



# LIFE Future Forest

Lebendiger Boden für Wald und Klima

## Handbuch für nachhaltigen Waldumbau

Grundlage für Waldbesitzende, Städte, Gemeinden und Entscheidungsträger

## **Kontaktinformationen Projekt**

Nikolaus Storz  
Landratsamt Landsberg am Lech  
Nikolaus.Storz@lra-ll.bayern.de  
Von-Kühlmann-Straße 15  
86899 Landsberg am Lech  
Tel.: 0049 8191 129 1520

## **Autoren und Projektteam**

M.Sc. Christian Diehl (Hochschule Weihenstephan – Triesdorf)  
M.Sc. Dominik Landerer (Forstamt Landsberg am Lech)  
Dipl.Ing Ludwig Pertl (Forstamt Landsberg am Lech)  
B.Ing. Maximilian Dietmeier (Forstamt Landsberg am Lech)  
M.Sc. Nikolaus Storz (Landratsamt Landsberg – Projektleitung)  
StD Raimund Hofmann (Waldbesitzer im Landkreis Landsberg am Lech)  
Prof. Dr. Stefan Wittkopf (Hochschule Weihenstephan – Triesdorf)  
M.Sc. Theresa Luber (blue! advancing european projects GbR)

## **Titelbild:**

Wald südlich von Westerschondorf, Landkreis Landsberg am Lech (Quelle: Julian Leitenstorfer)

## **Lektorat:**

Rosa Feigs  
hello@oe-communication.de  
Tel.: 0049 152 340 81 908

## **Visualisierung:**

Kann Medien  
Stephan Köstler  
service@kann-medien.de  
Tel.: 0049 9231 503 996

## **Druckerei:**

Onlineprinters

## **Erscheinungsjahr und -ort:**

Februar 2024, Landsberg am Lech, Deutschland

## **Haftungsausschluss:**

Kofinanziert von der Europäischen Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die des Autors/der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder von CINEA wider. Weder die Europäische Union noch die Bewilligungsbehörde können für sie verantwortlich gemacht werden.

## Projekttitle

Nachhaltige Anpassung der Wälder und Böden an den Klimawandel und Inwertsetzung der Wald-Ökosystemleistungen im Landkreis Landsberg am Lech (englisch: Sustainability of forests and soils and valorisation of the achieved ecosystem services in the county of Landsberg am Lech)

## Projekt Akronym

LIFE Future Forest

## Projektnummer

LIFE19 ENV/DE/000123

## Dauer

01.09.2020 – 30.06.2024

## Gesamtkosten

Gesamtbudget 1.444.244 €  
Förderfähige Kosten 1.403.000 €

## EU - Förderung

711.698 € (50,73 % der förderfähigen Kosten)

## Projektpartner:



Landratsamt Landsberg am Lech  
(Leitender Partner)



Stadt Landsberg  
(Projektpartner)



Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
(Projektpartner)

## Partnergemeinden:



Fuchstal



Igling



Kaufering



Obermeitingen



Scheuring

## Externer Support bei der Projektentwicklung und Umsetzung:

**blue!** advancing european projects

blue! advancing european projects GbR



# Inhalt

Inhalt.....	4
1 Wälder in Zeiten des Klimawandels.....	12
1.1 Zielgruppen und Konzeption des Handbuchs.....	13
1.2 Der Wald in Deutschland und Bayern.....	13
1.3 Auswirkungen des Klimawandels.....	14
2 Der Wald: Betroffener und Hoffnungsträger zugleich.....	17
2.1 Ökosystemleistungen des Waldes.....	19
2.1.1. Kategorien von Ökosystemleistungen.....	19
2.1.2. Zahlen zur Größenordnung von Ökosystemleistungen.....	20
2.2 Der Wald - ein Präzedenzfall für Nachhaltigkeit und Generationengerechtigkeit.....	20
3 Der Zukunftswald.....	22
3.1 Angestrebte Waldentwicklung.....	22
3.2 Waldbewirtschaftungsziele im Zukunftswald.....	23
3.3 Der gesunde und lebendige Boden.....	24
3.3.1 Feinwurzeln.....	26
3.3.2 Regenwurm.....	27
3.3.3 Interview mit Ludwig Pertl.....	28
3.4 Einwertungsbogen für den Waldzustand.....	29
3.5 Fallbeispiele.....	33
3.5.1 Fichtenreinbestand Westerholz: Stufe 1 auf 2.....	33
3.5.2 Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd Landsberg: Stufe 2 zu 3.....	33
3.5.3 Gemeindewald Scheuring im Auegebiet: Stufe 3 zu Stufe 4.....	34
3.5.4 Dauermischwald Raimund Hofmann: Stufe 4.....	35
3.5.5 Interview mit Raimund Hofmann.....	36
3.6 Jagdmanagement.....	37
3.7 Der Weg zum Zukunftswald.....	39
4 Zukunftswaldprämie.....	40
4.1 Bisherige Vergütungssysteme.....	40
4.2 Ein neues System: Die Zukunftswaldprämie LIFE Future Forest.....	41
4.3 Berechnung der Entschädigungshöhe im Valorisierungssystem Zukunftswaldprämie.....	41
4.4 LIFE Future Forest Fonds.....	44
4.5 Herausforderungen und Lösungen auf dem Weg zur lokalen Zukunftswaldprämie.....	48
5 Wasserprämie.....	50
5.1 Bisherige Vergütungssysteme für Land- und Forstwirtschaft.....	51
5.2 Vorschlag für eine Trinkwasserprämie LIFE Future Forest.....	51
6 Ausblick und Vision.....	53
7 Literaturverzeichnis.....	54
8 Anhang.....	56
8.1 Temperaturmessung.....	56
8.2 Regenwurmgrabung.....	56
8.3 Feinwurzelgrabung.....	57
8.4 Bestimmung der Oberirdischen Biomasse.....	58
8.5 Bestimmung der Unterirdischen Biomasse.....	58
8.6 Berechnung der Kühlfunktion.....	59
8.7 Entwicklung der Wasserqualität.....	59
8.8 Trockenstress und Wachstum (Dendrometer).....	59
8.9 Wärmebildaufnahmen.....	60
8.10 Streukästen.....	61
8.11 Generationenvertrag.....	62

# Glossar

## Altersklassenwald

Überwiegende Bewirtschaftungsform von Waldbeständen in Deutschland. Im Altersklassenwald werden vergleichbar gleichaltrige Bestände, die räumlich voneinander getrennt sind, in einem Zyklus von Pflanzung, Pflege, Ernte (Kahlschlag) und erneuter Pflanzung oder Naturverjüngung schlagweise bewirtschaftet. Im Altersklassenwald wird mit wenigen Baumarten gearbeitet. Die große Menge an gleichzeitig anfallendem Holz bei der Ernte nach einer bestimmten Umtriebszeit erleichtert sowohl Datenerfassung als auch Logistik und macht diese Bewirtschaftungsform daher bei Waldbesitzenden beliebt.

## Bioturbation

Prozess, bei dem lebende Organismen, insbesondere Bodenlebewesen, den Boden durch ihre Aktivitäten umgestalten. Diese Aktivitäten können das Durchmischen von Bodenmaterial, die Verlagerung von Partikeln und organischen Materialien sowie die Beeinflussung von Bodenstruktur und -zusammensetzung umfassen. Bioturbation spielt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung und Aufrechterhaltung von Bodeneigenschaften.

## C/N Verhältnis

Das C/N-Verhältnis beschreibt die Gewichtsanteile von Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) und ist ein gängiger Indikator der Stickstoffverfügbarkeit für Pflanzen und Mikroorganismen. Ein enges C/N-Verhältnis weist auf eine hohe Mikroorganismenaktivität hin; die Böden sind fruchtbar. Ein weites C/N-Verhältnis zeugt von nährstoffarmen Böden mit geringer Zersetzung.

## Dickungsschluss

Zeitpunkt, an dem die Bäume in einem Waldstück so dicht stehen, dass sie eine geschlossene Baumschicht bilden.

## Edaphon

Gesamtheit aller bodenbewohnenden Organismen, die im Boden leben und aktiv an den Prozessen der Bodenbildung, des Nährstoffkreislaufs und anderer bodenbezogener ökologischer Funktionen beteiligt sind.

## Edellaubholz

Reihe von Laubbaumarten, welche im Gegensatz zur Rotbuche und den Eichen nicht zu den forstlichen Hauptwirtschaftsbaumarten gehören.

## Energieholz

Holz, welches speziell für die Erzeugung von Energie genutzt wird.

## Future Forest Fonds

Zentrale Stelle zur Sammlung von Spenden, die von Kommunen, Privaten und Firmen eingezahlt werden und an die Waldbesitzenden in Form von Zukunftswaldprämien ausgeschüttet werden sollen.

## Kalamität

Außergewöhnliches Schadereignis im Wald wie beispielsweise Sturm-, Schnee- oder Insektenkalamitäten.

## Klimawirksame Gase

Gase in der Atmosphäre, die den Treibhauseffekt verursachen und somit zur Erwärmung der Erde beitragen.

## Lebendiger Boden

Boden, der reich an biologischer Vielfalt und lebendigen Organismen ist.

## Naturverjüngung

Natürliche Eigenreproduktion eines Baumes bzw. Bestandes

## Pflegeholz

Holz, welches bei der kontinuierlichen Durchforstung (Entnahme von Bäumen) anfällt. Meist ist dieses Holz aufgrund des geringen Durchmessers lediglich zur Energiegewinnung geeignet.

---

## Plenterwald

Spezifische Form der Forstwirtschaft, bei der verschiedene Baumarten unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Größe in einem Waldgebiet miteinander gemischt sind.

## Regenwurmfördernde Arten

Alle Laubbaumarten außer Buche und Eiche.

## Resilienz

Fähigkeit eines Ökosystems in der Natur, sich nach Störungen, Veränderungen oder Naturkatastrophen zu erholen und dabei seine grundlegenden Funktionen aufrechtzuerhalten. Ein resilienteres Ökosystem ist in der Lage, sich an neue Bedingungen anzupassen und die ökologischen Funktionen trotz äußerer Einflüsse aufrechtzuerhalten.

## Vorbau

Pflanzung von später hauptständigen Baumarten im Schutz des Altbestandes.

## Waldbesitzervereinigung (WBV)

Regionale oder lokale Zusammenschlüsse von Waldeigentümerinnen und Waldeigentümern, die zusammenarbeiten, um ihre wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Ziele im Zusammenhang mit der Nutzung und dem Schutz ihrer Wälder zu fördern.

## Wertholzproduktion

Gezielte Produktion von hochwertigem Holz, das aufgrund seiner besonderen Qualität einen hohen wirtschaftlichen Wert hat.

## Wuchshüllen

Schutzhüllen, die um junge Bäume oder Setzlinge herum platziert werden, um sie vor verschiedenen Umwelteinflüssen und Schäden zu schützen, hauptsächlich vor Verbiss.

## Zukunftsbaum

Selektierter Baum, welcher erhalten und gefördert wird.

## Zukunftswaldprämie

Honorierung der gelieferten Mehrleistung an Ökosystemleistungen eines Waldes für die Gemeinschaft. Die Höhe der Zukunftswaldprämie wird anhand des Einwertungswerkzeugs für Waldflächen des Future Forest Projektes bestimmt und mit Geldern aus dem Future Forest Fonds bezahlt.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Landrat des Landkreises Landsberg am Lech Thomas Eichinger (Quelle: Oliver C. Grüner).....9

Abbildung 2: Projektteam LIFE Future Forest) (Quelle: Julian Leiterstorfer).....10

Abbildung 3: Kreislauf von Kondensation und Transpiration zur Entstehung von Wind und Niederschlag über Waldgebieten (Pearce 2020).....12

Abbildung 4: Waldmonitor der Baumartenverteilung in Deutschland (Quelle: Naturwald Akademie gGmbH und Remote Sensing Solutions GmbH 2023).....14

Abbildung 5: Baumartenverteilung in Bayern 2019 (Quelle: eigene Grafik nach StMELF 2022).....14

Abbildung 6: Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1900; (Quelle: Wilke 2015).....14

Abbildung 7: Dürremonitor des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Dürremagnituden in der Vegetationsperiode April bis Oktober im Gesamtboden 0 bis max. 2 Meter (Quelle: ufz).....15

Abbildung 8: Klimaänderung in Landsberg am Lech 1959-1978 zu 2005-2022.....15

Abbildung 9: Mittlere jährliche Temperatur Landsberg a. Lech (Trend und Abweichung 1979 - 2023 (Quelle: Meteoblue (Stand: 02.05.2023).....16

Abbildung 10: Wachstumsvergleich Bergahorn und Fichte im Wald von Raimund Hofmann, Weil; Vegetationsperiode 2023.....17

Abbildung 11: Ökogramm der Waldbaumarten (verändert nach Ellenberg 1996, aus (Walentowski et al. 2007)).....18

Abbildung 12: Übersicht über die Ökosystemleistungen in den vier Einteilungskategorien (Quelle: Dominik Jentzch).....19

Abbildung 13: Bestandsaufbau eines Plenterwaldes (Bildquelle: Abteilung Forstwesen - Amt der Vorarlberger Landesregierung 2020).....23

Abbildung 14: Biologische Aktivität der verschiedenen Humusformen. Die Humusformen geben Hinweise auf das Nährstoffumsetzungsvermögen im Oberboden (Walser et al. 2021).....25

Abbildung 15: Ergebnisse einer Feinwurzelgrabung innerhalb einer studentischen Projektwoche 2021 in der Hartmahd (Schotterboden), Grabung nach Methodik im Anhang siehe Feinwurzelgrabung.....27

Abbildung 16: Preisträger des Waldpreises 2021 in der Kategorie „Nachhaltigkeit Wald“ Ludwig Pertl (Bildquelle: forstpraxis.de).....28

Abbildung 17: Beispiel für Stufe 1: Fichtenreinbestand (Quelle: Eigene Aufnahme).....30

Abbildung 18: Beispiel für Stufe 2: Fichtenreinbestand mit Vorbau aus Laubholzarten (Quelle: Eigene Aufnahme).....30

Abbildung 19: Beispiel für Stufe 3: Strukturierter Mischwald mit hohem Laubholzanteil (Quelle: Eigene Aufnahme).....31

Abbildung 20: Beispiel für Stufe 4: Stark strukturierter Laubdauerwald (Quelle: Eigene Aufnahme).....31

Abbildung 21: Einwertungsbogen für den Waldzustand.....32

Abbildung 22: Fichtenreinbestand in der Hartmahd (Quelle: Eigene Aufnahme).....33

Abbildung 23: Fichtenbestand mit Vorbau in der Hartmahd (Quelle: Eigene Aufnahme).....34

Abbildung 24: Waldführung durch alte Nadelholzbestände Scheurings auf dem Themenweg „Den Auwald und seine Böden erkunden“ (Quelle: Eigene Aufnahme).....34

Abbildung 25: Bodenlehrpfad mit Bodenprofil und Wurzelstock in den 1985 angepflanzten Edellaubholzbeständen Scheurings (Quelle: Eigene Aufnahme).....35

Abbildung 26: Stark strukturierter Laubdauerwald von Raimund Hofmann.....35

Abbildung 27: Raimund Hofmann. Preisträger des Waldpreises 2022 in der Kategorie „Waldbesitzer des Jahres“. (Bildquelle: Florian Regensburger).....36

Abbildung 28: Naturverjüngung mit Drückjagdstand (Quelle: Eigene Aufnahme).....37

Abbildung 29: Schadbilder durch Verbiss der Naturverjüngung (Quelle: Eigene Aufnahme).....38

Abbildung 30: Ökosystemleistungen des Waldes. Auszug aus einer Schautafel des Themenweges in Scheuring „Den Auwald und seine Böden erkunden“ (Quelle: interreg Alpine Space).....40

Abbildung 31: Kalkulation des Flächenumsatzes pro Jahr in einer Fichtenmonokultur im Vergleich zu einem Dauerwald.42



.....

Abbildung 32: Berechnung des Umsatzes in nadelholzreichen Beständen und in Laubdauerwäldern.....42

Abbildung 33: Einwertungsstufen von Waldbeständen mit zugehöriger Prämie und Baumarteneignung.....43

Abbildung 34: Aufbau des LIFE Future Forest Fonds.....44

Abbildung 35: Beispielzertifikat der Zukunftswaldprämie.....44

Abbildung 36: Karte des Landkreises Landsberg mit der Gemeinde Fuchstal innerhalb der roten Umrandung (Datenquelle: OpenStreetMap).....45

Abbildung 37: Zeitlicher Ablauf der Planung der Zukunftswaldprämie.....46

Abbildung 38: Teilnehmende Flächen am Pilotprojekt Zukunftswaldprämie Fuchstal.....46

Abbildung 39: Verteilung der Waldbesitzenden nach Flächengröße.....47

Abbildung 40: Verteilung der Bewertungsstufen nach Fläche.....47

Abbildung 41: Verteilung innerhalb der Bewertungskriterien.....47

Abbildung 42: Monatssummen der Tiefensickerung in 5 Meter Tiefe unter verschiedenen Waldbeständen (Natkhin et al. 2022).....50

Abbildung 43: Trinkwasserqualität - Nitratkonzentration nach Bestandsart (Kukuk 2001).....51

Abbildung 44: Temperatur Vergleich Heißtag 2021 in Kaufering.....56

Abbildung 45: Regenwurmuntersuchungen auf Schotterboden.....57

Abbildung 46: Feinwurzeluntersuchungen auf Lösslehm Boden.....58

Abbildung 47: Gesamtwuchsleistung verschiedener Baumarten (Hainbuche, Fichte, Bergahorn, Stieleiche und Rotbuche) aufgeteilt in ihre einzelnen Kompartimente.....59

Abbildung 48: Grafische Auswertung der Dendrometermessungen: Umfangsänderung und Niederschlagsmenge zwischen 01.05.2023 und 10.07.2023.....60

Abbildung 49: Thermographische Aufnahmen der Stieleiche am 04.07.2022 um 5:30 Uhr (links) und um 17:30 Uhr (rechts) (Quelle: Bachelorarbeit, Niclas Wenisch).....60

Abbildung 50: Streukasten befüllt mit Streu der Fichte, Tanne, Buche, Eiche und Bergahorn (von links nach rechts) (Quelle: Eigene Aufnahme).....61

Abbildung 51: Streukasten im Herbst 2021 mit Laub vom Winter 20/21 von Pappel, Ahorn, Eiche, Buche und Fichte (Quelle: Eigene Aufnahme).....61

# TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bewertung der Baumarten aus Bodensicht.....23

Tabelle 2: Unterstützende und hemmende Faktoren im regionalen Waldumbau.....39

Tabelle 3: Zusammenstellung der vereinfachenden und erschwerenden Faktoren für den Waldumbau.....49



## Vorwort des Landrats

Sehr geehrte Mitbürgerinnen und Mitbürger,  
wie geht es weiter mit unseren Wäldern?

Diese Frage beschäftigt Expertinnen und Experten auf der ganzen Welt. Durch den Klimawandel zunehmende Wetterextreme wie Hitzeperioden und die Erhöhung der jährlichen Durchschnittstemperatur machen den Wäldern mehr und mehr zu schaffen.

Im Landkreis Landsberg am Lech wird seit vielen Jahren an Lösungsansätzen gearbeitet. Nach einigen Projektwochen in Kooperation mit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf sowie dem bereits erfolgreich abgeschlossenen INTERREG-VB Alpenraum Projekt „Links4Soils“ entschieden wir uns, die Arbeit im Wald mit dem EU-Projekt „LIFE Future Forest“ weiterzuführen. Was unser Projekt besonders macht, ist der Fokus auf den Waldboden: Er nimmt eine zentrale Rolle in unseren Bemühungen ein. Nur wenn der Boden möglichst lebendig und leistungsfähig ist, können die darauf wachsenden Bäume nicht nur stabil und gesund sein, sondern so auch dem Klimawandel trotzen.

Wir alle profitieren jeden Tag von unseren Wäldern: Sie kühlen und reinigen unsere Luft, bilden Sauerstoff, sorgen durch Verdunstung für Feuchtigkeit und Regen, filtern das Trinkwasser und bieten einen Ort der Erholung und Entspannung in unserer schnelllebigen Zeit. Diese Ökosystemleistungen sollen zukünftig deutlich mehr in unseren Blickwinkel gelangen. Dafür, dass die Waldbesitzenden uns mit ihren Wäldern diese Werte zur Verfügung stellen, sollen sie zukünftig stärker gesellschaftlich anerkannt und belohnt werden. Hierfür wurde ein lokales Pilotprojekt gestartet.



Abbildung 1: Landrat des Landkreises Landsberg am Lech Thomas Eichinger (Quelle: Oliver C. Grüner)

Das vorliegende Handbuch für nachhaltigen Waldumbau soll für Gemeinden in der EU ein Wegweiser sein, wie Wälder effektiv und sinnvoll umgebaut werden können. Das Resultat sind stabile, gesunde, laubholzreiche Mischwälder, welche ein sehr hohes Maß an Ökosystemleistungen liefern.

Unser Landkreis nimmt damit eine führende Rolle ein in den Bestrebungen rund um den „Future Forest“, den Wald der Zukunft. Ich wünsche allen Waldbäuerinnen und Waldbauern ein gutes Gelingen mit ihrem besonderen Stück Natur, damit auch die zukünftigen Generationen von den enormen Leistungen unserer Wälder profitieren können.

Mein spezieller Dank geht an die Stadt Landsberg am Lech, die teilnehmenden Partnergemeinden Kaufering, Fuchstal, Igling, Scheuring und Obermeitingen, sowie an die Waldbesitzervereinigung Landsberg am Lech, die alle Aktivitäten mit Kompetenz und Sachverstand unterstützt hat.



Ihr Landrat Thomas Eichinger

## Vorwort des Projektteams



Abbildung 2: Projektteam LIFE Future Forest (Quelle: Julian Leitensdorfer) Von links nach rechts: Michael Siller (Leiter des Städt. Forstamts Landsberg am Lech), Nikolaus Storz (Projektleiter, Landratsamt Landsberg am Lech), Theresa Luber (Senior Projekt Managerin blue! advancing european projects GbR), Maximilian Dietmeier (Mitarbeiter des Städt. Forstamts Landsberg am Lech), Christian Diehl (Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf), Prof. Dr. Stefan Wittkopf (Hochschule Weihenstephan-Triesdorf), Ludwig Pertl (ehemaliger Revierförster, Mitarbeiter des Städt. Forstamts Landsberg am Lech), Dominik Landerer (Mitarbeiter des Städt. Forstamts Landsberg am Lech)

Bei der Umsetzung unseres Projekts LIFE Future Forest ist unsere Gruppe eng zusammengewachsen. Am Beginn des Projekts stand die Vision, nicht nur den Zustand unserer Wälder zu verbessern, sondern auch einen nachhaltigen Wandel im Waldmanagement anzustoßen. Dieses Handbuch ist das Ergebnis unserer kollektiven Bemühungen, Wissen zu mehren, Strategien zu entwickeln und innovative Lösungen für die Herausforderungen des Waldumbaus zu finden. Es wurde nicht nur als Leitfaden für nachhaltiges Waldmanagement konzipiert, sondern soll auch als Inspirationsquelle für alle dienen, die sich für den Schutz und die Wiederherstellung unserer Wälder einsetzen.

Die Vielfalt der Fähigkeiten, Erfahrungen und Motivationen in unserem Team ist eine unserer Stärken. Innerhalb des Projektteams haben sich die Partner Stadt Landsberg am Lech sowie Hochschule Weihenstephan-Triesdorf vorwiegend auf Arbeiten und Aufnahmen im Wald konzentriert, während das Landratsamt Landsberg am Lech und das Consulting-Büro blue! advancing european projects hauptsächlich für die Organisation und Kommunikation verantwortlich waren. Die Arbeitspakete erstreckten sich über die Bereiche Vorbereitung, Umsetzung, Monitoring der Projektauswirkungen, Öffentlichkeitsarbeit und Verbreitung der Ergebnisse sowie Projektmanagement.

Unsere wichtigsten Produkte sind der Bewertungsbogen für den Waldzustand und der dazugehörige LIFE Future Forest Fonds. Hier wurde ein System geschaffen und eingeführt, welches die Kategorisierung von Waldstücken und eine entsprechende Vergütung durch Unternehmen, Gemeinden und Privatpersonen ermöglicht. Seit 2023 wird das Konzept mit Er-

folg in der Gemeinde Fuchstal umgesetzt. Im ersten Jahr konnten 27 Teilnehmende mit einer Gesamtzahl von 120 ha Wald verbucht werden. Es werden knapp 10.000 € pro Jahr ausbezahlt, nach fünf Jahren erfolgt eine Neubewertung der Waldflächen.

Über die Projektlaufzeit hinweg erhielten wir stets eine starke und positive Resonanz. Aus der Öffentlichkeit, den Kommunen, der angewandten Forschung und Lehre – auch über die Landkreisgrenzen hinaus. Die ersten Interessenten für die Reproduktion unseres Prämiensystems haben sich bereits gemeldet. Diesen Erfolg im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit konnten wir durch zahlreiche Waldbegänge, das Knüpfen von Netzwerken (u. a. auf Messen) sowie regelmäßige Präsenz in Zeitung, Radio und Fernsehen erreichen. Das Projekt wurde ebenfalls der EU-Kommission in Brüssel vorgestellt sowie in Spanien auf der „European Mission Soil Week“ präsentiert. Ein im Rahmen einer Bachelorarbeit entwickelter, attraktiver Geocache-Pfad bietet der Öffentlichkeit die Möglichkeit, sich vor Ort in einer spielerischen Weise mit dem Projekt auseinanderzusetzen. Mit dem deutschlandweit bekannten YouTuber Florian Rigotti („Selbstversorger Rigotti“, über 300.000 Follower) konnten wir zudem eine effektive Kooperation eingehen und gemeinsam mit ihm YouTube-Beiträge erstellen, welche zehntausendfach geklickt wurden.

Mit voller Zufriedenheit blicken wir auf unser erfolgreiches Waldprojekt zurück und sind stolz auf die Ergebnisse, die durch die gemeinsame Anstrengung unseres Teams erreicht wurden. Wir hoffen, dass unser innovatives Waldkonzept weite Verbreitung findet und in der Praxis fruchtbare Böden schafft.

Landsberg am Lech, im Januar 2024

## Zusammenfassung

Die Wälder sind weltweit bedroht und stehen vor neuen Herausforderungen. Die Durchschnittstemperaturen steigen, extreme Wetterereignisse nehmen zu und die Qualität der Böden nimmt seit Jahrzehnten ab. Im Landkreis Landsberg am Lech wird deshalb seit Jahren am "Wald der Zukunft" geforscht und gearbeitet.

In Anlehnung an das INTERREG-Projekt "Links4Soils" wurde "LIFE Future Forest" gestartet, um auf den bisherigen Erkenntnissen aufzubauen. Die Laufzeit des Projekts war von September 2020 bis Juni 2024. Partner des Projekts sind der Landkreis Landsberg am Lech (Leitender Partner), die Stadt Landsberg am Lech, die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf sowie die fünf Partnergemeinden Kaufering, Fuchstal, Scheuring, Igling und Obermeitingen. Die Waldbesitzervereinigung Landsberg am Lech und verschiedene Privatwaldbesitzer sind ebenfalls beteiligt.

Die Einzigartigkeit des Projekts liegt in dem starken Fokus auf einen gesunden, lebendigen Boden. Das abgeworfene Laub der Bäume bildet die Hauptnahrung für die Regenwürmer, jedoch gibt es Unterschiede in der Qualität. Nadeln, Eichen- und Buchenblätter werden beispielsweise von den Regenwürmern verschmäht.

Im Rahmen des Projekts wurde u. a. das hier vorliegende Handbuch für nachhaltigen Waldumbau entwickelt, welches alle Erkenntnisse des Projekts beinhaltet, sowie das Konzept einer Zukunftswaldprämie. Dabei werden teilnehmende Waldflächen mithilfe eines Bewertungsbogens analysiert, woraufhin die Waldbesitzenden basierend auf der Qualität ihrer Waldflächen als Honorierung einen Geldbetrag erhalten.

Die Prämie wird über mehrere Jahre hinweg ausbezahlt, wobei alle fünf Jahre eine Neubewertung der Waldflächen stattfindet. Ein ähnliches Prämienmodell für Wälder in Trinkwasserschutzgebieten wurde ebenfalls entwickelt.

Das Handbuch für nachhaltigen Waldumbau ist allen Kommunen in der EU zugänglich. Die Prämienmodelle werden über die Projektlaufzeit hinweg weitergeführt mit der Intention regionale Ableger zu finden. Langfristiges Ziel ist es, die Ökosystemleistungen der Wälder für den Menschen zu erhalten und zu verbessern.

## Abstract

Forests worldwide are endangered and facing new challenges. Average temperatures are rising, extreme weather events are increasing and the quality of soils has been declining for decades.

In the county of Landsberg am Lech, research and work on the "forest of the future" has therefore been ongoing for years. Following the INTERREG project "Links4Soils", "LIFE Future Forest" was launched to build on previous findings. The duration of the project was from September 2019 to June 2024.

The partners in the project are the county of Landsberg am Lech (lead partner), the city of Landsberg, the Weihenstephan-Triesdorf University of Applied Sciences, and the five partner communities Kaufering, Fuchstal, Scheuring, Igling and Obermeitingen. The forest owners' association Landsberg am Lech and various private forest owners are also involved.

The uniqueness of the project lies in the strong focus on healthy, living soil. The falling leaves of the trees form the main food for the earthworms, but they differ in their quality. Needles, oak and beech leaves e.g. are rejected by the earthworms.

The project has developed, among other things, the manual on sustainable forest conversion presented here with all the findings of the project, as well as the concept of a "Future Forest Premium system". In this, the participating forest areas are evaluated with the help of an assessment sheet, whereupon the forest owners then receive a monetary amount, based on the quality of the forest areas. The premium is to be paid over several years, with a new assessment following every five years. A similar premium concept for forests in drinking water protection areas has also been developed.

The manual for sustainable forest conversion is now being distributed to all communities in the EU. The premium models will hopefully be continued and copied regionally.

The long-term goal is to maintain and expand the ecosystem services that the forest provides to people.

# 1 Wälder in Zeiten des Klimawandels

Der Klimawandel stellt die gesamte Weltgemeinschaft vor große Herausforderungen: Dabei werden alle Bereiche wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Handelns berührt. Neben der Vermeidung und Kompensation klimawirksamer Gase sind aufgrund des bereits existierenden und künftig weiter fortschreitenden Klimawandels auch Anpassungsmaßnahmen unverzichtbar.

Dies betrifft vor allem Ökosysteme, die einerseits Auswirkungen des Klimawandels für den Menschen reduzieren können, andererseits aber selbst vom Klimawandel betroffen sind: Unter ihnen werden in der gesellschaftlichen, medialen und politischen Öffentlichkeit zuallererst Wälder genannt, die mit ihren Ökosystemleistungen unverzichtbar, aber aufgrund von Temperaturerhöhungen, Trockenphasen und weiteren abiotischen, aber auch biotischen Schäden bedroht sind.

Das vorliegende Handbuch beschreibt die Problemlage, in welcher sich Wälder im Klimawandel befinden, und gibt Hilfestellung, wie Wälder Ökosystemleistungen in der Gegenwart und Zukunft trotz der genannten Bedrohungen weiterhin zur Verfügung stellen können.

Damit Wälder von Waldbesitzenden an den Klimawandel angepasst werden, brauchen diese nicht nur fachliche Hilfestellung, sondern auch finanzielle Anreize, die notwendigen Maßnahmen durchzuführen. Auch dies wird im Handbuch mit der konkreten Umsetzung von Projekten thematisiert.

Es gibt bereits eine Vielzahl von Vorschlägen zur Anpassung von Wäldern an den Klimawandel, die hier nicht vorgestellt und diskutiert werden sollen. Dabei werden nach Ansicht der Projektverantwortlichen von LIFE Future Forest in vielen Konzepten sehr brauchbare Vor-

schläge gemacht, ein Faktor wird jedoch überwiegend außer Acht gelassen: Der lebendige Boden, welcher es Wäldern ermöglicht, dem Klimawandel nicht nur standzuhalten, sondern die Erwärmung sogar für eine vermehrte Produktion von Holz und damit eine höhere Bereitstellung von Ökosystemleistungen des Waldes zu nutzen.

Wie lebendige Waldböden geschaffen werden können, auf denen sehr produktive und resiliente Wälder wachsen, die Holz in hoher Qualität produzieren, und welche Unterstützung die Waldbesitzenden dafür benötigen, wird in diesem Handbuch ebenso erläutert wie die Berechnung und Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von Wäldern für Waldbesitzende.

Das Klima nimmt Einfluss auf die Entwicklung und den Zustand der Wälder, umgekehrt haben Wälder durch ihre Verdunstungsleistung eine wesentliche Bedeutung für die Generierung von lokalen Niederschlägen.

„Wald und Wasser beeinflussen sich auf vielfältige Weise gegenseitig – ob als Regen aus der Luft, als Feuchtigkeit und Sickerwasser im Boden oder als Gebietswasserabfluss in der Landschaft. Das Wasser in seinen unterschiedlichen Niederschlagsformen versorgt den Wald mit dem notwendigen Lebenselixier. Der Wald revanziert sich nicht nur durch eine gute Qualität des Grundwassers, sondern schützt auch vor Bodenerosion, führt zu gleichbleibendem Wasserabfluss, mindert die Überschwemmungsgefahr und mildert Klimaextreme. In Anbetracht der globalen Klimaveränderung hat der Wald durch seine positiven Wirkungen auf den Wasserhaushalt weltweit eine herausragende Bedeutung. Doch sich in Intensität und Dauer häufende Trockenperioden können unsere Wälder in ihrer Existenz und ihren Funktionen bedrohen. Die heute begründeten Wälder müssen sich daher an die Umweltbedingungen der Zukunft anpassen können“ (Müller 2011).

Laut der Theorie der „biotischen Pumpe“ von Makarieva und Gorshkov aus dem Jahre 2007 findet der Wasserkreislauf der Erde wie in der untenstehenden Abbildung dargestellt statt. Die Theorie der „biotischen

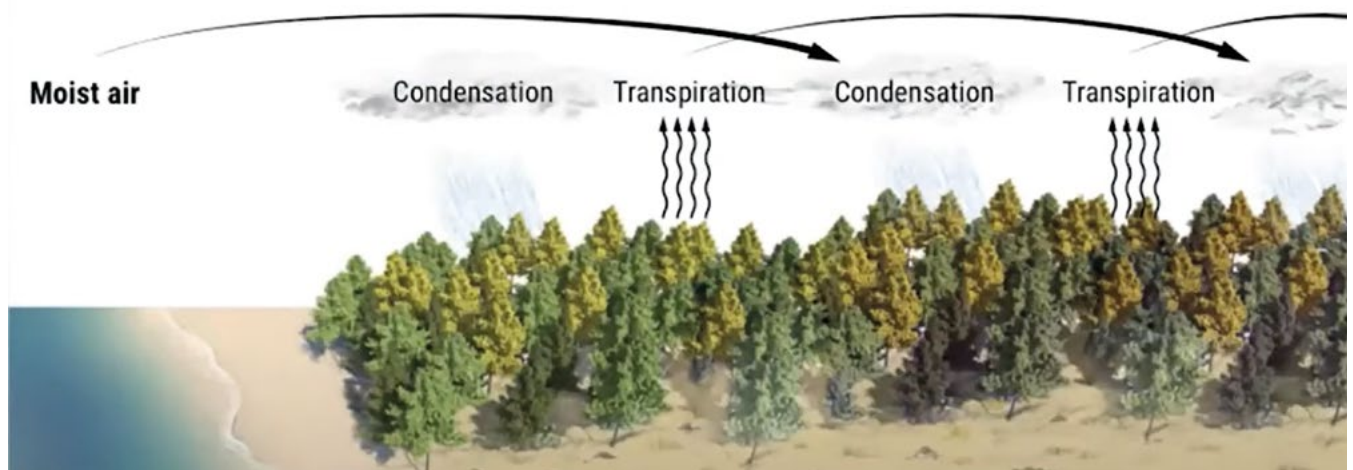


Abbildung 3: Kreislauf von Kondensation und Transpiration zur Entstehung von Wind und Niederschlag über Waldgebieten (Pearce 2020)

Pumpe“ besagt, dass Wälder nicht nur Regen, sondern auch Wind erzeugen. Wenn Wasserdampf über Küstenwäldern kondensiert, senkt er den Luftdruck und erzeugt Winde, die feuchte Meeresluft anziehen. Die Zyklen von Transpiration und Kondensation können Winde erzeugen, die den Regen Tausende von Kilometern ins Landesinnere tragen. Dies führt laut den beiden Forschenden zu „fliegenden Flüssen“.

