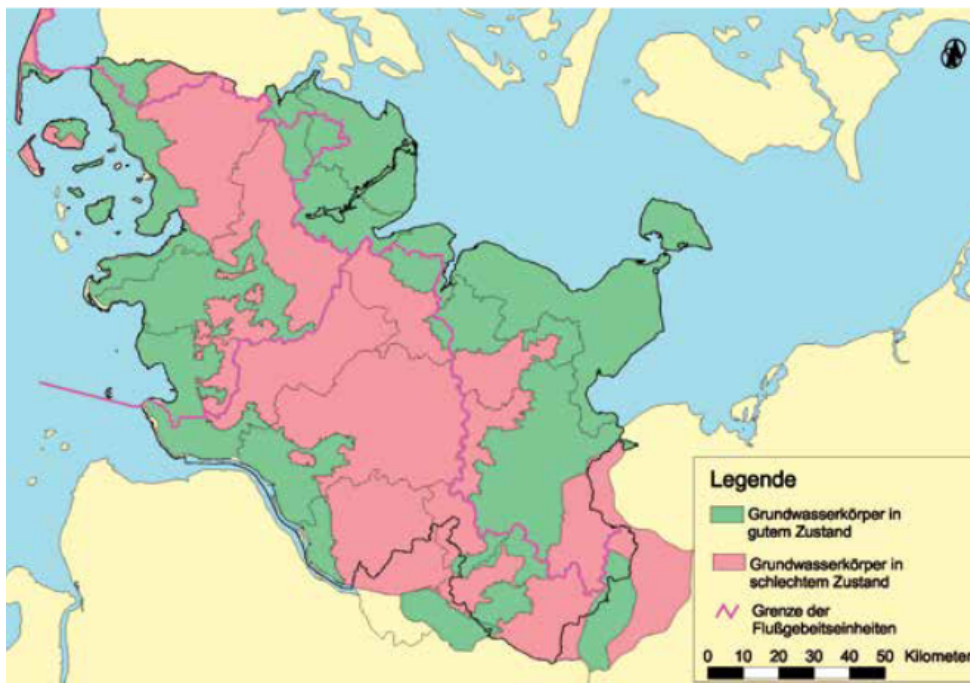
Quelle: Basis-DLM, VG250, GN250 © GeoBasis-DE / BKG 2020.

Schleswig-Holstein ist das waldärmste Bundesland, allerdings nach dem Saarland auch das laubwaldreichste Bundesland. Der Anteil der Laubbäume liegt bei 63,9 %, mit 19 % Buchenanteil und 16 % Eichenanteil. Weichlaub-bäume, also Laubbäume mit niedriger Lebensdauer, machen in Schleswig-Holstein einen Anteil von rund 20 % aus (BMEL, 2016). Jedoch ist gemessen an der natürlichen Waldgesellschaft der Nadelbaumanteil (35 %) sehr hoch. In Schleswig-Holstein besteht ein starkes Süd-Nord Gefälle der Waldverteilung wie auf der Karte 2 gut zu erkennen ist. Große zusammenhängende Wälder gibt es im Süden: Sachsenwald (6.000 ha), Segeberger Forst (4.000 ha), Ricklinger Forst (2.000 ha). Nördlich des Nord-Ostsee-Kanals gibt es nur einen sehr geringen Waldanteil. Der Kreis Herzogtum Lauenburg ist zu einem Viertel bewaldet und der geringste bewaldete Kreis ist Dithmarschen mit nur 3,3 % Waldfläche. Den höchsten Nadelholzanteil (dunkel grün dargestellt auf Karte 2) haben die Wälder im Westen, auf der Geest und Vorgeest (Landesportal Schleswig-Holstein, 2021).

Vor diesem Hintergrund ist für die Wirkungsanalyse entscheidend ob die Förderung auch auf Flächen erfolgte, die einen entsprechenden Bedarf haben.

In Karte 3 ist der Zustand des Grundwasserkörpers Schleswig-Holsteins bezüglich des Nitrats in 2014 dargestellt. Insgesamt ist 2014 eine Fläche von rund 7,5 Tausend km² im Hauptwasserleiter wegen diffuser Verschmutzung, vor allem durch Nitrat, in einem schlechten Zustand. Die Fläche entspricht ungefähr der Hälfte der Fläche Schleswig-Holsteins (LLUR, 2014).