Diese „fliegenden Flüsse“ leiten als vorherrschende Winde den von den Wäldern ausgeatmeten Wasserdampf und den Regen in weit entfernte Regionen (Markarieva und Gorshkov 2007).

Dabei spielen funktionierende Wälder dank ihrer sehr hohen Verdunstungsleistung eine zentrale Rolle. Sie transpirieren den Niederschlag. Dies führt zu Wolkenbildung, Transport durch die Westwinde und schließlich zu erneutem Niederschlag. Dieser Zyklus wiederholt sich unzählige Male und so wird das Meerwasser wieder und wieder recycelt und Stück für Stück über den Kontinent verteilt. Fehlen jedoch auf großen Flächen funktionierende Wälder, die in der Lage sind, viel Wasser zu verdunsten, wird dieser Wasserkreislauf gestört. Trockenzeiten oder Überschwemmungen sind die Folge. Um dies zu verhindern, muss ein Umdenken hin zu einem nachhaltigen Waldumbau stattfinden.

## 1.1 Zielgruppen und Konzeption des Handbuchs

Der vorliegende Leitfaden zum nachhaltigen Waldumbau soll allen Waldbesitzenden zum einen grundlegende Informationen geben, warum Waldumbau essenziell notwendig ist hinsichtlich Klimawandel, Trockenheit, Extremwetterereignissen und Erhalt der Ökosystemleistungen der Wälder für diese und zukünftige Generationen. Zum anderen werden zentrale Themen und Aspekte vorgestellt, die als Ergebnisse der Forschung im Projekt als wichtige Bausteine für einen gelungenen und klimawandelangepassten Waldumbau dringend empfohlen werden. Hierzu zählen etwa die Bewirtschaftungsart des Waldes, die Wahl der wichtigen Baumarten für lebendige Böden, hohe CO<sub>2</sub>-Speicherung sowie eine finanziell attraktive Wertholzproduktion, die richtige Humusform und eine funktionierende Naturverjüngung für dauerhaft gesicherten Nachwuchs im Wald.

Mit Hilfe des Handbuchs kann jeder Waldbesitzende im eigenen Wald eine Einschätzung vornehmen, in welcher Stufe des Waldumbaus er sich befindet und inwiefern Handlungsbedarf für einen aktiven Waldumbau zu klimawandelangepassten Waldstrukturen besteht.

Die folgenden Informationen, die als Anhaltspunkt und zur Abschätzung des Zustands der jeweiligen Waldbestände dienen sollen, sind beispielhaft für den Standort Landsberg am Lech beschrieben (v. a. bezüglich der Klimaentwicklung).  
Spezielle-Sonderstandor-

te sind aus der Beschreibung der Waldentwicklung und Waldzustände ausgenommen. Dazu zählen etwa Mooregebiete, hochalpine Wälder, Bruchwälder und andere. Demnach handelt es sich bei dem vorliegenden Handbuch für nachhaltigen Waldumbau um kein weltweit universell einsetzbares Werkzeug, sondern die lokalen Bedingungen müssen stets in Betracht gezogen werden.

Das Handbuch richtet sich an:

### Städte und Gemeinden

Diese können sowohl Informationen zum Waldumbau (siehe Kapitel Der Zukunftswald) nutzen als auch ein Prämiensystem (siehe Kapitel 4 Zukunftswaldprämie) etablieren.

### Private Waldbesitzende

Mit den Informationen im Handbuch bekommen sie eine Unterstützung im persönlichen Waldumbau (siehe Kapitel Der Zukunftswald). Privatpersonen können bei ihrer Stadt oder Gemeinde vorsprechen und eine Zukunftswaldprämie vorschlagen, um den Umbau in der Region zu fördern und um eine monetäre Wertschätzung zu erhalten.

### Wissenschaft

Im Bereich Dauerwald sowie vor allem beim Thema gesunder, lebendiger Boden im Wald gibt es einen erheblichen Forschungsbedarf. Die Aufgabe der Forschung ist es, in den nächsten Jahren und Jahrzehnten verstärkt Informationen und Erkenntnisse zu gewinnen. Im Kapitel 0 -> 8 Anhang sind die Methoden angegeben, mit denen die Mehrleistung an Ökosystemleistungen der Laubdauerwälder im EU-LIFE Future Forest Projekt analysiert wurden.

### Wasserversorger

Wasserversorger können direkt davon profitieren, wenn die Wälder im Trinkwasserschutzgebiet für mehr und besseres Trinkwasser sorgen. Hier sind Einsparpotenziale durch geringere Trinkwasserreinigungskosten möglich (beispielsweise durch geringere Nitratwerte, siehe Kapitel 5 Wasserprämie).

## 1.2 Der Wald in Deutschland und Bayern

Aus dem deutschen Waldbericht der Bundesregierung 2021 geht hervor:

Deutschland ist eines der walddreichsten Länder Europas mit 11,4 Mio. Hektar Wald (32 % Waldflächenanteil). Hiervon sind 48 % Privatwald, 19 % im Eigentum der Kommunen und 29 % im Eigentum der Länder sowie des Bundes (4 %). Insgesamt gibt es 1,8 Mio. private Waldbesitzende, die eine durchschnittliche Fläche von 2,5 ha besitzen. Der gesamte Holzvorrat in den deutschen Wäldern lag 2017 mit 3,9 Milliarden m<sup>3</sup> auf einem historischen Höchststand (BMEL 2021).

Der Wald in Deutschland besteht zu 55 % aus Nadelholz. Am häufigsten ist die Fichte mit 25 %, gefolgt von der Kiefer mit 23 %. Der Anteil an Laubbäumen liegt insgesamt bei 45 %, davon 16 % Buche und 10 % Eiche.

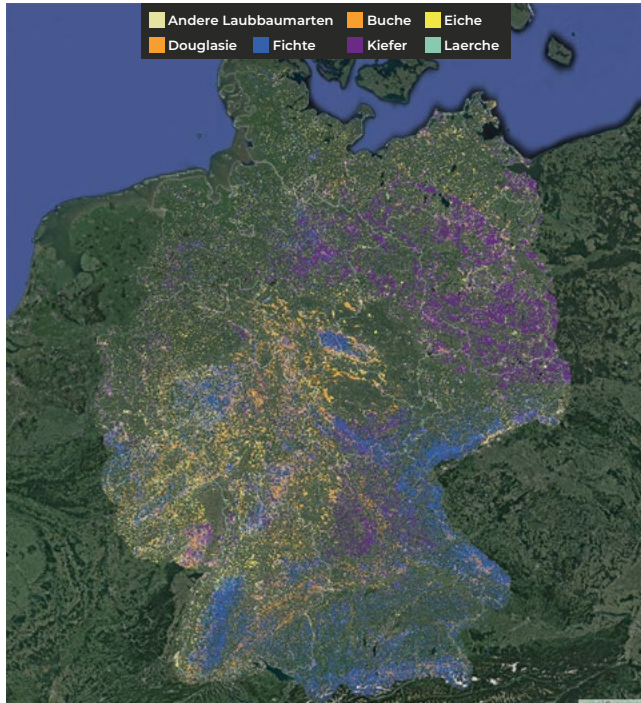


Abbildung 4: Waldmonitor der Baumartenverteilung in Deutschland (Quelle: Naturwald Akademie gGmbH und Remote Sensing Solutions GmbH 2023)

In Abbildung 4 ist die Baumartenverteilung in Deutschland farblich dargestellt. Im Süden dominiert die Fichte, während im Norden die Kiefer am häufigsten vorkommt. Auch in Nordbayern ist dies der Fall. Im Westen Deutschlands hingegen herrschen Eichenbestände vor.

In Bayern sind 37 % der Landesfläche mit Wald bewachsen. Hier dominieren nach wie vor die Nadelbaumarten Fichte (42 %), Kiefer (17 %), Lärche (2 %), Tanne (2 %) sowie Douglasie (1 %), welche zusammen einen Anteil von 64 % ausmachen (siehe Abbildung 5). Die Laubbäume Buche (14 %), Eiche (7 %) und sonstige Laubbäume (15 %) liegen zusammen lediglich bei 36 % (StMELF 2022).

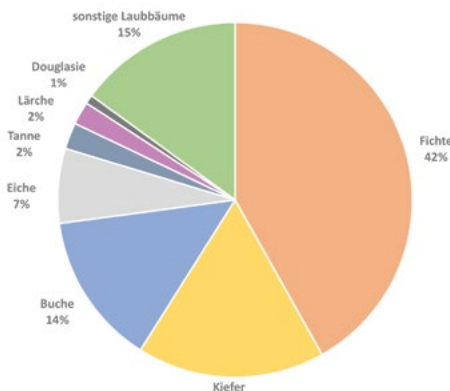


Abbildung 5: Baumartenverteilung in Bayern 2019 (Quelle: Eigene Grafik nach StMELF 2022)

Somit ist die Ausgangssituation bezüglich der Wälder in Deutschland und Bayern erkennbar: Die Bestände sind nadelholzlastig und damit besonders anfällig für die negativen Auswirkungen des Klimawandels. Welche Konsequenzen dieser Umstand nach sich zieht und wie dem begegnet werden kann, wird im weiteren Verlauf des Handbuchs aufgezeigt werden.

### 1.3 Auswirkungen des Klimawandels

Aus dem deutschen Waldbericht der Bundesregierung 2021 geht hervor: Deutschland ist eines der walddreichsten Länder Europas mit 11,4 Mio. Hektar Wald (32 % Waldflächenanteil). Hiervon sind 48 % Privatwald, 19 % im Eigentum der Kommunen und 29 % im Eigentum der Länder sowie des Bundes (4 %). Insgesamt gibt es 1,8 Mio. private Waldbesitzer, die eine durchschnittliche Fläche von 2,5 ha besitzen. Der gesamte Holzvorrat in den deutschen Wäldern lag 2017 mit 3,9 Milliarden m<sup>3</sup> auf einem historischen Höchststand (BMEL 2021).

Der Wald in Deutschland besteht zu 55 % aus Nadelholz. Am häufigsten ist die Fichte mit 25 %, gefolgt von der Kiefer mit 23 %. Der Anteil an Laubbäumen liegt insgesamt bei 45 %, davon 16 % Buche und 10 % Eiche.

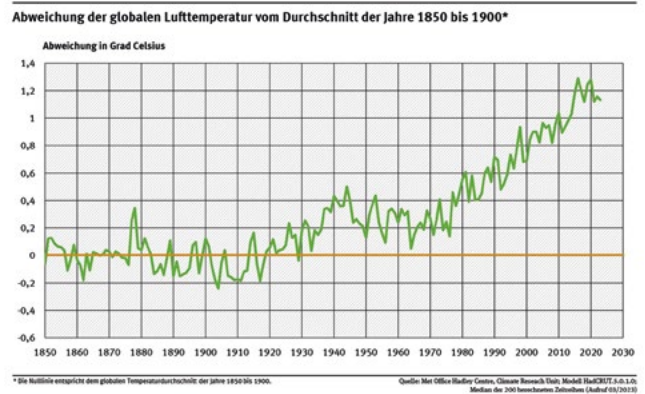


Abbildung 6: Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1900; (Quelle: Wilke 2015)

Regional und lokal kann die Abweichung allerdings extremer sein. In Deutschland fällt die Erwärmung deutlich höher aus als weltweit. Ein Grund hierfür ist die große Pufferwirkung der Meere, welche den Grad der durchschnittlichen Erwärmung nach unten drücken (Greenpeace 2023).

Zusätzlich gab es im zurückliegenden Jahrzehnt eine Häufung von Dürrejahren (Marx 2022), in denen in der Vegetationsperiode von April bis Oktober innerhalb des Gesamtbodens in einer Tiefe von 0 bis 2 Metern (siehe Abbildung 7) Wassermangel nachgewiesen wurde. Diese Dürrejahre wirken sich negativ auf das Wachstum und die Gesundheit der Wälder aus.

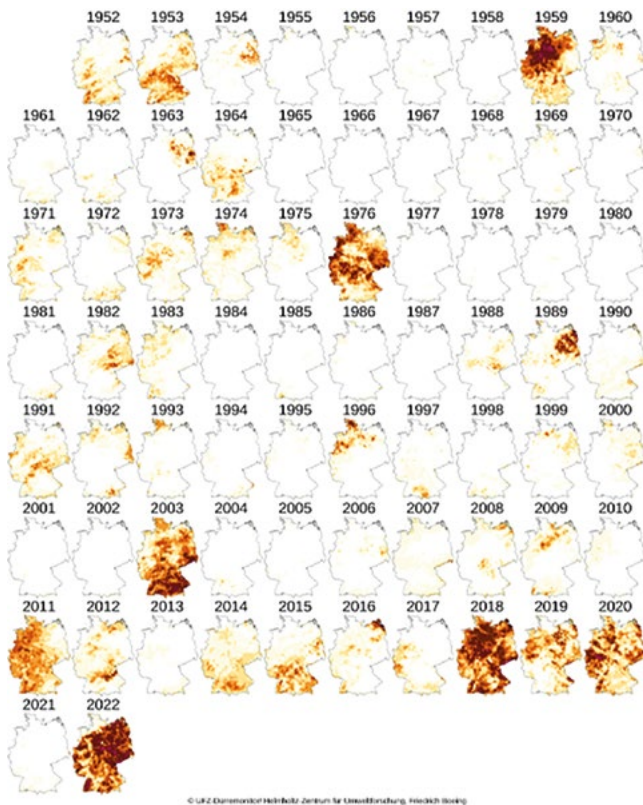


Abbildung 7: Dürremonitor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung, Dürremagnituden in der Vegetationsperiode April bis Oktober im Gesamtboden 0 bis max. 2 Meter (Quelle: ufz)

### Information aus dem Projektgebiet Die Klimaveränderung im Landkreis Landsberg am Lech

Für die Entwicklung des Klimas im Landkreis Landsberg am Lech auf Basis von Temperatur- und Niederschlagsdaten liegt eine Klimawandelstudie vor, welche 2019 für den Landkreis angefertigt wurde (Gebhardt et al. 2019). Aus dieser geht hervor, dass sowohl die Temperatur als auch der Niederschlag unabhängig vom gewählten Zeitraum im Jahresdurchschnitt zunimmt. Somit werden die durchschnittlichen Jahrestemperaturen im Vergleich zwischen den Perioden 1980-2009 und 2020-2049 um etwa 1 °C höher ausfallen. Die Temperaturen nehmen im Winter mit +1,4 °C am stärksten zu, gefolgt vom Frühling mit +1,2 °C. Durch die insgesamt höheren Temperaturen wird die Vegetationsperiode länger. Für den Wald entscheidend sind vor allem auch die Längen der Extremwetterperioden. Im Durchschnitt ergeben die Beobachtungsdaten, dass die Länge der Zeiträume ohne oder mit sehr geringen Niederschlägen zunimmt. Dieser Trend wird sich laut Gebhardt (2019) in Zukunft noch weiter verstärken. Auch Trockenperioden werden „in Zukunft leicht länger, womit Wasserreserven im Sommer immer öfter knapp werden können“. In Abbildung 8 ist die Klimaveränderung in Lands-

berg am Lech von 1959-1976 zu 2005-2022 in Form der Veränderung von Temperatur- und Niederschlagswerten zu sehen. Die Daten stammen vom Amt für Wehrgeophysik (Poeppel 1981). Im Schnitt ist die Durchschnittstemperatur um 1,8 °C in der Periode 2005-2022 im Vergleich zu 1959-1978 angestiegen. Deutschlandweit befindet sich der Grad der Erwärmung auf einem sehr ähnlichen Niveau.

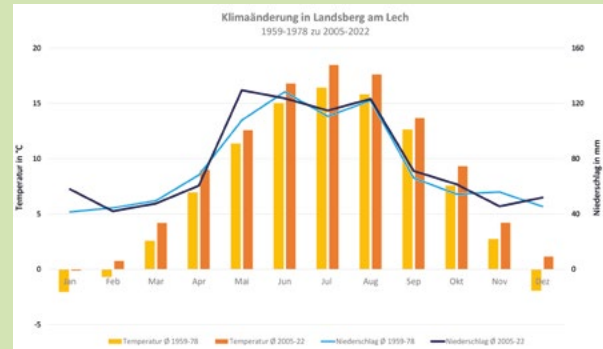


Abbildung 8: Klimaänderung in Landsberg am Lech 1959-1978 zu 2005-2022

Wird der Niederschlag betrachtet, so ist erkennbar, dass dieser in den letzten Jahrzehnten etwa 900 mm pro Jahr betrug, wobei hier ein Anstieg der absoluten Niederschlagsmenge festzustellen ist. Laut Klimawandelstudie der Landkreise Landsberg und Kaufbeuren von 2019 hat sich die Niederschlagsmenge zwischen 1968 und 2005 um 140 mm pro Jahr erhöht. Die niederschlagsreichsten Monate sind die Sommermonate Mai bis August, hier fällt 53 % des Jahresniederschlags. Dabei sei vor allem in den letzten Jahren eine Mehrung von Starkniederschlagsereignissen festzustellen. Dies erhöht den Druck auf das Management von land- und forstwirtschaftlichen Flächen, damit die Böden Wasser besser aufnehmen und langfristig speichern können.

Klimatisch ist der Landkreis bereits stark von der Klimaerwärmung und vom Klimawandel betroffen. Die durchschnittliche Temperatur zwischen 2005 und 2022 liegt in Landsberg am Lech bereits bei 9 °C, während in der Periode 1959-1978 der Durchschnitt mit 7,2 °C noch knapp 2 °C darunter lag (Abbildung 8) In einzelnen, besonders heißen Jahren, die in den letzten Jahren vermehrt aufgetreten sind, lagen die durchschnittlichen Temperaturen bereits bei über 10 °C.

Wenn der Einfluss des Klimas auf die Waldentwicklung betrachtet wird, zeigt sich deutlich, dass für die Forstwirtschaft nicht die Betrachtung der klimatischen Entwicklung über einen mehrjährigen Zeitraum von zentraler Bedeutung ist, sondern die klimatische Entwicklung während der Vegetationsperiode und einzelner Jahre (vgl. Trendanalyse, Abbildung 9). Die forstliche Betrachtung muss sich auch auf die

klimatische Entwicklung während der Vegetationsperiode beziehen. Besonders lange Heiß- und Trockenperioden während des Jahres, die in den letzten Jahrzehnten deutlich vermehrt auftreten, stellen die Bewirtschaftung von forstwirtschaftlichen Flächen (etwa durch Erhöhung des Bodenwasserspeichervolumens) vor Herausforderungen.

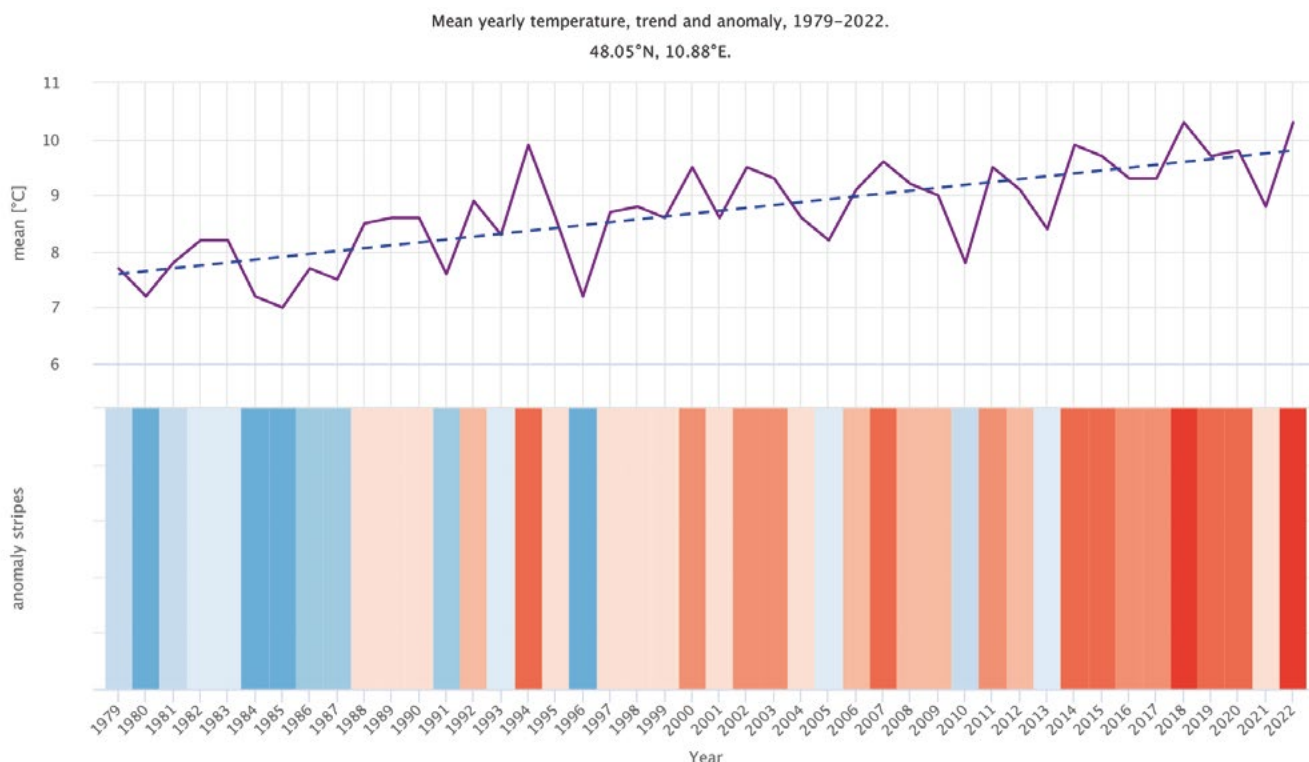


Abbildung 9: Mittlere jährliche Temperatur Landsberg a. Lech (Trend und Abweichung 1979 - 2023 (Quelle: Meteoblue (Stand: 02.05.2023)



## 2 Der Wald: Betroffener und Hoffnungsträger zugleich

Im Wald treten, vor allem auf Grund des sich wandelnden Klimas und des dargelegten Anstiegs der jährlichen Durchschnittstemperatur, verschiedene Problemfelder auf, welche hier näher beschrieben werden. Besonders brisant ist der starke Temperaturanstieg in der Vegetationszeit, verbunden mit häufig fehlendem Niederschlag.

### Anpflanzung von nicht standortgerechten Baumarten

Durch die vermehrten Extremwetterereignisse wie Trockenheit und Stürme bei gleichzeitig erhöhten Durchschnittstemperaturen gegenüber 1950 bekommen vor allem Fichten und Kiefern Probleme.

Die Fichte hat aufgrund ihrer flachen Wurzeln eine geringere Standfestigkeit sowie eine verringerte Fähigkeit an Wasser in tieferen Bodenschichten zu gelangen. Die Kiefer hingegen ist zwar für trockene Standorte geeignet, kommt aber nicht mit hohen Temperaturen zurecht. Auch die europäische Lärche, deren natürliches Verbreitungsgebiet sich hauptsächlich auf die Alpen und einige isolierte Vorkommen der Karpaten beschränkt, hat zukünftig wenig Chancen bei erhöhten Temperaturen (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2012).

Im Falle der weitverbreiteten Fichte gilt oft die Annahme, dass die vergangenen Generationen zu kurz gedacht haben, indem sie zu viel davon anpflanzten. Im 19. Jahrhundert und insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg gab es viele kahle Waldflächen, auf denen erst einmal wieder ein neuer Wald gedeihen musste. Mit dieser Aufgabe kommen nur wenige Baumarten zurecht, darunter auch die Fichte. Die vorherigen Förstergenerationen entschieden sich daher oft für diese Baumart, um auf Freiflächen mit hohen Klimaextremen und wenig bis keinem Schutz wieder einen neuen Wald zu gründen. Ein Grund war selbstverständlich auch, dass das Holz leicht verarbeitet und in der Holzindustrie verwendet werden kann. Somit fielen die damaligen Entscheidungen, zum Großteil auf Fichte zu setzen, auf der Basis der damals vorherrschenden Ausgangslage und nach bestem Wissen und Gewissen (Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden Württemberg 2023).

Die Fichte kommt natürlicherweise in den feucht-kühlen Regionen Europas und Asiens vor (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2017). Kommt es zu Trockenheit, geht der Fichte schneller als anderen Baumarten das Wasser aus. Somit kann sie nur noch wenig bis kein Harz mehr produzieren, um die Schadinsekten – hauptsächlich Borkenkäfer – abzuwehren und erliegt diesen somit oft. Die Dendrometer-Daten des LIFE Future Forest-Projektteams zeigen, dass vor allem die Nadelbäume bei längeren Trockenperioden das Wachstum einstellen, aber bei Niederschlag wieder zu wachsen anfangen (unabhängig von der Temperatur). Dies ist in Abbildung 10 zu sehen.

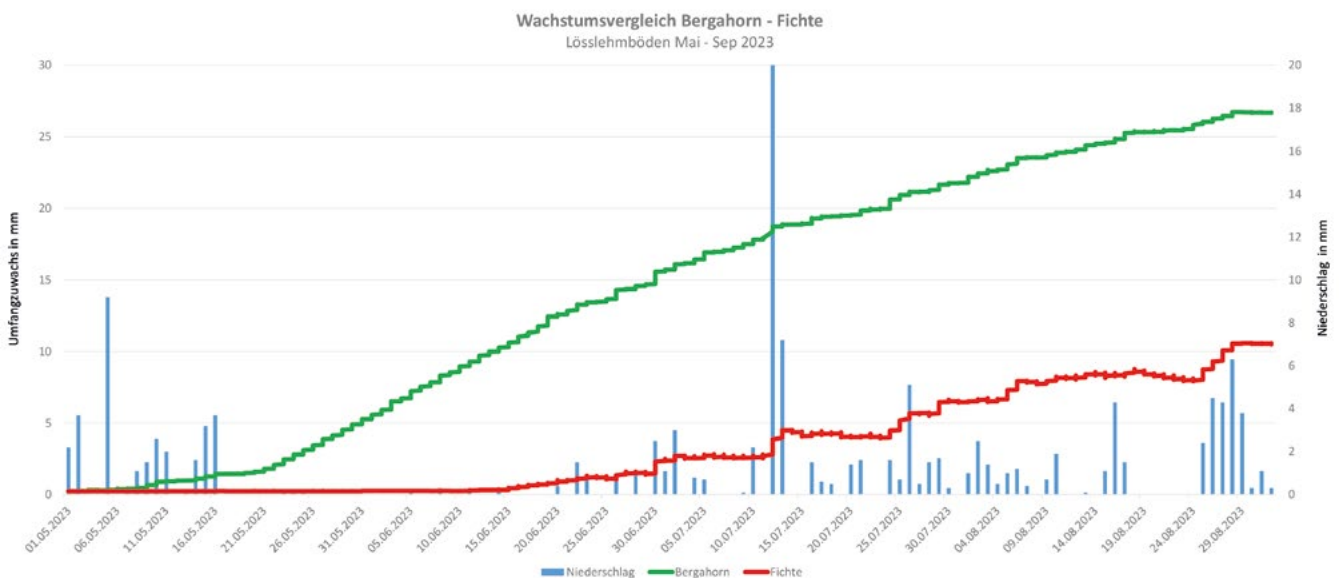


Abbildung 10: Wachstumsvergleich Bergahorn und Fichte im Wald von Raimund Hofmann, Weil; Vegetationsperiode 2023

Kein Wachstum bedeutet auch, dass der Baum kein Wasser mehr verdunstet und somit nicht mehr kühlend auf die Umgebung einwirkt, nicht mehr zur lokalen Regenbildung beiträgt und keinen Sauerstoff mehr produziert. Die wichtigsten Ökosystemfunktionen sind somit ausgeschaltet.

Die Kiefer herrscht, wie auf Abbildung 11 zu erkennen ist, von Natur aus nur auf trockenen und nassen, zugleich stark sauren oder alkalischen Standorten vor. Die mittleren Standorte muss sie sich mit anderen Baumarten teilen, welche ihr stets an Konkurrenzkräften überlegen sind. Ein Beispiel ist die Rotbuche, eine Baumart sommerwarmer und winterkalter Klimate (Walentowski et al. 2007).

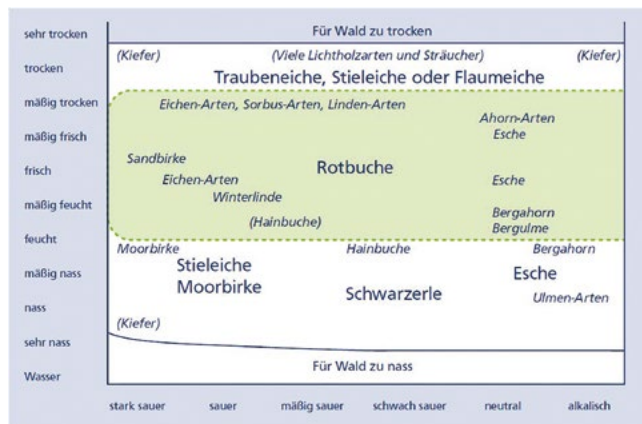


Abbildung 11: Ökogramm der Waldbaumarten (verändert nach Ellenberg 1996, aus (Walentowski et al. 2007))

Vor allem kurze Hitzeperioden mit Temperaturen um die 40 °C gefährden die Kiefer stark. Offenkundig vermag hier das Kühlsystem der Kiefern und die Bäume können nicht mehr ausreichend Wasser in die Kronen schicken, wodurch diese überhitzen und verdorren (Sebald 2016).

Auch Nassschnee kann – wie z. B. in Bayern – zum Problem werden. Wenn schöne Kiefernkrone durch Nassschnee brechen, erschwert dies die Produktion von hochwertigem Holz stark und es lassen sich mit dem Verkauf dieser Bäume keine guten Preise mehr erzielen.

### Extremwetterereignisse

Laut einer Studie der Weltwetterorganisation (WMO, zur UN zugehörig) zu Extremwetter-Katastrophen ist innerhalb der letzten 50 Jahre die Zahl an extremen Wetterphänomenen teils um das Fünffache gestiegen und diese richten sieben Mal höhere Schäden an. Von 1970 bis 2019 kamen dabei mehr als zwei Millionen Menschen ums Leben (WMO 2021). An Bäumen können diese Extrembedingungen schon niederschwelliger starke Schäden hervorrufen.

Die für den Wald entscheidenden Extreme sind die folgenden:

### Heiß-Trocken-Phasen

Hitzeperioden bringen Baumarten wie beispielsweise die Kiefer oder die europäische Lärche an ihre Belastungsgrenze. Auch wenn es parallel immer wieder regnet, sind manche Baumarten den hohen Temperaturen nicht gewachsen. Ein laubholzreicher Dauerwald kann an dieser Stelle helfen, für niedrige Temperaturen und somit für das Überleben der Bäume zu sorgen.

### Stürme

Für Stürme der mittleren Breiten konnte bisher keine Auswirkung des Klimawandels auf diese beobachtet werden. Laut globalen Klimamodellen werden sie in Zukunft zudem auch nicht mehr, dennoch aber stärker werden (Feser 2022). Je stabiler ein Waldgefüge, desto weniger Windwurf gibt es in der Regel.

### Starkregen

Starkregen schädigt zwar die Bäume nicht direkt, problematisch ist jedoch die Situation der Wasseraufnahme des Bodens. Je nach dessen aktueller Fähigkeit Wasser aufzunehmen, fließt viel Wasser ab, bevor es versickern kann. Die Folge ist oft, dass Teile des Bodens weggeschwemmt werden (Erosion) oder dass es zu Überschwemmungen kommt. Vor allem in Hanglagen kann dies immense negative Folgen nach sich ziehen.

### Trockenheit

Diese ist bedingt durch unregelmäßige Regenfälle. Die Bäume kommen in den Trockenstress und haben anschließend verminderte Abwehrkräfte. Zudem verdunsten sie durch ihr niedriges Wachstum kaum noch Wasser und liefern deshalb nur noch eingeschränkt Ökosystemleistungen.

### Schädlinge

Am meisten Schäden verursacht in Deutschland der Buchdrucker, eine Borkenkäferart, die vorwiegend Fichten befällt. Vor allem bei Trockenperioden, wenn die Fichten geschwächt sind, schlägt er vermehrt zu. Die Fichte hat dann nicht genügend Wasser zur Verfügung, um Harz als Abwehrmaßnahme zu produzieren. Jede Baumart hat ihre eigenen Schadinsekten, deren Auftreten hauptsächlich von äußeren Faktoren abhängt.

### Viren, Bakterien & Pilze

Die Einbringung neuer Insekten, Viren, Bakterien oder Pilze aus anderen Ländern kann erhebliche Auswirkungen haben, insbesondere wenn diese Organismen nicht mit unseren heimischen Bäumen kompatibel sind. Ein Beispiel für negative Konsequenzen ist der Fall des Pilzes *Hymenoscyphus fraxineus*, auch bekannt als "Falsches Weißes Stengelbecherchen", der aus Ostasien nach Europa eingeschleppt wurde und das Eschentriebsterben verursacht. Erstmals wurde die Krankheit 1992 in Polen festgestellt, wonach sich der Erreger von dort aus epidemisch schnell im natürlichen Verbreitungsgebiet der Esche ausbreitete (Rig-

ling et al. 2016).

**Gestörte lokale Wasserkreisläufe**

Durch die zunehmende Flächenversiegelung und Bodenverschlechterung werden kurzgeschlossene lokale Wasserkreisläufe gestört, da von diesen Flächen kein Wasser mehr in die Atmosphäre verdunstet wird. Im Gegenteil: Diese Flächen heizen sich bei Sonneneinstrahlung stark auf und verstärken so z. B. in Siedlungsnähe das Hitzeproblem.

**Zu hohe Schalenwildbestände**

Rehe, sowie andere Arten wie Rotwild oder Gamswild (je nach Region) verbeißen bevorzugt die nährstoffreichen Triebspitzen junger Laubbäume und erschweren somit den Waldumbau. Dies geschieht unter anderem deswegen oft in einem stärkeren Ausmaß, da aufgrund des großflächigen Fichtenanbaus wenig Grünfutter in den Wäldern und unseren ausgeräumten Landschaften zur Verfügung steht. Mehr zum Thema Jagd im Kapitel 3.6.

Es ist von höchster Bedeutung, die genannten Herausforderungen ernst zu nehmen und alle Maßnahmen zu ergreifen, um den Wald zu schützen. Unsere Wälder sind als Hoffnungsträger im Kampf gegen den Klimawandel nicht zu unterschätzen. Sie liefern essenzielle Leistungen für Klimaschutz und Klimaanpassung, die sogenannten Ökosystemleistungen.

## 2.1 Ökosystemleistungen des Waldes

Eine Forschungsgruppe um Robert Constanza beschrieb 1997, dass Ökosystemleistungen aus Material, Energie- und Informationsflüssen aus natürlichen Kapitalbeständen bestehen, die in Kombination mit Dienstleistungen des Industrie- und Humankapitals zur Erzeugung der gesellschaftlichen Wohlfahrt beitragen.

Im Millennium Ecosystem Assessment (World Resources Institute 2003) wurden diese näher definiert als Vorteil, Nutzen oder Gewinn (benefits), die die menschliche Gesellschaft aus Ökosystemen zieht und die grundlegend die Lebensqualität und das Wohlergehen einer einzelnen Person (human well being) mitbestimmen.

Die Relevanz und Dimension von Ökosystemleistungen wird häufig nicht anerkannt oder unterschätzt. Wenn vom ökonomischen Wert des Waldes gesprochen wird, beziehen sich die meisten Personen auf den Wert des Holzes, das geschlagen werden kann, und übersehen dabei die weiteren Leistungen wie Kühlleistung oder Trinkwasserneubildung (siehe Kapitel 2.1.2) Um eine Einschätzung des Potenzials des Waldes zu geben, werden im folgenden Kapitel einige Ökosystemleistungen mit Beispielen angeführt, um den monetären Wert des Waldes greifbarer zu machen.

### 2.1.1 Kategorien von Ökosystemleistungen

Um die Ökosystemleistungen, ihre Wirkung und ihren Wert besser darstellen zu können, wurden sie in Kategorien zusammengefasst:

**Produktionsfunktionen (Provisioning Services):**

Nahrungs- und Materialproduktion (bspw. Holzproduktion), Energieversorgung, Trinkwasserbereitstellung und weitere

**Regulierungsfunktionen (Regulating Services):**

Luftreinhaltung, Klimaregulierung, Wasserregulierung, Erosionsvermeidung, Wasseraufbereitung, Bestäubungsleistung und weitere (wichtige Bestandteile für das menschliche Wohlergehen)

**Kulturelle Funktionen (Cultural Services):**

Kulturelle Diversität, spirituelle und religiöse Werte, Freizeitgestaltung, Inspiration, Erholungsort und weitere

**Unterstützungsfunktionen (Supporting Services):**

Bodenbildung, Nährstoff- und Wasserkreislauf, Sauerstoffproduktion, Kohlenstoffbindung, Schließung lokaler Wasser- und Nährstoffkreisläufe oder Primärproduktion



Abbildung 12: Übersicht über die Ökosystemleistungen in den vier Einteilungskategorien (Quelle: Dominik Jentzsch)

Die Basisleistungen sind diejenigen, die für die Entstehung aller anderen Ökosystemleistungen notwendig sind. Ihre Auswirkungen auf den Menschen sind entweder indirekt oder erstrecken sich über einen sehr langen Zeitraum. Veränderungen der anderen Kategorien haben relativ direkte oder kurzfristige Auswirkungen auf den Menschen (Ripl und Scheer 2007).

## 2.1.2 Zahlen zur Größenordnung von Ökosystemleistungen

### Kühlleistung

Wälder haben durch ihre Transpirationsleistung einen signifikanten Einfluss auf die Lufttemperatur, insbesondere in Hinblick auf das thermische Wohlbefinden des Menschen (Hitzestress). Artspezifische Eigenheiten der Bäume, wie beispielsweise Blatt- und Kronencharakteristika, wirken sich auf das Ausmaß ihrer Kühlleistung aus. Um Wasser zu verdunsten, verbrauchen Bäume Energie. Diese Energie entziehen sie ihrer Umgebung und kühlen so die Landschaft.

Untersuchungen des Thünen Instituts haben gezeigt, dass Buchenwälder an warmen Sommertagen 40.000 bis 60.000 Liter Wasser pro Hektar verdunsten. Summiert über eine Vegetationsperiode können so etwa 4.000.000 Liter pro Hektar verdunstet werden (Müller 2011). Zum Verdunsten dieser Menge Wasser bei der Photosynthese verbraucht ein Wald 2,8 Mio. kWh Energie (0,7 kWh Verdampfungswärme je Liter Wasser). Nach dem aktuellen durchschnittlichen Strompreis in Deutschland von 0,35 € (Stand Juli 2023) entspricht dies Stromkosten von etwa einer Million Euro je Hektar.

### Biomasseproduktion

In Zeiten, in denen die Bepreisung und Senkung von CO<sub>2</sub> eine immer wichtigere Rolle in unserer Gesellschaft spielen, wird die Bedeutung von intakten Wäldern und lebendigen, humusreichen Waldböden für die Menschen immer größer. Im Projektgebiet wurden verschiedene Baumarten (z. B. Fichten, Eichen, Ahorn, Linden) hinsichtlich ihres jährlichen Biomassezuwachses (oberirdisch und unterirdisch) untersucht. Im Schnitt speichern diese Wälder rund 15,9 t CO<sub>2</sub>/ha jährlich, wobei Laubhölzer mit etwa 17 t CO<sub>2</sub>/ha\*a deutlich besser abschneiden als Nadelhölzer mit etwa 14,8 t CO<sub>2</sub>/ha\*a. Im Vergleich dazu verursachen Bürgerinnen und Bürger in Deutschland im Schnitt etwa 11 t CO<sub>2</sub>/a.

Nur rund 45 % der produzierten Biomasse werden im nutzbaren Stammholz akkumuliert, der Rest kann etwa über Feinwurzeln, Laub oder Rinde im Dauerhumus des Bodens gespeichert oder im Kreislauf des Nährhumus integriert werden. In Deutschland wird 2023 ein CO<sub>2</sub>-Preis von 30 € je emittierter Tonne Kohlenstoffdioxid erhoben. Bei einer durchschnittlichen jährlichen CO<sub>2</sub>-Bindung der Future Forest Wälder von rund 15,9 Tonnen Kohlenstoffdioxid (Werte im Rahmen des Projekts ermittelt), kann hieraus ein Wert von 477 €/ha\*a nur für die Speicherung von CO<sub>2</sub> errechnet werden.

### Trinkwasserneubildung

Im Zuge des Klimawandels wird immer öfter berichtet, dass in verschiedenen Regionen oder Kommunen das Trinkwasser knapp wird, weil die Grundwasserpegel immer weiter sinken oder durch langanhaltende Dürren der Nachschub fehlt. Wasserhaushaltsuntersuchungen im Höglwald östlich von Augsburg haben

ergeben, dass bei etwa 950 mm Jahresniederschlag unter Fichtenwäldern rund 25 % in die Grundwasserneubildung fließt, dies entspricht etwa 2.400 m<sup>3</sup> pro Jahr.

Ein Laubwald, der im Winter seine Blätter abwirft und damit vor allem in der blattlosen Zeit deutlich weniger Wasser vom Boden abhält als Nadelbäume, entlässt dagegen 41 % des Niederschlags in das Grundwasser (unter vergleichbaren Umweltbedingungen). Im Laubwald werden also 3.900 m<sup>3</sup> Grundwasser je Hektar und Jahr neu gebildet. Bei einem Trinkwasserpreis von 1,90 €/l (Stadtwerke Landsberg) entsteht hier eine Wertschöpfung von 7.400 €/Jahr\*ha. Unter Grünland und Acker werden dagegen im Schnitt nur etwa 15 % des Niederschlags als Grundwasser neu gebildet (Kreutzer et al. 1991).

### Kosten der Trinkwasseraufbereitung

Nitrat ist ein wesentlicher Pflanzennährstoff, der im Grundwasser natürlicherweise nur in sehr geringer Konzentration vorkommt. In zu hohen Mengen sind Nitrat bzw. seine Umwandlungsprodukte für den Menschen jedoch gesundheitsschädigend. Der Grenzwert im Trinkwasser liegt nach der EU-Grundwasserrichtlinie 2006/118/EG bei 50 mg pro Liter Trinkwasser. Im Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd bei Landsberg am Lech werden jährlich etwa 1 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser entnommen. Müsste dieses Wasser technisch aufbereitet werden, um den Nitratwert zu senken, entstünden Kosten von etwa 0,6-1,0 Euro je Liter Trinkwasser (Schätzung des Trinkwasserschutz Oberpfälzer Jura von 2017). Dies würde allein hier zusätzliche Kosten von 0,6-1 Mio. Euro zur Trinkwasseraufbereitung bedeuten.

### Holzeinschlag

Die oben genannten Leistungen sollen nur beispielhaft und vergleichend wiedergeben, welchen Wert die Ökosystemleistungen eines Waldes im monetären Vergleich zum reinen Holzertrag erzielen können. Der Holzertrag liegt je nach Wert oder Nutzung des eingeschlagenen Holzes etwa zwischen 600-1000 € je Hektar und Jahr.

Wie bereits deutlich gemacht, ist der Waldumbau notwendig, um Ökosystemleistungen zu sichern. Diese dienen nicht nur der jetzigen, sondern auch zukünftigen Generationen. Ein gesunder und zukunftsfähiger Wald ist also Teil des Generationenvertrags, der auf dem Prinzip der Generationengerechtigkeit basiert.

## 2.2 Der Wald - ein Präzedenzfall für Nachhaltigkeit und Generationengerechtigkeit

Der Begriff Generationengerechtigkeit stammt aus der politischen Diskussion und wurde erstmals in den 1990er Jahren verwendet. Er bezieht sich auf die Vor-

stellung, dass jede Generation die gleichen Chancen und Rechte haben sollte und dass die Entscheidungen und Handlungen einer Generation keine negativen Auswirkungen auf die nachfolgenden Generationen haben sollten. Generationengerechtigkeit zielt insbesondere auf die Verteilung von Ressourcen ab, wie zum Beispiel Bildung, Wohnung, Arbeit, Rente und Umweltschutz, sowie die Vermeidung von Schulden und Belastungen, die auf zukünftige Generationen übertragen werden. Es geht darum, eine Balance zwischen den Bedürfnissen und Interessen der aktuellen Generation und der zukünftigen Generationen zu finden (Aachener Stiftung Kathy Beys 2015).

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass es den nachfolgenden Generationen gegenüber nicht fair wäre, die Wälder unzureichend umzubauen. In diesem Fall würde dies einen unermesslichen Schaden an der nachfolgenden Generation bedeuten:

- Weniger saubere Luft
- Weniger Kühlung
- Mehr Wetterextreme
- Mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre
- Weniger gesunde, lebendige Böden
- Weniger Biomasseproduktion
- ...

Die Kosten und Auswirkungen bei fehlendem Waldumbau würden der nachfolgenden Generation übertragen werden, während die aktuelle Generation noch mit den vorhandenen Ressourcen und dem Status Quo leben kann.

Das Bundesverfassungsgericht hatte im April 2021 über das Klimaschutzgesetz geurteilt, dass es diesem an Generationengerechtigkeit mangelt, worauf es angepasst werden musste. An diesem Urteil wird u. a. deutlich gemacht, dass auch die nachfolgenden Generationen ein Recht auf Gesundheit, Wohlergehen und Lebensqualität haben. Diese Leistungen sollen in Zukunft mindestens erhalten, wenn möglich verbessert werden.

Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts zum Klimaschutz Gesetz und eine Stellungnahme zur Bedeutung des Generationenvertrags finden sich im Anhang (Kapitel 8).

Im Jahr 2023 ergibt sich folgender Stand für Klima, Böden, Vegetation und Wasserkreisläufe: Sie befinden sich derzeit auf einem unbefriedigenden, niedrigen Niveau und werden zum Großteil nicht nachhaltig bewirtschaftet. Weiterhin findet eine stetige Verschlechterung der lebenswichtigen Ökosystemleistungen statt.

Hieraus ergeben sich die notwendigen Konsequenzen:

- Die Wälder müssen an die aktuellen Bedingungen angepasst werden
- Die Ökosystemleistungen müssen in den Fokus der Gesellschaft geraten

- Der wirtschaftliche Erfolg darf nicht zu Lasten der Ökosystemleistungen gehen

Eine Schlüsselrolle bei der Anpassung der Wälder an das veränderte Klima nimmt der sogenannte Zukunftswald ein. Mit seiner Umsetzung wird die bisherige Form der Waldbewirtschaftung nachhaltig verändert.

## 3 Der Zukunftswald

Das wesentliche Ziel des Waldumbaus ist es, unsere Wälder, die ein für die Zukunft des Menschen wichtiges Ökosystem darstellen, gegenüber zukünftigen biotischen und abiotischen Störungen als Zukunftswälder stabiler und widerstandsfähiger zu machen. Darüber hinaus wird zudem die Erhaltung und Verbesserung der Biodiversität in Waldökosystemen in den angestrebten Zukunftswäldern gewährleistet.

**Unter Zukunftswald versteht man eine plenterwaldartige Waldstruktur, die überwiegend aus laubholzreichen Mischwäldern besteht und eine gute humusaufbauende und lebendige Bodenstruktur garantiert, um den Herausforderungen des Klimawandels standzuhalten (vgl. Kapitel 3.1). Dieser Dauerwald optimiert die Ökosystemleistungen des Bodens.**

Als Grundlage für den Waldumbau des Zukunftswaldes dienen die Prinzipien der Dauerwaldbewirtschaftung:

### 1. Stetigkeit des Waldorganismus

Auf einer Fläche muss immer Wald vorhanden sein. Die Ernte wird daher nur einzelstammweise betrieben.

### 2. Lebendigkeit des Bodens

Das Edaphon muss mit Biomasse und Licht gefüttert werden. Die Waldstruktur muss im halbschattigen Zustand gehalten werden, in dem Bedränger von Zukunftsbäumen aus dem Bestand herausgenommen werden. Edellaubhölzer mit regenwurmfördernden Arten müssen im Bestand vorhanden sein.

### 3. Mischbestockung

Ein Waldbestand muss mit einer hohen Anzahl an Baumarten bestockt sein, um die Resilienz zu erhöhen und die Schadwahrscheinlichkeit zu streuen. Zusätzlich zu den Baumarten können Straucharten biodiversitätserhöhend unterstützen.

### 4. Ungleichaltrigkeit oder Stufigkeit

In allen vorhandenen Ebenen der Struktur muss „Grün“ vorhanden sein, damit nach Kalamitäten Lücken direkt geschlossen werden können. Diese Stufigkeit entsteht, wenn wenig, aber häufig (jährlich) Holz aus dem Bestand entnommen wird.

### 5. Zur Holzwerterzeugung muss überall im Bestand genügend Holz vorhanden sein

Die Entwicklung von durchmesserstarkem Holz muss priorisiert werden und im Bestand auf die ganze Fläche verteilt werden, um keine ungleichmäßige Bestandsentwicklung hervorzurufen.

Hinweis: Die folgenden Kapitel über den Waldumbau sind keine konkreten Anleitungen zum Waldbau. Da konkrete waldbauliche Maßnahmen immer von örtlichen und klimatischen Gegebenheiten beeinflusst

werden, soll hier kein Waldbaubuch vorgelegt werden. Es werden aber Beispiele aufgeführt, die zeigen sollen, mit welchen Maßnahmen und Baumarten in einigen Projektflächen einzelne Schritte hin zu Zukunftswäldern gegangen wurden.

## 3.1 Angestrebte Waldentwicklung

Die klimatischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass die Waldbewirtschaftung der letzten Jahrhunderte im zukünftig vorherrschenden mitteleuropäischen Klima keine Zukunft mehr haben wird. Bisher haben es moderate Temperaturen und ausreichend verteilter Niederschlag erlaubt, dass Nadelbaumarten wie Fichte oder Kiefer in Gebieten, in denen sie nicht heimisch sind, sehr gut wachsen konnten.

Die höheren Temperaturen und oft während der Vegetationsperiode nur sporadische oder dann starke Niederschläge machen den meisten Nadelbäumen mittlerweile stark zu schaffen. Ihr Wurzelsystem und die Böden, die von den Baumarten und der Art der Bewirtschaftung negativ beeinflusst sind, sind nicht darauf ausgelegt, Wasser im Boden über längere Zeit zu speichern. Dies führt vermehrt zu existenziellen Problemen wie Trockenstress oder Schädlingsbefall. Daher wird eine Anpassung der Waldentwicklung an die neuen Klimabedingungen dringend notwendig. Hier werden drei zentrale Elemente zum Erreichen eines zukunftsfähigen Waldes eine wesentliche Rolle spielen: die Bewirtschaftung des Laubdauerwaldes, die Baumartenauswahl und der lebendige Boden.

### Dauermischwald

Der Dauermischwald (mit Strukturen wie im Plenterwald, siehe Abbildung 13) bezeichnet eine Hochwaldform nach dem Prinzip „Stetigkeit des Waldwesens als lebender Organismus“ von Alfred Möller (Möller 2013). Dies beinhaltet einige grundlegende Elemente:

- Kahlschlagfreie Waldbewirtschaftung durch Einzelbaumnutzung (Zukunftsbäume) und damit verbundene gute und regelmäßige Einnahmen durch Wertholznutzung
- Ungleichaltrigkeit (funktionierende Naturverjüngung, Baumvorrat in allen Altersstrukturen, jederzeit ausreichend erntefähiger Wertholzvorrat)
- Mischbestockung und hohe Artenvielfalt
- geringe Schädigung des Systems durch mäßige, aber regelmäßige Nutzung und Verzicht auf den Einsatz von großen Maschinen (Bodenschäden)

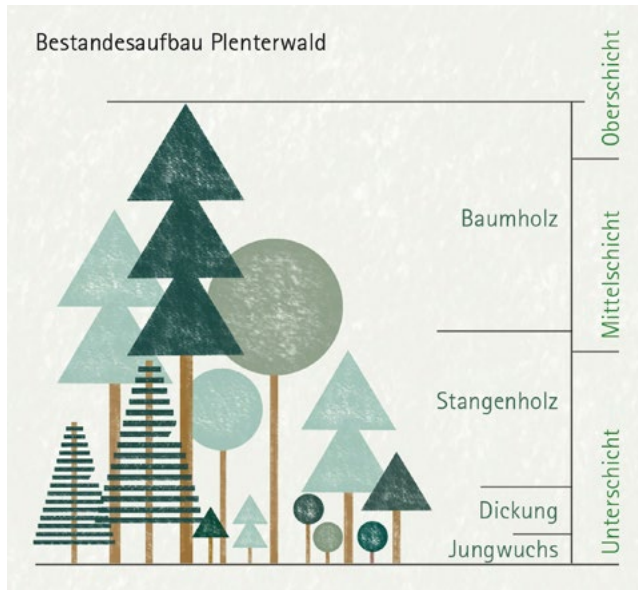


Abbildung 13: Bestandesaufbau eines Plenterwaldes (Bildquelle: Abteilung Forstwesen - Amt der Vorarlberger Landesregierung 2020)

### Der Zukunftswald und seine Baumarten

Im Future Forest Projekt wurden auf allen untersuchten Standorten unter Nadelbäumen oder in nadelholzdominierten Beständen keine oder nur wenige Regenwürmer im Boden gefunden und die Humusform Moder festgestellt.

In Laubholzbeständen wurden höhere Regenwurmdichten festgestellt und bessere Humusformen. Tanne, Buche und Eiche verhalten sich hier besser als z.B. reine Fichtenbestände, aber schlechter als Laubholzbestände mit anderen Arten.

Besonders Hainbuche und Linde als gleichzeitig sehr schattenverträgliche Arten und die Ahornarten, mit sehr hohen Feinwurzeldichten, wiesen hohe Regenwurmzahlen und Mull als Humusform auf. Sie können als besonders geeignete „Future Forest“-Baumarten gelten.

Tabelle 1: Bewertung der Baumarten aus Bodensicht

Auswirkung auf den Boden	Baumarten
negativ	alle Nadelhölzer außer Tanne
neutral	Tanne, Buche, Eiche
positiv	alle Laubhölzer außer Buche und Eiche

Die Zusammenstellung (Tabelle 1) ist bewusst einfach gehalten. Neben Buche und Eiche gibt es sicher noch weitere Laubhölzer, wie etwa Esskastanie oder Walnuss, mit relativ schwer zersetzbarem Laub. Nach dem diese aber im Vergleich zu Buche und Eiche bisher nur geringe Anteile an der Zusammensetzung der Wälder haben, werden sie nicht gesondert ausgewiesen. Zudem sind Esskastanie oder Walnuss für

den Umbau des Waldes in der Mischung gut geeignete Baumarten, da sie als relativ wärme- und trocken-tolerante Baumarten gelten. Optimalerweise ist die Baumartenanzahl der vorhandenen Laubbaumarten sehr hoch und verfügt über einen großen Anteil Edellaubholzarten (>80 %). Bei Nadelhölzern sollte vor allem die tief wurzelnde Tanne verwendet werden.

Zu den bereits genannten Baumarten werden auch noch dienende Baumarten im Unterholz benötigt. Diese werden zur Hauptbaumart als Nebenbaumart hinzugefügt. Dabei ist es nicht ihre Aufgabe, die Nachfolge des Oberstandes anzutreten, sondern mit ihren Baumkronen den Stammraum der Hauptbaumart möglichst dunkel zu halten, damit sich keine Seitenäste bilden und gerades, astfreies Wertholz wachsen kann. Dies sind beispielsweise Linde oder Hainbuche.

Befindet sich der Waldbestand, der umgebaut werden soll, im Trinkwasserschutzgebiet, so wird von Bodennitrogen anreichernden Arten wie Erle und Robinie abgesehen.

### Information aus dem Projektgebiet Geografische und forstliche Informationen zum Landkreis Landsberg am Lech

Der Landkreis Landsberg am Lech liegt im Westen des bayerischen Regierungsbezirks Oberbayern, auf einer durchschnittlichen Höhe von 615 m NN. Die Höhendifferenz erstreckt sich dabei von 521 m bei Unterbergen bis auf 853 m im Sachsenrieder Forst. Die Kreisstadt ist Landsberg am Lech mit rund 30.000 Einwohnern (Stand 2022). Im gesamten Landkreis leben etwa 123.000 Menschen (Stand 2022), was bei einer Gesamtfläche von 815 km<sup>2</sup> einer Bevölkerungsdichte von 153 Einwohnern je km<sup>2</sup> entspricht.

Der Waldanteil im Landkreis liegt bei rund 26 %, davon entfallen 50 % auf Privatwälder, wovon viele in der Waldbesitzervereinigung (WBV) Landsberg organisiert sind. 40 % der Waldfläche sind Staatswald, die restlichen 10 % sind Kommunalwald der 31 Gemeinden im Landkreis.

## 3.2 Waldbewirtschaftungsziele im Zukunftswald

Die Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa hat 1993 in der Helsinki-Deklaration eine nachhaltige Waldbewirtschaftung definiert als „die Betreuung und Nutzung von Wäldern und Waldflächen auf eine Weise und in einem Ausmaß, welche deren biologische Vielfalt, Produktivität, Regenerationsfähigkeit und Vitalität erhält und ihre Fähigkeit, gegenwärtig und in Zukunft wichtige ökologische, wirtschaftliche und soziale Funktionen auf lokaler, nationaler und

globaler Ebene zu erfüllen, gewährleistet, ohne dass dies zu Schäden an anderen Ökosystemen führt“ (Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe 1993). LIFE Future Forest hat in diesem Zusammenhang einige übergreifende Kriterien einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung erarbeitet, die für die zukünftige Etablierung von Dauer-mischwäldern grundlegend wichtig sind:

**Betrachtung der Biomasse in Tonnen Trockenmasse (atro oder Kohlenstoffdioxid- Äquivalent). Die Einheit Festmeter (fm) verzerrt die großen Unterschiede hinsichtlich der Biomasse. Nicht berücksichtigt wird die Holzdichte verschiedener Baumarten.**

- Ein fm Fichte entspricht etwa 380 kg Biomasse oder 700 kg CO<sub>2</sub>.
- Ein fm Bergahorn entspricht etwa 520 kg Biomasse oder 960 kg CO<sub>2</sub>.

**Betrachtung der Gesamtbiomasseproduktion**

- In einem gesunden Dauer-mischwald wird jedes Jahr eine große Menge an Biomasse/Kohlenstoff gebunden, der in der ökonomischen Gesamtbilanz keine Erwähnung findet. In Blättern/Nadeln, Ästen, Rinde, Feinwurzeln oder Grobwurzeln findet jedes Jahr etwas mehr als die Hälfte der gesamten Biomasseproduktion eines Waldes statt.

**Lokale Verwertung von anfallendem Pflegeholz**

- Die lokale Verwertung des Pflegeholzes trägt zur regionalen Wertschöpfung bei und unterstützt beispielsweise Gemeinden oder Privatleute bei der Umstellung auf nachhaltige Energieformen in Form von Nahwärme aus Holz. Als Beispiel wird im Kapitel 3.5.3 das Energiekonzept des Projektpartners Gemeinde Scheuring vorgestellt.

**Priorisierung der Waldleistung**

- Da eine hohe Waldleistung nur bei hoher Biomasseproduktion erreichbar ist, ist diese, wo immer möglich, anzustreben. Dabei bildet der „lebendige Boden“ gemeinsam mit einem Dauerwaldkonzept die Grundlage für erfolgreiches Wirtschaften.
- Die in Zukunft immer wichtiger werdenden Ökosystemleistungen des Waldes (wie Kühlung, Verdunstung, Gesundheit, Hochwasserschutz, Wasserspeicherung) erfordern eine klare neue Zielsetzung.
- Die notwendige Wertschätzung der Ökosystemleistungen erfordert neben der gesellschaftlichen auch eine monetäre Anerkennung.
- Die Holznutzung ist damit eine Folge des erfolgreich angepassten Waldmanagements.

### 3.3 Der gesunde und lebendige Boden

Genau wie Temperatur und Niederschlag ist auch der Boden für die Entwicklung und die Ökosystemleistungen des Waldes, der auf ihm wächst, entscheidend.

Gesunde, lebendige Böden und deren Erhaltung sind ebenso wichtig, wie die Aufwertung schlechterer Böden. Ein Boden kann dann als hochwertig angesehen werden, wenn er von unzähligen Organismen bevölkert wird, die viele lebenswichtige Funktionen erfüllen: Abbau von organischer Substanz, Schließung von kleingeschlossenen Nährstoffkreisläufen oder Verbesserung der Bodenstruktur zur Aufnahme von Wasser und Nährstoffen.

Den Zustand und die Lebendigkeit des Bodens kann man an seiner oberen Schicht, dem Humus, erkennen. Humus ist die Gesamtheit der organischen Stoffe im Boden, die beim Abbau und Umbau pflanzlicher und tierischer Überreste entstehen (Humifizierung). Organischer Kohlenstoff ist der Hauptbestandteil von Humus. Als Dauerhumus bezeichnet man die hochpolymeren und schwer zersetzbaren Huminstoffe. Unter günstigen Bedingungen (z. B. im Regenwurmdarm) gehen Huminstoffe und Tonminerale eine enge Bindung ein.

Die so entstehenden Ton-Humus-Komplexe tragen zur Krümelbildung im Boden bei, begünstigen den Wasserhaushalt, die Durchlüftung und das Bodenleben. Humushaltige dunkel gefärbte Böden absorbieren an der Oberfläche mehr Strahlung und erwärmen sich daher stärker als humusarme Böden. Die Abbauprodukte gehen als wichtige Nährstoffe für Pflanzen und Bodenorganismen erneut in den Stoffkreislauf des Bodens ein (Kohlenstoffkreislauf, Stickstoffkreislauf). Hohe Humusgehalte verbessern allgemein die Bodeneigenschaften und die Ertragsfähigkeit von Acker- und Waldböden.

Je nach Klima, Streu und geologischem Ausgangsmaterial entstehen unterschiedliche Humusformen. Diese geben uns Hinweise auf das Nährstoffumsetzungsvermögen im Oberboden und somit auch auf die biologische Aktivität im Boden. Mit Hilfe der geeigneten Baumarten kann die Humusform entscheidend beeinflusst werden.

**Es wird nach folgenden Humusformen unterschieden (Walser et al. 2021):**

1. Rohhumus entsteht in der Regel auf äußerst sauren Böden (pH-Wert < 4) und auf extrem nährstoffarmen Böden unter Vegetation, die schwer abbaubare und nährstoffarme Streu liefert (vor allem Nadelbäume). Der Abbau der organischen Substanz ist durch die stark saure Bodenreaktion gehemmt. Unter stark sauren Bedingungen fehlen die für den Abbau der organischen Substanz verantwortlichen Bodenlebewesen weitgehend. Rohhumus bewirkt verstärkte Nitratauswaschung, schlechte Durchwurzelung und sehr wenig Bodenleben (nahezu keine Regenwürmer). Rohhumus führt zu schlechter Durchlüftung, hoher Stickstoffsättigung und Versauerung durch fehlende Zersetzung. Wasserspeicherung ist nur in sehr geringem Umfang möglich. Das C/N-Verhältnis liegt bei 20 bis 33.
2. Der typische Moder ist ein saurer Humus mit hoher Pilzaktivität, was bei feuchten Verhältnissen den charakteristischen Modergeruch hervorruft. Die Ak-



tivität der Regenwürmer und auch anderer Bodenwühler ist wegen Säure, Trockenheit oder schwer abbaubarer Streu noch deutlich eingeschränkt, da Baumarten mit schwer zersetzbarer Streu oder hohem Gerbstoffanteil die Entwicklung der Bodenlebewesen hemmen. Dazu zählen Nadelbäume sowie zusätzlich Eichen- und Buchenarten.

Die Streuzersetzung verläuft langsam, und es bildet sich unter der noch unzersetzten Streuschicht ein mehrjähriger Fermentationshorizont. Beim Moder handelt es sich um eine Zwischenform zwischen Mull und Rohhumus. Der Moder ist biologisch weniger aktiv als der Mull, aber aktiver als der Rohhumus. Das C/N-Verhältnis liegt bei 17 bis 25.

- Mull ist eine biologisch aktive Humusform. Charakteristisch ist eine meist nur einjährige Streuschicht und eine große Vermischungstiefe (Bioturbation) der organischen Substanz mit Mineralerde. Durch diese Vermischung bekommt die Mineralerde eine dunkle, schwärzliche Farbe. Dieser Teil des Bodens wird als Oberboden bezeichnet. Hier dominieren die Bodenwühler, insbesondere Regenwürmer, aber auch Asseln, Tausendfüßler und andere Gliederfüßler. Je nach Jahreszeit kann durch die rege biologische Aktivität der Streuhorizont auch ganz fehlen. Durch die Vermischung von Humusstoffen und

Mineralerde entstehen Ton-Humus-Verbindungen, die gute Nährstoff- und Wasserspeicher sind. Entscheidend bei der Zersetzung sind ein nicht zu niedriger pH-Wert und eine leicht abbaubare Streu (z. B. Blätter von Bergahorn, Linde, Hainbuche oder Pappel) und Baumarten mit Feinwurzeln in vielen verschiedenen Bodentiefen, die durch ihre kurze Lebensdauer wesentlich zum Humusaufbau beitragen. Des Weiteren sind für eine hohe biologische Aktivität ausgeglichene Witterungsverhältnisse notwendig. Solche Oberböden sind allgemein gut mit Nährstoffen versorgt. Das C/N-Verhältnis liegt bei 9 bis 18.

Wie oben bereits erwähnt, kann die Auswahl der geeigneten Baumarten die Humusform entscheidend beeinflussen. Dies geschieht nicht direkt, sondern indirekt über die Qualität des Laubes der Bäume hinsichtlich Regenwurmfutter sowie durch die Bildung von Feinwurzeln.

Im LIFE Future Forest Konzept wird daher bei den Messungen zum Einfluss auf den Zustand des Bodens der Fokus auf drei Aspekte gelegt: Baumarten, Regenwurmanzahl, Feinwurzelmenge. Auf die Baumarten wurde bereits genauer in Kapitel 3.1 eingegangen. Wie Regenwürmer und Feinwurzeln den Boden beeinflussen, wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

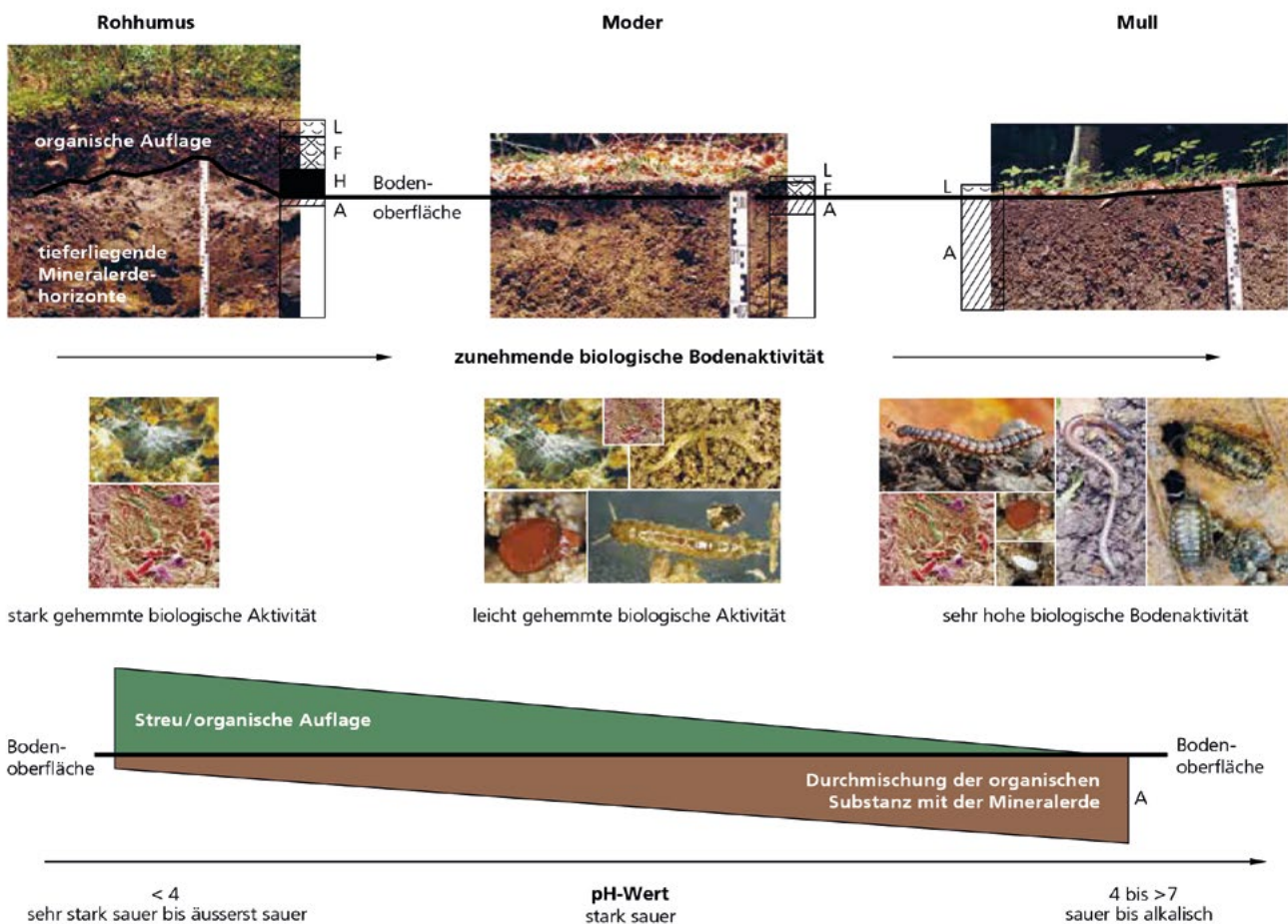


Abbildung 14: Biologische Aktivität der verschiedenen Humusformen. Die Humusformen geben Hinweise auf das Nährstoffumsetzungsvermögen im Oberboden (Walser et al. 2021)

### Information aus dem Projektgebiet **Bodenarten im Landkreis Landsberg am Lech**

Im Nordwesten des Landkreises sind die aus Lechschottern entstandenen Böden flachgründig und sehr wasserdurchlässig. Dort leiden die Fichten erheblich unter den immer häufiger werdenden trockenen Sommern. Das Westerholz und das Obereglinger Holz befinden sich dagegen in der von Lösslehm bedeckten Altmoräne.

Dort herrschen tiefgründige, nährstoffreiche Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität vor. Das sind überwiegend forstliche Spitzenstandorte. Auf verdichteten Standorten wird jedoch die flach wurzelnde Fichte leicht von Stürmen umgeworfen. Das Gebiet westlich des Ammersees ist von den Jungmoränen der letzten Eiszeit geprägt. Deren Waldstandorte sind wüchsig, aber oft wechselseucht bis nass. Typisch sind das im Vergleich zur Altmoräne ausgeprägte Relief und die auf großen Flächen vorkommenden Moore. Der Denklinger Rotwald gehört zur westlich anschließenden Altmoränenlandschaft des Vorallgäus, die über 750 m erreicht. Dort profitiert der Wald nicht nur von Böden mit hoher Nährstoffversorgung, sondern auch von ergiebigen Niederschlägen. Fichten werden hier im Alter von 100 Jahren über 40 Meter hoch (AELF Fürstenfeldbruck 2023).