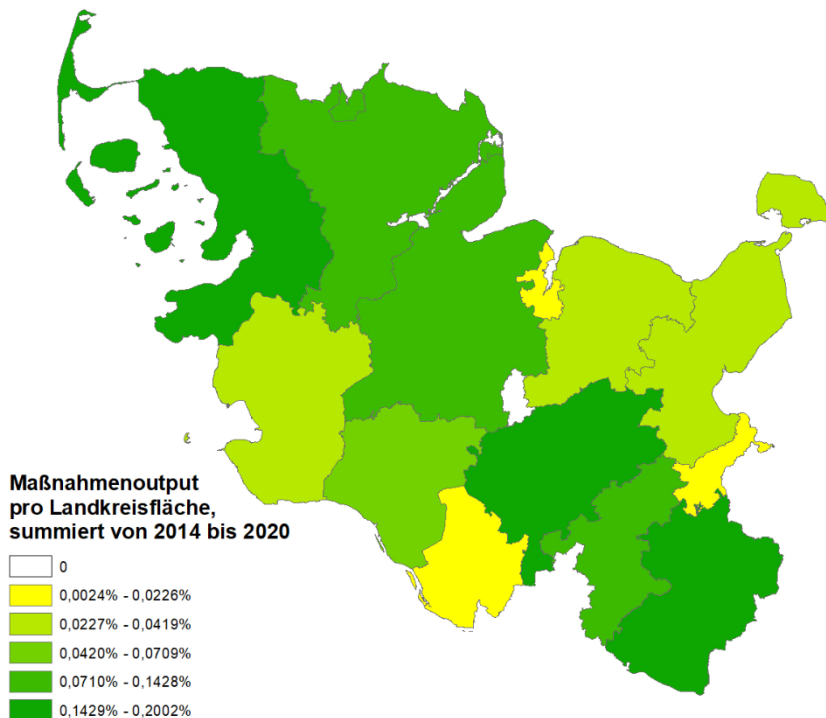
Karte 3: Zustands des Grundwasserkörpers im Hauptgrundwasserleiter bezüglich Nitrat 2014



Quelle: (LLUR, 2014).

Damit sind überwiegend die Geest-Flächen und Teile des östlichen Hügellandes von einer Nitrat-Belastung des Grundwassers betroffen.

Karte 4 zeigt auf, auf wieviel Hektar Fläche bezogen auf die Kreisflächen eine forstliche Förderung erfolgte. Eine detailliertere Auswertung auf Gemeindeebene war mit den vorliegenden Daten leider nicht möglich. Die Karte zeigt, dass die Förderung neben waldstarken Kreisen im Süden Schleswig-Holsteins (wie Herzogtum Lauenburg und Segeberg) auch waldarme Kreise wie Nordfriesland erreichte.