**Auenböden** entstehen aus den Ablagerungen von Fluss- und Bachauen. Sie werden in der Regel periodisch überflutet und weisen einen stark schwankenden Grundwasserspiegel auf. Je nach Charakter und Einzugsgebiet des Flusses und der Entfernung dazu ist die Auedynamik der Böden sehr unterschiedlich. Die natürliche Vegetation der Auen ist ein artenreicher Mischwald (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2019).

Die Entstehung der **Schotterböden** geht auf quartäre fluvioglaziale Vorgänge im Zusammenhang mit den Lechtaler Gletschern zurück. Durch Gletscher zerkleinerte und von fließendem Wasser abgerundete Gesteinsreste sind Bestandteile des Bodens. Die Korngrößen weichen nur in geringem Maß voneinander ab. In den Zwischenräumen wird feinkörniges Material in relativ geringen Mengen abgelagert. Einflussnahmen oder langsame vegetative Veränderungen sind stark von den Funktionen und Reaktionen der Schotterböden auf anthropologische Korngröße, der Verwitterbarkeit und der Bodenzusammensetzung abhängig. Charakteristisch für diese Schotterböden ist auf Grund von relativ großen Hohlräumen die hohe Durchlässigkeit hydrogeologischer Einheiten. Sie nehmen dadurch eine wichtige Rolle als ergiebige Grundwasserleiter ein (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2007).

Lössböden können sehr viel, für Pflanzen nutzbares Wasser speichern. Löss und entkalkter/verwitterter Löss können bis 1 m Bodentiefe 350 bis 380 Liter Wasser speichern, davon sind 150 bis 260 Liter von Pflanzen nutzbar. Diese Wasserspeicherkapazität sichert für die Pflanzen auch in Trockenzeiten einen ausreichenden Wasservorrat. Nicht nur das hohe Wasserspeichervermögen macht Lössböden so fruchtbar. Löss besteht zu ca. 50 bis 80 % aus feinsten Quarzkörnchen, er enthält 8 bis 20 % feinverteilte Kalkbruchstücke sowie Minerale wie Feldspäte und Glimmer. Löss verwittert rasch und bildet dann Tonminerale und Oxide. Er ist leicht durchwurzelbar und ausreichend für das Wurzelwachstum durchlüftet. Neben Wasser können Löss und Lösslehm auch ausreichend Nährstoffe speichern und wieder an die Bodenlösung abgeben (Milbert 2021)

### 3.3.1 Feinwurzeln

Unter Feinwurzeln versteht man Wurzeln, die bis zu 2 mm Durchmesser haben. Ihre Aufgabe ist die Aufnahme von Wasser sowie Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Magnesium oder Kalzium. Außerdem lagern sie Kohlenstoffverbindungen ein und stabilisieren Böden und Bäume. Feinwurzeln sterben meist nach wenigen Monaten/Jahren ab und neue Wurzeln werden gebildet. Dieser Wurzelumsatz liefert dem Waldboden kontinuierlich neue Biomasse zu. Die Feinwurzeln sind folglich für den Fluss und die Speicherung von Kohlenstoff sowie das unterirdische Recycling von Nährstoffen entscheidend.

Auf Böden mit schlechter Nährstoff- und Wasserversorgung bilden die Bäume mehr Feinwurzeln aus, als auf guten Böden, da sie mehr Bodenvolumen erschließen müssen, um sich mit Wasser und Nährstoffen zu versorgen.

Baumarten mit tiefwurzelnden Systemen und hohen Feinwurzelmassen (z.B. Bergahorn, Hainbuche, Pappel, Linde, Eichen und viele andere Laubbäume) können über die Feinwurzeln auch aus tieferen Bodenschichten Wasser und Nährstoffe pflanzenverfügbar machen. Dadurch haben sie die Möglichkeit, auch bei länger anhaltenden Heiß- und Trockenphasen oberirdisches Wachstum zu generieren und damit die Ökosystemleistungen des Waldes (Kühlung durch Verdunstung, Biomasseproduktion und damit CO<sub>2</sub> Speicherung etc.) dauerhaft zu sichern.

Wenn Bäume an ungünstigen Standorten wachsen, die im Sommer rasch austrocknen, ist die Lebensdauer der zarten Wurzelspitzen sehr kurz. Deshalb müssen die Bäume immer wieder neue Wurzeln nachliefern und es häufen sich große Mengen abgestorbener Feinwurzeln an, die dann Regenwürmern, Bakterien, Pilzen und anderen Bodenorganismen als Nahrung dienen. Dabei werden die in den Wurzeln enthaltenen

Mineralstoffe freigesetzt und stehen den Bäumen erneut zur Verfügung. So schließt sich in intakten und lebendigen Böden der Kreislauf, der die Wälder auch unter schwierigen Bedingungen, wie dem Klimawandel, fit und gesund für die Zukunft macht. Im Folgen-

den sind beispielhaft die Ergebnisse einer Feinwurzelerhebung im Jahre 2021 im Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd, Landsberg am Lech, auf Schotterboden innerhalb einer studentischen Projektwoche der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf dargestellt:

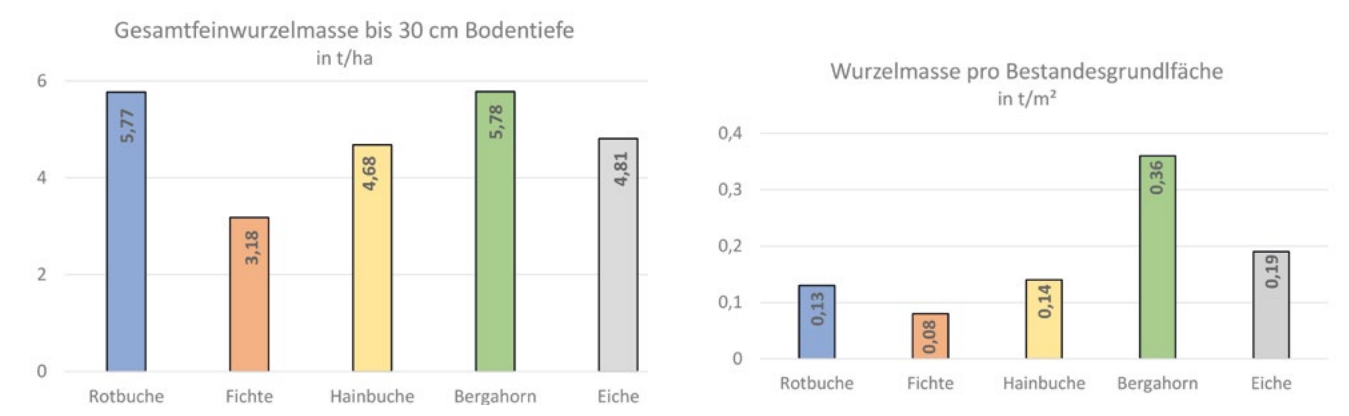
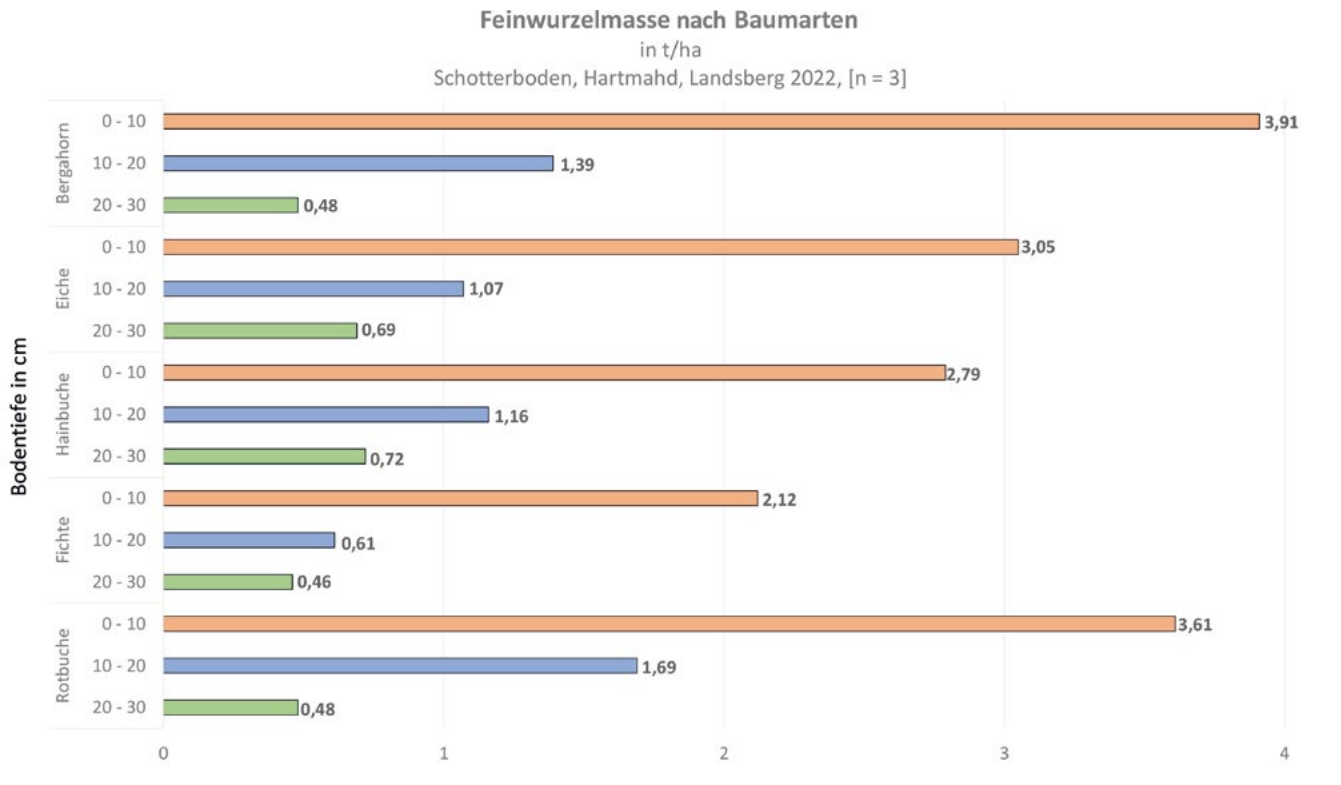


Abbildung 15: Ergebnisse einer Feinwurzelerhebung innerhalb einer studentischen Projektwoche 2021 in der Hartmahd (Schotterboden), Grabung nach Methodik im Anhang siehe Feinwurzelerhebung

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass Laubbölder je nach Art tendenziell oder deutlich tiefer wurzeln (siehe Grafik oben); Pro Fläche haben alle Laubbäumearten deutlich höhere Feinwurzelmassen (Grafik unten links). Bezieht man die Feinwurzelmassen auf die Bestandesgrundfläche (GF ist die tatsächliche Grundfläche, die die Bäume auf einem Hektar einnehmen), zeigt sich, dass die Fichte pro m<sup>2</sup> Bestandesgrundfläche nur etwa halb so viel Wurzelmasse aufweist, wie die anderen Laubbäume und der wurzelintensive Bergahorn viermal so viele Wurzeln hat wie die Fichte (Grafik unten rechts).

### 3.3.2 Regenwurm

Aufgrund ihrer herausragenden ökologischen Funktion bei der Bodenbildung und Aufbereitung anfallender organischer Substanz sind Regenwürmer essenziell wichtige Lebewesen für die Fruchtbarkeit und Produktionsfähigkeit der Böden. Sie graben und fressen sich ständig kreuz und quer durch die Bodenschichten ihrer Lebensbereiche. Die dabei aufgenommene Erde enthält Bakterien, Pilzsporen und zahlreiche Einzeller, die verdaut und als Nahrung ge-

nutzt werden. Die Regenwürmer vermengen und verdauen diese Bestandteile und scheiden sie anschließend als Wurm Kot wieder aus.

Dieser enthält wertvolle Humusanteile, die Ton-Humus-Komplexe, in angereicherter Form. Durch die Beschaffenheit der Erde, die der Regenwurm erzeugt, werden die für den Boden nützlichen Mikroorganismen gefördert. Ein lebendiger, humus- und regenwurmreicher Boden ist verantwortlich für die dauerhafte und leistungsfähige oberirdische Biomasseproduktion. Er wird als Indikator für die unterirdische Biodiversität gesehen.

Eine hohe Regenwurmpopulation erfüllt in einem Waldbestand viele wichtige und unverzichtbare Funktionen (Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege 2018):

1. Durch stetiges Graben wird der Boden belüftet, tote Biomasse kompostiert und der Boden mit einem nährstoffreichen Kot (Ton-Humus-Komplex) gedüngt.
2. Nährstoffe werden von unten nach oben transportiert und somit für Pflanzen verfügbar.
3. Die Ausscheidungen des Regenwurms und Auskleidungen seiner Gänge enthalten bis zu zehnmal mehr der wichtigsten Pflanzennährstoffe als der Durchschnittsboden.
4. Regenwurmgänge können von Wurzeln genutzt werden, um einfach in tiefere Bodenschichten zu gelangen (ohne Würmer wurzeln viele Pflanzen flacher).
5. Oberirdisch anfallende Biomasse (Blätter, Rinde, Äste) wird zersetzt, in den Boden eingearbeitet und zu Humus umgewandelt.
6. Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor oder Magnesium werden im Zersetzungsprozess pflanzenverfügbar aufbereitet, eine Nitratauswaschung ins Trinkwasser findet hier weitgehend nicht mehr statt.
7. In Regenwurmhängen kann Regenwasser besser versickern (Bildung von Grundwasser, Hochwasserschutz). Daher erhöhen Regenwürmer die Wasserspeichermenge.

### 3.3.3 Interview mit Ludwig Pertl

Herr Pertl, Sie haben Ihr Leben dem Wald gewidmet. Können Sie uns kurz Ihren Werdegang darlegen?

1978 habe ich angefangen im Landkreis Landsberg forstlich zu arbeiten. Von 1981 bis 1991 dann auch als ehrenamtlicher Geschäftsführer der Waldbesitzervereinigung Landsberg am Lech, dort habe ich ein Waldbobmännersystem eingeführt. Ich habe stets versucht, aus nadelholzreichen Wäldern laubholzreiche Misch- und Dauerwälder zu machen und dies ohne, dass dabei Kahlfächen entstehen. Es gibt zwei Kategorien des Waldumbaus: 1) Neuaufforstungen, sowie 2) Umbau von bestehenden Wäldern, welche durch mäßiges, aber regelmäßiges Eingreifen in laubholz-



Abbildung 16: Preisträger des Waldpreises 2021 in der Kategorie „Nachhaltigkeit Wald“ Ludwig Pertl (Bildquelle: forstpraxis.de)

reiche Dauerwälder überführt werden. Zweiteres ist die eigentlich anspruchsvolle Tätigkeit – Neuaufforstungen kann jeder. Darüber hinaus war ich 40 Jahre als Revierleiter und forstlicher Berater (Forstbeamter/Staatsbeamter) tätig.

Was hat Sie all diese Zeit motiviert?

Meine Motivation ist vor allem der Generationenvertrag, der die Grundlage für unser Handeln sein sollte. Die Leistungen für Gesundheit, Wohlergehen und Lebensqualität sollen für kommende Generationen erhalten, wenn möglich verbessert werden. Die Naturgesetze sind die Grundlage unseres Handelns und die Anpassung an die veränderten Bedingungen muss schnell erfolgen. Die Leistungen der Ökosysteme müssen in den Fokus kommen und die oberste Priorität erhalten. Der lebendige Boden ist dafür die Grundlage und muss eine sehr hohe Priorität bekommen. Kurzfristiger wirtschaftlicher Erfolg darf nicht zulasten der Natur gehen.

Stichwort Generationenvertrag: Was muss mit den Wäldern geschehen, damit diese auch für zukünftige Generationen zur Verfügung stehen und in der Lage sind, hohe Ökosystemleistungen zu bringen?

Die Wälder werden nach und nach zu einem laubholzreichen Mischwald umgebaut. Während dieses Prozesses bleibt die Grundstruktur des Waldes und dessen Schutz stets erhalten. Mithilfe der Umstellung der Wälder auf diese Form können die Ökosystemleis-

tungen auf ihr Maximum gebracht werden, was allen Menschen zugutekommt und den veränderten Witterungs-extremen Rechnung trägt.

**Welche Projekte haben Sie während Ihrer aktiven Zeit diesbezüglich bereits angestoßen?**

Hier gab es mehrere:

Das Positionspapier: „Unser Wald“ (1992) der Waldbesitzervereinigung Landsberg.

In diesem Papier wurde dargelegt, dass der gemischte Dauerwald notwendig ist, um die für die Zukunft nötigen Ökosystemleistungen zu erhalten und zu sichern. Es wurde einstimmig von der WBV Landsberg am Lech sowie den Obmännern beschlossen. Zu dieser Zeit war das Thema „Klimaanpassung der Wälder“ in der öffentlichen Meinung nicht existent.

Der Wasserpfennig Kaufering (2003), eine Ausgleichszahlung für Wald in Trinkwasserschutzgebieten. Später wurde dieses Ausgleichskonzept um den Energiewald erweitert (2006/7). Die breitere Umsetzung scheitert bisher an der billigen fossilen Energie.

Die Initiative lokale Energiewälder für das Heizkraftwerk Kaufering zu nutzen (2006).

2006 gab es den Beschluss für das Heizkraftwerk Kaufering, 2008 startete der Betrieb. Die ersten lokalen Energiewälder wurden angelegt, um für das nötige Energieholz zu sorgen. So kann anfallendes Holz lokal verwendet werden. Durch eine Umwandlung in Energiewälder können auch landwirtschaftliche Flächen dazu genutzt werden, die notwendigen, höheren Ökosystemleistungen zu generieren.

Die „Idee Natur“ - Planung für den Landkreis Landsberg, zusammen mit dem Naturschutz (2008).

Schwerpunktmäßig lag der Fokus entlang des Lechs. Es ging um Gesundheit, Trinkwasser, Hochwasserschutz, Klimaschutzwald, Auwald und Steilhänge. Diese Planung wurde von staatlicher Seite leider abgelehnt und kam nie in die Umsetzung.

Projektwochen für Studenten in Kooperation mit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (seit 2009)

Die erste dieser Art fand 2009 statt. Stefan Wittkopf ist damals auf das „Nachhaltigkeitskonzept Markt Kaufering“ aufmerksam geworden und hat daraufhin Kontakt mit mir aufgenommen – die erste Projektwoche wurde beschlossen. Die Studierenden arbeiten hier in Gruppen zusammen und bearbeiten Themen rund um den Wald der Zukunft. In den folgenden 15 Jahren wurden viele wichtige Zusammenhänge rund um den Wald und seine (Ökosystem-)Leistungen vor Ort gemessen und belegt.

Das Interreg Alpenraumprojekt „Links4Soils“ (2016)

Die Consulting Firma blue! advancing european projects, welche EU-Projekte in ihrer Entstehung und Umsetzung begleitet, war auf der Suche nach einem Positivbeispiel für die Alpentagung, wofür Kaufering ausgewählt wurde. Danach wurde ein Praxisbeispiel im „Links4Soils“ Projekt gesucht. Der Hauptfokus lag

hier bereits auf dem lebendigen Boden. Die Ergebnisse des dreijährigen Projekts konnten natürlich nicht alle Aspekte abdecken, weswegen die Idee eines Folgeprojektes auf Grundlage dieser Ergebnisse entstand.

**Wie ist das Projekt LIFE Future Forest entstanden?**

Um ein Prämienkonzept zu erstellen sowie dieses Handbuch für nachhaltigen Waldumbau zu entwickeln, wurde in Kooperation mit der Stadt Landsberg am Lech sowie der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und dem Landkreis Landsberg am Lech das LIFE Future Forest Projekt beantragt. Die Firma blue! advancing european projects hat hier erneut die Entwicklung des Projekts unterstützt.

**Wie sehen Sie die Waldwirtschaft aktuell?**

Der Waldzustand und die derzeitige Forstwirtschaft richten sich nach dem aus, was von der Holzindustrie verlangt wird und nicht nach dem Bedarf an Ökosystemleistungen. Der Wald ist in der nördlichen Hemisphäre überwiegend nicht nachhaltig (nadelholzlastige Altersklassenwälder). Die Wälder wurden innerhalb der letzten 200 Jahre nach und nach durch betriebswirtschaftlichen Zwang in nadelholzdominierte Wälder umgebaut und waren betriebswirtschaftlich sehr erfolgreich.

**Wie bewerten Sie die aktuellen politischen Bemühungen rund um den Wald?**

In so gut wie allen politischen Bemühungen (z. B. Agenda 2030) geht es ausschließlich um den Ausstoß von CO<sub>2</sub> und wie dieser verringert werden kann. Die Bedeutung des Wasserkreislaufes und der „lebendigen Böden“ wird bisher sträflich vernachlässigt. Der Fokus sollte mehr auf den Ökosystemleistungen der Wälder liegen, diese finden bisher ebenfalls zu wenig Beachtung. Das zweite große Problem sehe ich in der aktuellen politischen Tendenz, dem Holz seinen Status als nachhaltige und saubere Energiequelle abzu-erkennen.

Auf der einen Seite ist bekannt, dass das bei der Verbrennung ausgestoßene CO<sub>2</sub> vorher vom Baum gebunden wurde. Zum anderen entsteht zwar Feinstaub bei der Verbrennung, die Wälder filtern aber auch wieder Feinstaub aus der Luft. Bei der Umstellung der Wälder auf laubholzreiche Dauerwälder und ihre Erhaltung fällt automatisch viel Schwachholz an, welches nicht für die stoffliche Nutzung verwendet werden kann. Dieses Material sollte auf jeden Fall lokal für die Nahwärmeversorgung in Hackschnitzelwerken Verwendung finden können!

### 3.4 Einwertungsbogen für den Waldzustand

Nachfolgend wird der sogenannte Einwertungsbogen für den Waldzustand, seine Funktion in der Theorie sowie konkrete Beispiele (Kapitel 3.5) dargelegt. Wei-

terhin wird das Thema „Jagdmanagement“ und seine Notwendigkeit in Bezug auf den Waldumbau (Kapitel 3.6) erläutert.

Im Zuge des LIFE Future Forest Projekt wurde ein Bewertungstool entwickelt, das auf einfache Weise Waldbesitzende dabei unterstützt, in vier einfachen Schritten zu bestimmen, wie weit der Wald bereits hinsichtlich des angestrebten Zukunftswaldes umgebaut ist.

Dieser einfach zu befüllende Bogen fragt Baumarten, Humusform, vertikale Struktur/Bewirtschaftungsart, sowie die Naturverjüngung/Verbiss ab und lässt so eine Einschätzung des Waldzustandes zu. Die Ergebnisse der Abfrage werden mit der jeweiligen Wertung der Kategorie verrechnet und in eine der vier Einwertungsstufen eingeteilt:

Stufe 1	Rot
Stufe 2	Orange
Stufe 3	Gelb
Stufe 4	Grün

Die folgenden Fallbeispiele sollen einige Maßnahmen und Möglichkeiten aufzeigen, mit denen andere Waldbesitzende bereits ihre Waldstrukturen verbessert haben. Die Unterstützung hinsichtlich der waldbaulichen Maßnahmen durch einen Beratungsförster, die für die Entwicklung eines enkeltauglichen Zukunftswaldes notwendig sind, ist dabei für den Laien oft sehr hilfreich.

Sonderstandorte wie Bergwälder, bewaldete Moorflächen, Auwälder oder nicht bewirtschaftete Flächen können über den Bewertungsbogen nicht analysiert werden, da für diese Flächen besondere klimatische, hydrologische oder nährstoffbedingte Voraussetzungen gelten. Bei Neuanpflanzungen sowie Jungbeständen kann der Einwertungsbogen nur bedingt eine Aussage über den Wert der Fläche treffen, aber bereits eine zukünftige Entwicklung prognostizieren.

Im Folgenden werden der Bogen und seine einzelnen Stufen kurz stichpunktartig erläutert und mit Beispielen zu den jeweiligen Entwicklungsstufen ergänzt.

### Stufe 1

Über 80 % der überschilderten Fläche ist Nadelholz (Tanne als tiefwurzelnde Baumart ist hiervon ausgenommen).

Vorherrschende Humusart ist Rohhumus oder rohhumusartiger Moder (entsteht in der Regel auf sauren Böden; pH-Wert < 6,5). Der Abbau der organischen Substanz ist durch die stark saure Bodenreaktion gehemmt. Unter stark sauren Bedingungen fehlen die für den Abbau der organischen Substanz verantwortlichen Bodenlebewesen weitgehend. Des Weiteren entstehen durch die Versauerung auch Nitrataus-

waschungen. Schlechte Durchwurzelung und sehr wenig Bodenleben (kaum Regenwürmer) führen zu schlechter Durchlüftung, hoher Stickstoffsättigung und Versauerung durch fehlende Zersetzung. Wasserspeicherung ist nur in geringem Umfang möglich.

Der Wald ist als Monokultur und einschichtiger Altersklassenwald aufgebaut.

Es ist keine oder nur Nadelholzverjüngung (hauptsächlich Fichtenanflug) vorhanden.



Abbildung 17: Beispiel für Stufe 1: Fichtenreinbestand (Quelle: Eigene Aufnahme)

### Stufe 2

Über 20 % Laubholz- und Tannenanteil. Humusform Moder bedeutet eine geringe Bodenverbesserung gegenüber rohhumusartigem Moder, aber immer noch relativ wenig Bodenlebewesen (Indikator Regenwürmer). Es sind noch keine besonderen Auswirkungen auf die Bodenentwicklung erkennbar.

Vorbau/Verjüngung zählt zum prozentualen Anteil dazu, sobald er über zwei Meter hoch ist und der Verbissschicht entwachsen ist.

Der Altersklassenwald aus Stufe Rot befindet sich bereits im Umbau hin zu einem stufigen Mischwald.



Abbildung 18: Beispiel für Stufe 2: Fichtenreinbestand mit Vorbau aus Laubholzarten (Quelle: Eigene Aufnahme)

### Stufe 3

Über 50 % Laubholz- und Tannenanteil (davon mindestens 50 % Anteil regenwurmfördernder Arten (Edellaubhölzer) im Gesamtbestand)

Mullartiger Moder bedeutet eine spürbare Bodenverbesserung und Bodenbelebung (höhere Populationsdichte von Regenwürmern). Daraus resultieren vermehrte Feinwurzelproduktion sowie hohe Biodiversität.

Vorbau zählt zum prozentualen Anteil dazu, sobald er über fünf Meter hoch sowie flächig vorhanden ist (nicht mehr trupp- und gruppenweise) und damit beginnend Einfluss auf die Bodenverbesserung nimmt.

Aus dem Altersklassenwald ist bereits ein strukturierter Mischwald geworden: Hier sollte mindestens eine dienende Baumart wie Hainbuche oder Linde vertreten sein.



Abbildung 19: Beispiel für Stufe 3: Strukturierter Mischwald mit hohem Laubholzanteil (Quelle: Eigene Aufnahme)

### Stufe 4

Über 80 % Laubholzanteil (davon mindestens 50 % Anteil regenwurmfördernder Arten (Edellaubhölzer) im Gesamtbestand)

Mullhumus bedeutet volle Bodenleistung, hohe Biodiversität, hohe Resilienz, viele Regenwürmer und Feinwurzeln, guter Wasserspeicher (Hochwasserschutz) sowie geringste Nitratauswaschungen ins Trinkwasser.

Nadelholzanteil für z. B. Bauholz möglich, aber auch wertvolle Laubbaumarten als Furnier- oder Wertholz können gezielt gefördert werden (die hohen Ökosystemleistungen des Waldes bleiben dadurch trotzdem erhalten).

Aus dem Altersklassenwald ist ein zukunftsfähiger Dauermischwald mit plenterwaldartigen Strukturen geworden.



Abbildung 20: Beispiel für Stufe 4: Stark strukturierter Laubdauerwald (Quelle: Eigene Aufnahme)

#### Verwendung des Werkzeuges

1. Die verschiedenen Kategorien sind in vier Stufen eingeteilt (farbliche Markierung von Rot bis Grün)
2. Die vier einzelnen Kategorien werden wie folgt gewichtet:
  - a. Baumarten 4x
  - b. Humusform 3x
  - c. vertikale Struktur/Bewirtschaftungsart 2x
  - d. Naturverjüngung/Verbiss 1x
3. Die Gesamtbewertung wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Gesamtstufe} = \frac{\text{Stufe Baumarten} \times 4 + \text{Stufe Humusformen} \times 3 + \text{Stufe vertikale Struktur} \times 2 + \text{Stufe Naturverjüngung} \times 1}{10}$$

Die Ergebnisse werden wie üblich (bis ,4 abrunden; ab ,5 aufrunden) auf ganze Zahlen gerundet.

In dem Einwertungsbogen der Abbildung 21 wird je Bestand eine Bewertung durchgeführt. Folgendes Beispiel soll die Anwendung des Bogens veranschaulichen:

- Kategorie 1: Im zu bewertenden Waldbestand sind neben Fichte bereits die Hälfte der Baumarten Laubbaumarten wie Buchen und Tannen, sowie ein Anteil von über 50 % Bergahorn. -> Stufe 3
- Kategorie 2: Da der Bergahorn bisher die einzige regenwurmfördernde Art ist, befindet sich die Humusform noch im Bereich Moder. -> Stufe 2
- Kategorie 3: Da bereits einige Baumarten vorhanden sind, aber noch alte Strukturen des Fichtenaltersklassenwalds erkennbar sind, ist hier bereits ein etwas strukturierter Mischwald erkennbar. -> Stufe 3
- Kategorie 4: Die jagdliche Situation ist für ausreichend Naturverjüngung noch ungenügend und der Wildbestand zu hoch, daher konnte sich bisher keine Naturverjüngung etablieren und durchsetzen. -> Stufe 1

Aus dieser Bewertung errechnet sich die Gesamtstufe wie folgt:

$$[\text{Kategorie 1 (Stufe 3 x 4)} + \text{Kategorie 2 (Stufe 2 x 3)} + \text{Kategorie 3 (Stufe 3 x 2)} + \text{Kategorie 4 (Stufe 1 x 1)}] / 10 = 2,5 \rightarrow \text{Gesamtstufe 3}$$

Hinweise / Besonderheiten:

- Als regenwurmfördernde Baumarten werden nach aktuellem Kenntnisstand alle heimischen

Baumarten außer Nadelbäume, Buchen- und Eichenarten empfohlen.

- Als dienende Baumarten werden Schattbaumarten wie Linde und Hainbuche empfohlen.
- Bei Neuanpflanzungen und Jungbeständen wird die Kategorie Naturverjüngung nicht bewertet.
- Sonderstandorte wie Bergwälder, Moorflächen, Auwälder oder nicht bewirtschaftete Flächen können über den Bewertungsbogen nicht analysiert werden.



<b>Baumarten</b>	> 80 % Nadelholz (außer Tanne)	> 20 % Laubholz- und Tannenanteil	> 50 % Laubholz + Tannenanteil (davon > 50 % regenwurmfördernde Arten)	> 80 % Laubholz + Tannenanteil (davon > 50 % regenwurmfördernde Arten)
<b>Gewichtung 4-fach</b>	1	2	3	4
<b>Humusform</b>	Rohhumusartiger Moder	Moder	Mullartiger Moder	Mullhumus
<b>Gewichtung 3-fach</b>	1	2	3	4
<b>Vertikale Struktur/ Bewirtschaftungsart</b>	Monokultur/ Altersklassenwald	Altersklassenwald im Umbau	Strukturierter Mischwald mit mindestens einer dienenden Baumart	Dauermischwald/ plenterwaldartige Strukturen
<b>Gewichtung 2-fach</b>	1	2	3	4
<b>Naturverjüngung/ Verbiss</b>	Keine oder nur Nadelholzverjüngung	Vorbau/ Verjüngung gesichert (über 2m), keine Verbissgefahr mehr	Vorbau/ Verjüngung über 5 m, flächig vorhanden	fertig umgebaut, Naturverjüngung flächig vorhanden
<b>Gewichtung 1-fach</b>	1	2	3	4
 	<b>Gesamtbewertung des Bestandes</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #c0392b; border-radius: 15px; padding: 10px 20px; text-align: center; color: white;"><b>Stufe 1</b></div> <div style="background-color: #f39c12; border-radius: 15px; padding: 10px 20px; text-align: center; color: white;"><b>Stufe 2</b></div> <div style="background-color: #f1c40f; border-radius: 15px; padding: 10px 20px; text-align: center; color: white;"><b>Stufe 3</b></div> <div style="background-color: #27ae60; border-radius: 15px; padding: 10px 20px; text-align: center; color: white;"><b>Stufe 4</b></div> </div>			

Abbildung 21: Einwertungsbogen für den Waldzustand



## 3.5 Fallbeispiele

Die folgenden vier Beispiele sollen die Maßnahmen und Entwicklungsziele einzelner Beispielflächen aus dem Projektgebiet zeigen. Die jeweils notwendigen Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Wälder hängen dabei von der Ausgangssituation der Waldstruktur sowie den topografischen, geologischen und klimatischen Gegebenheiten ab. Nicht alle Wälder müssen die Stufe 4 erreichen. Die gewünschte Entwicklungsstufe ist unter anderem davon abhängig, ob die Entwicklungsziele kurz-, mittel-, oder langfristig angelegt sind.

Anhand der folgenden Beispiele kann gezeigt werden, mit welchen waldbaulichen Maßnahmen sich die Leistungen des Waldes verbessern können und somit höhere Stufen erreicht werden.

### 3.5.1 Fichtenreinbestand Westerholz: Stufe 1 auf 2

Im Gemeindegebiet Kaufering bewirtschaftet die Waldbesitzervereinigung (WBV) ein Waldstück der Pfarrpfünde Kaufering. Dieses rund zwei Hektar große Waldgebiet liegt im Altmoränenstandort im Westerholz und weist durch tiefgründige Feinlehmböden sehr gute Wachstumsbedingungen auf (Abbildung 22).



Abbildung 22: Fichtenreinbestand im Westerholz (Quelle: Eigene Aufnahme)

Der Fichtenbestand ist etwa 50 bis 80 Jahre alt. Bereits vor etwa 30 Jahren wurde damit begonnen, diesen ehemaligen reinen Fichtenwald umzubauen, indem er im älteren Bestandesteil im Norden und Westen auf kleiner Fläche bereits mit Buchen und Bergahorn (unter Zaunschut) angereichert wurde. Als Schatt- bzw. Halbschattarten sind diese Baumarten ideal geeignet auch unter dem Schirm des dichten Fichtenbestandes zu wachsen.

Seit um das Jahr 2000 die Jagd auf Eigenbewirtschaftung umgestellt wurde, hat sich die Verbissituation stark verbessert und Naturverjüngung vor allem aus Fichten, aber auch aus Bergahorn und sonstigem Laubholz stellt sich langsam ein. Die restliche Fichtenfläche, die regelmäßig durchforstet wird, wird zunehmend durch Klimaschäden wie Borkenkäfer und Wind angegriffen und der Fichtenbestand löst sich nach und nach auf.

Um in diesem Fichtenbestand vollflächig weitere Arten einzubringen sowie rechtzeitig aufzuwerten und anzupassen, wurden in einer Pflanzaktion weitere schattverträgliche Arten (Weißtanne, Winterlinde und Hainbuche) gepflanzt. Da weitere Naturverjüngung aus Bergahorn und Fichte zu erwarten ist, ergibt sich ein zukunftsfähiger, nadelholzdominierter Dauerwald.

Folgende Pflegemaßnahmen fallen hier beim Umbau vom Fichtenreinbestand zu beginnendem Mischwald an:

- Die Pflege findet im Rhythmus von 5 Jahren statt.
- Die Eingriffe erfolgen dabei hochdurchforstungsartig mit dem Ziel, eine wirksame Mischung zu erhalten, d.h. Edellaubholz soll auf der gesamten Fläche vorhanden sein/gefördert werden, um eine gute Humusart und lebendigen Boden zu erhalten.
- Bei den Eingriffen werden die Einzelbäume entfernt, die gradwüchsige Zukunftsbäume bedrängen oder in die Krone wachsen.
- Junge/kleine Bäume sowie dienende Baumarten wie Linde und Hainbuche müssen dabei unbedingt erhalten werden.
- Als Folge des hohen Zuwachses auf diesem Standort und im Mischwald muss der Zuwachs regelmäßig genutzt werden, um die Stabilität des Bestandes zu gewährleisten und den Wald weiterzuentwickeln.
- Bis 2050 wird sich durch die Weiterentwicklung dieses Bestandes ein Wald mit etwa 60 % Nadel- und 40 % Laubholz einstellen, der eine hohe stoffliche Nutzung ermöglicht und gesunde Böden erzeugt.

### 3.5.2 Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd Landsberg: Stufe 2 zu 3

Westlich des Lechs befindet sich das ca. 970 ha große Trinkwasserschutzgebiet „Weststadt-Hartmahd“ der Stadt Landsberg am Lech.

Auf diesem Gebiet liegt der Stadtwalddistrikt 22 „Innerer Stadtwald“ des städtischen Forstamtes. Der Distrikt nimmt dabei aktuell einen Flächenanteil von ca. 265 ha ein. Die Ausgangslage im Jahr 1991 war ein fichtendominierter Nadelwald mit einem Nadelholzanteil von 92 %.

Ab dem Jahr 1991 wurde, auch bedingt durch die starken Schäden, welche durch die Stürme Vivien und

Wiebke und die darauffolgenden Borkenkäferkalamitäten verursacht wurden, mit einem konsequenten Waldumbau begonnen.

Die entstandenen Schadflächen wurden mit nahezu 100 % Laubholz ergänzt. Dabei wurde aus Gründen des Trinkwasserschutzes auf Baumarten wie Robinie und Roterle verzichtet, da diese Stickstoff aus der Luft binden können und die Nitratwerte des Grundwassers negativ beeinflussen könnten.

Des Weiteren wurden die noch vorhandenen Fichtenaltbestände konsequent und flächig mit Buchengruppen unterpflanzt. In den Folgejahren wurden im Fichtenaltbestand immer wieder vereinzelt Zukunftsbäume entnommen, auch entstanden durch immer wieder auftretende Kalamitäten weitere Bestandslücken. In diesen Lücken konnte sich aufgrund eines intensiven und effektiven Jagdmanagements und der damit verbundenen niedrigen Schalenwildbestände schnell Naturverjüngung einstellen. Die entstandene Naturverjüngung wurde noch durch fehlende oder seltene Baumarten durch Pflanzungen ergänzt.

Die Jungbestände wurden frühzeitig ab Dickungsschluss gepflegt und durchforstet. Der Zeitraum zwischen diesen Eingriffen betrug dabei maximal fünf Jahre. Die Eingriffe erfolgten immer unter den Gesichtspunkten der Bestandesstabilität und der Förderung der Laubholzarten. Im Bestand vorhandene Laubholzarten wurden dabei konsequent freigestellt und Bedränger entnommen. Vorrangig wurde dabei der Bestand von Nadelholz (Fichte) reduziert.

In den darauffolgenden Dekaden wurden die lückig gewordenen Fichtenaltbestände zugunsten der darunter entstandenen Laubholzverjüngung teilweise geräumt.



Abbildung 23: Fichtenbestand mit Vorbau in der Hartmahd (Quelle: Eigene Aufnahme)

Zusammenfassend kann die Vorgehensweise auf folgende Schritte festgelegt werden:

- Nutzung von aufgetretenen Lücken und Freiflächen durch Schäden als Pflanzflächen zum Einbringen von lichtbedürftigen Laubbaumarten wie z. B. Eiche.
- Durchforstung der bestehenden Bestände spätestens alle fünf Jahre.
- Konsequentes Einbringen von schattenverträglichem Laubholz unter die Fichtenbestände.
- Bepflanzen von bei der Durchforstung oder weiterer Schadereignisse entstehenden kleinen Lücken mit im Bestand noch nicht vorhandenen Baumarten oder neuen wärmetoleranten Baumarten.

Konsequente Bejagung des Schalenwildes, um durch einen niedrigen Bestand eine natürliche Verjüngung des Waldes in allen Bereichen zu ermöglichen. (Entsprechende Samenbäume im Altbestand natürlich vorausgesetzt)

Im Beispielbestand konnte durch dieses Zusammenspiel von konsequenten Waldbaumaßnahmen und intensiver Jagd innerhalb von 31 Jahren ein Laubholzanteil von 60 % erreicht werden. Mit diesem Anstieg ging ein deutlicher Rückgang der Nitratbelastung im Grundwasser einher, wie die Messergebnisse der im Bestand befindlichen Grundwassermessstellen belegen (siehe Abbildung 43: Trinkwasserqualität - Nitratkonzentration nach Bestandsart (Kukuk 2001)).

### 3.5.3 Gemeindewald Scheuring im Auegebiet: Stufe 3 zu Stufe 4

Der Gemeindewald Scheuring erstreckt sich über etwa 80 ha im Aueeinfluss des Lechs. Der Auwald ist etwa zur Hälfte Trinkwasserschutzgebiet für die 1.825 Einwohner Scheurings und rund 80 % der Fläche sind als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen.



Abbildung 24: Waldführung durch alte Nadelholzbestände Scheurings auf dem Themenweg „Den Auwald und seine Böden erkunden“ (Quelle: Eigene Aufnahme)



Abbildung 25: Bodenlehrpfad mit Bodenprofil und Wurzelstock in den 1985 angepflanzten Edellaubholzbeständen Scheurings (Quelle: Eigene Aufnahme)

Erste Pflanzungen mit standortgerechten Edellaubhölzern wie Ahorn, Kirsche, Ulme, Hainbuche, Linde und Nussbäumen wurden durchgeführt, nachdem bereits 1985 zunehmend Probleme mit dem Borkenkäfer sichtbar wurden. Im Jahr 2000 waren bereits rund 10 % der Baumarten im Gemeindewald Laubhölzer.

Zusätzlich wurden die bestehenden Wälder Fläche für Fläche vorbereitet, gepflegt, gezäunt, mit Laubholz bepflanzt und unterbaut. Dadurch konnten Freiflächen vermieden werden und die Verjüngung wuchs unter dem Schutz des Bestandes heran.

Durch die jagdliche Umstellung auf Eigenbewirtschaftung und das gute Zusammenwirken mit den Jagenden der umliegenden Flächen konnte der Waldumbau ohne Schutzmaßnahmen ab dem Jahr 2012 deutlich beschleunigt werden. Auch die Schalenwildbestände wurden hierdurch auf ein mischwaldverträgliches Niveau abgesenkt. Bereits nach einem Jahr zeigte sich, dass zaunfreie Naturverjüngung durch intensive Jagd möglich ist.

Derzeit sind über 20 Laubbaumarten und zwei Nadelbaumarten (Fichte, Kiefer) vorhanden. Da in der Gemeinde Scheuring eine Nahwärmeversorgung in Planung ist, orientiert sich die weitere waldbauliche Entwicklung am Dauerwald. Er verspricht eine hohe Energieholzgewinnung durch eine deutliche Steigerung der Nutzmenge ab 2030. Bis dahin wird der Nadelholzanteil auf etwa 30 % reduziert und ein wuchskräftiger Dauermischwald mit hohem Laubholzanteil etabliert sein.

Durch die regionale und lokale Nutzung des anfallenden Pflegeholzes aus kommunalem Wald wird zusätzlich zu den steigenden Ökosystemleistungen des Waldes die lokale Wertschöpfung gefördert und eine klimaneutrale Wärmeversorgung für die Gemeinde Scheuring ermöglicht.

Für die Weiterentwicklung des mittlerweile laubholzreichen Kommunalwaldes sind folgende waldbauliche Maßnahmen notwendig:

- Der gesicherte Laubholzbestand wird nach dem Hochdurchforstungskonzept behandelt. Dabei werden die Bedränger von Zukunftsbäumen (Z-Bäumen) entnommen und junge und schwache Bäume im Bestand belassen.
- Wichtig ist die Erhaltung von Schattbaumarten durch Eingriffe in die herrschende Schicht und damit als Beitrag zur Lichtsteuerung (Aufbau von Mehrschichtigkeit der Bestände und Förderung von Naturverjüngung und Struktur).
- Die Reduzierung des Nadelholzanteils auf der gesamten Fläche wird fortgeführt. Als nicht typische Baumart im Auwald wird sich die Fichte im Gesamtbestand auch durch Fichtennaturverjüngung bei einem Anteil von etwa 5 % bis 10 % einpendeln.
- Ein Fokus der Pflege liegt auf dem Minderheitenschutz (dabei werden seltene Arten wie hier etwa Ulme oder Elsbeere bevorzugt gepflegt, um die Vielfalt zu erhalten und zu fördern).

### 3.5.4 Dauermischwald Raimund Hofmann: Stufe 4

Die beiden Bestände des Waldes wurden 1989 (Bestand Biotop 1,3 ha) und 2007 (Bestand Neuanpflanzung 1,8 ha) auf ehemaligen Wiesen- und Ackerflächen im Wuchsbezirk 13.5. auf der Landsberger Altmoräne erstaufgeforstet. Die Bodenausgangssituation besteht aus Schotter mit mächtiger Lösslehmüberdeckung. Die Bodenwertzahl beträgt 72.



Abbildung 26: Stark strukturierter Laubdauerwald von Raimund Hofmann (Quelle: Eigene Aufnahme)

Der ältere Bestand Biotop wurde ursprünglich mit 16 Baumarten bestockt, die Neuanpflanzung mit neun Baumarten. Die Baumartenvielfalt wurde im Laufe der folgenden Jahre über Pflanzungen auf insgesamt 42 Baumarten erhöht, die meist einzeln stehen. Da der Wald außen von landwirtschaftlichen Flächen umgeben ist, wird die Vegetation von 16 weiteren Straucharten begleitet.

Der Holzzuwachs liegt ab Alter 15 bei ca. 25 Vfm/ha\*a. Ausschließlich als Pflegeholz werden etwa 13 Vfm pro Jahr entnommen, wobei im älteren Bestand bereits Stammholz in geringeren Mengen anfällt. Die übrigen Holzerträge werden energetisch verwertet, was einem Heizöläquivalent von über 3.000 l/ha entspricht. Es ist aufgrund des Vorhandenseins vieler regenwurmfördernder Baumarten (Ahornarten, Linden, Hainbuchen, Eschen, Pionierbaumarten) davon auszugehen, dass der Boden als Motor des Waldes diese hohen Zuwächse ermöglicht.

Die Bewirtschaftung (Pflanzung, Pflege, Ernte) erfolgt seit 20 Jahren ausschließlich durch den Waldbesitzer selbst, der alle durchgeführten Arbeiten sorgfältig dokumentiert hat, einschließlich der Holzerntemengen. Diese Daten ermöglichen es, die in Dauerwäldern weitgehend unterschätzten Mengen an Holzzuwachs zu belegen.

Die Mischbestockung sowie die Stufigkeit des Waldes führen zu einer sehr hohen Biodiversität bei Pflanzen- und Tierarten. Insbesondere Insekten und Vögel kommen in hoher Vielfalt vor (mehr als 25 Vogelarten mit Pirol, fünf Reviere des Gelbspötters, Brauner Bär-Schmetterling des Jahres 2021).

Der Waldbesitzer Raimund Hofmann erhielt im Jahr 2022 den Deutschen Waldpreis unter der Schirmherrschaft des Bundeslandwirtschaftsministers in der Kategorie Waldbesitzer des Jahres.

Folgende Maßnahmen sind zum Erhalt dieses hochwertigen Dauermischwaldes notwendig:

- Bewirtschaftung nach dem Z-Baum-Konzept
- Entwicklung des Waldes mit fortschreitendem Alter in einen Dauerwald
- Grundsätze der Dauerwaldbewirtschaftung nach Alfred Möller: Stetigkeit des Waldorganismus (Kahlschlagsverbot), Lebendigkeit des Bodens, Ungleichaltrigkeit, Mischbestockung, überall zur Holzwerterzeugung genügender Holzvorrat
- Förderung von seltenen Baumarten im Bestand durch Freistellung und Förderung der Samenreife
- Einbringen von weiteren neuen zukunftsfähigen Baumarten (wärmeterolerant und trockenresistent)
- Bodenschonende Bewirtschaftung motormanuell unter Zuhilfenahme leichter Maschinen (Kleinschlepper mit Seilwinde)

### 3.5.5 Interview mit Raimund Hofmann

Herr Hofmann, Sie sind Deutschlands Waldbesitzer des Jahres 2022 geworden – Glückwunsch! Wie genau entstand denn Ihr Wald?

Der Wald wurde ursprünglich nur als Dekoration für ein Umweltprojekt gepflanzt: Im Zuge einer bayernweiten Rettungsaktion für den Urzeitkrebs *Triops cancriformis* wurden 1989 auf der Fläche Tümpel angelegt, der Wald ist um die damals schon bestehende Wiese begründet worden. Dabei pflanzte man viele Baumarten reich durchmischt, wovon der Wald heute profitiert. 2007 entschied ich mich schließlich dafür, einen angrenzenden Acker aufzuforsten, der heute ebenfalls bunt gemischt ist.



Abbildung 27: Raimund Hofmann. Preisträger des Waldpreises 2022 in der Kategorie „Waldbesitzer des Jahres“. (Bildquelle: Florian Regensburger)

Können Sie uns noch Genaueres zu Ihrem Wald erzählen?

Die Zuwächse in meinem Wald liegen wegen seines Artenreichtums oberirdisch, bestimmt aber auch im Boden, weit über den Angaben einschlägiger Ertragstabellen. Es handelt sich um einen Dauerwald: Stets ist verwertbares Holz vorhanden, das Bodenleben bleibt immer aktiv, verschiedene Baumarten sind einzeln gemischt und der Wald ist vertikal gestuft, sodass der gesamte Raum vom Boden bis zu den Kronen mit Blattgrün angefüllt ist. Dieser Wald ist damit nicht nur sehr produktiv, er erfüllt darüber hinaus alle Ökosystemleistungen in hohem Maße und ist auch ästhetisch sehr ansprechend.

Im Hauptberuf sind Sie Gymnasiallehrer für Deutsch, Geschichte und Katholische Religionslehre. Was motiviert Sie, neben dieser anspruchsvollen Tätigkeit noch so viel Engagement in den Wald zu stecken?

Ich habe mich schon mein ganzes Leben darum bemüht, Verantwortung für die Schöpfung zu übernehmen, und das nicht durch Reden, sondern durch

praktisches Tun. Dieses Handeln entspringt einer tief empfundenen Verpflichtung, die Welt ein kleines Stück besser zu hinterlassen, als ich sie vorgefunden habe. Dass durch dieses Handeln ein so hoher Nutzen für Mensch wie Natur entsteht und dieser wunderschöne Wald einen vom ersten Augenblick an ergreift und nicht mehr loslässt, ist für mich ein besonderes Geschenk, für das ich unendlich dankbar bin.

**Möchten Sie anderen Waldbesitzenden ein paar Tipps auf den Weg geben?**

Ich rate zu Klugheit, Mut, Hoffnung und Demut. Unter Klugheit verstehe ich hier, dass sich Waldbesitzende ein gewisses Maß an Wissen aneignen sollten, beispielsweise über Waldbau, Eigenschaften von Baumarten und auch Vorgänge in der Natur allgemein, damit sie wissen, was sie tun.

Waldbesitzende brauchen Mut, den Waldbau aktiv anzugehen, auch wenn die Ergebnisse unter Umständen erst in Jahrzehnten sichtbar sein werden. Wer diese Entschlossenheit heute nicht aufbringt, wird die Hoffnung verlieren. Meine Erfahrungen sind durchweg positiv: Der Umstieg auf klimaresiliente Dauerwälder unter Beachtung der Vorgänge im Boden ist in jeder Hinsicht lohnenswert.

Demut gegenüber der Natur meint, dass wir die Wälder zwar gestalten und für uns nutzen können, aber nie ausbeuten oder missbrauchen dürfen, sonst wird uns die Natur eines Besseren belehren.

### 3.6 Jagdmanagement

#### Ausgangslage in Deutschland

Das Jagdrecht ist in Deutschland ein grundstücksgebundenes Eigentumsrecht. Die Jagd wird entweder von den Grundeigentümern selbst ausgeübt oder verpachtet. Über 80 % des Jagdgebietes sind in Privatbesitz. Das Jagdrecht beinhaltet nicht nur die Erlaubnis zur Jagd auf bestimmte Wildarten, sondern verpflichtet den Jäger auch zur Wildpflege. Die beiden tragenden Säulen der deutschen Jagd sind das sogenannte Jagdreviersystem und die Pflicht der Jagenden zur Wildpflege.

#### Jagdreviersystem

Das Jagdreviersystem begründet die örtliche Zuständigkeit und Eigenverantwortung der Jagdberechtigten für ihre Bezirke. Das Jagdreviersystem ermöglicht eine ganzjährige bundesweite Überwachung durch gut ausgebildete Jägerinnen und Jäger. Sie geben zum Beispiel Auskunft über den Bestandsstatus von Wildbret. Auch das systematische Monitoring von Forstbezirken bietet eine Grundlage für die Forschung.

#### Anforderung an das Wildtiermanagement

Jagende sind aufgerufen, die Lebensräume des Wildes im hochindustrialisierten und dicht besiedelten

Deutschland zu erhalten. Wildtiermanagement bedeutet, nur so viel Wild zu entfernen, wie es die Bestandsentwicklung zulässt, die grundlegenden Lebensbedingungen des Wildes zu erhalten sowie Gefahren (z. B. durch Wild verursachte Krankheiten und Unfälle) zu vermeiden. Das Wildtiermanagement muss so erfolgen, dass nachteilige Auswirkungen auf die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, insbesondere durch Wildschäden, vermieden werden.

Daher ist die Jagd eingebettet in den Biotop- und Artenschutz. Maßnahmen der Reviereigentümer zur Verbesserung der Lebensräume dienen nicht nur dem jagdbaren Wild, sondern auch einer Vielzahl nicht jagdbarer Tiere, die ganzjährig geschützt sind.



Abbildung 28: Naturverjüngung mit Drückjagdstand (Quelle: Eigene Aufnahme)

#### Zielsetzung LIFE Future Forest hinsichtlich Jagd

Ein stabil aufgebauter, gesunder Mischwald ist spätestens in der Zeit des voranschreitenden Klimawandels von einer Einstellungsfrage zur Überlebensfrage geworden. Nur ein artenreicher, naturnaher Wald hat die Kraft, dem steigenden Stress, der das Ökosystem zunehmend belastet, standzuhalten und dem heimischen Wild ein gesundes Habitat zu bieten.

Die Ziele für den Waldbau sind klar definiert, das Handeln ist zwingend notwendig. Doch können Waldbaustrategien, die auf Baumartenvielfalt, Strukturreichtum und Naturverjüngung setzen, bestehen, wenn die Jagd als maßgebliche Komponente unverändert bleibt?

Die Vegetationsgutachten der Länder zur Waldverjüngung zeigen eines deutlich: Trotz großer Fortschritte in einzelnen Fällen reichen die Ergebnisse im Gesamten nicht für die notwendige Anpassung aus.

Eine herausragende Aufgabe der Jagd ist es, eine für den Lebensraum verträgliche Dichte an Schalenwild herbeizuführen. Die Jagd muss die Entwicklung aller für den Lebensraum typischen Arten (z. B. Bäume, Sträucher und Kräuter und alle damit vergesellschafteten Tiere) sicherstellen.

Damit schafft sie die Voraussetzung dafür, dass Grundeigentümer im Rahmen der rechtlichen Vorgaben alle Optionen zur Nutzung ihrer Flächen zur Verfügung haben und diese ihren individuellen Zielen gemäß nutzen können. Ein konstruktiver Dialog zwischen Jagdgenossinnen und Jagdgenossen sowie Jagdaus-

übungsberechtigten ist erforderlich, um die Belange der Grundeigentum besitzenden Personen zeitnah beim Jagdmanagement zu berücksichtigen.

Wichtige Elemente dieses Dialogs sind gemeinsame Revierbegänge sowie Monitoringverfahren der Vegetation wie Weisergatter, Verbissaufnahmen und Schälschadensgutachten. Zum Monitoring der Wilddichten beim Wild gehören beispielsweise Wildbretgewichte, Kondition und Gesundheitsstatus der Wildbestände, die der Waldbesitzervereinigung (WBV) gemeldet werden und das Jagdmanagement positiv steuern.



Abbildung 29: Schadbilder durch Verbiss der Naturverjüngung (Quelle: Eigene Aufnahme)

Mittel hierzu kann z. B. die flexiblere Gestaltung von Jagdpachtverträgen sein. Mindestpachtzeiten sind hinderlich und möglichst abzuschaffen. Zudem ist die Eigenbewirtschaftung zu fördern und die Verpachtung an Vereine zu ermöglichen. Die Feststellung von Wildschäden im Wald ist praktikabler zu gestalten und die Schäden sind vollumfänglich zu ersetzen.

Schwerpunkt hinsichtlich der Jagd während der Projektlaufzeit ist die Aufklärung der breiten Öffentlichkeit über die Wichtigkeit dieser Zielsetzung sowie die Aufklärung über die Wichtigkeit einer zeitgemäßen Bejagung bei allen verantwortlichen Personengruppen (Jägerinnen und Jäger, Jagdgenossenschaft, Bürgermeisterinnen und Bürgermeister etc.)

#### Forderungen an den Gesetzgeber

Da die Jagd einen höchst relevanten Teil bei der Machbarkeit des Waldumbaus darstellt, stellt LIFE Future Forest folgende Forderungen an den Gesetzgeber:

- Schaffen von rechtlichen Grundlagen für moderne Jagdstrategien wie großflächige Drückjagden, z. B. bezüglich des Überjagens von Hunden oder einem Schießleistungsnachweis
- Anpassung der Jagdzeiten an geänderte Vegetationszeiten
- Synchronisierung der Jagdzeiten für alle Schalenwildarten
- Forstliche Gutachten zur Erfassung des Zustandes der Waldverjüngung als verbindliche Grundlage für die Abschussplanung in allen Bundesländern in Kombination mit Wildtiermonitoring
- Mehr Freiheiten für Verpächter, z. B. die Abschaffung von Mindestpachtzeiten
- Ein fachkundig begleitetes Wildtier- und Jagdmanagement

### 3.7 Der Weg zum Zukunftswald

Einen Waldumbau nach dem LIFE Future Forest Konzept kann jeder Waldbesitzende selbständig durchführen. Bei der selbstständigen Durchführung ist das folgende Vorgehen zielführend:

Die betreffenden Waldstücke können mithilfe des Einwertungsbogens für den Waldzustand selbständig oder eventuell mit Unterstützung durch einen Förster bewertet werden. Danach wird definiert, wie sich der Wald in Zukunft entwickeln soll und welche „Stufe“ (im Einwertungsbogen) angestrebt wird, sowie welche Ökosystemleistungen präferiert werden (Wertholzproduktion, Artenvielfalt, Kühlung, ...). Anschließend kann der Waldumbau in Angriff genommen werden.

Hierbei ist die professionelle Unterstützung durch eine fachkundige Person empfehlenswert, da für den Waldumbau und die Sicherung der Ökosystemleistungen viel Fachwissen notwendig ist.

Waldbesitzende wie der Projektpartner Raimund Hof-

mann (im Hauptberuf Lehrer) können jedoch auch durch Inanspruchnahme von Beratung, Fortbildung und Autodidaktik den Waldumbau selbst organisieren.

**Vorgehen beim Waldumbau:**

1. Bewertung des Waldstücks mithilfe des Bewertungsbogens
2. Festlegung des gewünschten, zukünftigen Zustands des Waldes (Stufe 1 bis 4 im Bewertungsbogen)
3. Entscheidung, welche Personen und Gruppen am Waldumbau beteiligt sein sollen
4. Festlegung eines Umbauplans (konkrete Vorgehensweise) unter Beachtung der Dauerwaldprinzipien
5. Durchführung

Hierbei können verschiedene Faktoren den Waldumbau unterstützen oder hemmen, wie in Tabelle 2 zu sehen.

Tabelle 2: Unterstützende und hemmende Faktoren im regionalen Waldumbau

beteiligte Gruppen	Wirkung ist	
	unterstützend	hemmend
<b>Waldbesitzende</b>	Zahlreiche Interessenten, intrinsisch motiviert, gut beraten und informiert	Wenige Interessenten, unmotiviert, an alten Mustern festhaltend
<b>Selbsthilfeeinrichtungen und Beratungen für Waldbesitzende</b>	Fachliche Beratung durch Waldbesitzervereinigung und Behörden; über positive Beispiele und Wissen zu lebendigem Boden	Nur auf Holzbereitstellung und vermarktung fokussiert
<b>Jagd</b>	Die Naturverjüngung kann ohne Verbiss aufwachsen. Der Grundsatz „Wald vor Wild“ wird eingehalten	Wildbestand erlaubt eine natürliche Waldverjüngung ohne Schutzmaßnahmen nicht
<b>Markt</b>	Ein Absatzmarkt für Pflegeholz ist vorhanden oder wird geschaffen (z.B. Nahwärme mit Energieholz)	Kein Absatzmarkt für das anfallende Pflegeholz vorhanden oder in Sicht

Der Waldumbau ist wichtig, um die Ökosystemleistungen für die gesamte Gesellschaft sicherzustellen. Um für die Waldbesitzenden neben der eigenen, intrinsischen Motivation noch einen weiteren Anreiz zu schaffen, braucht es weitere Optionen. Mithilfe einer

Zukunftswaldprämie (in Kooperation mit der betreffenden Gemeinde, Waldbesitzervereinigung (WBV) oder Privatwaldgemeinschaft (PWG)) kann der Waldumbau wesentlich erleichtert werden

## 4 Zukunftswaldprämie

Das LIFE Future Forest Projekt verfolgt das Ziel, den Umbau des aktuell häufig eintönigen, strukturarmer Waldes hin zu einem resilienten und zukunftsfähigen Wald mit hohen Ökosystemleistungen zu

fördern und diese Leistungen in den Fokus zu stellen. Die Bewertung von Ökosystemleistungen wurde vom Forschungsteam um Robert Costanza im Jahre 1997 angestoßen (Costanza et al. 1997). Sie stellten Studien zur Bewertung von Ökosystemleistungen zusammen und übertrugen deren Ergebnisse auf die Ökosysteme der Erde.



Abbildung 30: Ökosystemleistungen des Waldes. Auszug aus einer Schautafel des Themenweges in Scheuring „Den Auwald und seine Böden erkunden“ (Quelle: interreg Alpine Space)

Nicht nur im Millennium Ecosystem Assessment im Jahre 2005, sondern auch in der anschließend umfangreich angelegten Studie „The Economics of Ecosystems and Biodiversity“ (TEEB) im Zeitraum von 2007 bis 2010 unter der Leitung von Pavan Sukhdev wird darauf hingewiesen, dass Veränderungen der Biodiversität in Ökosystemen erhebliche Konsequenzen für die Ökosystemleistungen und den ökonomischen Wert haben. Aus der ursprünglichen TEEB-Studie entstand die nationale Initiative „NATURKAPITAL Deutschland – TEEB DE“ in Deutschland, die von 2012 bis 2015 auf nationaler Ebene die Bedeutung von Natur und deren Ökosystemleistungen sichtbar machen sollte. Auch dort wird der Schutz der biologischen Vielfalt stark hervorgehoben (Naturkapital Deutschland TEEB DE 2015).

Mit der Zukunftswaldprämie sollen die Ökosystemleistungen, die ein klimaresilienter Dauermischwald bietet, finanziell honoriert werden.

Im folgenden Kapitel werden zunächst bereits vorhandene Vergütungssysteme sowie die Zukunftswaldprämie von LIFE Future Forest erläutert.

### 4.1. Bisherige Vergütungssysteme

Der Wald und seine Funktionen sind in Deutschland durch das Waldgesetz geschützt. Direkt im ersten Absatz des ersten Artikels ist festgehalten, dass der Wald „wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die

Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehrern und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern“ sei (Bundesministerium der Justiz 1975). Weiter in Absatz drei ist sogar festgehalten, dass „ein Ausgleich zwischen dem Interesse der Allgemeinheit und den Belangen der Waldbesitzenden herbeizuführen ist, der Zweck des Gesetzes“ sei.

Um die Funktionen des Waldes aufrecht zu erhalten und Waldbesitzende zu beauftragen, im Interesse der Allgemeinheit waldbauliche Bewirtschaftungsmaßnahmen durchzuführen, gibt es staatliche Förderprogramme, die durch die einzelnen Bundesländer und deren Haushaltsetats angeglichen werden.

Die Förderprogramme haben offiziell das Ziel „einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel sowie zur nachhaltigen Energieversorgung zu leisten, einen Beitrag zum Schutz der Biodiversität, der Verbesserung von Ökosystemleistungen und der Erhaltung von Lebensräumen sowie Landschaften zu leisten und die nachhaltige Forstwirtschaft im Privat- und Körperschaftswald zu fördern.“ (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2021)

In Bayern ist zum Beispiel die Richtlinie für Zuwendungen zu waldbaulichen Maßnahmen im Rahmen eines forstlichen Förderprogramms (kurz WALDFÖPR 2020, Stand: August 2023) gültig. Die Förderungen dienen laut des ersten Kapitels der Richtlinie unter anderem



dem Zweck, die Waldfläche zu erhalten oder zu vermehren, den Wald nachhaltig zu bewirtschaften und die Waldfunktionen dauerhaft zu sichern. Den Richtlinien können die Fördermaßnahmen, sowie die Förderhöchstsätze entnommen werden. Prioritär werden Kulturbegründungen durch Pflanzung und Saat, Naturverjüngungsmaßnahmen, sowie Bestandes- und Bodenpflege gefördert.

Innerhalb der Waldschutzmaßnahmen beschränkt sich der Spielraum auf die Bekämpfung der rindenbrütenden Insekten. Kommt es in Waldgebieten zu Kalamitäten, können die Kosten der außergewöhnlichen Schäden zu 80 %, in Sonderfällen bis zu 100 % gefördert werden.

Waldbesitzende, die einen funktionierenden, strukturreichen Laubdauerwald mit einem sehr diversen Baumartenspektrum bewirtschaften, stellen die Resilienz und Langlebigkeit der Bestände über einen vergleichsweise schnellen Profit einer Nadelholzwirtschaft.

Dauerwälder liefern hohe Ökosystemleistungen sowie hohe Produktivität, von denen die Gesellschaft und vor allem umliegend ansässige Bürgerinnen und Bürger profitieren. Innerhalb der Fördermaßnahmen fehlten bislang aber Honorierungen für die Mehrleistungen solcher Wälder im Vergleich zu Wäldern mit einem niedrigen oder sogar eintönigen Baumartenspektrum (Liang et al. 2016)

Seit November 2022 versucht die Bundesregierung, die Lücke der Honorierung von Ökosystemleistungen von Wäldern in der Förderlandschaft durch das Förderprogramm „klimaangepasstes Waldmanagement“ zu schließen. Die Bundesregierung will dadurch Waldbesitzenden dabei helfen, ihre Wälder an die Folgen der Klimakrise anzupassen und für kommende Generationen zu erhalten.

Anhand eines Kriterienkatalogs soll sichergestellt werden, welche Waldbesitzende ihre Wälder auch über die bestehenden gesetzlichen Vorgaben und vorhandene Zertifizierungen hinaus bewirtschaften. Die Förderhöhe beträgt bis zu 100 € pro Hektar (BMEL 2023).

Die Basis für einen funktionierenden Wald mit hohen Ökosystemleistungen ist ein gesunder, belebter Boden, erkennbar an der vorhandenen Humusform. Eintönige Nadelstreu über lange Zeiträume hinweg führt zu einer Moderschicht, in der anaerobe Abbauprozesse zu einem sauren Milieu im Boden führen. Erstrebenswert ist eine gut durchlüftete und stark durchwurzelte Humusschicht mit einer Fülle an Bodenorganismen. Leider fehlt beim aktuellen staatlichen Förderprogramm ein Fokus auf den Boden und seine Leistungsfähigkeit.

Ein weit verbreitetes Tool innerhalb der Förderlandschaft ist der (Ver-)Kauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten: Hier werden Klimaschutzleistungen entsprechend der aus der Atmosphäre entzogenen oder auch gänzlich vermiedenen Menge an CO<sub>2</sub> bilanziert. Private Verbraucher und Firmen können ihre Emissionen durch Investitionen in diese Projekte ausgleichen. Im Gegenzug bekommen sie Zertifikate mit der Menge an Kohlen-

stoffdioxid, die sie, umgerechnet mit dem aktuellen Kohlendioxidpreis, durch ihre Einzahlung kompensieren.

## 4.2 Ein neues System: Die Zukunftswaldprämie LIFE Future Forest

Beim angestrebten Zustand der Waldflächen des EU LIFE Future Forest Projektes handelt es sich um stark strukturierte Laubdauerwälder. Um die Struktur der Wälder aufrechtzuerhalten, ist eine häufige Durchforstung essenziell (Bode et al. 2021). Eine Durchforstung stellt aber auch immer eine Entnahme von Biomasse/Holz und damit auch die Entnahme von Kohlenstoff aus dem Bestand dar. Das entnommene Holz wird häufig zu Scheitholz/Hackschnitzeln verarbeitet und energetisch verwendet. Das Energieholz substituiert zwar fossile Emissionen aus der Verbrennung von Heizöl und Erdgas, eine langfristige Kohlenstoffspeicherung ist aber nicht gegeben. Dies entspricht nicht der eigentlichen CO<sub>2</sub>-Kompensation anhand von global gehandelten Zertifikaten.

Ein Waldökosystem liefert viele Ökosystemleistungen. Als Beispiel sind zu nennen die Erzeugung von Biomasse, Kühlung der Umgebung, Bereitstellung von Grund- und Trinkwasser, sowie Luftreinigung, Sauerstoffgenerierung, Hochwasser- und Erosionsschutz. Es gibt noch einige weitere, hier nicht genannte Systemleistungen, die nicht weniger wert sind, aber in die-sem Projekt nicht im Fokus stehen.

Damit die Leistung des Ökosystems Wald nicht, wie beim Verkauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, auf die Funktion Kohlenstoffspeicherung beschränkt wird, wurde ein Zertifikat entwickelt, das den gesamten Mehrwert der Laubdauerwälder honorieren soll.

## 4.3 Berechnung der Entschädigungshöhe im Valorisierungssystem Zukunftswaldprämie

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben ist das Valorisierungssystem, das im LIFE Future Forest Projekt Anwendung findet, kein CO<sub>2</sub>-Kompensationssystem, sondern es soll die Vielfalt und Mehrleistung der Ökosystemleistungen von Laubdauerwäldern honorieren. Aktuell besteht in Wissenschaft und Politik noch keine Einigkeit, wie Ökosystemleistungen offiziell finanziell entlohnt werden sollen.

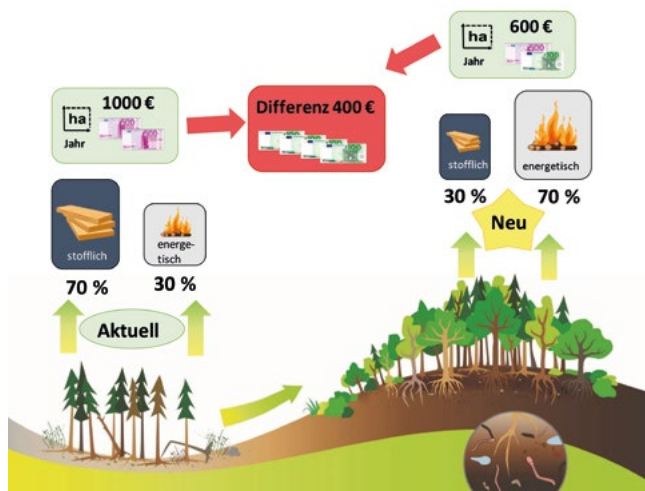


Abbildung 31: Kalkulation des Flächenumsatzes pro Jahr in einer Fichtenmonokultur im Vergleich zu einem Dauerwald

Im Dauerwald werden bei Durchforstungen Bäume entnommen, die häufig nicht in der stofflichen Nutzung verwertet werden können, sondern in die energetische Verwertung gehen. Der Anteil der stofflichen Nutzung in laubholzreichen Dauerwäldern liegt unseren Schätzungen zufolge etwa bei 30 %, die energetische Nutzung bei 70 %. In Nadelholzbeständen sind die Verhältnisse umgekehrt, mit 30 % energetischer und 70 % stofflicher Verwertung (Hastreiter 2023). Der Preis für Energieholz in Form von Hackschnitzeln liegt 2021 bei 75 €/t (C.A.R.M.E.N. e.V. 2021) oder umgerechnet bei 30 €/fm, wohingegen Sägeholz einen Preis von 100 €/t aufweist.

Der durchschnittliche Vorrat deutscher Wälder beträgt pro ha Wald etwa 170 t Trockenmasse (TM). Der Zuwachs an Stammholz pro Jahr und ha beträgt 5 t TM. (Quelle: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2016)

Anhand der prozentualen Verwendung der Erntemengen in den Beständen kommt es bei nadelholzreichen Beständen zu Erlösen von 200 €/t und in Laubdauerwäldern von 120 €/t. Wird dies auf den jährlichen Zuwachs an Stammholz berechnet, der im Rahmen einer nachhaltigen Forstwirtschaft auch wieder entnommen werden darf, so ergeben sich in nadelholzreichen Beständen rund 1000 €/ha\*a und in Laubdauerwäldern 600 €/ha\*a an Erlösen (Stand der Daten 2021).

Dies führt zu einer Differenz von 400 €/ha\*a. Der gegenwärtige Zustand, dass nadelholzreiche Bestände höhere Erlöse als laubholzreiche Bestände erzielen, wird auch bei Biermayer 2020 deutlich.

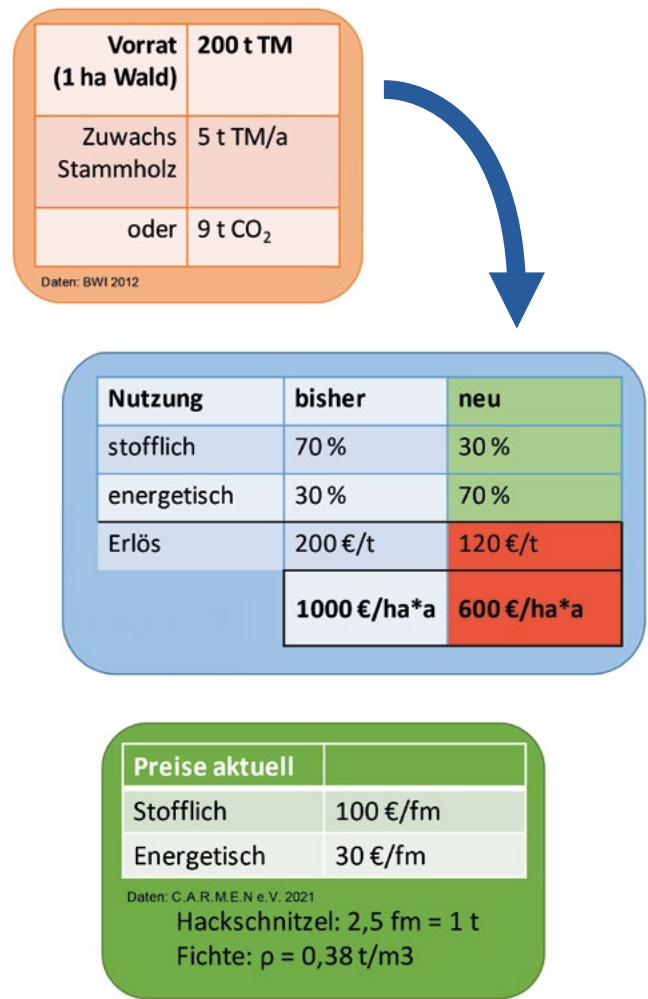


Abbildung 32: Berechnung des Umsatzes in nadelholzreichen Beständen und in Laubdauerwäldern



Diese Differenz erschwert es den Waldbesitzenden, in einem Laubdauerwald rentabel zu wirtschaften. Sie behindert den großflächigen schnellen Umbau, damit in Zukunft nicht noch weitere große Waldflächen durch Klimaextreme stark geschädigt werden. Kommt es bei einer Waldfläche durch ein Klimaextrem zu einem Totalausfall, so können Förderungen von Staat und Land in Anspruch genommen werden, um Schadholz aufzuarbeiten und zu beseitigen, die

Bestände wieder neu zu bepflanzen, Wuchshüllen anzubringen, zu bewässern und Pflegemaßnahmen durchzuführen. Ein Betrieb, der durch falsche Bestandesführung die Ökosystemleistungen einer Waldfläche verloren hat, bekommt durch die Förderungen eine Entschädigung für den Aufbau eines Waldbestandes, der im schlechtesten Falle dieselbe niedrige Resilienz aufweist wie der vorherige Bestand.

Flächeneinordnung:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichtenbestand 100%</li> <li>Fichte ohne Unterbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichtenaltbestand mit Buchenunterbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>50% Laub-, 50% Nadelholzanteil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>maximal 20% Nadelholz</li> <li>Mullboden</li> <li>Feinwurzelreich</li> </ul>
Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4

Baumarteneinordnung:		
<b>Nadelholz:</b> Fichte, Lärche, Kiefer, Douglasie	<b>Nachteilige Laubhölzer:</b> Eiche, Buche, Tanne	<b>Vorteilhafte Laubhölzer:</b> Edellaubholz und sonstiges

Prämie:			
0 € / ha*Jahr	ca. 100 € / ha*Jahr	ca. 200 € / ha*Jahr	ca. 400 € / ha*Jahr

Abbildung 33: Einwertungsstufen von Waldbeständen mit zugehöriger Prämie und Baumarteneinung

Die Wälder, die im aktuellen System keine Förderung erhalten, sind nun genau die, die besonders nachhaltig bewirtschaftet werden. LIFE Future Forest setzt genau dort an. Um die Diskrepanz an einerseits erhöhten Ökosystemleistungen und andererseits niedrigeren Flächenerlösen im laubholzreichen Dauerwald im Vergleich zu Nadelholzreinbeständen zu schließen, wurde der LIFE Future Forest Fonds ins Leben gerufen. Nur funktionierende, etablierte Waldbestände weisen hohe Ökosystemleistungen auf. Daher begünstigt der LIFE Future Forest Fonds Waldflächen, die sich schon im umgebauten Zustand befinden und nicht solche, bei denen noch ein hoher Bedarf an Umbaumaßnahmen vorhanden ist. Die Zukunftswaldprämien dienen demnach als Honorierung für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft, die ihre Priorität auf die Bereitstellung breit gefächerter Ökosystemleistungen legt.

Laubdauerwald (Laubholz > 80 %) mit hohen Ökosystemleistungen, lebendigem Mullboden und hohem Feinwurzelanteil wider. Wie anfangs des Kapitels schon beschrieben, entsteht durch einen erhöhten Anteil an Laubholz bei der Waldbewirtschaftung eine Differenz im Erlös für die Waldbesitzenden. Diese Differenz wird durch die Auszahlung von Zukunftswaldprämien geschlossen. Stufe 4 wird mit dem Höchstsatz von 400 €/ha\*a honoriert (siehe Berechnung in Abbildung 32 und Abbildung 33). Stufe 3 erhält 200 €/ha\*a und Stufe 2 wird mit 100 €/ha\*a vergütet. Aufgrund der verhältnismäßig geringeren Ökosystemleistungen erhält die Stufe 1 keine Förderungen. Die Prämien werden aus dem LIFE Future Forest Fonds gestellt.

Mit Hilfe des Bewertungsbogens für den Waldzustand (vgl. Kapitel 3.4) wird der Status Quo einer Waldfläche festgehalten. Der Bewertungsbogen ist in vier Stufen aufgeteilt. Stufe 1 repräsentiert einen Fichtenreinbestand ohne Naturverjüngung. Werden diese Waldflächen mit Naturverjüngung ausgestattet, befindet sich die Einwertung in Stufe 2. Die höhere Stufe 3 wird durch einen Anteil an Laubholz und Tannen von über 50 % definiert. Stufe 4 spiegelt den strukturreichen

### 4.4 LIFE Future Forest Fonds

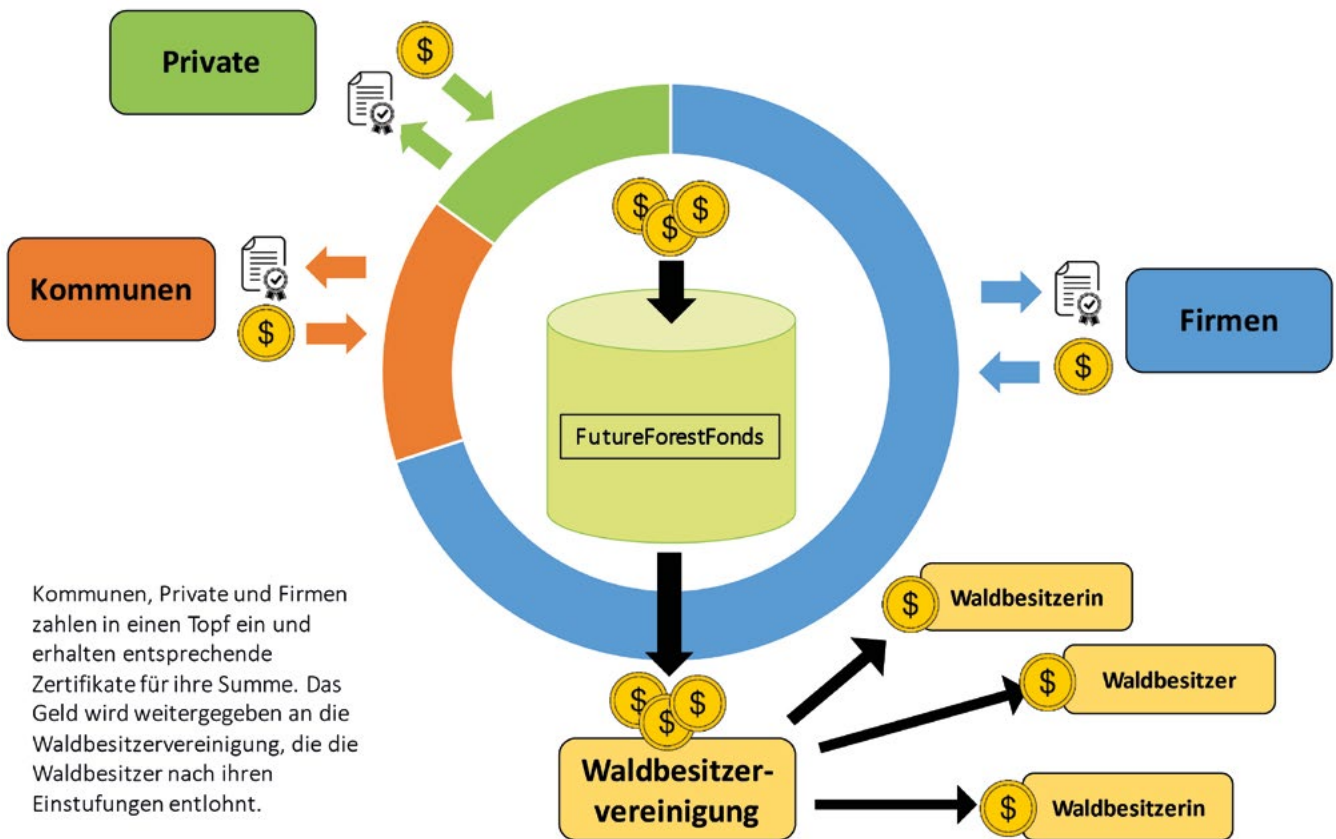


Abbildung 34: Aufbau des LIFE Future Forest Fonds

Der LIFE Future Forest Fonds bietet die Möglichkeit, Geldsummen von mehreren Interessierten zentral zu sammeln und in unserem Modellvorschlag mit Hilfe einer Waldbesitzervereinigung an die Waldbesitzenden in Form der Zukunftswaldprämie zu verteilen. Die Interessenten können einerseits aus Firmen bestehen, die sich aufgrund ihrer gesellschaftlichen Verantwortung freiwillig engagieren möchten, außerdem aus Kommunen, die Unterstützungsbedarf bei der Transformation im Privatwald sehen und zuletzt aus privaten Personen, die unter anderem ihren ökologischen Fußabdruck freiwillig ausgleichen möchten. Die Investoren bekommen Zertifikate in Höhe ihrer investierten Geldsumme ausgegeben.

Im Folgenden sind beispielhaft die Zertifikate der Zukunftswaldprämie abgebildet.

Zertifikat-Nr.: 0008

### ZUKUNFTSWALD PRÄMIE

**Mustermann**

Gesamtfläche: 3,30 ha

aktuell erzieltes Leistungsniveau: **Stufe 3**

Gesamtsumme: 660,00 €

Flurstück	Waldfläche	Baumarten	Humusform	Struktur	Naturverjüngung	Gesamt	Prämie
2801	2,20	2	2	1	1	2	220,00 €
223/3; 223/4	1,10	4	4	3	2	4	440,00 €

Lebensqualität für Alle – Heute und Morgen.

Abbildung 35: Beispielzertifikat der Zukunftswaldprämie

Die Zukunftswaldprämien dienen als symbolische Zertifikate. Sie sind nicht von einer offiziell unabhängigen Institution für den globalen Kohlenstoffmarkt zugelassen. Trotzdem sollen sie eine Möglichkeit darstellen den Waldbesitzenden einen finanziellen Ausgleich für die Anpassung ihrer Wälder an die stärker werdenden Klimaextreme zu bieten. Daher sind weitere Ökosystemleistungen von Laubdauerwäldern in die Prämie mit eingeflossen.

So unterstützt die Zukunftswaldprämie den Aufbau von lebendigem und leistungsfähigem Waldboden, die Wohltemperierung des Waldes und die gleichzeitige Kühlung der Umgebung. Zusätzlich wird durch die erhöhte Biomasseleistung mehr CO<sub>2</sub> am Zirkulieren gehalten wie in Reinbeständen. Laubdauerwälder sind außerdem sehr leistungsstarke Ökosysteme für die Bereitstellung von Trinkwasser.

Ein großer Faktor dafür ist die hohe Regenwurmabundanz, die im Laubdauerwald gefunden werden kann. Durch die Anwesenheit von Laubbaumarten, deren Streu die Regenwurmart bevorzugen, kommt es zur Ansiedlung von verschiedenen Regenwurmart. Sie sorgen dafür, dass die Nährstoffe im Wald im Kreislauf gehalten werden, indem sie den Abbau der Streu in den Boden beschleunigen.

Außerdem wird der Boden durch die Grabarbeiten belüftet und aufgelockert, sodass Niederschläge schneller infiltrieren können und Sauerstoff in den Boden gelangt, der ungünstige Fäulnisprozesse verhindert.

**Information aus dem Projektgebiet  
Gemeinde Fuchstal als Pilotregion  
für die Zukunftswaldprämie**

Die Gemeinde Fuchstal liegt am westlichen Rand des Landkreises Landsberg am Lech (vgl. Abbildung 36). Dieser befindet sich im südwestlichen Teil Bayerns im Regierungsbezirk Oberbayern. Die östliche Grenze der Gemeinde wird durch den Fluss Lech dargestellt. Im heutigen Fuchstal leben etwa 4.100 Einwohner. Die Gemeindeverwaltung ist in der Entwicklung einer zukunftsfähig lebenswerten Gemeindestruktur sehr engagiert.

Das Projekt Energiezukunft Fuchstal macht die Gemeinde in Deutschland zur Vorreiterin in Sachen erneuerbare Energien. Die Erzeugung von Energie durch Windkraft, Photovoltaik, Biogas und Holzenergie mit der Vernetzung von Wärmespeicher, Stromspeicher, Power-to-Heat und einem innovativen Fernwärmenetz stellt das Alleinstellungsmerkmal der Gemeinde Fuchstal in Sachen Energieautarkie mit erneuerbaren Energien in Deutschland dar (Verwaltungsgemeinschaft Fuchstal 2023).

Die derzeitige Waldfläche der Gemeinde beträgt rund 1.270 ha. Über 90 % davon sind sehr fruchtbare Altmoränenstandorte mit einem hohen Anteil an Fichtenbeständen, die aber zukünftig prio-

ritär umgebaut werden sollen. Sie erstrecken sich auf einer geographischen Lage von 601 bis 788 m ü. NHN. Die Verteilung des Waldeigentums liegt bei 720 ha Privatwald, 130 ha Körperschaftswald und 420 ha Staatswald.

1994 lag der Fichtenanteil bei etwa 82 %. Aktuell beträgt er immer noch 70 %. Als Umbauziel ist die Waldform des Dauermischwaldes festgelegt, sowie die Einbringung von Baumarten, die das Vorkommen von Regenwürmern und Insekten fördern.



Abbildung 36: Karte des Landkreises Landsberg mit der Gemeinde Fuchstal innerhalb der roten Umrandung (Datenquelle: OpenStreetMap)

**Wie kam es zur Durchführung des Pilotprojektes in Fuchstal?**

Die Beteiligung der Gemeinde Fuchstal am Pilotprojekt des LIFE Future Forest Teams entstand aus dem Wunsch und Willen des Bürgermeisters, die Gemeinde umfassend zukunftsfähig zu machen.

So begründete er die Entscheidung zur Durchführung des Pilotprojektes mit der Vorreiterrolle der Gemeinde nicht nur in der Digitalisierung und der umfassenden Energieversorgung mit erneuerbaren Energien, sondern auch in der Sicherung der Ökosystemleistungen im Laufe des Klimawandels.

**Zeitlicher Planungsablauf der Zukunftswaldprämie**

Der zeitliche Planungsaufwand der Zukunftswaldprämie erstreckte sich über 2,5 Jahre. Nachdem das System zur Flächeneinordnung durch das Projektteam 2021 entwickelt wurde, konnte 2022 das Self Assessment Tool fertig gestellt werden. Ende 2022 fanden Gespräche zur Umsetzbarkeit mit der WBV Landsberg statt. Die Einwertung der Flächen konnte im Sommer 2023 durchgeführt werden, sodass eine erste Auszahlung der Zukunftswaldprämie im Dezember 2023 angestoßen wurde (siehe Abbildung 37).

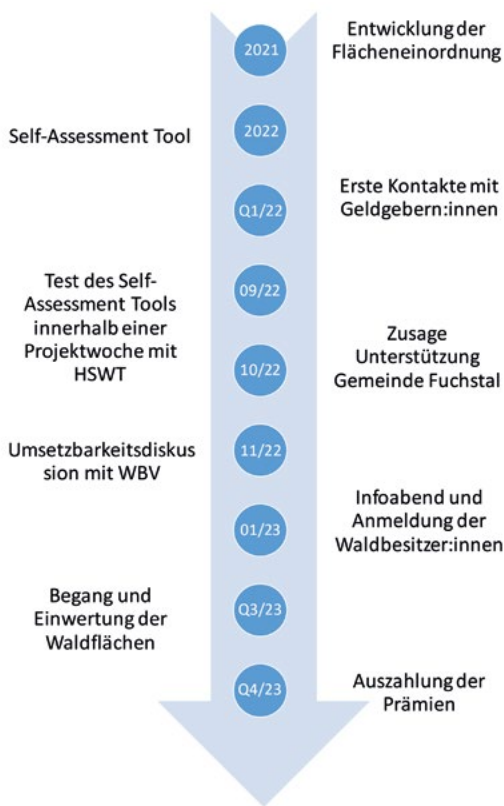


Abbildung 37: Zeitlicher Ablauf der Planung der Zukunftswaldprämie

**Ergebnisse der Flächenauswertung**

Im Sommer 2023 wurde der Bewertungsbogen für den Waldzustand innerhalb eines Pilotprojektes in der Gemeinde Fuchstal zum ersten Mal eingesetzt. 27 Waldbesitzende mit einer Gesamtfläche von 120,2 ha nahmen teil. Die Flächen wurden anhand der Flurnummern identifiziert, digital dargestellt und mit dem Bewertungsbogen begangen.

In Abbildung 38 sind die Flächen mit ihrer Lage im Gemeindegebiet dargestellt. Die farbliche Darstellung spiegelt die Einwertung der Fläche in die vier Bewertungsstufen der Zukunftswaldprämie wider. Flächen der Stufe 4 sind grün dargestellt. Stufe 3

wird durch gelbe Flächen dargestellt. In der Stufe 2 befinden sich alle orangenen Flächen. Rote Flächen befinden sich in der Stufe 1.

Voraussetzung für eine Teilnahme am Pilotprojekt war die Mitgliedschaft in der Waldbesitzervereinigung Landsberg am Lech, die Lage der Flächen in den Gemarkungen der Gemeinde Fuchstal, sowie eine Gesamtgröße aller Flächen pro teilnehmender Person von mehr als einem Hektar.

Bei den Waldbesitzenden, die teilgenommen haben, handelt es sich um kleinstrukturierte Privatwaldbesitzende. 30 % besaßen eine Waldfläche von unter 2 ha, 44 % unter 5 ha und 26 % der Waldbesitzenden verfügten über mehr als 5 ha Waldfläche (siehe Abbildung 39).

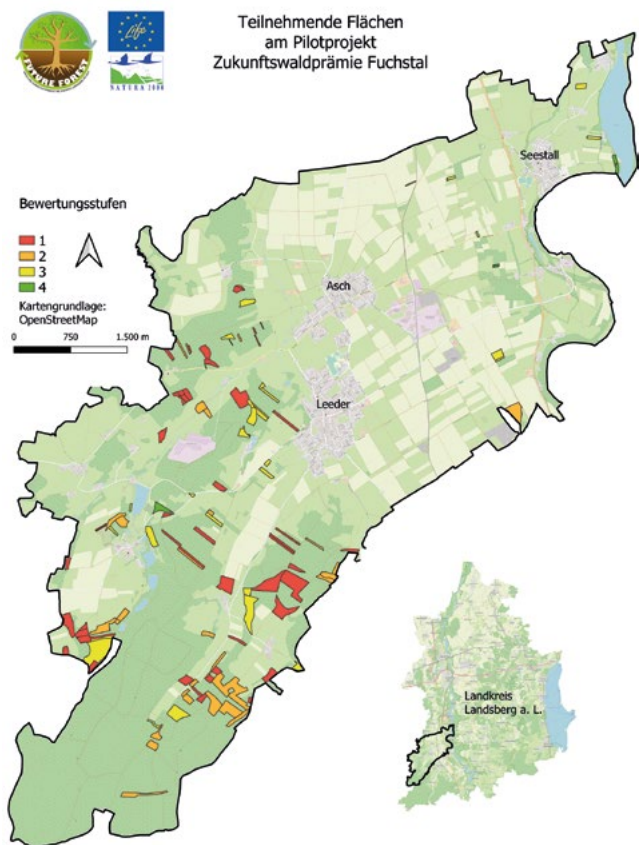


Abbildung 38: Teilnehmende Flächen am Pilotprojekt Zukunftswaldprämie Fuchstal

### Verteilung der Waldbesitzenden nach Flächengröße

27 Teilnehmende

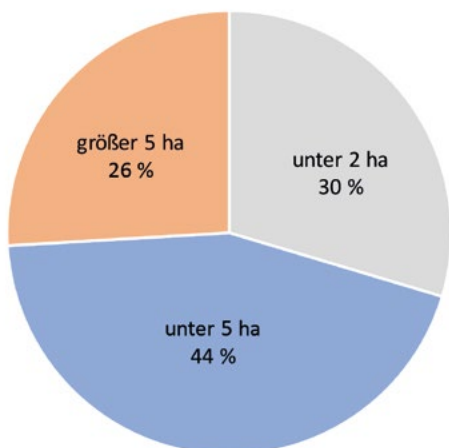


Abbildung 39: Verteilung der Waldbesitzenden nach Flächengröße

Nach Verwendung des Einwertungs Bogens ergab sich eine Verteilung der Bewertungsstufen wie in Abbildung 40 dargestellt.

### Verteilung der Bewertungsstufen nach Fläche

Gesamtfläche: 120,2 ha

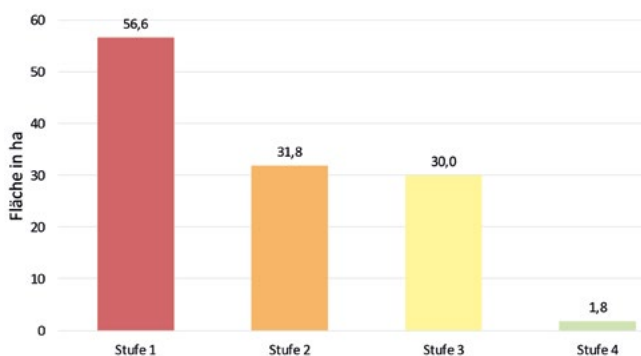


Abbildung 40: Verteilung der Bewertungsstufen nach Fläche

Mehr als die Hälfte der Flächen (56,6 %) wurden in der untersten Stufe 1 eingewertet. Zur Stufe 2 zählten 31,8 % der Flächen. In den oberen beiden Stufen zählten 30 % zur Stufe 3 und 1,8 % der Fläche zur Stufe 4. Um eine genauere Aussage über den Zustand der aufgenommenen Flächen zu erhalten, ist in Abbildung 41 die Verteilung der Bewertungen nach den einzelnen Bewertungskriterien dargestellt.

### Verteilung innerhalb der Bewertungskriterien

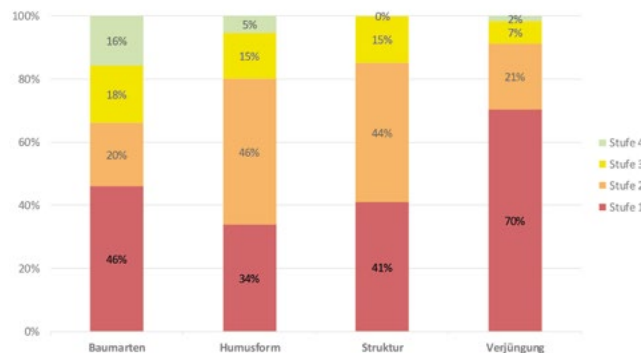


Abbildung 41: Verteilung innerhalb der Bewertungskriterien

Innerhalb des Kriteriums der Baumartenvielfalt, das den höchsten Faktor (Faktor 4) bei der Gesamtbewertung hat, erhielten fast die Hälfte aller Flächen (46 %) eine Einstufung in Stufe 1, sie weisen also größtenteils über 80 % Nadelholz auf. Ein Fünftel der Flächen befand sich im Zustand von Stufe 2. In der oberen Bewertungshälfte zeigten 18 % der Flächen eine Einstufung in die Stufe 3 und verfügen daher schon über die Hälfte an Laubholzarten. 16 % der Flächen erreichen beim Kriterium Baumartenvielfalt die höchste Stufe 4. Innerhalb dieser Flächen liegt der Laubholzanteil also über 80 %, sowie der Anteil an regenwurmfördernden Arten bei mehr als 50 %.

Zusammengefasst zeigt die Verteilung der Baumarten bei über 60 % der Flächen (Stufe 1 und 2) eine zu geringe Baumartenvielfalt an. Für zukünftig stabile Waldbestände muss die Artenvielfalt schnell und gezielt angehoben werden.

Die Humusformen der Pilotflächen (Faktor 3 bei der Gewichtung) befanden sich zu 34 % in der untersten Stufe 1 (Rohhumusartiger Moder). Bei 46 % der Flächen lag die Humusform Moder und dadurch die Stufe 2 vor, bei 15 % der Flächen die Stufe 3 mit mullartigem Moder sowie bei 5 % die optimale Humusform Mullhumus und Stufe 4.

Vergleicht man die Ergebnisse der Einwertung der Baumarten mit der Einwertung der Humusform, so wird erkenntlich, dass sie bei aktueller Bestimmung des Zustandes nicht gänzlich voneinander abgeleitet werden können. Als Beispiel ist hier zu nennen, dass die Baumartenvielfalt auf einem höheren Anteil der Flächen in Stufe 1 eingewertet wurde als die Flächen der Humusform.

Wird das obere Ende der beiden Kriterien betrachtet, so ist erkenntlich, dass etwa dreimal so viel Fläche der Baumartenvielfalt in Stufe 4 eingeordnet wurde, als Fläche der Stufe 4 bei der Humusform. Die Humusform wird grundsätzlich von der Baumartenauswahl bestimmt. Ein bestimmender Faktor ist hier aber die Zeit. Befindet sich eine Waldfläche, die lange als Reinkultur bewirtschaftet wurde, erst verhältnismäßig kurze Zeit im Umbau, so dauert es, bis sich der Zustand des Bodens und der Humusform verbessert.

Bei der Betrachtung der vertikalen Struktur und der

Bewirtschaftungsart (Faktor 2 bei der Einwertung) fällt auf, dass keine der teilnehmenden Flächen eine dauerwaldartige vertikale Struktur und somit die Einwertung in Stufe 4 vorweisen konnte. Auf Grund dessen sind 15 % der Flächen in Stufe 3 als aktuell am besten strukturiert anzusehen. Sie weisen eine strukturierte Mischwaldform mit mindestens einer dienenden Baumart auf. Zur Stufe 2 in Form des Altersklassenwaldes im Umbau zählten 44 % der Flächen. Als Monokultur oder Altersklassenwald wurden 41 % der Flächen eingestuft.

Das Kriterium mit der niedrigsten Gewichtung zur Gesamtbewertung (Faktor 1) ist die Beurteilung von Naturverjüngung und Verbiss. Innerhalb des Kriteriums wurden 70 % der Flächen in der untersten Stufe 1 eingestuft. Dies bedeutet, sie verfügen über keine oder nur Nadelholzverjüngung und weisen dadurch ein hohes Handlungspotenzial auf.

In der Stufe 2 werden Flächen mit einem gesicherten Vorbau von über zwei Metern eingestuft, sodass keine Verbissgefahr mehr besteht. In dieser Stufe befanden sich 21 % der Flächen. Ist Vorbau über fünf Meter vorhanden, so werden die Flächen in Stufe 3 eingewertet. 7 % der Waldflächen erreichten diese Stufe.

Optimalerweise ist der Altersklassenwald zum Dauerwald fertig umgebaut und zeigt dadurch eine flächig vorhandene Naturverjüngung. Bei 2 % der Flächen war dies der Fall.

Sollen nun Handlungsempfehlungen für die Erhöhung der Ökosystemleistungen der Waldflächen ausgesprochen werden, so müssen die Optionen der Waldbesitzenden analysiert werden. Welche Kriterien können durch die Bewirtschaftung beeinflusst werden?

Die bewirtschaftende Person selbst ist nicht in der Lage die Humusform eines Waldbestandes zu ändern. Hier ist sie auf die Arbeit des Edaphons und die Bioturbation (Einarbeitung und Zersetzung organischer Streu in den Boden) angewiesen. Um das Edaphon jedoch zu unterstützen, kann die Baumvielfalt durch das Einbringen noch nicht (ausreichend) vorhandener Arten gefördert werden. Hierbei sollte auf regenwurmfördernde Arten, wie beispielsweise Bergahorn, Linde und Hainbuche, geachtet werden.

Eine Durchforstung mit dem Ziel der Strukturhöhung im Bestand ist eine weitere Handlungsmöglichkeit einer waldbesitzenden Person. Mit einer Durchforstung können Zukunftsbäume gefördert werden. Es kann gezielt Licht in den Bestand gebracht werden und somit Naturverjüngung initiiert oder schon vorhandene im Wachstum gefördert werden

Als Fazit kann festgehalten werden: Als waldbesitzende Person habe ich die Möglichkeit über die Baumartenwahl und die Strukturierung meines Bestandes Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, die Stabilität und die Resilienz beim Klimawandel und die Ökosystemleistungen meines Bestandes zu nehmen

Anhand der Einwertung ergab sich eine Gesamtsumme von 9900 €, die an die Waldbesitzenden ausbezahlt wurde. Die Summe teilte sich auf in 3100 € für Flächen der Stufe 2, 6000 € für Flächen der Stufe 3 sowie 800 € für Flächen der Stufe 4.

## 4.5 Herausforderungen und Lösungen auf dem Weg zur lokalen Zukunftswaldprämie

Die Umsetzung der lokalen Zukunftswaldprämie ist abhängig von verschiedenen Faktoren struktureller als auch informeller Natur. Neben der Informationsvermittlung zum Prämiensystem vor Ort muss die Mischfinanzierung durch Kommunen, Privatpersonen und Unternehmen als Investoren im LIFE Future Forest Fonds und damit die Grundlage für eine Auszahlung der Zertifikate gewährleistet werden.

Folgende Szenarien wurden bei der Umsetzung im Pilotprojekt beobachtet und können sich allgemein im Rahmen der Einführung einer lokalen Zukunftsprämie ergeben:

Aufgrund der nicht vorhandenen digitalen Adressdaten der Mitglieder der Waldbesitzervereinigung konnten diese nicht durch E-Mails erreicht werden, um Informationsmaterial zu erhalten.

- Lösung: Durch Zeitungsartikel, Social Media Posts, Artikel auf der Projekt- sowie Landratsamt-Webseite und einen Beitrag im Gemeindeblatt wurde auf die Prämie aufmerksam gemacht.

Die Zukunftswaldprämie ist ein freiwilliges Modell zur Kompensation von Umweltschäden, die durch das Wirtschaften einer Firma oder den Lebensstil der Bürgerinnen und Bürger entstanden sind. Sie können nicht zur offiziellen CO<sub>2</sub>-Kompensation verwendet werden. Daher sind Firmen in den allermeisten Fällen nicht bereit, in ein solches Modell zu investieren, da sie in ihren Augen keine direkte Gegenleistung (Anerkennung CO<sub>2</sub>) erhalten. Lediglich das Image der Firma kann verbessert werden.

- Lösung: Die Politik führt neue Regeln zur In-Wertsetzung von Ökosystemleistungen ein und / oder sorgt dafür, dass die Zertifikate auch offiziell zum CO<sub>2</sub>-Ausgleich verwendet werden können. Auch eine Steigerung der Wertschätzung der Bevölkerung in Bezug auf die Ökosystemleistungen des Waldes hätte zur Folge, dass die Bereitschaft der Firmen, in die Prämie zu investieren, ebenfalls steigen würde.

Gemeinden haben kein Interesse oder kein Geld zur Unterstützung freiwilliger Initiativen

- Lösung: Die Gemeinden können die Priorisierung ihrer Ausgaben neu ausrichten und so ggf. Spielräume für die Prämie schaffen. Das Problem des





Interesses liegt meist hauptsächlich im politischen Bereich. Durch eine Umfrage in der Gemeinde kann eruiert werden, wie groß das Interesse in der Bevölkerung tatsächlich ist. Eine Alternative stellt auch der Wasserpfennig des Future Forest Projekts dar, welcher eine leichte Abwandlung des Prämiensystems ist. Hierbei können die Gelder über eine leichte Erhöhung des Wasserpreises eingenommen werden.

Viele Waldbesitzende im Landkreis Landsberg am Lech haben die voranschreitenden Klimaveränderungen und die damit einhergehenden Auswirkungen auf die eigenen Waldbestände noch nicht persönlich wahrgenommen. Durch ihre langjährige positive Erfahrung und Einstellung der Nadelholzreinkultur gegenüber ist es kompliziert, eine Änderung in der Vorstellungskraft hervorzurufen, wie Waldwirtschaft inklusive der verwendeten Baumarten in Zukunft aussehen könnte.

- Lösung: Durch regelmäßige Öffentlichkeitsarbeit (z. B. Veranstaltungen, Vorträge und Waldbegänge) können Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer gezielt informiert und ggf. überzeugt werden.

Für den Start einer lokalen Zukunftswaldprämie empfiehlt es sich vor diesem Hintergrund generell bei der örtlichen Waldbesitzervereinigung und der Gemeinde zu werben.

Falls die örtliche Gemeinde oder ein anderer Träger (z. B. WBV) eine Zukunftswaldprämie anbieten sollte, wird diese automatisch auch Schirmherrin über die Durch-

führung der Einwertung des Waldes und begleitet diesen über die Jahre (nähere Informationen hierzu im Kapitel 4 Zukunftswaldprämie).

Weitere Aufgaben bei der Einführung einer Zukunftswaldprämie sind:

- Geldakquise
- „Anwerbung“ von Teilnehmenden
- Bestimmung von Verantwortlichen (Profis) für die Flächeneinwertung
- Budgetverwaltung und Auszahlung
- Regelmäßige Neubewertung der Flächen
- Etablierung und Ausweitung der Prämie

Gemeinden sollten sich idealerweise Gedanken machen, welche Ökosystemleistungen für sie Priorität haben und dies dementsprechend in die Gesamtplanung mit einfließen lassen. Möglicherweise steht auch ein regionales Wärmekonzept zur Diskussion, beispielsweise ein Hackschnitzelheizwerk mit Nahwärmenetz. Dieses könnte mit Holz aus der Gemeinde beliefert werden, wodurch eine regionale, geschlossene Wertschöpfungskette entsteht (Beispiele aus dem Landkreis Landsberg: Markt Kaufering, Fuchstal, Igling, Scheuring).

Ob der Waldumbau planmäßig vorankommt oder ob es zu Schwierigkeiten kommt, hängt auch von den gegebenen Umständen ab. Allgemein können folgende vereinfachenden, sowie erschwerenden Faktoren festgehalten werden:

Tabelle 3: Zusammenstellung der vereinfachenden und erschwerenden Faktoren für den Waldumbau

<b>Industrie</b>	Die Firmen aus der Region unterstützen das Projekt und sind bereit einen Beitrag zur Zukunftswaldprämie zu leisten.	Die Firmen setzen nur auf globale CO <sub>2</sub> -Kompensation und engagieren sich nicht für die lokale Klimawandelanpassung.
<b>Politik</b>	Lokale Politik unterstützt den Waldumbau und Nahwärmeversorgung mit Energieholz. Die Gemeinden sind bereit eine Zukunftswaldprämie und/oder einen Wasserpfennig zu zahlen. Bei der kommunalen Planung werden Ökosystemleistungen priorisiert.	Lokale Politik nimmt Waldumbau und Ökosystemleistungen nicht ernst und unterstützt Modelle für Zukunftswaldprämien nicht.
<b>Gesellschaft</b>	Verständnis für die Ernsthaftigkeit der globalen Weltlage und Dringlichkeit lokalen Handelns ist vorhanden. Interesse am Wald und seinen Ökosystemleistungen. Gesellschaft unterstützt Waldprämien.	Privatpersonen schauen auf ihren eigenen Vorteil. Wunsch nach Stilllegung von Wäldern. Opposition gegen regionale (Energie-) Holznutzung,geholz vorhanden oder in Sicht

## 5 Wasserprämie

Der Klimawandel sowie lange Trockenperioden führen bei den Trinkwasservorräten sowie der Trinkwasserversorgung an immer mehr Orten in Deutschland zu Problemen. So wurde zeitweise bereits in verschiedenen Regionen die Bewässerung im Garten oder das Waschen von Autos mit dem überaus kostbaren Trinkwasser verboten.

Auch die Kreisstadt Landsberg am Lech kämpft spätestens seit dem langen trockenen Sommer 2018 mit Wasserknappheit. Abhilfe schaffte hier eine Kooperation mit der Nachbarkommune Kaufering, die nun täglich Trinkwasser an Landsberg liefert (Osman 2018).

Ein Grund für das weniger werdende Grund- und Trinkwasser ist das fehlerhafte Management der Landbewirtschaftung. Vielerorts sind grundlegende Wasserschutzfunktionen der Natur verloren gegangen, die einfacher Bearbeitbarkeit und kurzfristig hoher Produktivität der Landschaft weichen mussten. Die betrifft sowohl Land- als auch Forstwirtschaft. Vor allem Wälder können bei entsprechender Bewirtschaftung einen unbezahlbaren Einfluss auf folgende Wasserschutzfunktionen und wasserwirtschaftlichen Wirkungen haben:

- Reinhaltung des Grundwassers durch belastungsfrei naturnahe Bodennutzungsformen
- Hohe mechanische und biologische Reinigungs-

kraft der Waldböden

- Verzögerter Oberflächenabfluss durch hohe Wasserspeicherfähigkeit
- Erhöhte Infiltrationsrate unter gesunden lebendigen Böden
- Gleichmäßig hohe Wasserspende an den Grundwasserkörper

### Mehr und besseres Trinkwasser durch Wälder

Neueste Ergebnisse des Thünen Instituts zeigen, wie verschiedene Baumarten und Waldbestände Einfluss auf das Wassermanagement eines Waldes nehmen können. In der untenstehenden Abbildung werden über drei Jahre verteilt die Monatssummen der Niederschläge dargestellt, die unter den Beständen Buche, Eiche oder Kiefer in fünf Metern Tiefe und bei absolut gleichen Umweltbedingungen ankommen. Mit Abstand die schlechteste Tiefensickerung weist hier der Nadelbaumvertreter Kiefer auf. Bis auf den Sommer 2018 (ca. 6 bis 7 mm) gelangt im gesamten Zeitraum kein Wasser in tiefere Bodenschichten. Die Buche kann im Frühjahr 2017 (ca. 18 mm) und 2018 (ca. 30 mm) deutlich höhere und mehr Tiefenwasser generieren. Die beste Tiefensickerung ermöglicht hier aber die Eiche. Zwischen Winter 2017 und Sommer 2018 konnten durchgehend ankommende Wassermengen in fünf Metern Tiefe nachgewiesen werden. Im Jahresverlauf 2019 ist die Eiche sogar die einzige der untersuchten Baumarten, die noch Tiefensickerung aufweisen kann.

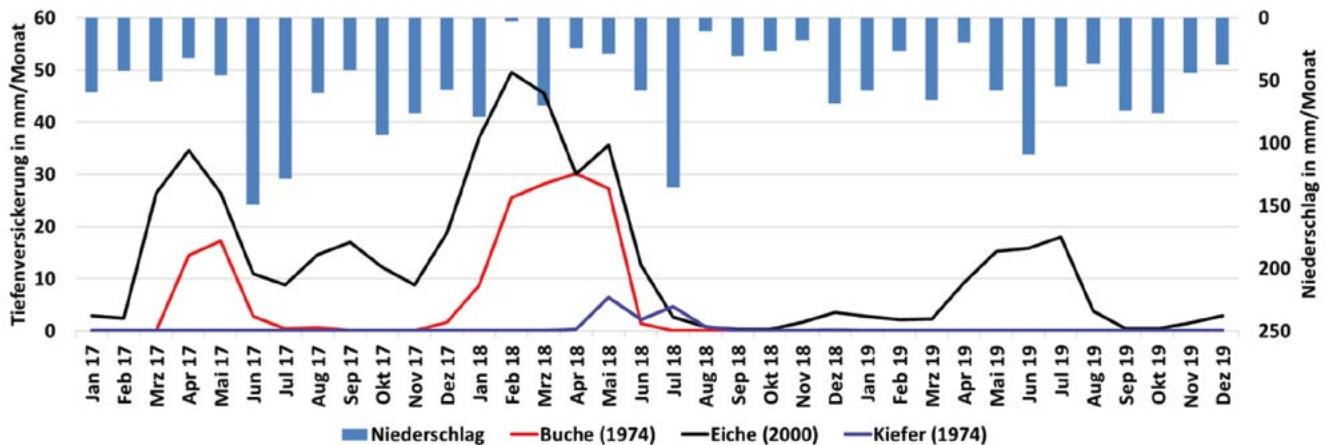


Abbildung 42: Monatssummen der Tiefensickerung in 5 Meter Tiefe unter verschiedenen Waldbeständen (Natkhin et al. 2022)

Im Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd bei Landsberg am Lech konnte bereits 2001 der Nachweis erbracht werden, dass die Baumartenwahl einen immensen Einfluss auf die Trinkwasserqualität hinsichtlich der enthaltenen Nitratmenge nimmt. Nadelholz (hier Fichte) erreicht Nitratwerte bis zu 47 mg/l. Dies liegt nahe am Grenzwert der Europäischen Grundwasser-richtlinie 2006/116/EG, die einen Höchstwert von 50 mg/l im Trinkwasser zulässt. Aus technischer Sicht muss aber ein Sicherheitsabstand eingehalten werden, so dass bereits ab dem Schwellenwert von 37,5 mg/l technische Maßnahmen zur Aufbereitung ergriffen werden müssen. Bereits der Voranbau mit Buche

in Fichtenaltbeständen kann zu einer deutlichen Verringerung des Nitratwertes führen (hier konnte ein Höchstwert im Mischbestand von 17 mg/l nachgewiesen werden). Die optimalen Nitratwerte werden unter laubholzreichen Wäldern erreicht (hier mit einem Höchstwert von 7 mg/l). Auch in Kombination mit landwirtschaftlicher Nutzung der nicht bewaldeten Trinkwasserschutzfläche, in denen sich die Senkung der Nitratwerte komplexer gestaltet, ist ein Laubwald für die Erreichung der gesetzlichen Trinkwasseranforderungen eine optimale Lösung.

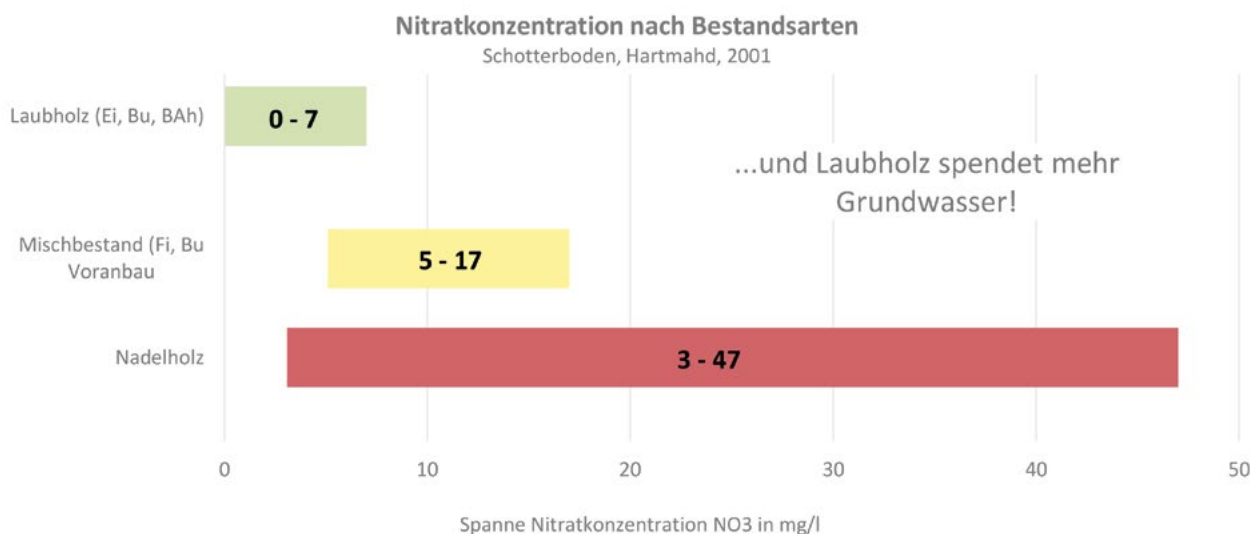


Abbildung 43: Trinkwasserqualität - Nitratkonzentration nach Bestandsart (Kukuk 2001)

## 5.1 Bisherige Vergütungssysteme für Land- und Forstwirtschaft

Einige Kommunen bzw. Trinkwasserversorger haben bereits regionale Anreiz- und Vergütungssysteme entwickelt und etabliert, die die Bewirtschaftung auf Trinkwasser produzierenden Flächen einschränken oder regulieren. Vor allem im landwirtschaftlichen Bereich existieren solche Systeme. So werden beispielsweise Vergütungen gezahlt für Düngerverzicht, angepasste Bodenbearbeitung, Zwischenfrüchte, begrenzten Weidegang oder ähnliches. Hier kurz ein paar Vergütungsbeispiele:

### Trinkwasserschutz Oberpfälzer Jura

- Verzicht auf Pflanzenschutzmittel auf Ackerflächen: bis zu 300 €/ha\*a
- Untersaat: 100 €/ha\*a
- Verbot organischer Düngung: bis zu 160 €/ha\*a
- Artenreiches Dauergrünland: 500 €/ha\*a
- Erweiterte Fruchtfolge: 200 €/ha\*a

→ Dies sind nur ein paar der zahlreichen Maßnahmen, für die eine Entschädigung bezahlt wird. Es wurde auch festgelegt, welche Laufzeit Verträge haben. Die Vergütung ist teilweise gestaffelt, so dass etwa über langjährige Einhaltung der Maßnahmen mehr Geld fließt. Verschiedene Maßnahmen können miteinander kombiniert werden, sodass eine maximale Vergütung von 800 €/ha\*a generiert werden kann (Trinkwasserschutz Oberpfälzer Jura 2021).

### Fernwasserversorgung Oberes Allgäu

- Hier wird lediglich Weidegang und Düngung in der engeren Schutzzone II verboten, wofür etwa 600 €/ha\*a ausbezahlt werden (Gutsmiedl 2018).

### Landwirtschaft Kaufering

- Begrenzung der Viehhaltung in der engeren

Schutzzone: bis zu 275 €/ha\*a

- Zwischenfruchtanbau: bis zu 150 €/ha\*a
- Verzicht auf Bentazon: 50 €/ha\*a
- Ökologischer Landbau: 50 €/ha\*a

→ Dies sind einige Beispiele der geförderten Maßnahmen zur Reduzierung der Trinkwasserbelastung. Auch hier können verschiedene Maßnahmen miteinander kombiniert oder Laufzeiten festgelegt werden (Bühler 2016a).

### Forstwirtschaft Kaufering

- Dauerwaldartige Bewirtschaftung der Wälder: 85 €/ha\*a
- Verzicht auf Dünger, Pflanzenschutzmittel und Biozide: 35 €/ha\*a
- Beschränkung der Baumartenwahl: 110 €/ha\*a
- Ausformung von großkronigen Einzelbaumstrukturen: 45 €/ha\*a
- Grundsätzliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung wie der Verzicht auf stickstoffsammelnde Baumarten (Erlen und Robinien), Verwendung von Edellaubhölzern sowie Beschränkung des Nadelholzanteils auf maximal 20 Prozent.

→ so können hier maximal 275 €/ha\*a an waldbesitzende Personen ausbezahlt werden (Bühler 2016b).

## 5.2 Vorschlag für eine Trinkwasserprämie LIFE Future Forest

Ziel des Vorschlags zu einer Trinkwasserprämie durch das LIFE Future Forest Projekt ist eine möglichst einfache Vorgehensweise, die an die oben erwähnten, bereits existierenden Vergütungssysteme angelehnt ist und der Forstwirtschaft eine Prämie einbringen soll, die dem besonderen Wert des Waldes hinsichtlich der Produktion von mehr und besserem Trinkwasser gerecht wird.

Mit Hilfe der Prämie sollen die Mehraufwendungen der Forstwirtschaft hinsichtlich Pflege von Dauerwäldern, Schutz vor Verbiss zur Etablierung von Naturverjüngung oder Mindererträge durch vermehrte Nutzung von Pflegeholz und vorerst geringere Wertholzerträge ausgeglichen werden. Außerdem soll durch dieses Geld eine Wertschätzung an die Personen fließen, die durch die zukunftsfähige Bewirtschaftung ihrer Wälder einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Versorgung der lokalen Bevölkerung mit bestem Trinkwasser leisten.

Die Trinkwasserprämie soll möglichst übersichtlich und einfach strukturiert aufgebaut werden. Für die Beurteilung der Wertigkeit der Wälder hinsichtlich Trinkwasserschutz können die betroffenen Wälder in folgende Stufen unterteilt werden:

Stufe 1: Nadelholzanteil im Wald über 50 % → 0 €/ha*a
Stufe 2: Laubholzanteil im Wald über 50 % → 200 €/ha*a
Stufe 3: Laubholzanteil über 80 % und max. 20 % Tanne → 400 €/ha*a

Des Weiteren sind zur nachhaltigen Entwicklung der Wälder und dauerhaften Gewährleistung der Leistung der Wälder folgende waldbauliche Grundsätze einzuhalten bzw. Kriterien bei der Bewertung der Wälder zu beachten (siehe auch Kapitel 3)

- Kein Kahlschlag in den teilnehmenden Wäldern
- Einzelstammweise Nutzung oder Dauerwald
- Erlen und Robinien dürfen als stickstoffsammelnde Baumarten nicht in nennenswertem Umfang vorkommen
- Naturverjüngung und Vorbau zählen zum Bestand dazu, sobald diese der Verbissgefahr ent wachsen sind

### Information aus dem Projektgebiet Anwendungsbeispiel Gemeinde Weil

Beispielhaft werden im Folgenden die Kosten für eine geplante Umsetzung in der Gemeinde Weil im Landkreis Kaufering berechnet. Dabei werden lediglich die Mehrkosten für die Trinkwasserversorgung der Privathaushalte berechnet. Für die Berechnung wurden nicht bekannte lokale Werte aus Weil durch durchschnittliche deutsche Werte ersetzt:

#### Annahmen für das Rechenbeispiel:

- Ø Wasserverbrauch in Deutschland: 128 l/d\*Person
- Einwohner Weil: 4.100 Personen

- Trinkwasserverbrauch in Weil: 191.000 m<sup>3</sup>/a
- Trinkwasserverbrauch pro Haushalt: 119 m<sup>3</sup>/a
- 80 % Privatwaldanteil im TWSG: 33 ha
- Ø Wasserkosten pro Haushalt in Landsberg: 424 €/a
- Ø Haushaltsgröße im LK Landsberg: 2,55 Personen

Für das Anwendungsbeispiel werden zwei verschiedene Varianten berechnet. Die Variante 1 beruht auf der Annahme, dass alle Waldbesitzenden im Trinkwasserschutzgebiet in Weil an dem Prämienmodell teilnehmen und ihre Flächen der Stufe 2 zuzuordnen sind. In der Variante 2 ändert sich lediglich der Aspekt, dass alle teilnehmenden Wälder bereits die optimale Stufe 3 und damit den höchstmöglichen Prämienersatz erreicht haben.

#### Variante 1:

- Gesamtkosten für die Auszahlung der Prämie: 6.600 €/a
- Kosten je Kubikmeter Trinkwasser 0,035 €
- Ø jährliche Mehrkosten pro Haushalt 4,10 €
- Ø jährliche Mehrkosten pro Person 1,60 €

#### Variante 2:

- Gesamtkosten für die Auszahlung der Prämie: 13.200 €/a
- Kosten je Kubikmeter Trinkwasser 0,069 €
- Ø jährliche Mehrkosten pro Haushalt 8,20 €
- Ø jährliche Mehrkosten pro Person 3,20 €

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die jährlichen Kosten, die einen Haushalt treffen würden, absolut in Grenzen halten. Selbst wenn alle Waldflächen die maximale Prämie erhalten, würde das einen Haushalt rund 8 € pro Jahr kosten (etwa 65 Cent im Monat). Bei jährlichen Wasserkosten (Trinkwasser und Abwasser) von 424 € pro Haushalt entspricht das nur etwa 1,8 % Mehrkosten. Alternativ müsste ein durchschnittlicher Haushalt rund 2,5 Kubikmeter Wasser im gesamten Jahr einsparen, um die Mehrkosten zu verhindern.

## 6 Ausblick und Vision

### Fazit Klimawandel

Der Klimawandel läuft rasant weiter, während die Anpassung der Wälder nur langsam vorangeht. Bei den Maßnahmen wird häufig nicht oder zu wenig auf die Bedeutung von Wasserkreisläufen und von „lebendigen Böden“ geachtet.

- Dass mittlerweile ein Kipppunkt erreicht ist und anstatt der Temperatur das pflanzenverfügbare Wasser in der Vegetationszeit das Wachstum der Wälder entscheidend beeinflusst, wird zu wenig wahrgenommen.
- Die Bedeutung der Wälder für die lokalen und regionalen Niederschläge in der Vegetationszeit ist zu wenig bekannt.
- Dass sich die natürliche potentielle Vegetation in einem starken Wandel befindet, muss dringend und mehr als bisher in die Entscheidungen der Waldbesitzenden einfließen.
- Die Wahl der Baumarten beeinflusst die Lebendigkeit der Waldböden: Zum einen durch die unterschiedliche Durchwurzelungstiefe und -intensität bei den Feinwurzeln, zum anderen über den Laubfall, das resultierende Vor- oder Nichtvorkommen und die Häufigkeit von Regenwürmern und die Humusform (Mull oder Moder).

### Fazit Ökosystemleistungen

Das Wissen um die für den Menschen notwendigen Ökosystemleistungen des Waldes ist zu wenig verbreitet. Die Bedeutung der Wälder als hohe, langlebige Vegetation für nicht ersetzbare Leistungen wie die Kühlung der Landschaft (z.B. an Heißtagen) und die Spende von in Menge und Qualität hochwertigem Trinkwasser ist vielen nicht bewusst oder wird als selbstverständlich angenommen.

- Die Abhängigkeit des Menschen von den Ökosystemleistungen des Waldes muss dringend auf allen Ebenen kommuniziert werden. Ökosystemleistungen müssen künftig honoriert werden.

### Fazit Waldbau

Die Forstwirtschaft hängt nach wie vor weitgehend von den Holzeinnahmen ab. Diese werden meist vom Anteil an stofflich nutzbarem Nadelholz bestimmt. Die notwendige Anpassung zu laubholzreichen Dauerwäldern ist auf großer Fläche schwierig, da damit niedrigere Holzeinnahmen für Forstbetriebe und Waldbesitzende verbunden sind.

Die fehlende Beachtung des lebendigen Bodens und der Wasserkreisläufe führt zu suboptimalen Ökosystemleistungen und nicht zukunftsfähigen Planungsgrundlagen.

- Die forstliche Betriebsplanung muss daher umgestellt werden und neue Prioritäten setzen.
- Ökosystemleistungen wie Kühlung und Wasser-

spende müssen künftig Vorrang vor der Holzproduktion erhalten.

- Eine hohe Biomasseproduktion ist notwendig, um Ökosystemleistungen auf hohem Niveau zu sichern.

### Fazit LIFE Future Forest

Das vorliegende Handbuch und die Praxisbeispiele des LIFE Future Forest Projektes sollen ein Baustein dabei sein, die anstehenden Herausforderungen bei der Anpassung der Wälder an den Klimawandel zu bewältigen.

- Lebendige Böden werden entscheiden, welche Ökosystemleistungen Wälder aufrechterhalten werden können und wo und von wem der Generationenvertrag eingehalten werden kann.
- Waldbesitzende können sich über unsere Einwertungsanleitung ein Bild von ihrem Wald machen und ein Entwicklungsziel ableiten.
- Die Gesellschaft kann mithelfen und Ökosystemleistung auf regionaler Ebene honorieren (beispielsweise mit dem LIFE Future Forest-Fonds).
- Den Generationenvertrag ernst nehmen heißt kurzfristiges Denken zu überdenken!

### Ausblick

Innerhalb des Future Forest Projektes wird abschließend das Werkzeug für die Einwertung der Waldbestände digitalisiert. Dabei findet auch eine Verknüpfung mit frei zugänglichen Geoinformationsdaten statt. Dies soll die Auffindbarkeit und die Abgrenzung der Flächen erleichtern, die Dokumentation und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sicherstellen und insgesamt den Zeitaufwand für die Einwertung gering halten. Nach Probeläufen im Frühjahr 2024 soll das Werkzeug dann allen Interessierten als Anwendung (App) zur Verfügung gestellt werden.

Das Future-Forest-Team hofft und setzt im Sinne der Einhaltung des Generationenvertrages darauf, dass die Idee des „lebendigen Bodens“, das Werkzeug zur Einwertung von Waldbeständen und das vorgeschlagene Modell zur Honorierung von erhöhten Ökosystemleistungen – in originaler oder abgewandelter Form - vielfach Anwendung finden werden in der Praxis.

## 7 Literaturverzeichnis

Aachener Stiftung Kathy Beys, 2005-2023. (2015, November 3). Lexikon der Nachhaltigkeit | Definitionen | Generationengerechtigkeit. Lexikon der Nachhaltigkeit. Aachener Stiftung Kathy Beys. [https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/generationengerechtigkeit\\_1829.htm](https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/generationengerechtigkeit_1829.htm) Zugegriffen: 16. Oktober 2023

AELF Fürstentfeldbruck. (2023). Die Wälder in den Landkreisen Dachau, Fürstentfeldbruck und Landsberg am Lech. <https://www.aelf-ff.bayern.de/forstwirtschaft/wald/068885/index.php#:~:text=Der%20Landkreis%20Landsberg%20am%20Lech,Forst%20und%20dem%20Forst%20Bayerdie%C3%9Fen>. Zugegriffen: 11. September 2023

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege. (2018). Regenwürmer. In Aktionshandbuch Tiere live (2. Aufl.). Laufen. [https://www.anl.bayern.de/publikationen/unterrichtsmaterial/index.htm#weitergehende\\_informationen](https://www.anl.bayern.de/publikationen/unterrichtsmaterial/index.htm#weitergehende_informationen)

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.). (2012). Beiträge zur Europäischen Lärche (Bd. 69). Freising.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. (2017). Beiträge zur Fichte (Bd. 80). Freising.

Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. (2021, Juli 15). Richtlinie für Zuwendungen zu waldbaulichen Maßnahmen im Rahmen eines forstlichen Förderprogramms (WALDFÖPR 2020).

Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2007). Hydrogeologischer Teilraum: Fluvioglaziale Schotter.

Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2019). Umweltmedium Boden, 14. [https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw\\_67\\_umweltmedium\\_boden.pdf](https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_67_umweltmedium_boden.pdf)

Biermayer, G. (2020). Das Risiko ist entscheidend: Baumarten betriebswirtschaftlich kalkuliert. LWF aktuell, (2/2020).

BMEL. (2021). Waldbericht der Bundesregierung 2021. Bonn: BMEL.

BMEL. (2023, Juli 4). Förderprogramm klimaangepasstes Waldmanagement. BMEL. <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/klimaangepasstes-waldmanagement.html> Zugegriffen: 17. August 2023

Bode, W., Kant, R., Zwick, Y., Gege, M., Dubbert, H., & Weinauge, H. (2021). Dauerwald - Leicht gemacht! ein Kurzleitfaden für die Praxis. Rangsdorf: Natur + Text.

Bühler, K. (2016a). Vereinbarung über den Ausgleich wirtschaftlicher Nachteile aufgrund erhöhter ökologischer Anforderungen im Trinkwasserschutzgebiet Kaufering - St.Leonhard: Energiewald. (Kommunalwerke Kaufering, Hrsg.).

Bühler, K. (2016b, Januar 1). Vereinbarung über den Ausgleich wirtschaftlicher Nachteile aufgrund erhöhter forstfachlicher Anforderungen im Trinkwasserschutzgebiet Kaufering - St.Leonhard: Wald. (Kommunalwerke Kaufering, Hrsg.).

Bundesministerium der Justiz. Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz). , BWaldG (1975). <https://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/BJNR010370975.html> Zugegriffen: 14. August 2023

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (2016). Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Berlin.

C.A.R.M.E.N. e.V. (2021). Marktpreise Hackschnitzel. Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreise-hackschnitzel/> Zugegriffen: 8. März 2023

Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Feser, F. (2022, Februar 18). Unwetter in Deutschland: „Es gibt nicht mehr Stürme als früher“. <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/02/stuerme-deutschland-orkan-interview-unwetter> Zugegriffen: 7. September 2023

Gebhardt, Warscher, & Kunstmann. (2019). Klimawandelstudie Landsberg am Lech: Analyse und prognostizierte Änderung des Klimas im Landkreis auf Basis von Beobachtungsdaten und hochaufgelösten regionalen Klimamodellläufen.

Greenpeace. (2023). Die Erwärmung der Meere | Greenpeace. <https://www.greenpeace.de/klimaschutz/klimakrise/erwaermung-meere> Zugegriffen: 7. September 2023

Gutsmiedl, J. (2018, März 27). Zahlen, Fakten und Daten zur Wasserqualität im Oberallgäu. <https://www.kreisbote.de/lokales/kempten/aufklaerungskampagne-wasserqualitaet-9727749.html> Zugegriffen: 2. November 2023

Hastreiter, H. (2023). Holzeinschlag 2022: Heiß begehrt und teuer. LWF aktuell, 5/2023(142).

Jankowski, S. (2013, August 1). Was ist eigentlich Klima? Umweltbundesamt. Text, Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-eigentlich-klima> Zugegriffen: 16. Oktober 2023

Kreutzer, K., Göttlein, A., & Agerer, R. (Hrsg.). (1991). Ökosystemforschung Höglwald: Beiträge zur Auswirkung von saurer Beregnung und Kalkung in einem Fichtenaltbestand: mit 89 Abb. und 79 Tab. Hamburg: Parey.

Kukuk, V. (2001). Studien zum Bestandeseinfluss auf

- die Nitratbelastung des Sickerwassers südbayerischer Modellbestände: Diplomarbeit am Lehrbereich für Waldernährung und Wasserhaushalt der Studiendirektion für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement Wissenschaftszentrum Weißenstephan. Freising.
- Liang, J., Crowther, T. W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., et al. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354(6309), aaf8957. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8957>
- Makarieva, A. M., & Gorshkov, V. G. (2007). Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*
- Marx, A. (2022, November 10). Dürren 1952 - 2022 (jährlich) - 0 bis 2 Meter - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ. <https://www.ufz.de/index.php?de=47252> Zugegriffen: 12. Oktober 2023
- Milbert, G. (2021, Februar 15). Lössboden – Boden des Jahres 2021. BMEL. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/boden2021.html> Zugegriffen: 11. September 2023
- Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden Württemberg. (2023, September). Den Wald als Klimaschützer stärken. Baden-Württemberg.de. <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/wald-und-naturerlebnis/wald-im-klimawandel/das-blatt-wenden/bedeutung-des-waldes-fuer-das-klima> Zugegriffen: 7. September 2023
- Möller, A. (2013). *Der Dauerwaldgedanke: Sein Sinn und seine Bedeutung*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Müller, J. (2011). *Wasser - das „blaue Gold“ des Waldes*. Forschungsreport 1/2011.
- Natkhin, M., Sanders, T. G. M., & Holzhausen, M. (2022). Der Einfluss von Wald und Witterung auf die Tiefenversickerung. DE: Johann Heinrich von Thünen-Institut. <https://doi.org/10.3220/PB1643027675000>. Zugegriffen: 2. November 2023
- Naturkapital Deutschland TEEB DE. (2015). *Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte*. (V. Hartje, H. Wüstemann, & A. Bonn, Hrsg.). Leipzig; Berlin; Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ; Naturkapital Deutschland – TEEB DE.
- Naturwald Akademie gGmbH, & Remote Sensing Solutions GmbH. (2023, Oktober 16). *Waldmonitor*. <https://map3d.remote-sensing-solutions.de/waldmonitor-deutschland/> Zugegriffen: 16. Oktober 2023
- Osman, U. (2018, Dezember 14). *Kostbares Nass aus Kaufering*. Kreisbote. <https://www.kreisbote.de/lokales/landsberg/folgen-jahrhundertssommers-trinkwasser-landsberg-knapp-10867407.html> Zugegriffen: 2. November 2023
- Poepfel, D. (1981). *Betrachtungen zur 20jährigen Wetterbeobachtungsreihe von Landsberg/Penzing (1959-1978) mit Berücksichtigung einiger flugbehindernder Wetterelemente*. (Deutschland Amt für Wehrgeophysik, Hrsg.) (Bd. 200). Traben-Trarbach: Amt für Wehrgeophysik.
- Rigling, D., Hilfiker, S., Schöbel, C., Meier, F., Engesser, R., Scheidegger, C., et al. (2016). *Das Eschentriebsterben - Biologie, Krankheitssymptome und Handlungsempfehlungen*, Merkblatt für die Praxis(57), 8.
- Ripl, D. W., & Scheer, D. H. (2007). *Memorandum zum Klimawandel (Memorandum)*. Berlin: Systeminstitut Aqua Terra (SAT) e.V.
- Sebald, C. (2016, Juli 16). *Klimawandel - Sommerhitze macht den Kiefern zu schaffen*. Süddeutsche.de. <https://www.sueddeutsche.de/bayern/klimawandel-sommerhitze-macht-den-kiefern-zu-schaffen-1.3078376> Zugegriffen: 7. September 2023
- Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. (1993). *RESOLUTION H1: General Guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe (Beschluss)*. Helsinki.
- StMELF. (2022). *Wald in Zahlen*. <https://www.stmelf.bayern.de/wald/forstverwaltung/wald-in-zahlen-fakten-ueber-bayerns-waelder/index.html> Zugegriffen: 16. Oktober 2023
- Trinkwasserschutz Oberpfälzer Jura. (2021, März 2). *Kooperationsvertrag: Prämien- und Ausgleichszahlungen für eine grundwasserschonende Landwirtschaft in der Kooperation Trinkwasserschutz Oberpfälzer Jura*. Zweckverband der Wasserversorgungsgruppe Laber-Naab. [https://www.ig-gesunder-boden.de/Portals/0/doc/Kooperationen/2021-03\\_TWS-Kooperationsvertrag.pdf](https://www.ig-gesunder-boden.de/Portals/0/doc/Kooperationen/2021-03_TWS-Kooperationsvertrag.pdf)
- Verwaltungsgemeinschaft Fuchstal. (2023, Juli 26). *Gemeinde Fuchstal*. Gemeinde Fuchstal. <https://fuchstal.de/> Zugegriffen: 26. Juli 2023
- Walentowski, H., Kölling, C., & Ewald, J. (2007). *Die Waldkiefer-bereit für den Klimawandel? In Beiträge zur Waldkiefer (Bd. 57, S. 37–46)*. Freising.
- Walser, M., Mathis, D. S., Köchli, R., Stierli, B., Maeder, M., & Brunner, I. (2021). *Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen*. *Merkbl. Prax.*, (60), 12.
- WMO. (2021). *WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970-2019) (No. WMO-No. 1267)*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- World Resources Institute. (2003). *Ecosystems and human well-being: A report of the Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington/D.C: Island Press. [http://pdf.wri.org/ecosystems\\_human\\_wellbeing.pdf](http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf)

## 8 Anhang

### 8.1 Temperaturmessung

Das widerstandsfähige Gehäuse des HOBO Pro v2 Loggers sorgt dafür, dass das Gerät jahrelang bei Anwendungen im Freien zuverlässige Dienste bietet. Der Datenlogger misst sowohl Temperatur (-40 °C bis +70 °C) als auch relative Luftfeuchte (0 bis 100 %). Im Projekt-

gebiet verteilt sind 13 dieser Geräte im Einsatz. Sie sind in rund einem Meter Höhe über dem Boden installiert und messen ganzjährig im Stundenrhythmus Temperatur und Luftfeuchte in verschiedenen Waldbeständen, sowie auf Referenzflächen innerorts sowie auf Freiflächen (landwirtschaftlich genutzte Flächen). Die folgende Grafik zeigt beispielhaft den Tagesgang an einem Heißtag. An der gelben Linie wird deutlich, dass die Temperatur im Wald hier bis zu 8 °C unter der der Stadt liegen kann.