Karte 4: Flächenoutput der Maßnahmen bezogen auf die Landkreisflächen 2014–2020

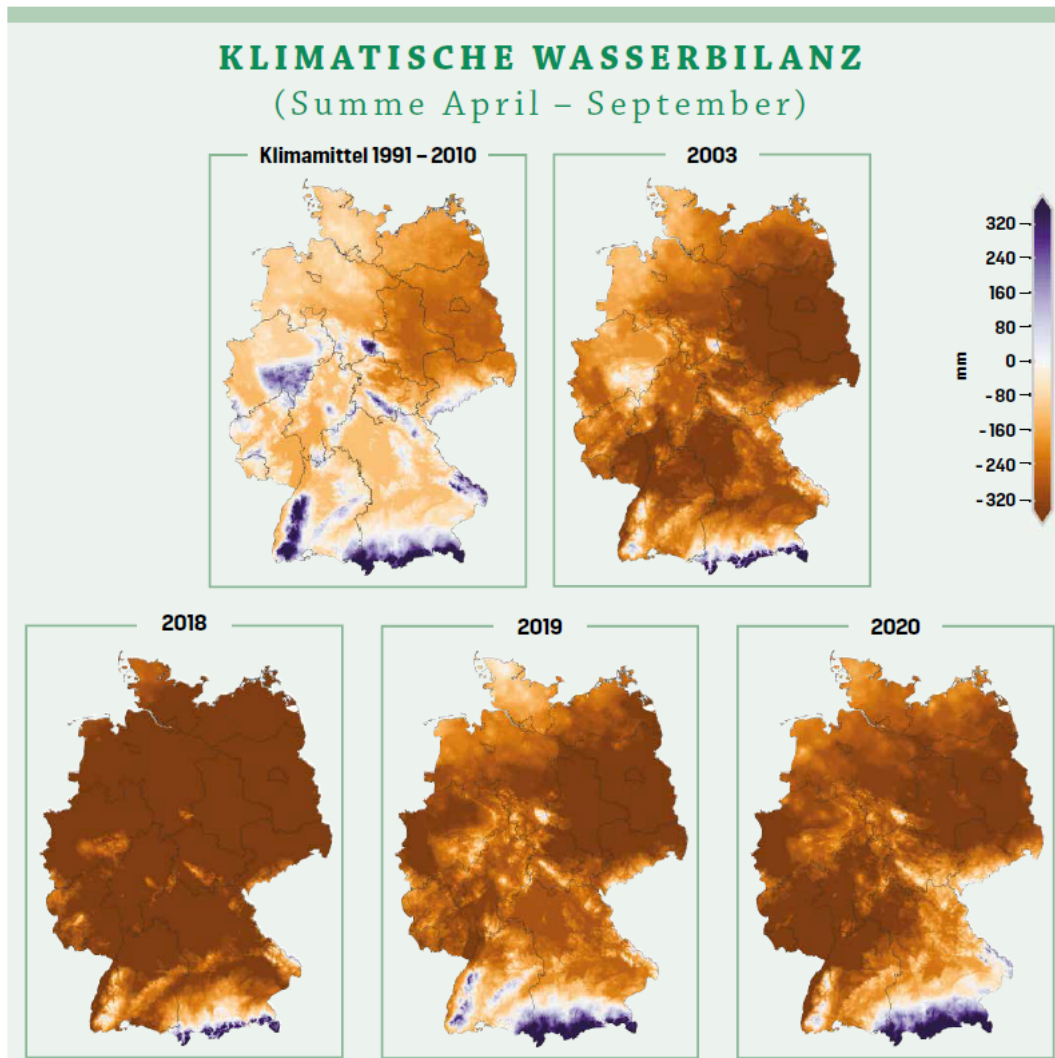
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Förderdaten.

Die westlichen Wälder in der Geest und Vorgeest haben, wie bereits erwähnt den höchsten Anteil an Nadelbäumen. Gerade hier zeigt sich im Vergleich mit Karte 3, dass der Waldumbau auf lange Sicht zu einer Verbesserung der Wasserqualität beitragen könnte, wenn auch in geringem Umfang aufgrund des geringen Waldanteils. Es ist anzumerken, dass innerhalb Schleswig-Holsteins die Gesamtfläche der durch LPLR geförderten Waldflächen bei knapp 1 % der Gesamtfläche des Waldes liegt und somit die Förderung des LPLR mit den Teilmaßnahmen 8.4 und 8.5 nur einen schwindend geringen Teil zur Verbesserung der Wasserqualität und des Wasserhaushaltes leisten können.

7 Trockenstress – die Herausforderung der letzten (und kommenden) Jahre

Die Wälder Deutschlands werden immer stärker durch Witterungsextreme wie Hitze- und Trockenperioden und nachfolgenden Befall von Schaderregern geschädigt und belastet. Waldbestände mit der trockenheitsempfindlichen Fichte sind hiervon besonders betroffen. Die deutschlandweite Karte 5 zeigt die Klimatische Wasserbilanz (KWB). Sie macht deutlich, dass die Vegetationsperiode in den letzten Jahren extrem trocken war und das bisherige Rekordjahr 2003 in der Intensität deutlich übertroffen hat (Bolte et al., 2021). Der Waldzustandsbericht 2020 aus Schleswig-Holstein zeigt auf, dass sich die Trockenheit im dritten Jahr in Folge fortgesetzt hat und dass die Klimaveränderung zu einer signifikanten Erwärmung in Schleswig-Holstein geführt hat (MELUND, 2020). Die Altersstruktur des Waldbestandes nimmt erheblichen Einfluss auf die Resilienz des Waldes. So zeigen die Ergebnisse der Waldzustandserhebung, dass Schadsymptome durch Trockenstress bei den Beständen über 60 Jahren sehr viel stärker ausfallen, als bei jüngeren Beständen. Dieses trifft zwar auf Laub- und Nadelbestände zu, jedoch ist der Verlichtungswert bei Nadelbeständen höher (MELUR, 2021). Der Waldumbau und der Wiederaufbau kann also präventiv einen Beitrag zur Resilienz der Wälder gegenüber Trockenstress leisten, besonders im Bezug darauf, dass der Nadelholzanteil von geförderten Flächen verringert wird.

Karte 5: Klimatische Wasserbilanz in Deutschland



Quelle: (Bolte et al., 2021).

8 Fazit

Die in den letzten Jahren aufgetretenen Dürrekalamitäten zeigen, dass die Waldwirtschaft unter anderem die Erhaltung und Verbesserung der Wasserrückhaltung des Waldes, sowie die Sicherstellung gegenüber Sickerwasserausträge stärker einbeziehen muss. Erforderlich ist dies, um die Folgen des Klimawandels für die Wälder abzumildern sowie die Trinkwasserversorgung aus dem Wald sicherzustellen, in dem die Betroffenheit von Dürreereignissen gemindert wird (BMEL, 2021). Die Quantität des Grundwassers ist bereits in einigen Teilen Deutschlands ein Problem. Die letzten trockenen Sommer haben gezeigt, dass sich dies zukünftig noch verstärken kann. Die Förderung von Laubbeständen mit ihren vielfältigen positiven Einwirkungen (Speicherung Stickstoff, Verdünnung von Konzentrationen im Sickerwasser, etc.) auf die Wasserqualität kann hier unterstützend wirken.

Als Schwäche des Waldes in Schleswig-Holstein wurde durch das LPLR der gemessen an den natürlichen Waldgesellschaften hohe Nadelbaumanteil mit ungünstigen Auswirkungen auf die Stabilität der Wälder identifiziert, was als eine Bedrohung hinsichtlich der zu erwarteten Zunahme von Häufigkeit und Intensität von Sturmereignissen, Insekten- und Pilzbefall sowie der Waldbrandgefahr wirkt (Franz, 2019). Forstmaßnahmen sind in das Zielsystem der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) mit einbezogen und können auch einen Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität und der Quantität leisten. Jedoch ist die Reichweite gering und man erreicht mit den

Maßnahmen nicht zwingend die Gebiete mit hohen Nährstoffeinträgen. Hinzu kommt, dass aufgrund der langsamen Wachstumsprozesse im Wald, die von den Fördermaßnahmen erwarteten Wirkungen erst Jahre bis Jahrzehnte nach der Maßnahmendurchführung eintreten werden. Wie hoch der Beitrag genau beziffert werden kann, ist demnach schwer zu sagen, da er stark von Bestandsgröße, -verteilung und -alter abhängig ist. Anzumerken an dieser Stelle ist, dass Schleswig-Holsteins Waldgeschichte zu einem hohen Anteil von jungen Wäldern geführt hat. Die positiven Auswirkungen der Maßnahmen auf die Wasserqualität- und -quantität werden sich somit erst in einem gewissen Zeitintervall aufzeigen lassen.