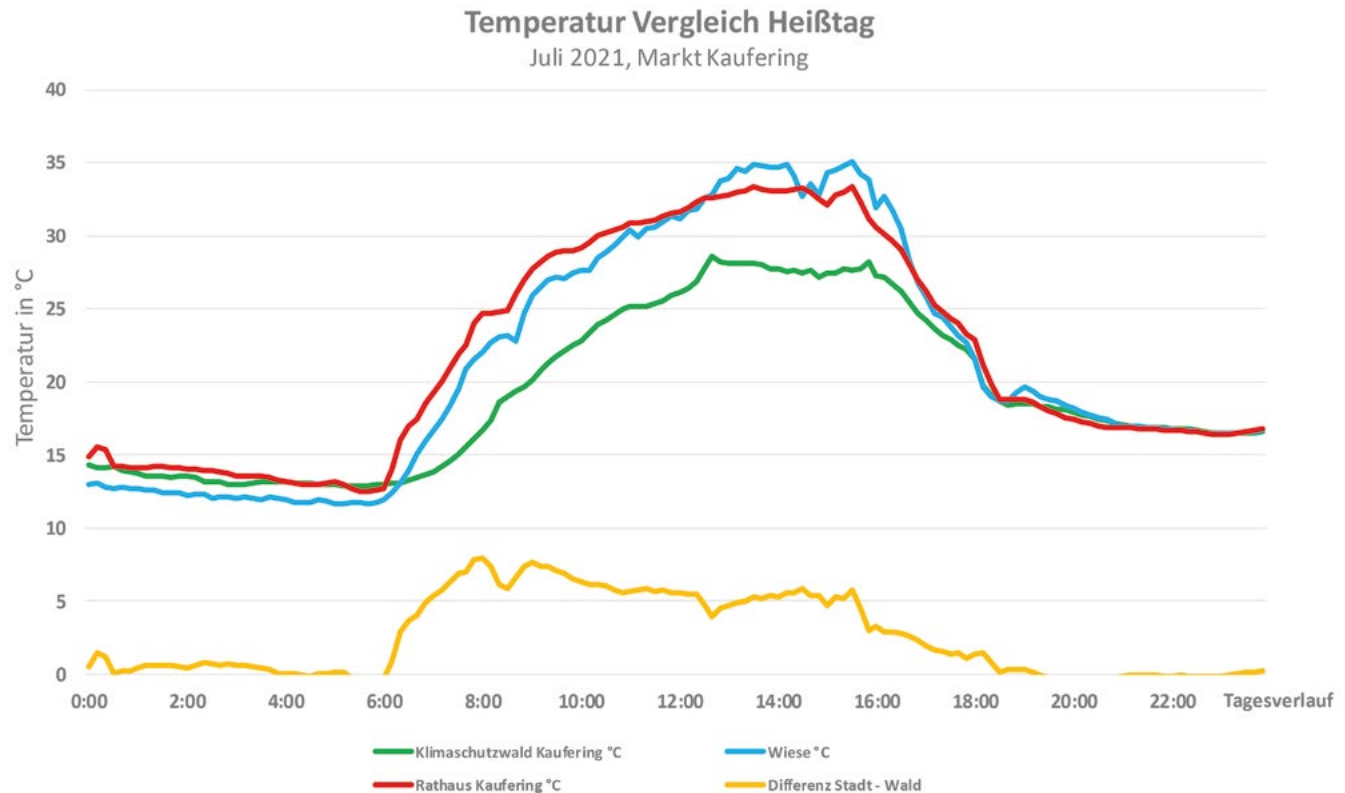


Abbildung 44: Temperatur Vergleich Heißtag 2021 in Kaufering

### 8.2 Regenwurmgrabung

#### Material

Kanister mit ausreichend Wasser, Spaten, Dosen mit Aufklebern (Datum, Standort, Name) + Ethanol, Stechrahmen, AITC, Isopropanol, Helle Planen, Pinzetten, Kleine Dosen zum Waschen der Regenwürmer, Gefäße für Bodenproben (Wassergehalt/C Gehalt), Trockenschrank, Klemmbretter + Schreibmaterial

#### Ablauf (Kombination 2er Methoden)

Für die Erfassung der Regenwürmer wird eine Kombination der aktivitätsabhängigen AITC-Methode und der aktivitätsunabhängigen und zeitlimitierten Handauslese verwendet. Mit Hilfe dieser Methodik können Vertreter aller ökologischen Gruppierungen erfasst werden. Dafür werden je untersuchte Baumart dreimal drei Proben entnommen, so dass insgesamt neun Regenwurmprobenahmen je untersuchter Baumart zur Verfügung stehen.

Begonnen wird mit der AITC-Methode. Dafür wird ein Proberahmen mit den Maßen 30 x 30 cm auf den Boden aufgelegt und die aufliegende Blatt- oder Nadelmasse entfernt. AITC (Allylisothiocyanat) wird hierbei in Isopropanol aufgelöst und mit Wasser zu einer 0,01%igen Lösung verdünnt. Mit einer Gießkanne werden über den Zeitraum von zehn Minuten vier Liter Wasser in den Proberahmen geschüttet und alle Regenwürmer, die durch die reizende Wirkung der Lösung auf der Haut an die Oberfläche getrieben wurden, mit einer Pinzette eingesammelt und in einen Becher gegeben.

Für die Handauslese werden auf der Fläche des Proberahmens mit einem Spaten 30 cm tief Boden ausgehoben und auf eine helle Folie gelegt. Dieser Boden wird im Anschluss 20 Minuten per Hand auf Regenwürmer untersucht, die in einen eigenen Becher gegeben werden. Eine akkurate Beschriftung der Becher ist wichtig. Die eingefangenen Regenwürmer werden in Wasser gewaschen, in 90%iger Isopropanol Lösung getötet und zur Konservierung bis zu ihrer Bestimmung in Ethanol eingelegt. Die aus den Ein-



zelmessungen je Wiederholung ermittelte Individuendichte (Abundanz) und Biomasse der Regenwürmer eines Habitats werden aufsummiert und für die Grundfläche von einem Quadratmeter berechnet. Anschließend werden die Mittelwerte aus den drei Wiederholungen gebildet. In die Berechnung der Ge-

samtbiomasse und Gesamtabundanz fließen auch die gefundenen Regenwurmfragmente mit ein, die keiner Art zugeordnet werden können (Pelosi et al, 2009). Nachfolgend sind die Ergebnisse der Regenwurmgrabung im Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd bei Landsberg am Lech auf Schotterboden dargestellt.

### Regenwurmuntersuchungen auf Schotterboden

Stadtwald Landsberg, Hartmahd, Juni 2021, [n = 9]

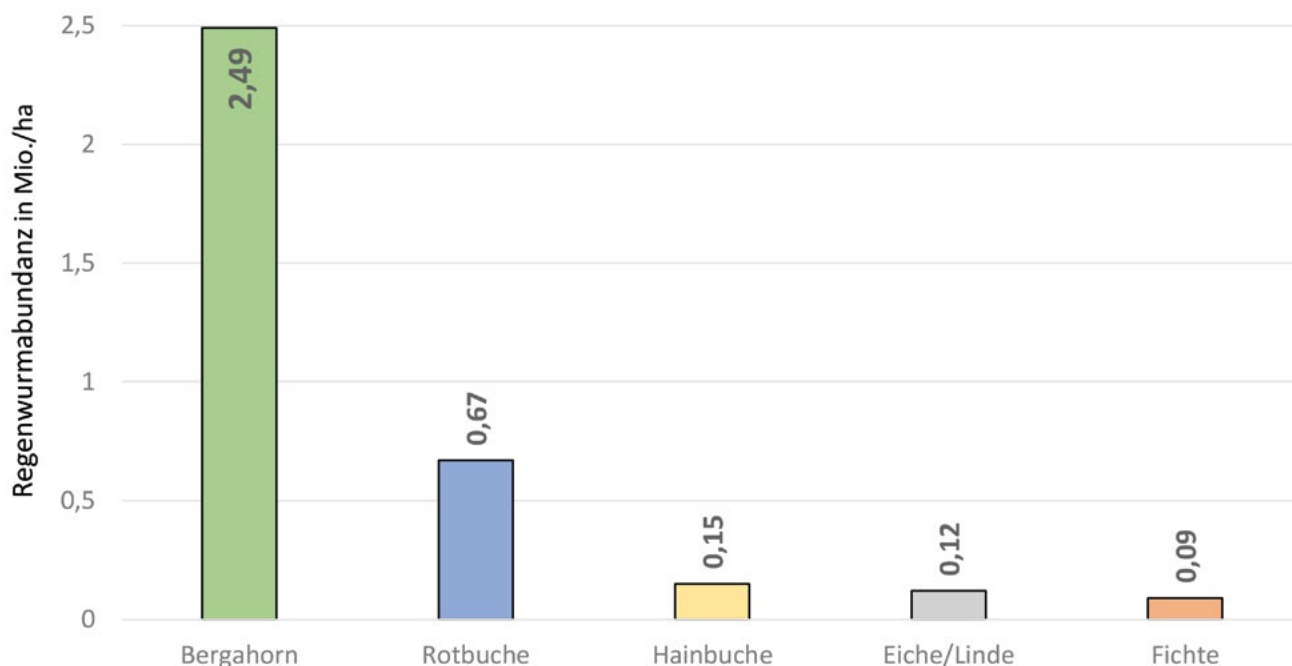


Abbildung 45: Regenwurmuntersuchungen auf Schotterboden

## 8.3 Feinwurzelgrabung

### Material

Stechrahmen (20 x 20 x 10 cm) mit Deckel, Spaten, Gummihammer, Schonhammer aus Kunststoff, Kluppe, Kompass, Meterstab, Handschaufel, Arbeitshandschuhe, Tüten oder Eimer zu Aufbewahrung der Proben, Trockenschrank, Waage

### Ablauf

Für diese Messungen werden auf allen Flächen quadratische Stechrahmen verwendet. Diese weisen eine Grundfläche von 20 x 20 cm bei einer Tiefe von zehn Zentimetern auf. Jeweils in genau einem Meter Entfernung vom Grundflächenmittelstamm (Mittelpunkt des Stechrahmens bis zur Rinde des Baumes) wurden diese mit einem Gummihammer bis zum Anschlag in den Boden getrieben. Bis zu einer Tiefe von zehn Zentimetern, also 4000 cm<sup>3</sup>, wird das Bodenvolumen entnommen, in einen Kübel geschüttet und entsprechend beschriftet. Anschließend wird auf der Grundfläche der 400 cm<sup>2</sup> weitere zehn Zentimeter tiefer gegraben, das Material entnommen und beschriftet. Auf diese Weise wird Boden bis in 30 Zentimeter Tie-

fe entnommen um hinsichtlich des Wurzelvolumens untersucht zu werden.

Um die Wurzeln von dem Boden zu trennen, werden diese probenweise, durch Siebe unterschiedlicher Gittergrößen mittels Wasser ausgespült und händisch entnommen. Da für die Forschung nur die Masse der Feinwurzeln analysiert soll, werden lediglich Wurzeln mit einem Durchmesser kleiner/gleich zwei Millimeter berücksichtigt. Die Wurzeln werden zum Schluss noch einmal unter fließendem Wasser gereinigt, nach Proben sortiert in Aluminiumbehälter gegeben und entsprechend beschriftet. Diese Proben werden im Trockenschrank bei 105°C auf die absolute Trockenmasse getrocknet und anschließend mit einer Feinwaage gewogen (Bestimmung des Gewichtes bis auf 100 mg genau). Aus den so ermittelten Wurzelmassen kann die gesamte Wurzelmasse pro Hektar und je Bodenschicht (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) errechnet werden. Hierfür wird das jeweils ermittelte Wurzelgewicht mit dem Faktor 250.000 multipliziert, da die Stechrahmengrundfläche von 400 cm<sup>2</sup> (= 0,04 m<sup>2</sup>) 1/250.000 von einem Hektar (10.000 m<sup>2</sup>) entspricht (Methode angelehnt an Rothe, 1997).

Die folgende Grafik zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Feinwurzeluntersuchung von Fichte, Tanne, Buche und Bergahorn auf Lösslehmböden in Fuchstal,

die von der studentischen Projektwoche im September 2022 erhoben wurden. Besonders deutlich wird hier der Unterschied zwischen Bergahorn und Fichte.

In allen Tiefenstufen weist der Bergahorn hier ein Vielfaches der Fichte auf.

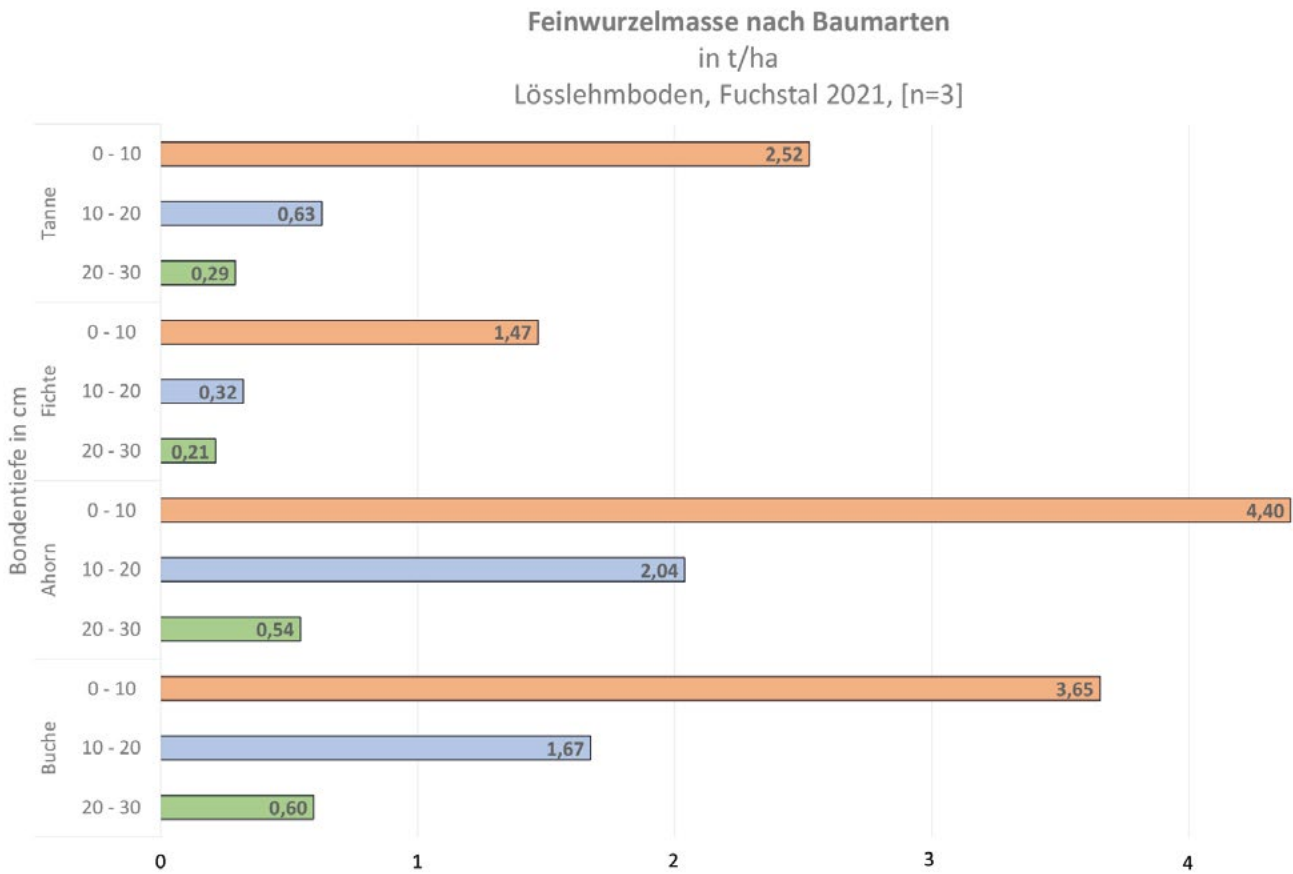


Abbildung 46: Feinwurzeluntersuchungen auf Lösslehm Boden

## 8.4 Bestimmung der Oberirdischen Biomasse

### Material

Motorsäge, Schutzausrüstung (PSA), Handsäge, Rosenschere, Schälisen, Waage, Trockenschrank, Kübel, Mörtelwanne, Bagger, Auto mit Anhänger

### Ablauf

Hierfür wird jeweils ein Grundflächenmittelstamm jeder Baumart entnommen, der über die Klappung der einzelnen Bestände ermittelt wird. Um eine bessere altersspezifische Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden Bestände ausgewählt, die etwa das gleiche Alter aufweisen. Alle vier Bäume werden in die einzelnen Kompartimente (Äste, Blätter/Nadeln, Rinde, Stammholz) zerlegt.

Die einzelnen Kompartimente werden gewogen, um das Gewicht des gesamten Baumes zu bestimmen. Durch die Trocknung von Probestücken der einzelnen Kompartimente im Trockenschrank bei 104°C kann die Trockenmasse des Grundflächenmittelstammes ermittelt werden. Durch eine Bestandsaufnahme, die durch die Zählung aller Bäume auf einer Fläche

von 200 m<sup>2</sup> erfolgt, kann über die Trockenmasse des durchschnittlichen Baumes die Wuchsleistung und die Biomassebereitstellung je Hektar berechnet werden. Aus diesen Ergebnissen lässt sich die mögliche Menge Holz bestimmen, die geerntet werden kann bzw. die als Biomasse im Wald verbleibt und zum langfristigen Kohlenstoffspeicher im Boden, sowie der Bildung von Humus und lebendigen Böden beiträgt.

## 8.5 Bestimmung der Unterirdischen Biomasse

### Material

Minibagger, Auto mit Anhänger, Waage, Trockenschrank, Motorsäge, Schaufel, Spanngurte und diverses Zubehör, Hochdruckreiniger

### Ablauf

Zur Bestimmung des Anteils an Grobwurzeln der Baumarten werden mit Hilfe eines Minibaggers die Wurzelstöcke der Bäume ausgegraben. Dabei ist darauf zu achten, dass möglichst wenig Wurzeln abgerissen werden. Die Wurzelstöcke können per Autoan-

hänger zum örtlichen Bauhof transportiert und mit einem Hochdruckreiniger möglichst weitgehend von Bodenresten befreit werden. Das so freigelegte Wurzelsystem wird mit einer Kranwaage gewogen. Die

Trockenmasse wird mit Hilfe des Trockenschanks bestimmt und in die Hochrechnungen zur Biomasseleistung je Hektar und Jahr integriert.

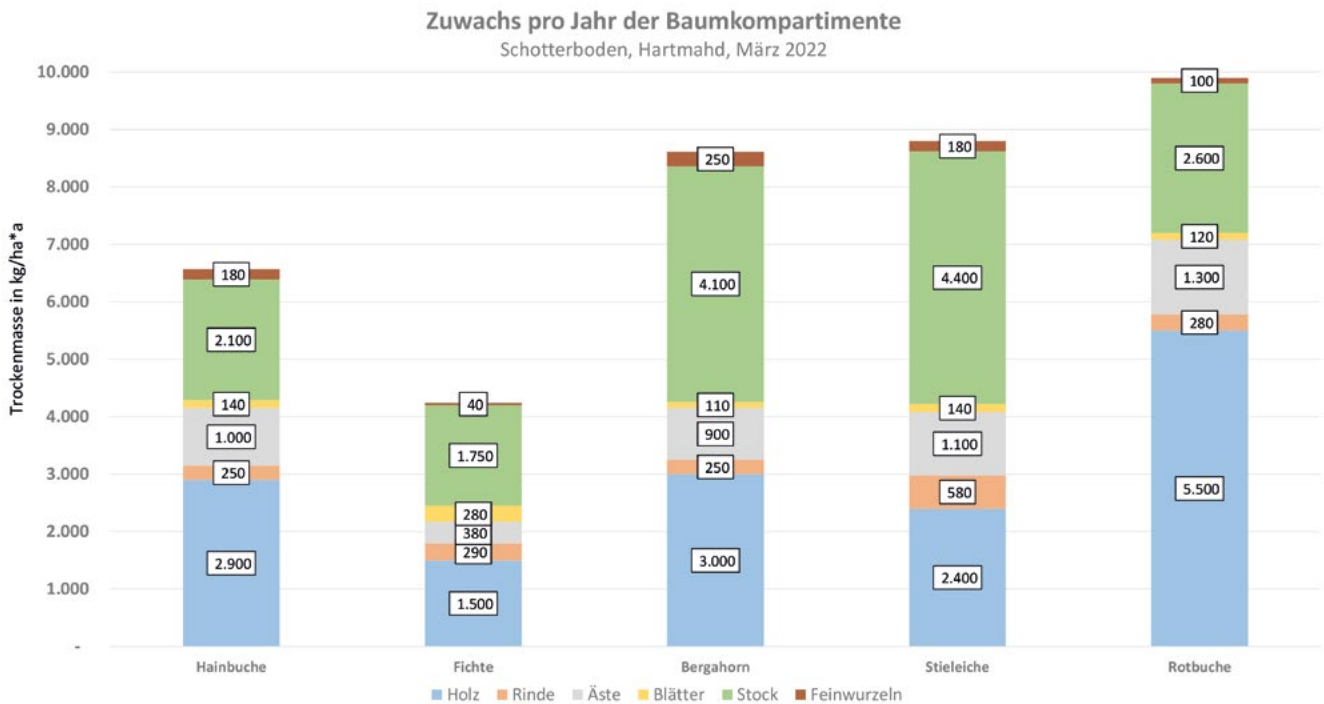


Abbildung 47: Gesamtwuchsleistung verschiedener Baumarten (Hainbuche, Fichte, Bergahorn, Stieleiche und Rotbuche) aufgeteilt in ihre einzelnen Kompartimente

## 8.6 Berechnung der Kühlfunktion

Zur Berechnung der Kühlleistung von Wäldern werden wissenschaftlich erhobene Daten vom Thünen Institut herangezogen. Diese weisen Verdunstungswerte von 40.000 - 60.000 Liter Wasser pro Hektar an warmen Sommertagen aus (bei ausreichender Wasserversorgung des Bodens) errechnet. Im gesamten Jahr belüftet sich die Verdunstung auf etwa 4 Mio. Liter pro Hektar.

Die Verdunstung von einem Liter Wasser benötigt 0,7 kWh Energie. Für die Verdunstung von 4 Mio. Liter Wasser werden also 2,8 Mio. kWh Wärmeenergie je Hektar der Umwelt entzogen und kühlen dadurch aktiv die Landschaft. Bei einem angenommenen Strompreis von 0,35 €/kWh (Stand: Juli 2023) wird hier eine Kühlleistung im Gegenwert von rund 1 Mio. Euro pro Hektar und Jahr erbracht. Bei Mischwäldern kann von einer höheren Verdunstungsleistung ausgegangen werden.

## 8.7 Entwicklung der Wasserqualität

Untersuchungen im Trinkwasserschutzgebiet Hartmahd in Landsberg am Lech haben ergeben, dass

das Wasser aus nadelholzreichen Wäldern eine deutlich höhere Nitratkonzentration aufweist (Werte bis 47 mg/l) im Vergleich zu laubholzreichen Wäldern. Hier wurden Höchstwerte von lediglich 7 mg/l gemessen. Der von der EU festgelegte Grenzwert für aufbereitetes Trinkwasser liegt aktuell bei 25 mg/l.

Des Weiteren konnte im Höglwald (seit 40 Jahren Versuchsfläche für bodenökologische Forschungen) belegt werden, dass unter Laubhölzern mehr Grundwasser (41% vom Niederschlag) gebildet wird als unter Nadelwäldern (25% vom Niederschlag). Der größte Teil der höheren Grundwasserneubildung findet im Winter statt, da hier wegen fehlendem Laub mehr Wasser den Boden erreicht. In Nadelwäldern wird dieses Wasser von den Nadeln zurückgehalten und verdunstet.

## 8.8 Trockenstress und Wachstum (Dendrometer)

Für die Messungen des täglichen Zuwachses und zur Erforschung des Verhaltens unter Trockenstress der verschiedenen Baumarten werden Logging Bandendrometer verwendet. Mit diesen Messungen wird eine Beobachtung sowohl der täglichen Schwankungen des Stammgewebes als Reaktion auf kurzzeitige (mikro-) klimatische Änderungen (z.B. Tagesgänge) als auch der Entwicklung des langfristigen Wachstums ermöglicht. Die Geräte werden mittels einer Inf-

rarot Schnittstelle über ein Programm am PC ausgelesen und können direkt als Excel Tabelle exportiert und weiterverarbeitet werden. Im Projektgebiet sind 36 dieser Dendrometer an insgesamt 17 verschiedenen Baumarten auf drei verschiedenen Bodenarten im Betrieb. Durch ihre langfristige Auslegung können

und sollen diese Geräte auch noch weitere Jahre im Einsatz verbleiben. Die untenstehende Grafik zeigt das Wachstumverhalten von Bergahorn und Fichte (etwa 30-jährige Grundflächenmittelstämme) auf Lösslehm Böden im Gemeindegebiet Weil von Mai bis Mitte Juli 2023.

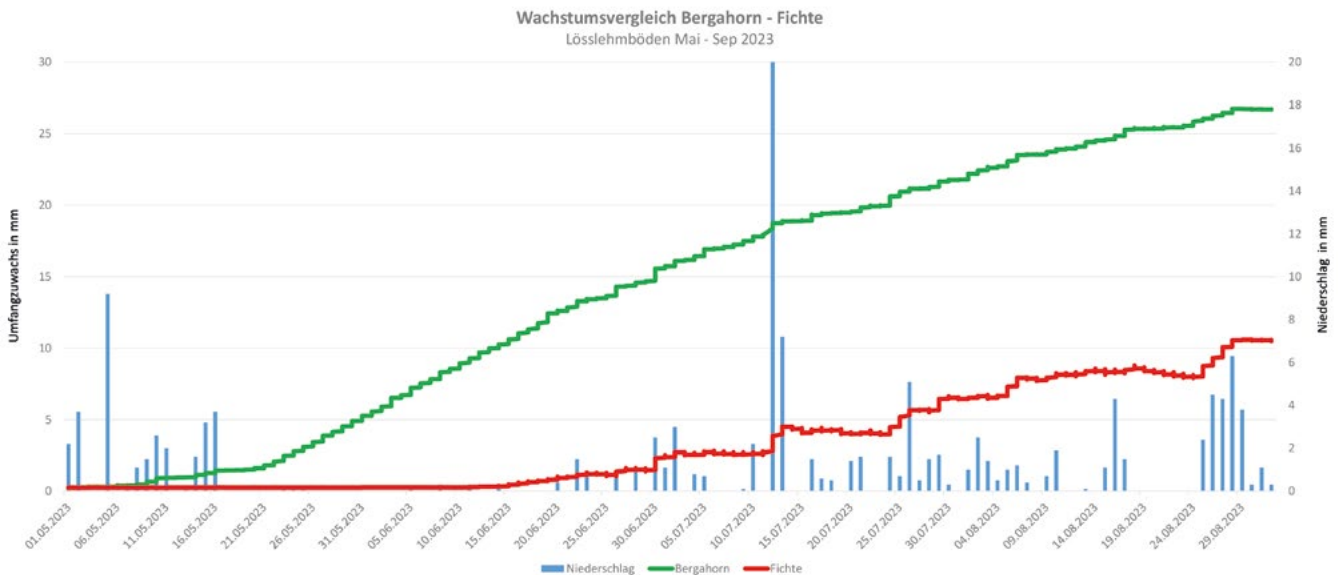


Abbildung 48: Grafische Auswertung der Dendrometermessungen mit Umfangsänderung und Niederschlagsmenge zwischen 01.05.2023 und 10.07.2023

### 8.9 Wärmebildaufnahmen

Mit einer handelsüblichen Wärmebildkamera wurden während einer Projektwoche und innerhalb einer Bachelorarbeit Aufnahmen zur Dokumentation der Kühl- und Pufferleistung von Bäumen gemacht. Dabei wurde vor allem ein Fokus auf Heißtage (meteorologische – klimatologische Bezeichnung für Tage mit Höchsttemperaturen über 30°C) gelegt, da hier die

Kühlleistung besonders bedeutsam ist. Aber auch vergleichbare Messungen an Frosttagen wurden so dokumentiert. Die untenstehenden Abbildungen zeigen, wie die Bäume durch das enthaltene Wasser als Puffer wirken. Nachts sind sie der wärmste Punkt im Wald und tagsüber der kühlfste. Die wissenschaftliche Quantifizierung und Bewertung der Wirkung dieser Puffer- und Kühlfunktion von Wäldern steht noch am Beginn.

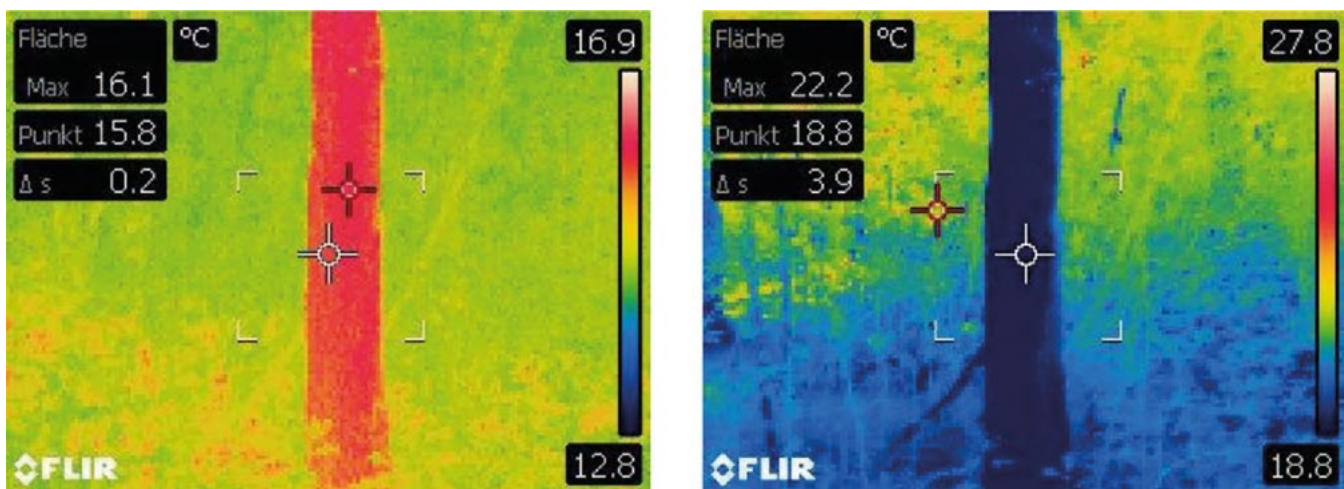


Abbildung 49: Thermographische Aufnahmen einer Stieleiche am 04.07.2022 um 5:30 Uhr (links) und um 17:30 Uhr (rechts) (Quelle: Bachelorarbeit, Niclas Wenisch)

## 8.10 Streukästen

Verschiedene Streuarten werden durch Bodenorganismen unterschiedlich schnell zersetzt und dem Nährstoffkreislauf des Bodens wieder zugeführt. Um Aussagen über die zeitlichen Zersetzungszeiträume

zu bekommen, wurden Streukästen verwendet. Ein Streukasten ist ein aus Holz gefertigter Kasten mit fünf Abteilungen und einem Deckel mit einem Metallgitter, das vor ungewünschtem Eintrag schützt (siehe Abbildung 50).



Abbildung 50: Streukästen befüllt mit Streu der Fichte, Tanne, Buche, Eiche und Bergahorn (von links nach rechts) (Quelle: Eigene Aufnahme)

Jedes Abteil ist 50 x 50 cm (0,25 m<sup>2</sup>) groß. Befüllt werden die Abteile mit jeweils zehn Litern Streu. Rechnerisch entsteht damit eine Streuhöhe von etwa 4 cm. Ein wissenschaftlich begleitetes Experiment wurde

auf der Versuchsfläche des Energiewaldes der HSWT auf Auenboden durchgeführt. Es wurde die Streu von Pappel, Ahorn, Eiche, Fichte und Buche untersucht. Im Folgenden sind die Ergebnisse dargestellt.



Abbildung 51: Streukästen im Herbst 2021 mit Laub vom Winter 20/21 von Pappel, Ahorn, Eiche, Buche und Fichte (Quelle: Eigene Aufnahme)

Während das Laub von Pappel und Ahorn auf dem regenwurmreichen Auenboden (Größenordnung 500 Regenwürmer pro m<sup>2</sup>) schon innerhalb eines Jahres weitgehend umgesetzt ist (Humusform Mull), wird die

Streu von Eiche, Buche und Fichte kaum umgesetzt. Auf Dauer würde bei diesen Baumarten die Humusform Moder entstehen (und das trotz der vielen Regenwürmer auf der Versuchsfläche!).

## 8.11 Generationenvertrag

Einhaltung des Generationenvertrags: Konsequenzen und Folgerungen für den Wald und die Forstwirtschaft

### Was ist das Ziel des Generationenvertrags?

Die Leistungen für Gesundheit, Wohlergehen und Lebensqualität sollen für kommende Generationen erhalten, wenn möglich verbessert werden.

### Wie steht es um die Umwelt?

Klima, Böden, Vegetation und Wasserkreisläufe befinden sich häufig auf einem unbefriedigenden, niedrigen Niveau und sind unter diesen Bedingungen nicht nachhaltig bewirtschaftet.

Dies führt zu einer spürbaren Verschlechterung der lebenswichtigen Leistungen. Wegen der starken Veränderungen der Wachstumsbedingungen in Form von extremer Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme in der Vegetationszeit (von 1950 bis 2050) und des schlechten Zustandes der Waldböden sind eine schnelle Transformation und Anpassung in Deutschland und Europa auf großen Flächen zwingend erforderlich.

### Was sind die notwendigen Konsequenzen in der Forstwirtschaft?

Die Naturgesetze müssen die Grundlage unseres Handelns bilden und die Anpassung an die veränderten Bedingungen schnell erfolgen. Die Systemleistungen der Ökosysteme müssen in den Fokus kommen und die oberste Priorität erhalten. Wirtschaftlicher Erfolg darf nicht zulasten der Natur gehen.

Erstes Ziel der Forstwirtschaft der Zukunft müssen daher der Erhalt und die Verbesserung der wichtigen Ökosystemleistungen werden:

- Saubere Luft
- Lokale Kühlung durch Verdunstung
- Hochwertiges Trinkwasser durch Wasserfilterung des Waldbodens
- Natürlicher Hochwasserschutz

### Was kann speziell in Bezug auf die Minderung der Hitzewellen getan werden?

Durch hohe Verdunstung in der Vegetationszeit, welche auch kurz geschlossene Wasserkreisläufe auf lokaler und regionaler Ebene nährt, kann eine lokale Klimakühlung erfolgen. Dies muss zukünftig Priorität vor der Produktion von Nadelholz haben.

### Wie genau können laubholzreiche Dauerwälder hier helfen?

Nur hochproduktive Dauerwälder garantieren einen hohen, jährlichen Biomassezuwachs, welcher für eine hohe Kühlleistung sorgen kann. Sind zudem viele regenwurmfördernde Baumarten vertreten, findet eine kontinuierliche Bodenverbesserung statt.

### Was kann die Gesellschaft beitragen?

Ohne gesellschaftliche Anerkennung und monetäre Inwertsetzung der unersetzlichen Ökosystemleistungen wird der notwendige Waldumbau nicht geordnet und rechtzeitig erfolgen können. In den Ausbau von resilienten, leistungsfähigen und angepassten Wäldern zu investieren, ist absolut sinnvoll und verhindert, dass Ökosysteme geschwächt werden oder sogar kollabieren. Falls dies geschieht, sind noch deutlich größere Investitionen vonnöten.

### Wie kann eine waldfreundliche Jagd dem Zukunftswald helfen?

Niedrige Schalenwildbestände sind mehr denn je zwingend erforderlich. Die notwendigen Baumarten (Laubholz, Tanne, neue wärmetolerante Baumarten) müssen ohne Schutzmaßnahmen auch in von der Natur gegebenen Einzelmischungen auf ganzer Fläche anwachsen können.

### Wie kommt die Zukunftswaldprämie ins Spiel?

Die Beurteilung des Erfolgs von Forstbetrieben darf nicht mehr nur auf Holzerlöse reduziert werden, sondern muss auf die Güte der Ökosystemleistungen seiner Wälder erweitert werden. Mit einer Zukunftswaldprämie für angepasste Dauerwälder und einem Belohnungssystem für hochwertiges Trinkwasser sind neue Konzepte vorhanden, die schnell auf großer Fläche umgesetzt werden können und müssen. Durch eine solche Prämie werden Waldbesitzer in ihrem Waldumbau entscheidend unterstützt und motiviert.

Ludwig Pertl

Der Autor war von 1978 bis 2017 Revierleiter im Landkreis Landsberg am Lech und arbeitet im Projekt LIFE Future Forest in seinem ehemaligen Revier. Ein wichtiges Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer Zukunftswaldprämie, die die Gemeinwohllleistungen des Waldes in Wert setzt. Für sein langjähriges Engagement beim Waldumbau, zur Vitalisierung von Waldböden und für Trinkwasserschutzwald erhielt er 2022 den Sonderpreis „Nachhaltigkeit Wald“.