Literaturverzeichnis

- Bach M, Knoll L, Kilian J, Breuer L (2021) Nicht-agrarbedingte im Vergleich zu den agrarbedingten Einflussfaktoren auf die Nitratbelastung von Grundwasserkörpern in Hessen. Universitätsbibliothek Gießen, zu finden in <<https://jilupub.ub.uni-giessen.de/handle/jilupub/254>>
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2016) Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Berlin, 280 p
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2018) Waldböden in Deutschland: Ausgewählte Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung, zu finden in <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/WaldboedenBodenzustandserhebung.pdf?__blob=publicationFile&v=4> [zitiert am 2.2.2022]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2021) Waldstrategie 2050 Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima. Bonn: BMEL, zu finden in <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2050.pdf?__blob=publicationFile&v=9>
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft], BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2020) Nitratbericht 2020: Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), zu finden in <https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaeser/nitratbericht_2020_bf.pdf> [zitiert am 6.10.2020]
- Bolte A, Höhl M, Hennig P, Schad T, Kroiher F, Seintsch B, Englert H, Rosenkranz L (2021) Zukunftsaufgabe Waldanpassung. AFZ Der Wald(76):12-16, zu finden in <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn063364.pdf>
- Fleck S, Eickenscheidt N, Ahrends B, Evers J, Grüneberg E, Ziche D, Höhle J, Schmitz A, Weis W, Schmidt-Walter P, Andreae H, Wellbrock N (2019) Nitrogen Status and Dynamics in German Forest Soils. In: Wellbrock N, Bolte A (eds) Status and Dynamics of Forests in Germany: Results of the National Forest Monitoring, 1st ed. 2019. Cham: Springer International Publishing; Springer: pp 123-166, zu finden in <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_5>
- Franz K (2019) Landesprogramm Ländlicher Raum (LPLR) Schleswig-Holstein 2014 bis 2020: Forstliche Förderung. Braunschweig: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF), 5-Länder-Evaluation 3/2019, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2019/3_19_SH-Berichte_aus_der_Evaluation-Forst.pdf> [zitiert am 12.5.2022]
- Hegg C, Jeisy M, Waldner P (2004) Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Birmensdorf, zu finden in <<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/6184.pdf>> [zitiert am 2.9.2019]
- Kiese R, Heinzeller C, Werner C, Wochele S, Grote R, Butterbach-Bahl K (2011) Quantification of nitrate leaching from German forest ecosystems by use of a process oriented biogeochemical model. Environ Pollut 159(11):3204-3214. doi: 10.1016/j.envpol.2011.05.004
- Köchli DA (2005) Zur Bedeutung einer multifunktionalen nachhaltigen Waldnutzung in der Region Greifensee: Darstellung und Vergleich von Waldentwicklungs-Szenarien im Schweizer Mittelland, anhand der Fallstudie "Region Greifensee", Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH). Dissertation
- Landesportal Schleswig-Holstein (2021) Auf einen Blick – Wald und Forstwirtschaft in Schleswig-Holstein: Schleswig-Holsteins Geschichte mit dem Wald, zu finden in <https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/W/wald/wald_01_Allg_01_WaldSH.html> [zitiert am 12.5.2022]
- LLUR [Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein] (2014) Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins – Entwicklung und Bewirtschaftungsziele. Flintbek
- Meesenburg H, Ahrends B, Fleck S, Wagner M, Fortmann H, Scheler B, Klinck U, Dammann I, Eichhorn J, Mindrup M, Meiwes KJ (2016) Long-term changes of ecosystem services at Solling, Germany: Recovery from acidification, but increasing nitrogen saturation? Ecological Indicators 65:103-112. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.12.013
- Mellert KH, Genisor A, Göttlein A, Kölling C (2007) Prädiktoren des Nitrataustrags aus Wäldern – Ergebnisse der bayrischen Nitratinventur im mitteleuropäischen Vergleich. Forstarchiv 78:139-149

- MELUND [Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein] (2020) Waldzustandsbericht 2020, zu finden in <https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wald/Downloads/Waldzustandsbericht2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2>
- MELUR [Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein] (2021) Waldzustandsbericht 2021, zu finden in <https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wald/Downloads/Waldzustandsbericht2021.pdf?__blob=publicationFile&v=2>
- Raue P, Bathke M, Bergschmidt A, Eberhardt W, Ebers H, Fähmann B, Fengler B, Flint L, Forstner B, Franz K, Grajewski R, Pollermann K, Reiter K, Roggendorf W, Sander A (2018) Feinkonzept zum Bewertungsplan Schleswig-Holstein. Landesprogramm ländlicher Raum 2014 bis 2020 (LPLR): Stand: 11.12.2018. Braunschweig, 187 p
- Reise J, Urrutia C, Böttcher H, Hennenberg K (2020) Literaturstudie zum Thema Wasserhaushalt und Forstwirtschaft: Studie für den Naturschutzbund Deutschland (NABU), hg. v. Öko-Institut e.V., zu finden in <<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Wasserhaushalt-Wald-NABU.pdf>>
- WRRL: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EG-WRRL)
- Forstförderrichtlinie: Richtlinien für die Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen als Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" Bekanntmachung des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume vom 11. April 2017 – V 541/742.02 -
- Rothe A, Huber C, Kreuzer K, Weis W (2002) Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European Beech: Results from the Höglwald research in comparison with other European case studies. *Plant and Soil* 240(1):33-45. doi: 10.1023/A:1015846906956
- Rothe A, Mellert KH (2004) Effects of Forest Management on Nitrate Concentrations in Seepage Water of Forests in Southern Bavaria, Germany. *Water, Air, & Soil Pollution* 156(1):337-355. doi: 10.1023/B:WATE.0000036826.17273.b3
- Sundermann G, Wägner N, Cullmann A, Hirschhausen C von, Kemfert C (2020) Nitratbelastung im Grundwasser überschreitet Grenzwert seit Langem – mehr Transparenz und Kontrolle in der Düngepraxis notwendig
- UBA [Umweltbundesamt] (2017) Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung