

Die Klimaleistungen von Wald und Holz in der Schweiz

Aktualisierte Erkenntnisse zu den Klimaleistungen von Wald und Holz
heute und in den nächsten Jahrzehnten



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Die Klimaleistungen von Wald und Holz in der Schweiz

Aktualisierte Erkenntnisse zu den Klimaleistungen von Wald und Holz
heute und in den nächsten Jahrzehnten

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Projektleitung

Nele Rogiers, Abteilung Wald (BAFU)

Projektteam

Christian Aebischer, Marjo Kunnala, Nele Rogiers, Oliver Wolf (Abt. Wald, BAFU); Nicklas Forsell (International Institute for Applied Systems Analysis IIASA); Beat Rihm (Meteotest); Golo Stadelmann, Esther Thürig (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL); Frank Werner (Umwelt & Entwicklung)

Fachliche Begleitgruppe BAFU

Roberto Bolgè, Claudio de Sassi, Clémence Dirac, Robert Jenni, Michael Husstein, Alfred Kammerhofer, Michael Reinhard, Regine Röthlisberger, Andreas Schellenberger, Timothy Thripleton

Mit Dank an

Stefan Beyeler, Keith Anderson, Sabine Augustin, Daniela Jost, Aline Knoblauch, Achim Schafer (BAFU-Abteilung Wald, Bern); Edouard Davin (Wyss Academy for Nature, University of Bern); Daniel Landolt, Aline Hänggli (INTERFACE Politikstudien Forschung Beratung AG, Luzern) sowie alle Teilnehmenden der beiden KWHS-Workshops.

Konzeption und Redaktion

OECOCOM, Biel: Beat Jordi, Kaspar Meuli
(Projektverantwortliche), Nicolas Gattlen, Gregor Klaus

Grafik

Laurence Rickett, Firstbrand

Layout

Funke Lettershop AG

Titelbild

Bäume entziehen der Atmosphäre Kohlendioxid. Wird ihr Holz als Baumaterial genutzt, bleibt das Treibhausgas über Jahrzehnte gespeichert. Zudem werden dadurch Baustoffe mit einer deutlich höheren Klimabelastung substituiert.

© Beat Jordi, OECOCOM

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uw-2511-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2025

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	
<hr/>		
Vorwort	7	
<hr/>		
1 Wald und Holz beeinflussen das Klima gleich mehrfach	9	
1.1 Die 3S-Klimaleistungen von Wald und Holz	9	
1.2 Verwendete Arbeitsgrundlagen	11	
<hr/>		
2 Neue wissenschaftliche Grundlagen zu den Klimaleistungen von Wald und Holz	13	
2.1 Ansatz der KWHS-Studie	14	
2.2 Szenarien im Vergleich	14	
2.3 Verknüpfung mehrerer Berechnungsmodelle	16	
2.4 Wichtige Ergebnisse der KWHS-Studie	18	
2.5 Die Grenzen der Aussagekraft	28	
2.6 Unsichere Entwicklung der Klimaleistungen	28	
2.7 Biogeophysikalische Einflüsse des Waldes auf das Klima	30	
<hr/>		
3 Sichern der CO₂-Sequestrierung im Wald	33	
3.1 Einflussfaktoren für die CO ₂ -Sequestrierung	35	
3.2 Anrechnungssystem der Klimaleistungen von Wald und Holz	36	
3.3 Aktuelle Waldentwicklung und neueste Erkenntnisse aus dem LFI5	36	
3.4 Der Klimawandel verschärft die Risiken im Wald	38	
3.5 Zwingende Anpassung des Waldes an den Klimawandel	39	
3.6 Weitere Hindernisse und Herausforderungen	40	
3.7 Waldpolitische Steuerungsinstrumente	40	
<hr/>		
4 Holzprodukte vermehrt und länger einsetzen	43	
4.1 Die C-Speicherung in Holzprodukten	44	
4.2 Holz ersetzt klimabelastende Werkstoff und Energieträger	45	
4.3 Die materielle Holzverwendung stärken	45	
4.4 Die lokale Wertschöpfung fördern	46	
4.5 Ausrichtung auf veränderte Holzsortimente	46	
4.6 Vorteile der Kaskadennutzung	47	
4.7 Neue Impulse	48	
<hr/>		
5 Zusammenfassung	51	
5.1 Kernaussagen der KWHS-Studie	51	
5.2 Schlussfolgerungen	52	
5.3 Grenzen der Aussagekraft bei der Quantifizierung der 3S-Klimaleistungen	53	
<hr/>		
6 Glossar	54	
<hr/>		
Quellenverzeichnis	59	

Abstracts

Forests and wood provide the so-called 3S climate services : sequestration of carbon dioxide in the forest, carbon storage in wood products and the use of wood to substitute more emission-intensive products and fossil fuels. The FOEN's KWHS project shows that 3S in Switzerland can only be strengthened if an integral approach is taken to all forest services and wood utilisation in the future. Central to this are close-to-nature silviculture, a multifunctional forest ecosystem and an efficient forestry and timber industry.

Wald und Holz erbringen die als 3S bezeichneten Klimaleistungen. Sie umfassen die Sequestrierung von Kohlendioxid im Wald, die Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten sowie die Substitution von emissionsintensiveren Produkten und fossilen Energieträgern durch Holz. Das KWHS-Projekt des BAFU zeigt auf, dass sich die 3S in der Schweiz nur stärken lassen, wenn künftig alle Waldleistungen sowie die Holzverwertung integral betrachtet werden. Zentral sind dabei ein naturnaher Waldbau, ein multifunktionales Waldökosystem sowie eine leistungsfähige Wald- und Holzwirtschaft.

La forêt et le bois fournissent des prestations climatiques, appelées les « 3S » : la séquestration du dioxyde de carbone dans la forêt, le stockage du carbone dans les produits en bois et la substitution du bois à des agents énergétiques fossiles et à des produits ayant générés plus d'émissions. Le projet KWHS de l'OFEV montre que le renforcement des 3S en Suisse est possible uniquement si, à l'avenir, toutes les prestations forestières et la valorisation du bois sont prises en compte de manière intégrale. Dans ce contexte, une sylviculture proche de la nature, un écosystème forestier multifonctionnel ainsi qu'une économie forestière et une industrie du bois performantes revêtent une importance centrale.

Il bosco e il legno forniscono prestazioni climatiche, note anche come i « tre S » : il sequestro di diossido di carbonio nel bosco, lo stoccaggio di carbonio nei prodotti del legno e la sostituzione di prodotti a elevate emissioni e di vettori energetici fossili con il legno. Il progetto KWHS dell'UFAM mostra che è possibile rafforzare i tre effetti S solo se in futuro tutte le prestazioni del bosco e l'utilizzazione del legno saranno considerate in modo integrale. A tal fine, sono fondamentali una selvicoltura naturalistica, un ecosistema forestale multifunzionale e un'economia forestale e del legno efficiente.

Keywords:

KWHS, forest and wood, climate performance, climate services, 3S, adaptation of forests to climate change, wood products, cascade use

Stichwörter:

KWHS, Wald und Holz, Klimaleistungen, 3S, Anpassung des Waldes an den Klimawandel, Holzprodukte, Kaskadenutzung

Mots-clés:

KWHS, forêt et bois, prestations climatiques, 3S, adaptation de la forêt aux changements climatiques, produits en bois, utilisation en cascade

Parole chiave:

KWHS, bosco e legno, prestazioni climatiche, tre effetti S, adeguamento del bosco al cambiamento climatico prodotti del legno, utilizzazione a cascata

Vorwort

Mit der Annahme des Klima- und Innovationsgesetzes hat die Schweizer Stimmbevölkerung im Jahr 2023 ein klares Zeichen gesetzt: Die Schweiz verpflichtet sich, bis 2050 das Netto-Null-Ziel zu erreichen. Das bedeutet, dass ab diesem Zeitpunkt nicht mehr Treibhausgase ausgestossen werden dürfen, als natürliche und technische Speicher aufnehmen können. Es ist ein ambitioniertes Ziel – und eines, welches uns alle betrifft.

Doch wie sieht der konkrete Weg dorthin aus? Und welche Rolle spielen dabei der Wald und die Ressource Holz? Gerade in einem Land wie der Schweiz, in dem Wälder rund ein Drittel der Landesfläche bedecken, sind diese Fragen von zentraler Bedeutung. Die nachhaltige Waldbewirtschaftung und die klimaschonende Verwendung von Holz können einen wichtigen Beitrag leisten – nicht nur als Kohlenstoffspeicher, sondern auch als Ersatz für emissionsintensive Materialien und Energieträger.

Gleichzeitig steht unser Wald selbst unter Druck: Der Klimawandel verändert die Wachstumsbedingungen, fördert neue Risiken und stellt die Waldbewirtschaftung vor grosse Herausforderungen. Es stellt sich daher nicht nur die Frage, welchen Beitrag Wald und Holz künftig leisten können – sondern auch, unter welchen Voraussetzungen diese Leistungen langfristig gesichert und gar ausgebaut werden können.

Die vorliegende Publikation geht diesen Fragen auf Basis der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse nach. Sie beleuchtet, wie sich verschiedene Formen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung auf die Klimaleistungen im Inland auswirken und ordnet die Resultate in einen breiteren wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Kontext ein. Zudem werden Handlungsoptionen aufgezeigt, wie diese Klimaleistungen erhalten, gestärkt und gezielt gefördert werden können.

Denn eines ist klar: Der Beitrag des Waldes und der Holzverwendung sind wichtig für die Erreichung des Netto-Null-Ziels. Lasst uns gemeinsam Wege finden, diese natürlichen Ressourcen klug und verantwortungsvoll zu nutzen – für den Klimaschutz, für die kommenden Generationen und für eine nachhaltige Zukunft.

Paul Steffen, Stellvertretender Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)



Stufiger Mischwald.
Foto: Marjo Kunnala

Die Klimaleistungen von Wald und Holz im Überblick

1 Wald und Holz beeinflussen das Klima gleich mehrfach

Die Auswirkungen von Wald und Holz auf das Klima sind relevant und vielfältig. Im Vordergrund stehen dabei drei Klimaleistungen: Die Sequestrierung von Kohlendioxid im Wald, die Speicherung von Kohlenstoff in langlebigen Holzprodukten und schliesslich die Substitution von klimabelastenden Werkstoffen und fossilen Energieträgern durch Holz und Holzprodukte. Eine neue Studie im Auftrag des BAFU liefert wichtige Entscheidungsgrundlagen, um die Klimaleistungen von Wald und Holz zu stärken. Letztere sind zwingend gesamthaft und integral zu betrachten.

Die unterschiedlichen Mechanismen, welche den Treibhauseffekt beeinflussen, wirken im Wald und beim Einsatz von Holz auf komplexe Weise zusammen.

1.1 Die 3S-Klimaleistungen von Wald und Holz

Erstens wandeln Pflanzen Kohlendioxid (CO_2) aus der Atmosphäre durch die Photosynthese in Kohlenstoff um. Diesen speichern sie in der lebenden ober- und unterirdischen Biomasse, im Totholz, der Streu sowie im organischen und mineralischen Boden. Zweitens kann der Kohlenstoff nach der Holzernte für lange Zeit in Holzprodukten wie Konstruktionsholz, Brettschichtholz, Brettsperrholz, Spanplatten, Faserplatten und weiteren Holzwaren gebunden bleiben. Drittens wird fossiler Kohlenstoff substituiert, wenn Holz anstelle energieintensiver Materialien wie Zement, Stahl und Kunststoffen oder fossiler Brennstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle verwendet wird.

Die als 3S bezeichneten Klimaleistungen (siehe Abbildung 1) von Wald und Holz haben einen direkten oder indirekten Einfluss auf die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre. Darunter fallen die CO_2 -Sequestrierung im Wald, die C-Speicherung in Holzprodukten sowie die materielle und energetische Substitution von kohlenstoffintensiveren Produkten.

- CO_2 -Sequestrierung im Wald: Sie umfasst alle Prozesse von der CO_2 -Aufnahme aus der Atmosphäre bis zur Speicherung als C in der lebenden ober- und unterirdischen Biomasse, im Totholz, in der Streu sowie im Waldboden. In diesem Bericht wird der Begriff als Netto- CO_2 -Sequestrierung verwendet, berechnet als Differenz aus der aufgenommenen Menge an CO_2 und

der freigesetzten Menge an CO_2 , CH_4 und N_2O . Er entspricht damit der CO_2 -Bilanz des Waldes, angegeben in der Einheit CO_2 -Äquivalente (CO_2e).

- C-Speicherung in Holzprodukten: In diesem Bericht wird der Begriff als Netto-C-Speicherung verwendet, berechnet als Bilanz der jährlichen Zu- und Abflüsse von C im Holzprodukte-Pool.
- Substitution: materielle Substitution von Produkten, deren Herstellung emissionsintensiver ist, und energetische Substitution von fossilen Energieträgern durch Holz.

Eine Klimaleistung kann negativ sein (Netto- CO_2 -Aufnahme) oder positiv (Netto- CO_2 -Freisetzung). Alle 3S beeinflussen das Netto-Null-Ziel der Schweizer Klimapolitik.

Allerdings stellen die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald und folglich auch auf die Holzverwendung einen erheblichen Unsicherheitsfaktor dar, denn die Veränderungen geschehen so rasch, dass unklar ist, ob der Wald die erwünschten Waldleistungen – und damit auch die Klimaleistung – wie bis anhin erbringen kann.

Die Anpassung des Waldes an den Klimawandel sowie eine naturnahe, nachhaltige, angepasste und zukunftsgerichtete Waldbewirtschaftung und Holzverwendung sind Grundvoraussetzungen, um die Klimaleistung von Wald und Holz langfristig zu erhalten. Die Biodiversität des Waldes – im umfassenden Sinn der genetischen Vielfalt

sowie des Arten- und Strukturreichtums – bildet dabei die zentrale Basis für die Funktionalität und Resilienz des Ökosystems Wald. Sie verspricht eine hohe Regenerationsfähigkeit und bietet die beste Absicherung gegen biotische und abiotische Schäden.

Der Wald hat nicht nur einen Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf. Durch seine besonderen biogeophysikalischen Eigenschaften trägt er ebenfalls zu klimarelevanten Effekten bei (siehe Kapitel 2.7). Diese betreffen unter anderem den Strahlungshaushalt in Form einer Rückstrahlung durch den Albedo-Effekt sowie das beeinflusste Wasserregime infolge der Verdunstungseffekte durch Evapotranspiration.

Die 3S-Klimaleistungen wirken sich auf sehr unterschiedliche Weise auf das Klima aus. Sie beeinflussen die Treibhausgasbilanz nicht nur über das CO₂, sondern auch über andere Treibhausgase wie Methan (CH₄) oder Lachgas (N₂O).

Um die Wirkung der 3S-Klimaleistungen miteinander vergleichen zu können, wird die gleiche Einheit «CO₂-Äquivalente» verwendet.

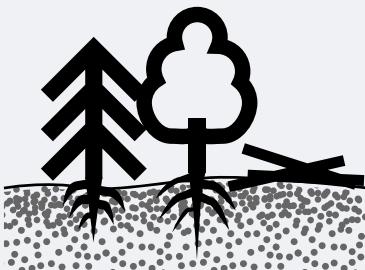
Was sind CO₂-Äquivalente?

Wenn Wälder brennen oder organische Waldböden drainiert werden, entweichen – neben dem mengenmäßig wichtigsten Treibhausgas Kohlendioxid – auch weitere klimarelevante Gase wie Methan und Lachgas in die Atmosphäre. Weil diese Gase nicht im gleichen Ausmass zum Treibhauseffekt beitragen und auch unterschiedlich lange in der Atmosphäre verbleiben, hat das Fachgremium IPCC der UNO ihr jeweiliges globales Erwärmungspotenzial über einen Zeitraum von üblicherweise 100 Jahren bestimmt. Mit den CO₂-Äquivalenten wurde ein gemeinsamer Nenner definiert, der die Wirkung verschiedener Gase in Relation zum Kohlendioxid setzt und gleichwertig in diese Einheit umrechnet.

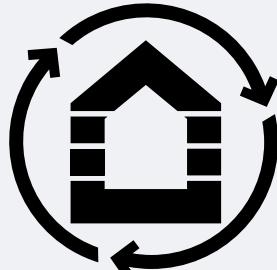
Abb. 1: Die 3S-Klimaleistungen von Wald und Holz und ihre Grundvoraussetzungen

Biodiversität der Waldökosysteme, Anpassung an den Klimawandel und Multifunktionalität. In den 3S sind die biogeophysikalischen Eigenschaften des Waldes nicht enthalten.

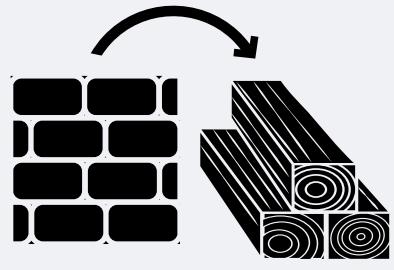
CO₂-Sequestrierung
im Wald



C-Speicherung
in Holzprodukten



Substitution
materielle und energetische



1.2 Verwendete Arbeitsgrundlagen

Ausgangspunkt dieser BAFU-Publikation ist die technische Studie «Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz (KWHS)¹». In ihrem Rahmen liess das BAFU die Effekte der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung auf die 3S-Klimaleistungen von Wald und Holz wissenschaftlich modellieren. Im Zentrum des Forschungsprojekts stand die Frage, wie die 3S die Treibhausgasbilanz in der Schweiz und auch im Ausland künftig beeinflussen und durch welche Massnahmen sich der Beitrag der Sektoren Wald und Holz an den Klimaschutz verbessern lässt.

Die vorliegende Publikation diskutiert diese und weitere Aspekte in einem grösseren Zusammenhang. Sie stellt nicht nur die Klimaleistungen von Wald und Holz unter verschiedenen Szenarien dar, sondern beleuchtet auch damit verbundene Chancen und Risiken sowie die relevanten Politiken beider Sektoren im Hinblick auf die klimatischen und weiteren künftigen Veränderungen.

Grundlage dieser Publikation sind der technische Bericht der KWHS-Studie¹, sowie diverse weitere Quellen.

Darunter finden sich unter anderem eine wissenschaftliche Untersuchung über die biogeophysikalischen Klimafolgen durch die Waldbewirtschaftung². Verwendung fand zudem eine Einbettung der Resultate der KWHS-Studie in den wirtschaftlichen und politischen Kontext durch das Kompetenzzentrum für Evaluation, Forschung und Beratung Interface. Ebenfalls miteinbezogen wurde eine Reflexion über die KWHS-Studie, die Schlussfolgerungen zur Stärkung der Klimaleistungen durch die Schweizer Waldbewirtschaftung und Holzverwendung aus Sicht des BAFU ableitet.

Die mittlerweile vorliegenden Zwischenergebnisse des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI5) waren noch nicht verfügbar, als die Berechnungen der KWHS-Szenarien erfolgten. Deshalb fanden sie auch keinen Eingang in die Modellierungsarbeiten der technischen Studie. Die entsprechenden Resultate und Erkenntnisse des LFI5 sind jedoch in den Folgearbeiten für die Einbettung und Reflexion berücksichtigt. Weitere Beachtung fanden bei diesen Arbeiten unter anderem der Bericht des Bundesrates zur «Anpassung des Waldes an den Klimawandel»⁵ sowie Überlegungen zu einer Integralen Wald- und Holzstrategie 2050 (IWHS 2050)⁶, die der Bund gegenwärtig erarbeitet.



Vermessung von Bäumen im Rahmen des 5. Landesforstinventars.
Foto: Barbara Allgaier Leuch/WSL

Die Klimaleistungen von Wald und Holz unter verschiedenen Szenarien

2 Neue wissenschaftliche Grundlagen zu den Klimaleistungen von Wald und Holz

Gemessen an den C-Mengen im Schweizer Wald mutet der in Holzwaren gebundene Kohlenstoff eher bescheiden an. Dies hängt auch damit zusammen, dass hierzulande nur etwa 15 Prozent des Kohlenstoffs aus gefällten und abgestorbenen Bäumen in langlebige Holzprodukte gelangen. Weil die erneuerbare Ressource Holz Werkstoffe und fossile Energieträger mit einer hohen CO₂-Intensität ersetzt, ist ihr Beitrag zum Klimaschutz durch diese Substitutionseffekte freilich bedeutender, als es die blassen C-Speichermengen vermuten lassen. Wie die in der wissenschaftlichen KWHS-Studie durchgespielten Szenarien zeigen, verbessert sich die Klimabilanz, wenn Holz vermehrt materiell genutzt wird und vor einer Verbrennung mehrere Produktzyklen durchläuft. Aus wirtschaftlichen Gründen geht eine gesteigerte Holznachfrage im Inland allerdings nicht automatisch mit einer stärkeren Nutzung der einheimischen Wälder einher.

Die als 3S bezeichneten Klimaleistungen von Wald und Holz (siehe Abbildung 1) stehen nicht isoliert da. So sorgen die Wälder unter anderem für sauberes Wasser und gute Luft. Sie bieten Lebensräume für eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten und schützen an Hanglagen vor Steinschlag, oberflächennahen Erdrutschen oder Lawinen. Zudem dienen sie als wichtige Erholungsgebiete für den Menschen und schaffen durch die natürliche Produktion des erneuerbaren Rohstoffs Holz zehntausende von Arbeitsplätzen. Wälder bilden damit vor allem in ländlichen Regionen eine bedeutende wirtschaftliche Grundlage für die Bevölkerung. Angesichts dieser vielfältigen Leistungen zeigt sich klar, dass Wälder nicht nur dem Klimaschutz dienen sollen.

Die Klimaleistungen von Wald und Holz müssen als Ganzes gesehen werden. Gefragt sind deshalb kohärente Lösungsansätze, die das Gesamtsystem stärken. Grundvoraussetzungen für deren erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung bilden ein dem Klimawandel angepasster

naturnaher Waldbau, ein multifunktionales Waldökosystem mit hoher Biodiversität sowie eine leistungsfähige Wald- und Holzwirtschaft. Aus ganzheitlicher Sicht kommt der integrativen Biodiversitätsförderung sowie der Nutzung von Synergien zwischen ihr und den Klimaleistungen eine zunehmend wichtige Rolle zu.

Bei der Beurteilung der Klimaleistungen in einem breiteren waldbpolitischen und klimapolitischen Kontext ist unter anderem entscheidend, ob man die Effekte nur in der Schweiz oder global betrachtet. Ein erweiterter Betrachtungsrahmen muss auch die Importe und Exporte von Holz und Holzprodukten miteinbeziehen.

Es gilt, die vielfältigen Leistungen des Waldes möglichst gut aufeinander abzustimmen. Die Integrale Wald- und Holzstrategie 2050 (IWHS 2050) des Bundes skizziert, wie sich die verschiedenen Ansprüche im Zeithorizont bis 2050 am besten miteinander vereinbaren lassen.

2.1 Ansatz der KWHS-Studie

Im Rahmen des KWHS-Projekts hat das Fachteam für verschiedene Szenarien folgende Klimaleistungen berechnet (siehe Abbildung 1):

- Effekte auf die CO₂-Sequestrierung im Wald: Hier unterscheidet die Studie zwischen Veränderungen des C-Vorrats im Schweizer Wald und Veränderungen des C-Vorrats im ausländischen Wald durch veränderte Importe oder Exporte von Holz und Holzprodukten.
- Effekte auf die C-Speicherung in Holzprodukten: Auch hier wird zwischen Veränderungen im C-Vorrat von Halbwaren (harvested wood products HWP) in der Schweiz und im Ausland unterschieden. Diese Studie wendet die Anrechnungsregeln des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) zu Holzprodukten an. Das heisst, man hat nur Holzprodukte aus einheimischem Holz als HWP berücksichtigt.
- Substitutionseffekte: materielle und energetische Substitution durch Holz und Holzprodukte.

Die zur Waldbewirtschaftung und Holzverwendung entwickelten Szenarien spiegeln die Konsequenzen von Weichenstellungen in der Waldpolitik und Ressourcenpolitik Holz wider. Dabei sind alle 3S-Klimaleistungen sowohl für die Schweiz als auch für das Ausland quantifiziert. Einerseits bilden die Szenarien die Entwicklung der biogenen Kohlenstoffspeicher im Wald ab, andererseits diejenige in Holzprodukten (HWP). Auch stellen sie die potenziellen Substitutionseffekte dar, welche mit den Veränderungen der Holzverwendung in- und ausserhalb der Schweiz zusammenhängen.

Das KWHS-Projekt ist nicht die erste wissenschaftliche Untersuchung zu den Klimaleistungen von Wald und Holz in der Schweiz. Als Referenzarbeit gilt insbesondere die 2007 vom BAFU veröffentlichte Publikation «CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft – Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz»⁷. Sie nahm ebenfalls eine Abschätzung der Treibhausgaswirkung verschiedener Szenarien der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung vor. Erstmals hat man dabei die drei Klimaleistungen Sequestrierung, Speicherung und Substitution für die Schweiz auf integrale Weise quantifiziert und diskutiert. Allerdings fehlten damals Berechnungen zu den Auswirkungen von Veränderungen in der Waldbewirtschaftung

und Holzverwendung auf die Aussenhandelsstatistik. Damit blieben nicht zuletzt die Effekte auf Wälder im Ausland unberücksichtigt, welche aufgrund eines gestiegenen Imports von Holzwaren in die Schweiz entstehen.

Im Vergleich dazu basiert die KWHS-Studie auf aktuelleren und umfassenderen Daten sowie ausgereifteren Modellen. Dabei berücksichtigt der weiter entwickelte Modellrahmen nun auch die Auswirkungen von Veränderungen in der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung auf den Aussenhandel. Zentral sind dabei die Preise, weil die Beschaffungskosten vorgeben, ob ein Rohstoff aus der Schweiz verwendet oder aus dem Ausland eingeführt wird. Die Preise bestimmen zudem weitgehend darüber, wo die Verarbeitung des nachwachsenden Rohstoffes Holz erfolgt und wo dieser schliesslich zum Einsatz gelangt.

In den vergangenen 15 Jahren haben sich allerdings nicht nur die Möglichkeiten der Modellierung weiterentwickelt, sondern in der Schweiz hat sich auch das ressourcen- und umweltpolitische Umfeld verändert. Dies betrifft unter anderem das klimapolitische Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu senken sowie die Energieperspektiven 2050+⁸ und die «Ressourcenpolitik Holz 2030»⁹ des Bundes. Soweit konkrete Angaben zu diesen Entwicklungen beim Start des KWHS-Projekts im Jahr 2020 verfügbar waren, hat man sie bei der Modellierung berücksichtigt.

2.2 Szenarien im Vergleich

Grundlage der KWHS-Studie bilden Szenarien für die künftige Waldbewirtschaftung, Holzverwendung und -verarbeitung sowie für die Nachfrage nach Holzprodukten und Bioenergie aus Holz. Einem Referenzszenario¹⁰, das die gegenwärtige Entwicklung ohne markante Veränderungen fortschreibt, werden verschiedene Entwicklungsvarianten gegenübergestellt. In dieser Publikation werden von den acht Szenarien aus der technischen Studie¹ fünf ausgewählte Szenarien dargestellt und diskutiert (siehe Abbildung 2). Verglichen mit dem Referenzszenario unterscheiden sie sich vor allem bezüglich der Annahmen zur Art und Intensität der künftigen Waldbewirtschaftung im Inland, zur Nachfrage nach Holzprodukten in der Schweiz sowie zum Holzenergiebedarf. Die Spannbreite ist gross

und reicht von einem weiteren Aufbau an Holzvorräten in den heimischen Wäldern bis hin zu einer Steigerung der Holzverwendung auf das Doppelte der heutigen Mengen.

Der Simulation der Waldentwicklung liegt ein mittleres Klimaszenario (RCP 4.5) zugrunde, das bis 2100 einen globalen Temperaturanstieg von 2,6 °C vorhersagt.

- Das Szenario «Vorratsaufbau» geht vom Ziel aus, die Holznutzung im Vergleich zur Referenzentwicklung

zu reduzieren, um so die Kohlenstoffsenken im Wald zu steigern. Auf nationaler Ebene führt dies innerhalb 100 Jahren zu einem Vorratsanstieg um 56 Kubikmeter pro Hektare auf 413 m³/ha gegenüber dem vierten Schweizerischen Landesforstinventar (LFI4)¹¹, das den Vorrat mit 357 m³/ha beziffert. Das Szenario berücksichtigt sich verändernde Störungsregimes aufgrund des Klimawandels nur begrenzt, da die Quantifizierung unsicher ist.

Abb. 2: Untersuchte Szenarien im KWHS-Projekt mit Fokus Wald oder Fokus Holz. Für jedes Szenario wurden für die Waldbewirtschaftung sowie für die materielle und energetische Holzverwendung entweder Einstellungen beschrieben oder modelliert

Verwendete Abkürzungen: EP2050+: Energieperspektiven 2050+⁸; WWB: Szenario «Weiter wie bisher»; Szenario «ZERO basis»: Entwicklung des Schweizer Energiesystems, bis 2050 mit Netto-Null-Treibhausgasemissionen kompatibel; RPH2030: Ressourcenpolitik Holz 2030¹².

		 Wald-bewirtschaftung	 Materielle Holzverwendung	 Energetische Holzverwendung
	1. Referenzszenario	Vorratsentwicklung gemäss «rezente Waldbewirtschaftung»	Modelliert	EP2050+: WWB
	2. Vorratsaufbau	Erhöhung des Vorrats von 357 m ³ /ha auf 415 m ³ /ha	Ohne Importbeschränkung; Modelliert	EP2050+: ZERO basis
	3. Erhöhte Nutzung	Ernte des verfügbaren Potenzials, wo zugänglich mit einem längerfristigen Vorrat von 328 m/ha	Modelliert	EP2050+: ZERO basis
	4. Erhöhte Nutzung mit Förderung klima-anangepasster Baumarten	wie für 3.; Pflanzung angepasster Baumarten statt natürlicher Verjüngung mit einem längerfristigen Vorrat von 328 m/ha	Modelliert	EP2050+: ZERO basis
	5. Erhöhte Nachfrage materieller Holzverwendung 5_30	Modelliert	RPH2030: +30% Nachfrage für materielle Verwendung	EP2050+: ZERO basis
	6. Deutlich erhöhte Nachfrage materieller Holzverwendung 5_100	Modelliert	RPH2030: +100% Nachfrage für materielle Verwendung	EP2050+: ZERO basis

- Das Szenario «Erhöhte Nutzung» geht von einer gesteigerten Holznutzung an gut erschlossenen Lagen mit einer kostengünstigen Holzernte aus. In weniger gut erschlossenen Wäldern erfolgt ein Vorratsaufbau. Je nach Region und geografischer Lage definiert dieses Szenario unterschiedliche Vorratsziele – im Mittel sinkt der Vorrat auf 328 m³/ha.
- Das Szenario «Erhöhte Nutzung des Waldes mit Förderung klimaangepasster Baumarten» verwendet für den Vorrat die gleichen Zielwerte wie das Hauptszenario. Doch die Naturverjüngung wird hier durch die Pflanzung klimaangepasster Baumarten ergänzt.
- Die beiden nachfragebasierten Szenarien 5_30 und 5_100 beschreiben einen künftigen Verbrauch von Fertigwaren aus Holz in der Schweiz für die Jahre 2020 bis 2100, der gegenüber 2012 bei einer verstärkten Nachfrage um 30 Prozent höher liegt – beziehungsweise um 100 Prozent bei einer deutlich gesteigerten Nachfrage.

2.3 Verknüpfung mehrerer Berechnungsmodelle

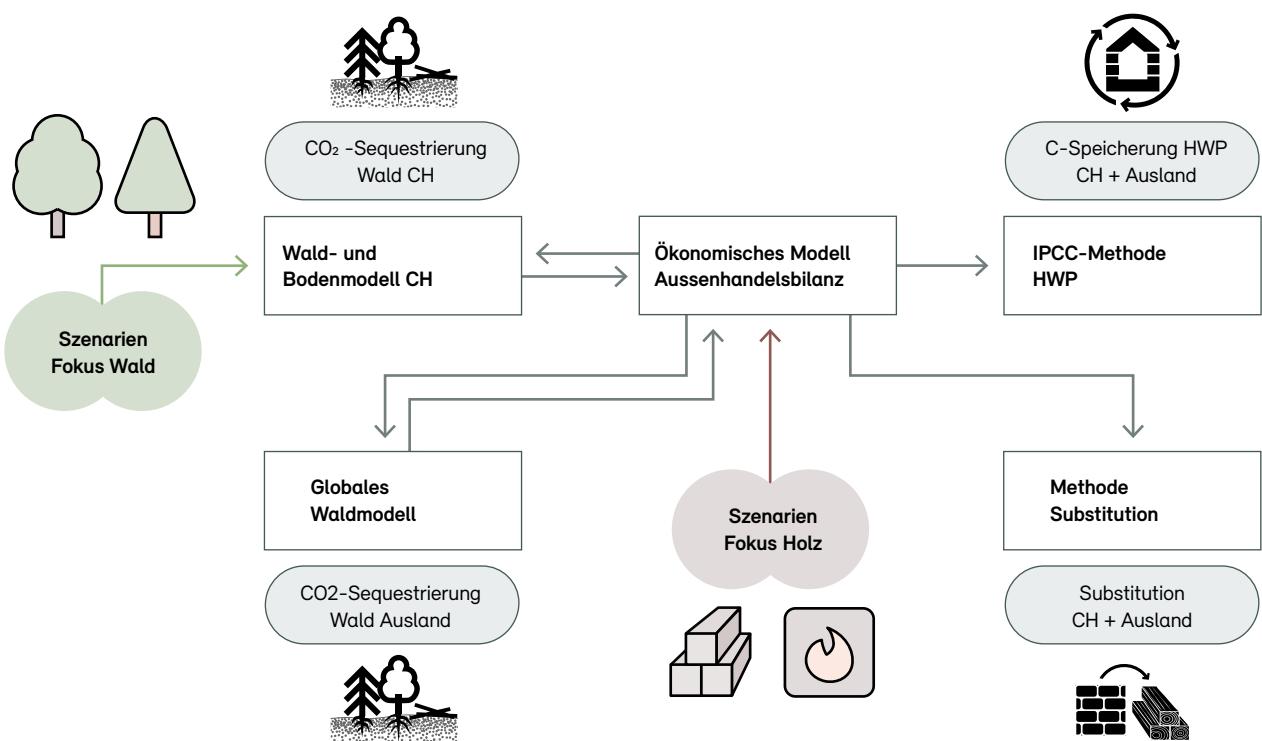
Um die klimarelevanten Effekte der verschiedenen untersuchten Szenarien zur Wald- und Holzentwicklung abschätzen zu können, haben die Fachleute mehrere Computermodelle eingesetzt und deren Ergebnisse miteinander verknüpft. Der modellierte Zeitraum von 2020 bis 2100 trägt der langsame Entwicklung der Wälder Rechnung, und mögliche Langzeitentwicklungen lassen sich zumindest als Trends abschätzen. Allerdings gehen solche Langzeitprognosen auch mit steigenden Unsicherheiten im zeitlichen Verlauf der Simulationen einher.

Der verwendete Modellrahmen (siehe Abbildung 3) basierte auf dem für die Europäische Kommission durchgeföhrten Projekt «ClimWood 2030»¹³, wurde jedoch präzisiert und erweitert. Er umfasste folgende Modelle:

- das Waldmodell MASSIMO¹⁴ und das Bodenmodell Yasso¹⁵ für die Schweiz;

Abb. 3: Verwendeter Modellrahmen für die Berechnung der 3S-Klimaleistungen (graue Ellipse) unter verschiedenen Szenarien mit Fokus Wald oder Fokus Holz (materielle und energetische Verwendung)

Im Modellrahmen sind verschiedene Modelle (Kästchen) verknüpft. Die 3S-Klimaleistungen werden jeweils für die Schweiz (CH) und für das Ausland berechnet.



-
- ein partielles ökonomisches Gleichgewichtsmodell zur Herkunft und Nachfrage nach Holz und Bioenergie (GLOBIOM)¹⁶;
 - das Waldbewirtschaftungsmodell Global Forest Model (G4M)¹⁷ für die über Veränderungen im Aussenhandel induzierten Effekte im ausländischen Wald;
 - ein Modell für die Berechnung der potenziellen Substitutionswirkungen, die sich durch die materielle und energetische Verwendung von Holz im Inland und Ausland ergeben. Ausgangspunkt sind dabei die Veränderungen der Holzverwendung in der Schweiz und damit zusammenhängend die Verschiebung von CO₂-Emissionen durch Veränderungen beim Import- und Export;
 - Eine Methode für die C-Speicherung in Holzprodukten (HWP), basierend auf dem Berechnungsansatz für die internationale Berichterstattung unter dem UNFCCC.

Die eingesetzten Modelle erlauben innerhalb des betrachteten Zeithorizonts Aussagen über die zeitlichen Veränderungen der C-Vorräte sowie der damit einhergehenden Substitutionseffekte.

So kann zum Beispiel das Waldmodell MASSIMO für die Schweiz nun unterschiedliche Entwicklungen des Klimas und entsprechende Anpassungsstrategien abbilden. Für diese Modellierungen der Waldentwicklung standen Daten des LFI4 (2009–2017) zur Verfügung. Noch nicht integriert liessen sich die erst später vorliegenden Zwischenergebnisse des LFI5 (2018–2022), welche den zunehmenden Einfluss des Klimawandels auf den Wald erstmals auch bei den Auswertungen deutlich aufzeigen.

Die Kombination von GLOBIOM und G4M ermöglichte es erstmals, auch die Handelsbilanz der Schweiz für Holz und Holzprodukte abzuschätzen. Damit lassen sich die über Veränderungen im Aussenhandel ausgelösten Effekte auf die C-Vorräte im ausländischen Wald abschätzen.

Im Rahmen des Projekts wurden ebenfalls die Substitutionspotenziale von Holz modelliert. Dabei geht es einerseits um den Ersatz von CO₂-intensiveren Werkstoffen und andererseits um die energetische Substitution durch die Verwendung von Holz als Brennstoff. Die Quantifizierung der materiellen Substitution umfasst die Treibhausgasemissionen durch die Herstellung, Verwendung und Entsorgung eines konventionellen Produkts und vergleicht sie mit denjenigen eines funktional gleichwertigen Produkts aus Holz.

Nach dem gleichen Konzept stellt man für die Berechnung der energetischen Substitution den klimawirksamen Ausstoss von fossilen Energieträgern der Verwendung von Holz als Brennstoff gegenüber. Aufgrund der ange strebten Dekarbonisierung sind die Substitutionseffekte durch den Einsatz von Holzprodukten auf längere Sicht allerdings nicht gesichert (siehe Kapitel 4.2). Deshalb hat man den Substitutionseffekt in dieser Publikation einmal ohne Reduktion (100 Prozent) berechnet und als Variante zusätzlich mit einer Reduktion der Substitutionswirkung auf 10 Prozent als Folge einer Dekarbonisierung der industriellen Prozesse bis 2050.

2.4 Wichtige Ergebnisse der KWHS-Studie

Die KWHS-Studie hat die Klimaleistung und den Effekt verschiedener Waldbewirtschaftungs- und Holzverwendungsszenarien untersucht. Die verglichenen Szenarien unterscheiden sich bezüglich mehrerer Annahmen, von denen nachfolgend einige besonders wichtige aufgeführt sind:

- Art der Waldbewirtschaftung: Dabei geht es unter anderem um die Vorratsentwicklung sowie um die Holzernte und deren Kosten;
- Nachfrage nach Holzprodukten und Holzenergie;
- Veränderungen der Holznutzungsmengen, Sortimente und Holzverwendung in Abhängigkeit von Preisentwicklungen, die sich aus Veränderungen von Angebot und Nachfrage nach Holzprodukten ergeben;
- Importrestriktionen für Holzprodukte;
- Technologischer Wandel im Hinblick auf das Netto-Null-Ziel bezüglich der CO₂-Emissionen.

Das Referenzszenario geht von Annahmen aus, die möglichst die Entwicklung der letzten Jahrzehnte fortgeschreiben. Die im Rahmen der Studie vorgenommenen Simulationen zeigen unter anderem, dass alle 3S-Klimaleistungen zum Klimaschutz beitragen. Die Größenordnungen fallen jedoch sehr unterschiedlich aus.

Entscheidender Faktor für die gesamte Klimaleistung der untersuchten Szenarien ist die CO₂-Sequestrierung im Wald, die in der lebenden und toten Waldbiomasse sowie in den Böden erfolgt. Geringere Beiträge leisten im Vergleich dazu die C-Speicherung in Holzprodukten einheimischer Herkunft sowie die Substitution. Es gibt jedoch nach wie vor gute Gründe, den Wald für Holzprodukte zu nutzen. Für diese Nutzung sprechen neben der Klimaleistung auch die Vorteile der regionalen Verfügbarkeit einer erneuerbaren Ressource, kurze Transportwege und die höhere Wertschöpfung vor Ort.

Ein vertiefter Blick auf die Studienergebnisse legt dar, wie sich die simulierten Szenarien zur Referenzentwicklung verhalten. Dieser Vergleich erlaubt folgende Schlussfolgerungen:

- Prägend für die gesamte Klimaleistungen von Wald und Holz ist bei allen Szenarien die Entwicklung der CO₂-Sequestrierung des Schweizer Waldes.

– Verglichen mit den CO₂-Effekten im Wald verändern die C-Speicherung in Holzprodukten und die Substitution die gesamte Klimaleistung eines Szenarios nur unwesentlich. Insbesondere für die C-Speicherung in Holz ist diese Erkenntnis nicht neu. Ähnliche Erfahrungswerte gibt es aus der Klimaberichterstattung im Schweizer Treibhausgasinventar²¹. Demnach wurden im Mittel der Jahre 2008 bis 2020 – während der zwei Perioden unter dem Kyoto Protokoll – zirka 15 Prozent des Kohlenstoffes der Biomasse von gefällten und abgestorbenen Bäumen aus dem Schweizer Wald in langlebige Holzprodukte (HWP) umgelagert.

– Die C-Dynamik des Waldes wird in allen Szenarien praktisch ausschliesslich von der lebenden Biomasse dominiert, wobei auch die C-Bilanz im Totholz, in der organischen Auflage und im Boden einen Beitrag leisten. Betrachtet man nicht die C-Dynamik, sondern die C-Vorräte im Schweizer Wald, ist die Situation allerdings umgekehrt. Denn die grösste Menge des Kohlenstoffs im Wald ist nicht in den Bäumen, sondern im Boden gespeichert²².

- Im Weiteren lassen sich die Ergebnisse vereinfacht über die jeweiligen Erntemengen im Schweizer Wald und den Holzendverbrauch interpretieren. So führt zum Beispiel eine erhöhte Holznutzung zu einem Abbau der C-Vorräte im Wald. Damit muss jedoch keine signifikante Mehrverwendung von Holz im Inland einhergehen. Denn zwischen Holzernte und Holzendverbrauch liegt eine komplexe Prozesskette aus inländischer Produktion sowie Importen und Exporten von Rundholz, Halbwaren und Fertigwaren. Deren relative Bedeutung hängt von den jeweiligen Szenario-Annahmen ab und kann deshalb zu Verschiebungen in den einzelnen Klimaleistungen zwischen der Schweiz und dem Ausland führen.
- Die in der Studie getroffenen ökonomischen Annahmen deuten somit darauf hin, dass kein direkter Zusammenhang zwischen den hierzulande geernteten Holzmengen und dem Holzverbrauch in der Schweiz besteht. Preiseffekte können dazu führen, dass die Nachfrage nach Holzprodukten und -energie zu vermehrten Importen führt. Preiswirksame Massnahmen im Inland führen entlang der Wertschöpfungskette immer auch zu mehr Exporten, weil die Produkte im Ausland preislich besser konkurrieren können.

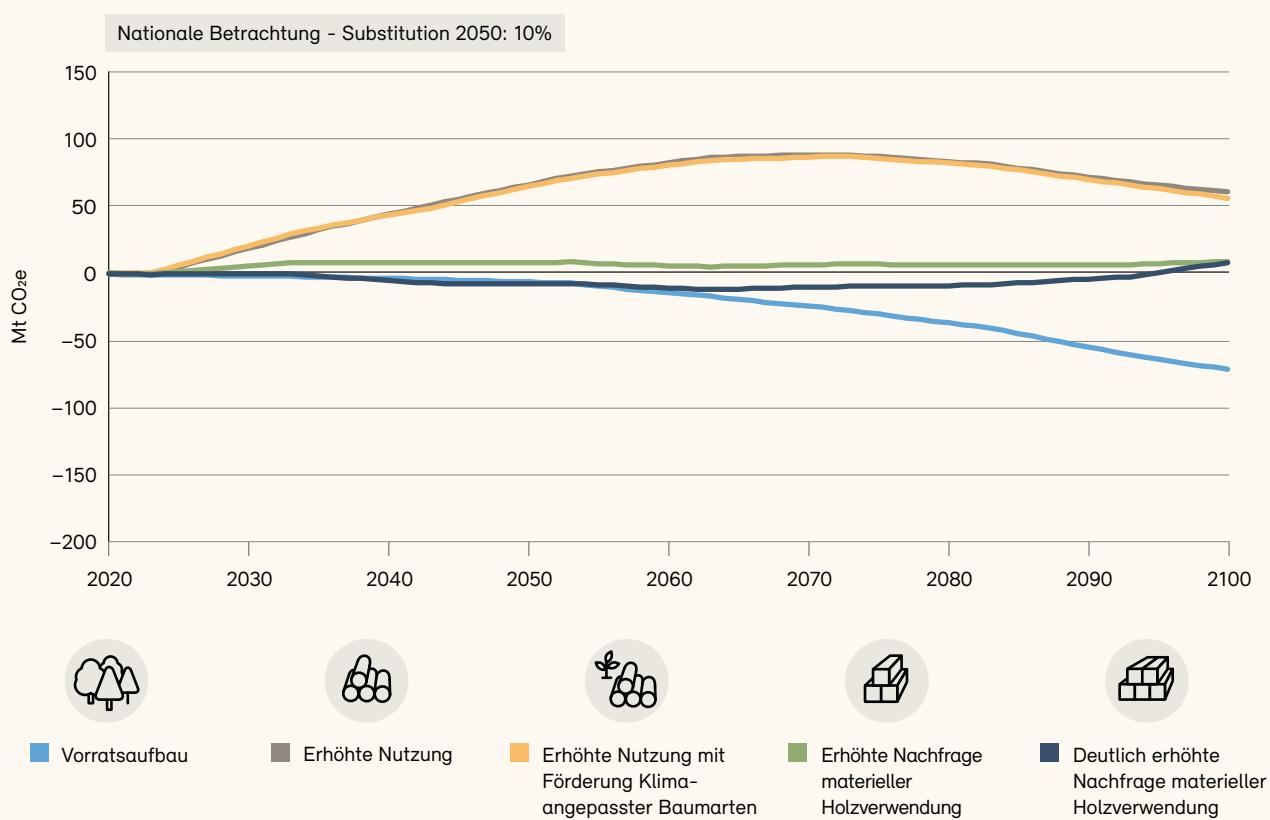
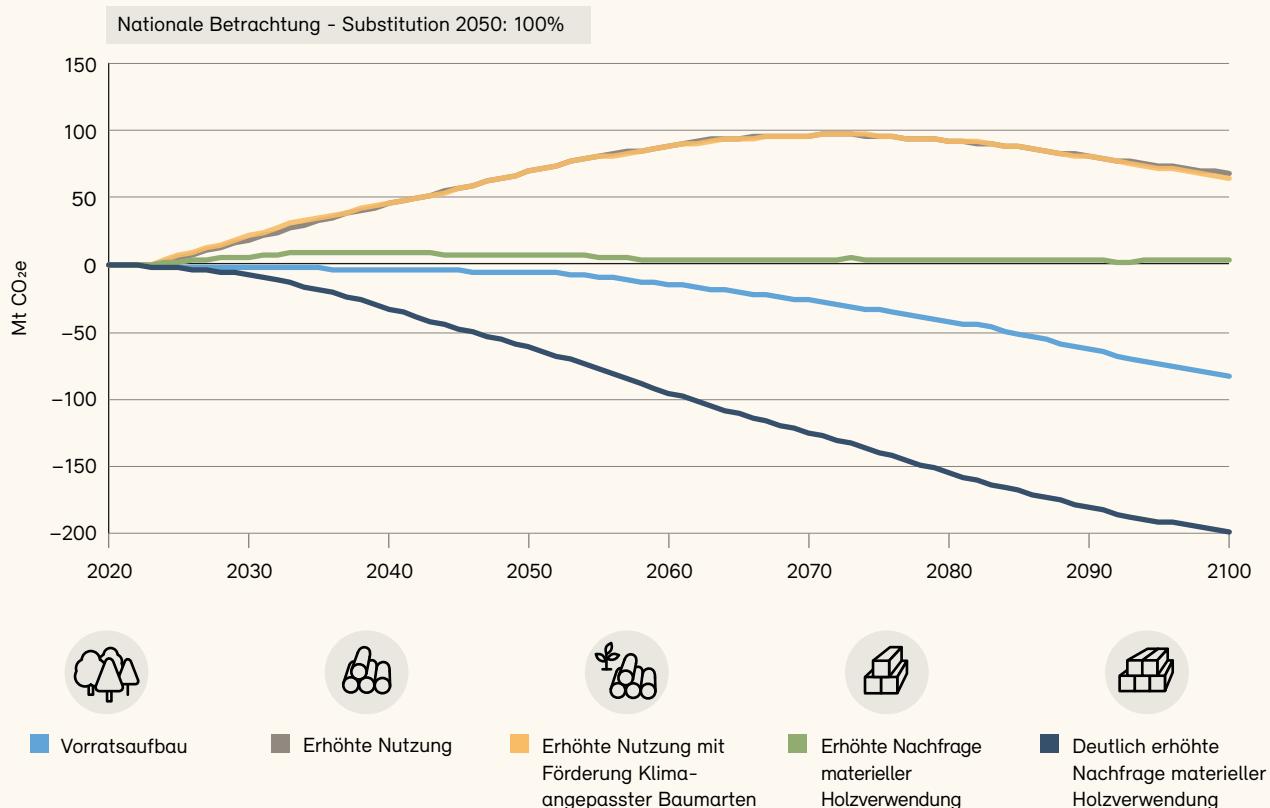
Zu aufschlussreichen Ergebnissen führt auch ein Vergleich der Gesamtwirkung der Klimaleistungen ausgewählter Szenarien gegenüber dem Referenzszenario für den Zeitraum von 2020 bis 2100. Für die Unterschiede verantwortlich sind unter anderem der geografische Bezugsrahmen und die Annahmen zur Entwicklung des Substitutionspotenzials der Holznutzung.

- Bei einer nationalen Betrachtung (siehe Abbildung 4) sind die totalen Klimaleistungen für das Szenario 5_100 mit einem deutlich erhöhten Holzverbrauch im Inland am höchsten. Denn die Abnahme der C-Vorräte im Wald fällt in diesem Szenario mehrheitlich im ausländischen Wald an, und es gibt erhöhte Substitutionseffekte von importiertem Holz in der Schweiz. Für die C-Speicherung tragen nur Holzprodukte aus einheimischem Holz zur totalen Klimaleistung bei. Nimmt die Substitutionswirkung aufgrund der Dekarbonisierung im Zuge der Netto-Null-Politik in Zukunft ab, erweist sich hingegen das Szenario mit einem Vorratsaufbau im Schweizer Wald als vorteilhafter bezüglich der Klimaleistungen.

Abb. 4: Nationale Betrachtung der kumulierten

CO₂-Effekte der 3S-Klimaleistungen

Relativ dargestellt gegenüber dem Referenzszenario für die untersuchten Szenarien: Vorratsaufbau (Sz. 2), erhöhte Nutzung (Sz. 3), erhöhte Nutzung mit Förderung klimaangepasster Baumarten (Sz. 4), erhöhte Nachfrage (Sz. 5_30) und deutlich erhöhte Nachfrage mit Fokus materielle Holzverwendung (Sz. 5_100). Panel oben: ohne Rückgang der Substitutionswirkung bis im Jahr 2050 (bezogen auf die Substitutionsfaktoren für 2020). Panel unten: mit Reduktion der Substitutionswirkung auf 10 % als Folge der Dekarbonisierung der Industrie bis 2050. Positive Werte bedeuten höhere CO₂e-Emissionen im Vergleich zur Referenzentwicklung.

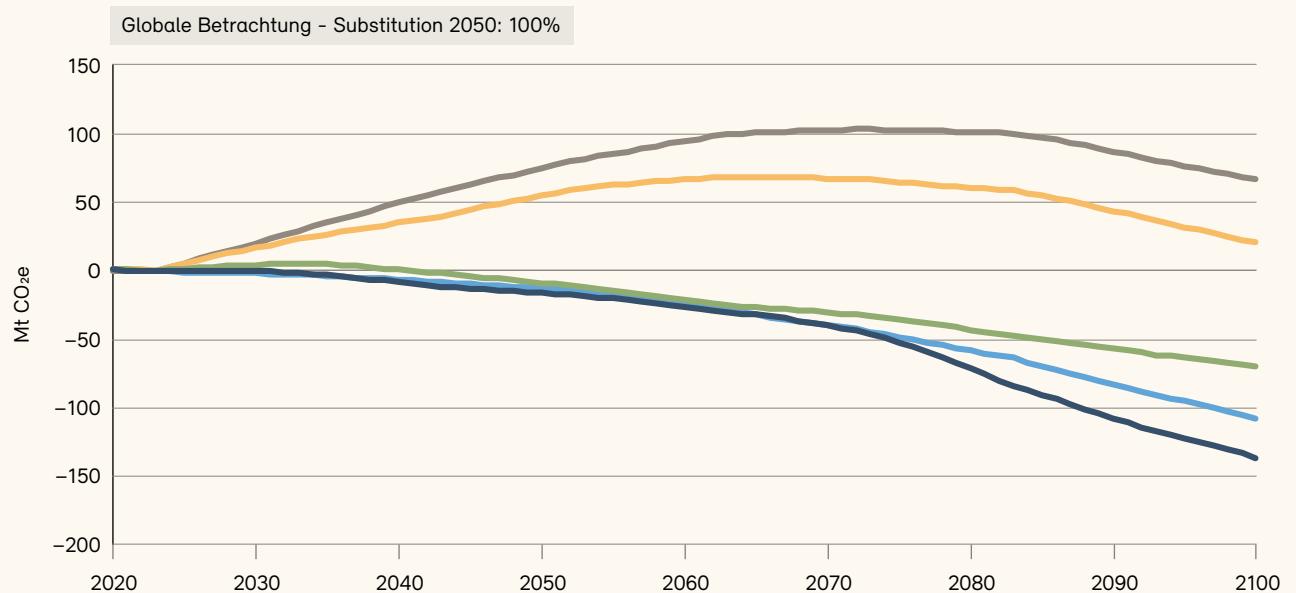


Bei einer globalen Betrachtung (siehe Abbildung 5) sind die totalen Klimaleistungen des Szenarios mit Vorratsaufbau sowie mit einem deutlich erhöhten Holzverbrauch in der Schweiz ähnlich gross. Nimmt der Substitutionseffekt aufgrund der Netto-Null-Politik in Zukunft ab, verschiebt sich das Ergebnis hingegen zugunsten des Szenarios mit einem Vorratsaufbau im Schweizer Wald.

Abb. 5: Globale Betrachtung der kumulierten

CO₂-Effekte der 3S-Klimaleistungen

Relativ dargestellt gegenüber dem Referenzszenario für die untersuchten Szenarien Vorratsaufbau (Sz. 2), erhöhte Nutzung (Sz. 3), erhöhte Nutzung mit Förderung klimaangepasster Baumarten (Sz. 4), erhöhte Nachfrage (Sz. 5_30) und deutlich erhöhte Nachfrage mit Fokus materielle Holzverwendung (Sz. 5_100). Panel oben: ohne Rückgang der Substitutionswirkung bis im Jahr 2050 (bezogen auf die Substitutionsfaktoren für 2020). Panel unten: mit Reduktion der Substitutionswirkung auf 10 % als Folge der Dekarbonisierung der Industrie bis 2050. Positive Werte bedeuten höhere CO₂e-Emissionen im Vergleich zur Referenzentwicklung.



Vorratsaufbau



Erhöhte Nutzung



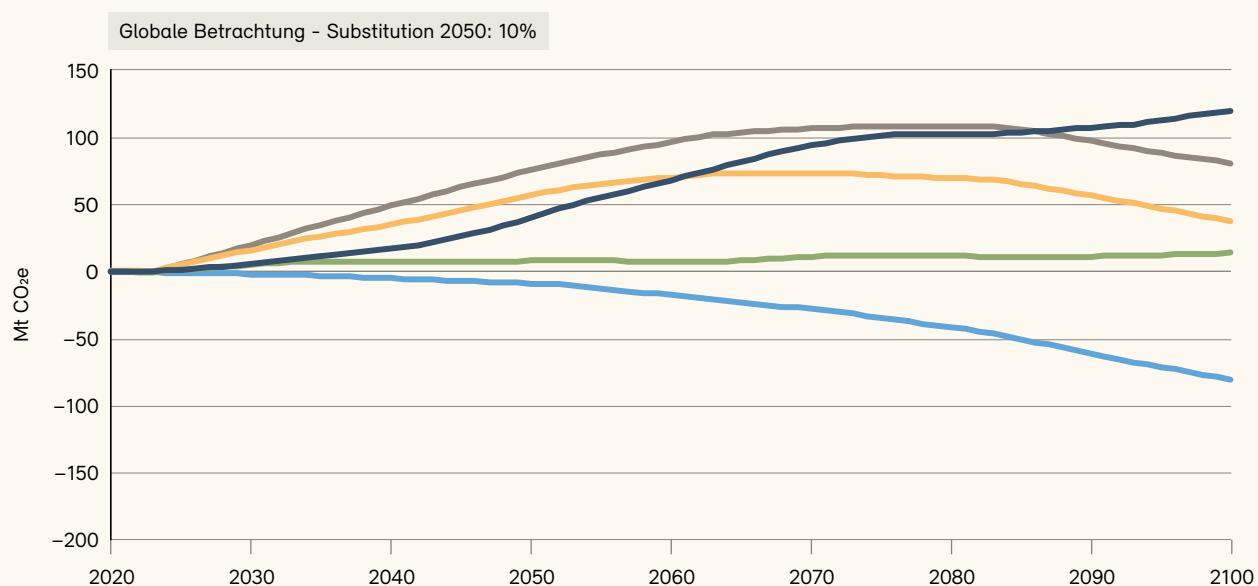
Erhöhte Nutzung mit Förderung Klima-anangepasster Baumarten



Erhöhte Nachfrage materieller Holzverwendung



Deutlich erhöhte Nachfrage materieller Holzverwendung



Vorratsaufbau



Erhöhte Nutzung



Erhöhte Nutzung mit Förderung Klima-anangepasster Baumarten



Erhöhte Nachfrage materieller Holzverwendung



Deutlich erhöhte Nachfrage materieller Holzverwendung

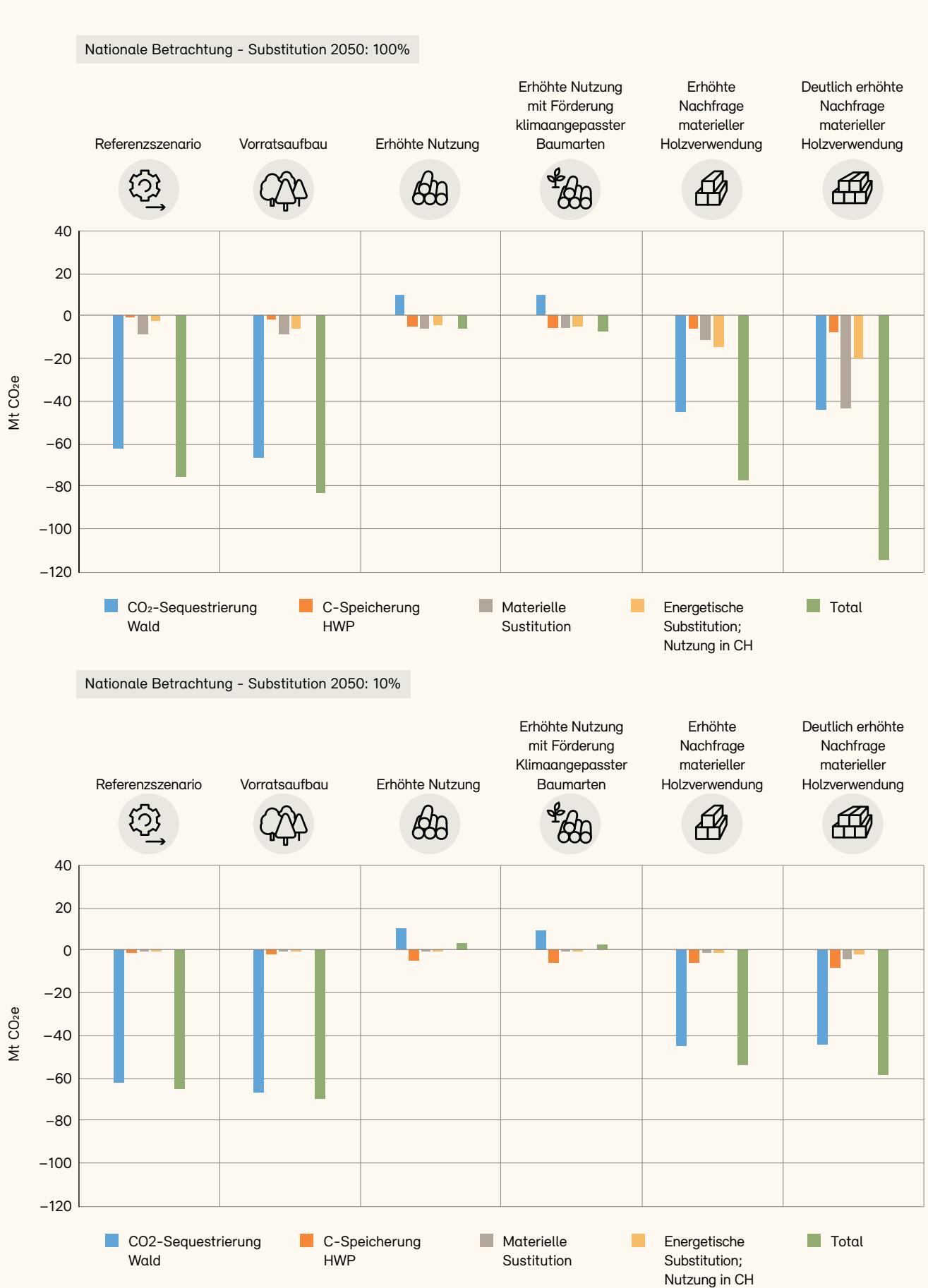
Alternativ zur Darstellung der Klimaleistungen verschiedener Szenarien im Vergleich zur Referenzentwicklung lässt sich deren Klimaschutzwirkung auch kumuliert über einen längeren Zeitraum abbilden. Für die Periode von 2020 bis 2050 ergibt sich für die Schweiz (siehe Abbildung 6) folgendes Bild:

- Während der nächsten 30 Jahre führt die kumulierte Klimaleistung des Szenarios mit einem Vorratsaufbau und für Szenarien mit erhöhter Holznachfrage (Sz. 5_30) zu einer erheblichen Einsparung an Treibhausgasen. Über den gesamten Zeitraum ermöglichen diese Szenarien kumulierte Einsparungen von –60 bis –80 Millionen Tonnen CO₂e (Mt CO₂e). Die Zahlen entsprechen ungefähr der Referenzentwicklung. Die kumulierte Klimaleistung des Szenarios mit deutlich erhöhter Nachfrage (Sz. 5_100) beläuft sich sogar auf –110 Mt CO₂e. In der Größenordnung lassen sich also das 1,3 bis 2,4-Fache der jährlichen Schweizer Treibhausgasemissionen von 45 Mt CO₂e im Jahr 2021¹⁸ im Wald und in Holzprodukten binden.
- Geht man von einer Abnahme der Substitutionswirkung vom gegenwärtigen Niveau auf noch 10 Prozent im Jahr 2050 aus, liegen die Emissionsreduktionen für dieselben Szenarien in der Schweiz bis 2050 insgesamt bei –50 bis –60 Mt CO₂e. Dies entspricht dem 1,1- bis 1,3-Fachen der aktuellen jährlichen Treibhausgasemissionen der Schweiz. Diese Entwicklung verläuft im Einklang mit dem Netto-Null Ziel der schweizerischen Klimapolitik.

Abb. 6: Nationale Betrachtung der kumulierten

CO₂-Effekte bis 2050

Dargestellt für die einzelnen Klimaleistungen für die untersuchten Szenarien: Referenzszenario (Sz. 1), Vorratsaufbau (Sz. 2), erhöhte Nutzung (Sz. 3), erhöhte Nutzung mit Förderung klimaangepasster Baumarten (Sz. 4), erhöhte Nachfrage (Sz. 5_30) und deutlich erhöhte Nachfrage mit Fokus materielle Holzverwendung (Sz. 5_100). Panel oben: ohne Rückgang der Substitutionswirkung bis im Jahr 2050 (bezogen auf die Substitutionsfaktoren für 2020). Panel unten: mit Reduktion der Substitutionswirkung auf 10 % als Folge der Dekarbonisierung der Industrie bis 2050. Positive Werte entsprechen einer Netto-CO₂e-Emission; negative Werte entsprechen einer Netto-CO₂-Aufnahme.



Bei einer globalen Betrachtung (siehe Abbildung 7) ergeben sich unter Berücksichtigung der Aussenhandelsbilanz andere Werte:

- Die kumulierten Emissionen liegen für das Referenzszenario und für das Szenario mit Vorratsaufbau und die beiden Szenarien mit einem gemässigten und deutlich erhöhten Holzverbrauch bei kumulierten Einsparungen von zirka –80 bis –100 Mt CO₂e über den gesamten Zeitraum. Somit machen sie in der Grössenordnung das 1,8 bis 2,2-Fache der aktuellen jährlichen Emissionen in der Schweiz aus.
- Geht man aufgrund der zunehmenden Dekarbonisierung bis 2050 von einer auf 10 Prozent verminderten Substitutionswirkung aus, so nehmen die kumulierten Emissionsreduktionen für dieselben Szenarien auf –60 bis –80 Mt CO₂e ab. Dies entspricht dem 1,3 bis 1,8-Fachen der aktuellen jährlichen Schweizer Emissionen. Die Reduktion der Klimaleistung im Szenario mit einem deutlich erhöhten Holzendverbrauch ist sogar sehr ausgeprägt und nimmt bis 2050 in der Summe nur noch auf –10 Mt CO₂e ab. In Szenarien mit einem hohen Beitrag des Substitutionsefekts fällt die Reduktion der totalen Klimaleistung entsprechend am ausgeprägtesten aus.

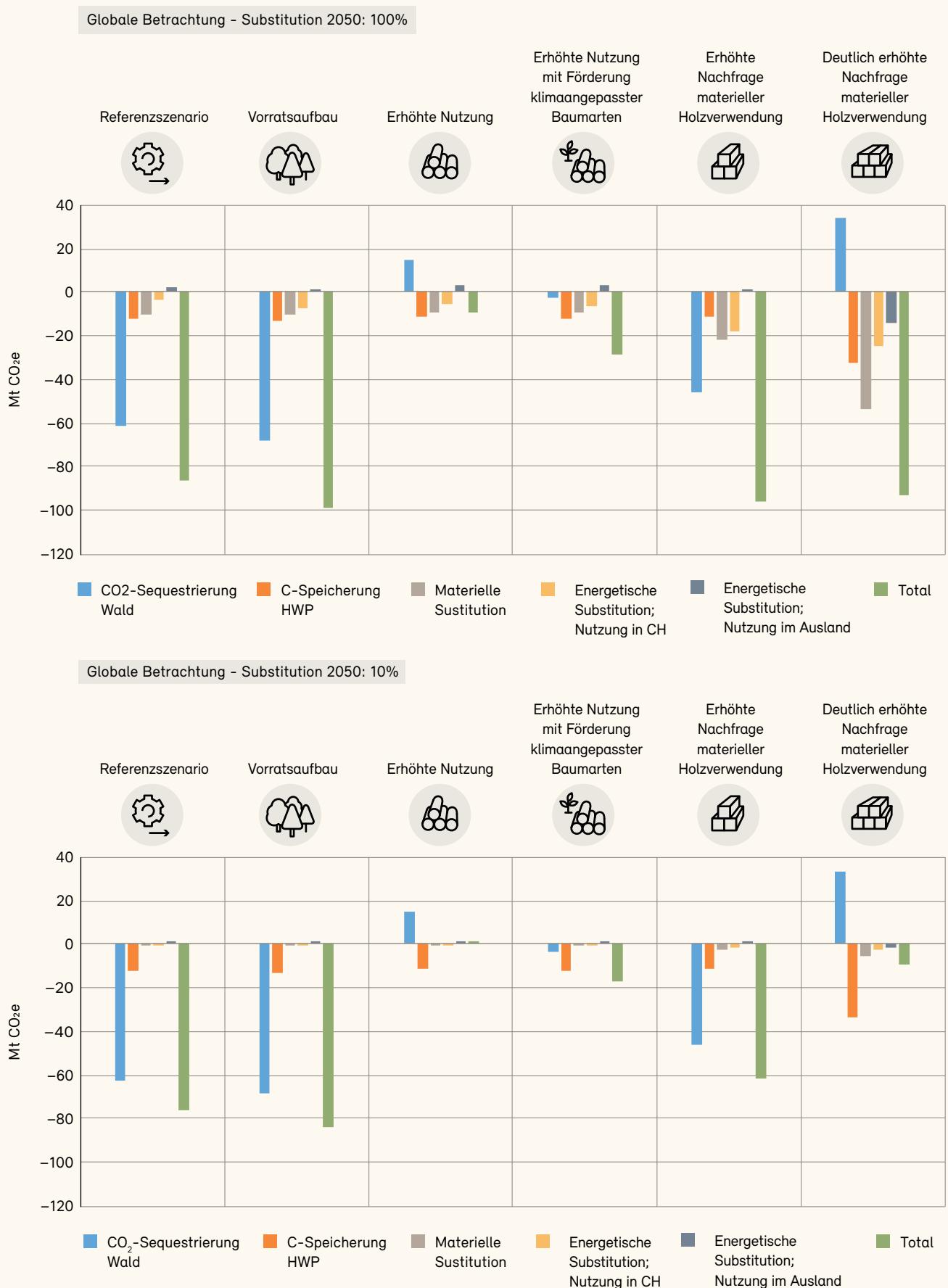
Zusätzlich ergeben sich Vorteile der Kaskadennutzung bei der Holzverwertung. Optimal ist eine Verarbeitung zu Produkten mit der höchsten Wertschöpfung, die auch ökologisch einen grossen Nutzen stiftet und Mehrfachnutzungen ermöglicht. Die gesamte Klimaleistung lässt sich verbessern, wenn Holz zuerst in langlebigen Produkten – wie Bauteilen oder Möbeln – zum Einsatz kommt, bis zum Ende der Lebensdauer mehrfach genutzt wird und zuletzt noch als Brennstoff dient. Dabei hat eine stoffliche Verwertung immer Vorrang vor der energetischen Verwendung.

Die Simulationen belegen zudem die Wichtigkeit des Bezugsrahmens für weitere Optimierungsschritte der Klimaleistungen. Je nachdem, ob der Blick global ausgerichtet ist oder sich auf die Schweiz beschränkt, sind andere Strategien und Massnahmen sinnvoll. So können aus nationaler Sicht Importe von Holzprodukten zur Erhöhung der Substitutionswirkung beitragen, während Exporte von Rundholz zum Abbau von C-Lagern im inländischen Wald führen und nichts zum HWP-Pool der Schweiz beitragen, weil man diese nach geltenden internationalen Regeln nicht anrechnen kann (siehe Kapitel 2.1).

Abb. 7: Globale Betrachtung der kumulierten

CO₂-Effekte bis 2050

Dargestellt für die einzelnen Klimaleistungen für die untersuchten Szenarien: Referenzszenario (Sz. 1), Vorratsaufbau (Sz. 2), erhöhte Nutzung (Sz. 3), erhöhte Nutzung mit Förderung klimaangepasster Baumarten (Sz. 4), erhöhte Nachfrage (Sz. 5_30) und deutlich erhöhte Nachfrage mit Fokus materielle Holzverwendung (Sz. 5_100). Panel oben: ohne Rückgang der Substitutionswirkung bis im Jahr 2050 (bezogen auf die Substitutionsfaktoren für 2020). Panel unten: Mit Reduktion der Substitutionswirkung auf 10 Prozent als Folge der Dekarbonisierung industrieller Prozesse bis 2050. Positive Werte entsprechen einer Netto-CO₂-Emission; negative Werte entsprechen einer Netto-CO₂-Aufnahme.



2.5 Die Grenzen der Aussagekraft

Bei der Interpretation der Resultate der KWHS-Studie gilt es, gewisse Grenzen ihrer Aussagekraft zu berücksichtigen, welche die verfügbaren Datengrundlagen setzen. Als Einschränkungen der Studie lassen sich unter anderem anfügen:

- Aufgrund der verfügbaren wissenschaftlichen Grundlagen sind die Folgen des Klimawandels auf den Wald im gegenwärtigen Modellrahmen nicht vollständig berücksichtigt. Das Autorenteam startete die Modellierungen der Waldentwicklung mit den Daten des LFI4 (2009–2017). Die ersten Zwischenergebnisse des LFI5 (2018–2026) lagen erst im Sommer 2023 vor – also nach Abschluss der Waldmodellierung. Daher konnten die neusten Beobachtungen aus dem LFI5 noch nicht berücksichtigt werden. Sie deuten darauf hin, dass die negativen Auswirkungen auf den Wald stärker ausfallen als in dieser Studie modelliert (siehe Kapitel 3.2). Die entsprechenden Resultate und Erkenntnisse des LFI5 sind jedoch in den Folgearbeiten für die Einbettung und Reflexion berücksichtigt.
- In dem für die Simulation der Waldentwicklung verwendeten mittleren Klimaszenario RCP 4.5 (siehe Kapitel 2.2) bleiben Entwicklungen mit einem stärkeren Klimawandel unberücksichtigt, weil für extremere Szenarien keine empirischen Beobachtungen vorlagen, um die Effekte auf Wachstum und Mortalität zu kalibrieren (siehe Kapitel 3.3).
- Für den Holzverarbeitungssektor blieben wichtige Aspekte mangels Informationen und Daten unberücksichtigt. Darunter fallen der künftige Ausbau von Verarbeitungskapazitäten sowie neue Technologien und gesellschaftliche Trends – wie etwa das Abscheiden und Speichern von CO₂ (BE/CCS) oder die Bioökonomie.
- Die Modellierung der Holzflüsse basiert auf Daten der Welternährungsorganisation (FAOSTAT)¹⁹, die sich auf Halbwaren (HWP) beziehen (siehe Kapitel 4.1). Für Fertigwaren liegen keine globalen Informationen vor. Basierend auf einer Analyse des Holzendverbrauchs wurden deren Handelsflüsse in Analogie zu den Halbwaren abgeleitet.
- Für die Berechnung der C-Speicherung in Holzprodukten diente der HWP-Ansatz der UNFCCC. Diese international vereinbarte Anrechnungsmethode wird auch für das Schweizer Treibhausgasinventar verwendet (in der

Schweiz stammen lediglich 30 % der Holzprodukte aus Schweizer Holz). Damit lassen sich jedoch nur Holzprodukte aus einheimischem Holz berücksichtigen. Somit sind importierte Holzwaren in der Schweiz nicht als HWP anrechenbar, sondern nur im Herkunftsland des Holzes, während Rundholzimporte und -exporte aus dem Bezugsrahmen der internationalen Anrechnung fallen (siehe Kapitel 4.1).

• Es bestehen Unsicherheiten bezüglich der künftigen Substitutionswirkung von Holz, da diese stark von technologischen, wirtschaftlichen und politischen Entwicklungen abhängt (siehe Kapitel 4.2).

• Systemgrenze: Nicht in die Studie eingeflossen sind unter anderem Klimaeffekte ausserhalb des Modellrahmens. Neben den 3S-Klimaleistungen existieren weitere klimawirksame Effekte des Waldes. So kann er durch biogeophysikalische Eigenschaften wie zum Beispiel sein Rückstrahlungsvermögen (Albedo) das Klima lokal beeinflussen (siehe Kapitel 2.7). Die entsprechende Forschung steht teilweise noch am Anfang.

2.6 Unsichere Entwicklung der Klimaleistungen

Es bleibt ungewiss, in welchem Umfang die Schweizer Wald- und Holzbranche die 3S-Klimaleistungen künftig erbringen können. Denn die CO₂-Sequestrierung im Wald wird von etlichen Faktoren beeinflusst. Der Klimawandel scheint insgesamt eine Verringerung zu begünstigen, wie mittlerweile auch erste Daten des LFI5²⁰ zeigen (siehe Kapitel 3.3). Bereits heute zeichnet sich ein Abbau des C-Vorrats im Wald durch die Klimaänderung und die damit verbundene Zunahme von Wetterextremen wie Trockenheit, Hitze und Stürmen ab. Nicht alle Wälder und ihre Lebensgemeinschaften können sich genügend den schnellen klimatischen Veränderungen anpassen. Insbesondere in standortfremden und naturfernen Beständen ist die Anfälligkeit besonders hoch²¹. Diese Entwicklung droht sich in Zukunft zu beschleunigen⁵. Folglich könnte der Wald unter Umständen zu einer CO₂-Quelle werden.

Auch die Klimaleistungen der Holzverwendung unterliegen Risiken im Wald, weil die Holzproduktion von einem gesunden Waldökosystem abhängt. Allerdings sind diese kleiner, da sie sich teilweise direkt oder einfacher und

schneller beeinflussen lassen als die CO₂-Sequestrierung im Wald. Der Klimawandel betrifft die Holzverwendung, einerseits durch kurzfristige Veränderungen der Nachfrage, aber auch des Angebots, wenn grosse Mengen Schadholz auf den Markt kommen. Langfristig betrachtet werden das veränderte Angebot an Baumarten und Sortimenten sowie negative Auswirkungen auf die Holzqualität den Holzmarkt beeinflussen. Zudem kann sich das internationale politische und wirtschaftliche Umfeld auf die Holzpreise und die Handelsbilanz von Holz auswirken.

Über das Potenzial der Substitutionswirkung von Holz bestehen grosse Unsicherheiten, weil die künftige Wirkung stark von technologischen, wirtschaftlichen und politischen Entwicklungen wie der Netto-Null-Klimapolitik³ abhängt (siehe Kapitel 4.2). Wie die Einbettung der KWHS-Studie zeigt, ist es einerseits denkbar, dass die Möglichkeiten der Substitution durch neue Einsatzgebiete und Produktentwicklungen für Holzprodukte und Holzenergie zunehmen. Andererseits hat die angestrebte Dekarbonisierung zur Folge, dass künftig auch die Herstellung anderer Werkstoffe weniger Emissionen verursacht. Zudem ist allgemein mit Effizienzsteigerungen zu rechnen. Diese Entwicklungen dürften die Treibhausgasintensität der Wirtschaft insgesamt reduzieren und somit das Substitutionspotenzial von Holz verringern.

Zu beachten ist auch, dass die Klimaleistungen des Waldes und von Holzprodukten nicht alle gleichermassen anhaltend wirken³. So ist etwa die C-Speicherung zeitlich bis zum Moment befristet, in dem der gebundene Kohlenstoff im Wald teilweise durch biologischen Abbau oder durch Verbrennung von Holz wieder in die Atmosphäre gelangt. Mit Blick auf die Klimawirksamkeit der C-Speicher im Wald und in Holzprodukten sind somit nur deren Veränderungen insgesamt massgebend.

Obwohl sich die Wirkungsdauer der waldbedingten Klimaleistung nicht über hunderte von Jahren sichern lässt, sollte man ihren Stellenwert nicht unterschätzen. So hält das UNO-Fachgremium Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in einem aktuellen Bericht²² fest, die effiziente und kurzfristige Kohlenstoffentnahme aus der Atmosphäre sei ein wichtiger Mechanismus, um die von der Weltgemeinschaft gesteckten Ziele einer maximalen

globalen Temperaturzunahme um 2 Grad Celsius zu erreichen. Im Unterschied zu anderen gegenwärtig diskutierten Möglichkeiten, der Atmosphäre CO₂ zu entziehen, wirken sich Massnahmen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung relativ rasch auf das Klima aus, weil sie bekannt und einsatzbereit sind.

Grundsätzlich sind die unterschiedlichen Zeithorizonte zu beachten, die einerseits bei der Umsetzung von Klimaleistungs- und Bewirtschaftungsstrategien und andererseits bei den Auswirkungen auf den Waldbau und die Holzwirtschaft existieren. Während viele politische Anstrengungen auf die nächsten 20 bis 30 Jahre abzielen, geht es bei etlichen Strategien der Waldbewirtschaftung um grössere Zeiträume. Verglichen mit politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen ist das System Wald träge. So können beispielsweise komplette Erneuerungen von Beständen mehr als hundert Jahre dauern. In vielen Fällen bewirtschaften Waldbesitzende ihre Bestände zurückhaltend und nicht intensiv. Im Gegensatz dazu ist die Holzwirtschaft von wirtschaftlich orientierten Akteuren geprägt, die Entscheide schneller umsetzen, weil sie unter einem grösseren Konkurrenzdruck stehen.

Mit Blick auf die künftigen Klimaleistungen der Schweiz ist auch die Holzhandelsbilanz von grosser Bedeutung. Wie man dieser entnehmen kann, besteht zwischen dem In- und Ausland ein intensiver Austausch von Holz und Holzprodukten. Bei rund 70 Prozent des hierzulande verwendeten Holzes oder von holzbasierten Produkten handelt es sich um Importware. Vor dem Hintergrund der aktuellen Ressourcen- und Klimapolitik der Schweiz sind die inländische Holzernte, Holzverarbeitung und Holzverwendung zu bevorzugen. Die KWHS-Studie belegt, dass eine durch politische Massnahmen gesteigerte Schweizer Nachfrage nach Holzprodukten nicht automatisch die Holzernte in der Schweiz fördert. Es könnte sogar sein, dass solche Eingriffe ihre Wirkung vor allem im Ausland entfalten.

2.7 Biogeophysikalische Einflüsse des Waldes auf das Klima

Parallel zum technischen KWHS-Bericht liess das BAFU auch eine Studie² zu den biogeophysikalischen Prozessen im Wald erarbeiten. Diese zeigt auf, dass sich der Einfluss der Waldbewirtschaftung auf das Klima nicht auf den Kohlenstoffkreislauf beschränkt (siehe Abbildung 8). So wirkt sich eine veränderte Waldstruktur etwa auch auf die als Albedo bezeichnete Rückstrahlung des Sonnenlichts aus oder auf die Kühlung und Erwärmung der Umgebung. Modellierungen und Berechnungen im Rahmen der entsprechenden Studie, die zu den Grundlagen der vorliegenden Publikation zählt, machen deutlich, wie vielfältig und komplex diese Veränderungen sein können. In ihrer Wirkung auf die Temperatur sind sie zum Teil gegenläufig und stark von der betrachteten Jahres- und Tageszeit abhängig.

Spezifisch für die Schweiz zeigen Fernerkundungsdaten und Modellierungen folgende Auswirkungen von biogeophysikalischen Prozessen:

- Allgemein haben Wälder durch die Speicherwirkung ihrer Biomasse einen ausgleichenden Effekt auf das Lokalklima und federn starke Temperaturschwankungen ab.
 - Tagsüber haben die Wälder im Winter in unseren Breiten eine wärmende und im Sommer eine kühlende Wirkung. Der Erwärmungseffekt im Winter hängt mit der deutlich geringeren Albedo der Wälder im Vergleich zum oft schneebedeckten Freiland zusammen. Er ist in höheren Lagen besonders ausgeprägt. Die kühlende Wirkung im Sommer ist eine Folge der höheren turbulenten Wärmeflüsse über Wäldern und der höheren Verdunstungsleistung im Vergleich zu Grünland oder Äckern. Im Gegensatz zum Winter wird der Sommereffekt weniger von der Höhe beeinflusst. Doch ab 1200 Meter über Meer ist die kühlende Wirkung deutlich kleiner als in tieferen Lagen.
 - In der Nacht sind Wälder das ganze Jahr über wärmer als offenes Land. Dies lässt sich unter anderem mit der Biomasse erklären, die als Energiespeicher wirkt.
 - Insgesamt betrachtet dämpfen Wälder – verglichen mit dem offenen Land – sowohl die jahres- als auch die tageszeitlichen Temperaturschwankungen. Die saisonalen und tageszeitlichen Ausgleichseffekte führen insgesamt zu einer geringen Wirkung auf die mittlere Jahrestemperatur. In Zusammenhang mit
- sommerlichen Hitzeextremen kann der kühlende Effekt von Wäldern aber wichtig sein.
 - Wie dicht die Bäume in einem Bestand stehen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Im Wirtschaftswald sind dies vor allem waldbauliche Eingriffe und Baumartenzusammensetzung, aber auch weitere Einflüsse wie Bestandesalter, Baumkrankheiten oder Störungen wie Stürme und Insektenbefall. Die Dichte des Waldes wird über die Baumkronenbedeckung gemessen und hat im Jahresverlauf einen grossen Einfluss auf die Temperatur.
 - Im Winter führt eine Erhöhung der Baumdichte von 20 Prozent zu einer Erwärmung um 0,1 bis 0,4 Grad Celsius (°C). Deren Ursache liegt in der geringeren Albedo dichter Wälder im Vergleich zu lichten Wäldern. Dieser Erwärmungseffekt ist auf allen Höhenstufen ungefähr gleich.
 - Im Sommer führt eine Erhöhung der Baumdichte um 20 Prozent zu einer Abkühlung. In tiefen Lagen ist dieser Effekt mit 0,8 bis 1 °C deutlich ausgeprägter als in den Höhenlagen mit bloss 0,3 bis 0,5 °C. Die kühlende Wirkung könnte auf eine höhere Verdunstung und eine stärkere Oberflächenrauigkeit dichter Wälder zurückzuführen sein. Der deutlichere Effekt in den Tieflagen ist vermutlich eine Folge der dort herrschenden wärmeren Temperaturen, die auch zu einer höheren Verdunstung führen.
 - Die Baumartenzusammensetzung und insbesondere das Verhältnis von Nadel- und Laubbäumen haben einen Einfluss auf die Temperatur.
 - Bei der Umwandlung eines Nadelwaldes in einen reinen Laubbestand erwärmt sich dieser zwischen Winter und Frühjahr – allerdings nur im Flachland. Die Erwärmung erreicht im Frühling ihren Höhepunkt und kann bis zu 1,5 °C ausmachen. Im Berggebiet erfolgt die Erwärmung nur im Frühjahr und tritt ein bis zwei Monate später ein. Dies mag überraschen, haben die dunkleren Nadelbäume doch eine geringere Rückstrahlung und sollten deshalb eher für höhere Temperaturen sorgen. Doch weil die Oberflächenrauigkeit von Nadelbäumen grösser ist und damit auch der turbulente Wärmestrom, kommt es über Nadelwäldern zu einer stärkeren Vermischung mit den oberen und kühleren Luftsichten als in Laubwäldern.
 - Im Sommer sinkt die Temperatur in Laubwäldern um etwa 0,2 bis 0,6 °C, vermutlich aufgrund der höheren Verdunstung von Laubbäumen. Zudem sind die

Blätter der Laubbäume voll entwickelt, was den vertikalen Wärmestrom erhöht und zu kälteren Temperaturen führt. Diese Abkühlung gilt für alle Höhenstufen.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich auch Waldbewirtschaftungsstrategien wie der adaptive Waldbau auf das lokale Klima auswirken. Die Studie zu den biogeophysikalischen Effekten zeigt auf, dass Nadelwälder im Vergleich zu Laubwäldern eine tiefere Albedo haben. Somit ist die sommerliche Tagestemperatur in Nadelwäldern höher. Würde nun im Sinne eines adaptiven

Waldbaus der Anteil klimaangepasster Laubbäume im Schweizer Wald zunehmen – sei es durch gezielte Förderung der Naturverjüngung oder Pflanzung –, hätte dies in solchen Wäldern während des Sommers tiefere Tagestemperaturen zur Folge. Damit ginge eine Abnahme der Waldbrandgefahr einher. Zudem ist die Evapotranspiration in Laubwäldern generell höher als in Nadelwäldern, was das regionale Klima etwas ausgleicht. Dies setzt aber eine ausreichende Wasserverfügbarkeit voraus, was bei zunehmenden Trockenperioden in Zukunft problematisch sein könnte.

Abb. 8: Übersicht über die biophysikalischen Eigenschaften und mögliche Effekte in Bezug auf Klima und CO₂-Sequestrierung

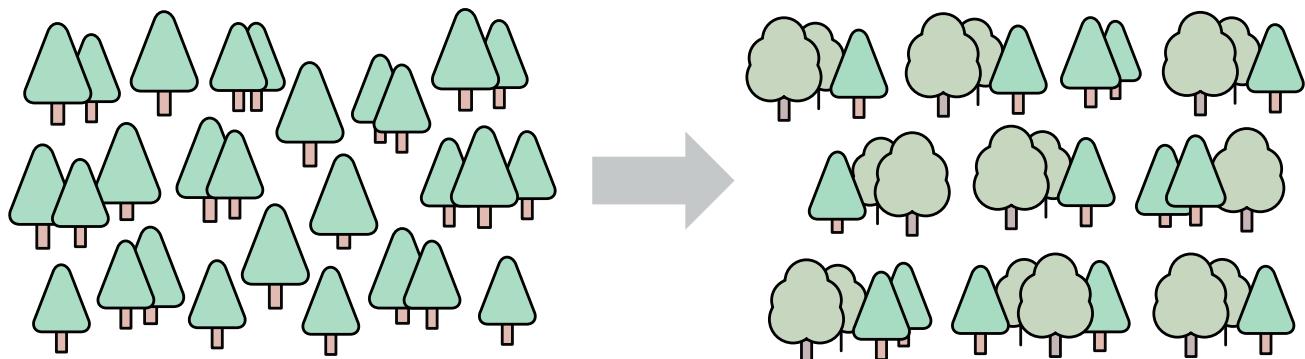
Wenn ein reiner Nadelwald (links) durch einen höheren Laubholzanteil dem Klimawandel angepasst wird (rechts).

Biophysikalische Eigenschaften von einem Bestand mit Nadelbäumen verglichen mit einem Bestand mit Laubbäumen:

- Niedrigere Albedo
- Geringere Evapotranspiration
- Höhere Sommer-Tagestemperatur
- Niedrigere Winter-Tagestemperatur

Mögliche Effekte durch die Erhöhung des Anteils klimaangepasster Laubbäume (im Rahmen eines adaptiven Waldbaus):

- Niedrigere Sommer-Tagestemperatur durch Albedo und Evapotranspiration
- Abnahme Waldbrandgefahr bei ausreichender Wasserverfügbarkeit
- Höhere Strukturvielfalt
- Grössere Biodiversität





In adaptivem Waldbau ergänzen sich Naturverjüngung und Pflanzungen – Wald bei Bülach.
Foto: Robert Jenni

Klimaleistung des Schweizer Waldes und Effekte des Klimawandels

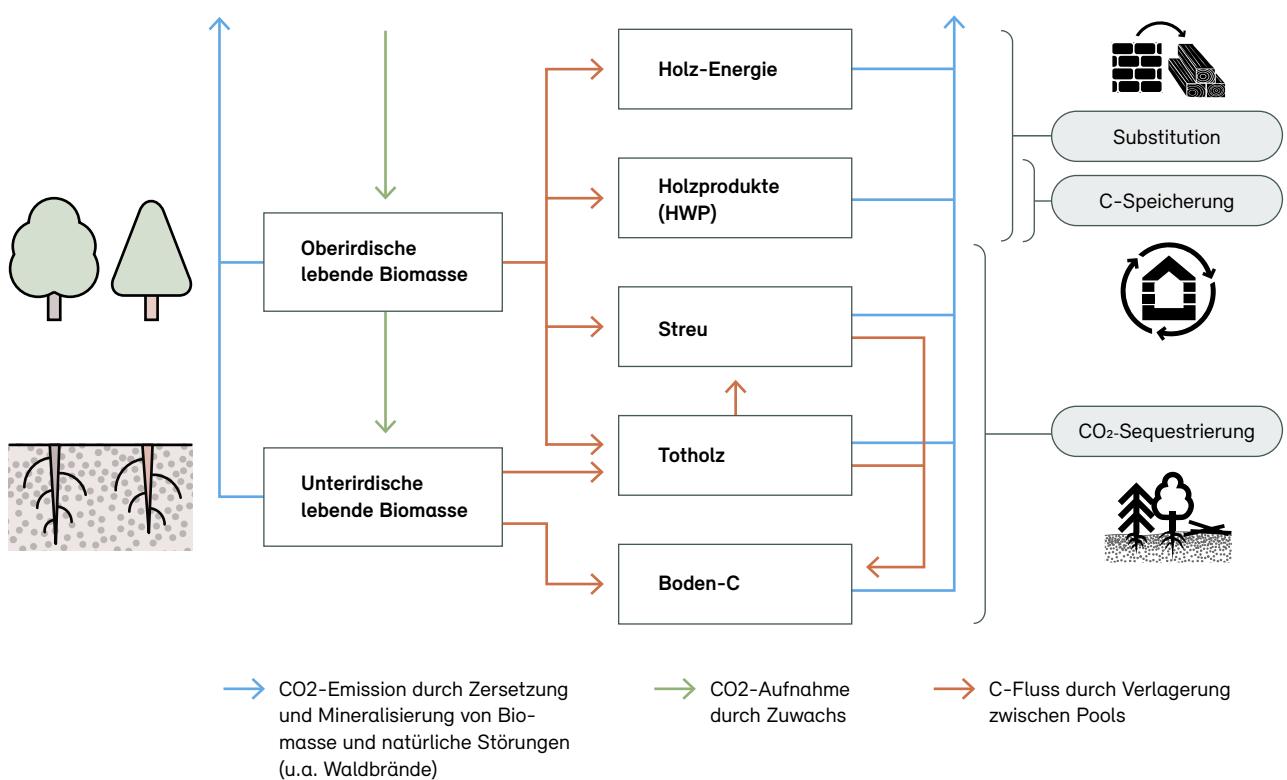
3 Sichern der CO₂-Sequestrierung im Wald

Der Schweizer Wald ist ein bedeutender Kohlenstoffspeicher. Bezogen auf die Flächeneinheit weist er mit 270 Tonnen C pro Hektare den höchsten Kohlenstoffvorrat europäischer Wälder auf. Obwohl der Grossteil davon nicht in den Bäumen, sondern in den Böden gespeichert ist, wird die CO₂-Bilanz des Waldes deutlich von der lebenden Biomasse dominiert. Als Klimaleistung des Waldes gilt nicht der Kohlenstoffvorrat im Wald, sondern die CO₂-Sequestrierung. In der letzten Dekade hat der Schweizer Wald der Atmosphäre jährlich eine Nettomenge von -0,8 bis -3,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente entzogen. Doch der Klimawandel gefährdet die Klimaleistung des Waldes. Um sie langfristig sichern zu können, braucht es Anpassungen bei der Waldbewirtschaftung.

Der Wald als C-Speicher geht weit über die lebende Biomasse hinaus und umfasst auch die organischen und mineralischen Waldböden sowie die sogenannte tote Biomasse, zu der etwa das Totholz und die Streuschicht

gehören. Der Kohlenstoff verweilt unterschiedlich lange in den diversen Speichern und verlagert sich mit der Zeit zwischen diesen Pools (siehe Abbildung 9).

Abb. 9: Kohlenstoff-Flüsse zwischen den verschiedenen Pools im Wald- und Holzsektor mit Darstellung der 3S-Klimaleistungen, basierend auf der IPCC-Methodik²³



So wird durch die Holznutzung ein Teil des Kohlenstoffs in Holzprodukte umgelagert (Kapitel 4.1) oder direkt verbrannt. Ein anderer Teil wird durch Nutzung und natürliche Mortalität zum Totholz, das mit der Zeit abgebaut wird – ebenso wie die Streu. Schliesslich wird der so gebundene Kohlenstoff entweder im Boden gespeichert oder gelangt als Kohlendioxid erneut in die Atmosphäre.

Als Klimaleistung des Waldes gilt nicht das ober- und unterirdisch gespeicherte C, sondern die Bilanz der Zu- und Abflüsse des gesamten C-Vorrats im Wald.

Die Klimabilanz des Waldes umfasst nicht nur die CO₂-Sequestrierung in der lebenden und toten Biomasse, sondern auch Emissionen weiterer Treibhausgase, die bei der Drainage von Böden oder bei Waldbränden entweichen. Um die Wirkung der Klimaleistungen von Wald und Holz vergleichen zu können, erfolgt die Angabe der Emissionen einheitlich mit CO₂-Äquivalenten (CO₂e), wie in Kapitel 1 beschrieben.

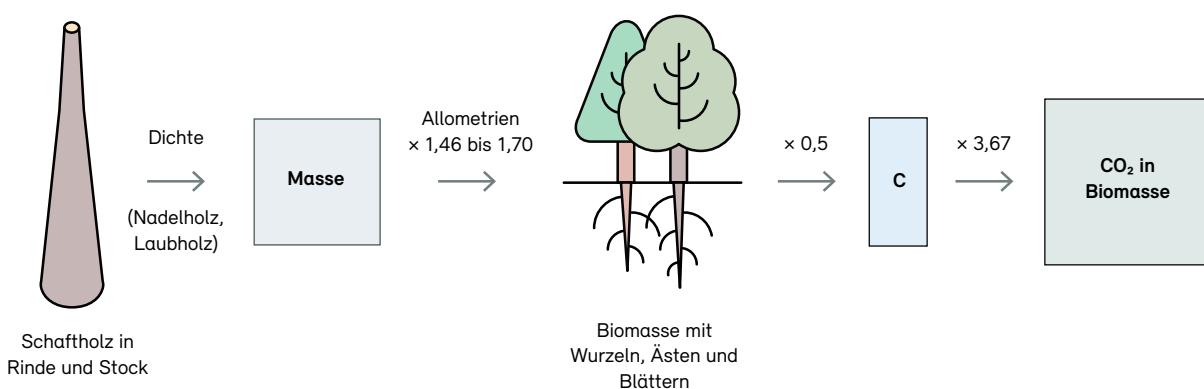
Nicht nur Stammholz, sondern auch Wurzeln, Rinde, Äste, Blätter und Nadeln gehören zur lebenden Biomasse eines Baums (siehe Abbildung 10). Deren C-Vorräte und ihre Veränderungen werden gestützt auf Erhebungen des Landesforstinventars (LFI)²⁴ geschätzt (siehe Kapitel 3.3). In diesem Rahmen erheben Fachleute regelmässig bestimmte Merkmale der Bäume wie den Durchmesser oder die Höhe.

Anhand dieser einfach messbaren Grössen lässt sich das Volumen berechnen. Durch Multiplikation mit der Holzdichte wird das Raummass Holz (m³) in Festmasse (t) umgerechnet. Mit Hilfe von Umrechnungsfunktionen (Allometrien) kann dann auf die gesamte Baumbiomasse geschlossen werden. Mittels wiederholter Aufnahmen können die Fachleute auch Veränderungen in der Baumbiomasse feststellen.

Die Umrechnung von Biomasse in CO₂ ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Biomasse eines Baums besteht rund zur Hälfte aus Kohlenstoff (C). Darrtrockenes Buchenholz mit einer Holzfeuchte von 0 Prozent, das pro Kubikmeter zirka 680 kg wiegt, speichert somit rund 340 kg C²⁵. Um den Kohlenstoff für sein Wachstum zu binden, entzieht ein Baum der Atmosphäre das Treibhausgas Kohlendioxid und spaltet die Moleküle. Dabei wird Sauerstoff freigesetzt. Da ein CO₂-Molekül 3,67-mal schwerer ist als ein Kohlenstoff-Atom, bindet ein Kubikmeter Buchenholz rund 1250 kg CO₂e. In den leichteren Nadelhölzern – wie etwa der Fichte, die im darrtrockenen Zustand pro Kubikmeter ungefähr 430 kg wiegt, sind noch knapp 800 kg CO₂e gebunden.

Auch der C-Vorrat des Totholzes basiert auf den Aufnahmen des LFI. Angaben zum C-Vorrat in der Streu und im Boden liefert die Bodendatenbank der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Das Modell Yasso berechnet aus den Mehrjahreswerten jährliche Veränderungen des in der Streu, im mineralischen Boden sowie im Totholz gespeicherten C. Alle Methoden sind im aktuellen Treibhausgasinventar¹⁸ beschrieben.

Abb. 10: Schätzung der Biomasse (in CO₂) basierend auf Messgrössen aus dem Landesforstinventar (SchaftHolz in Rinde und Stock)



Mit ihrem Kohlenstoffvorrat von insgesamt 150 Tonnen C pro Hektare übertrifft die tote Biomasse in Form von Totholz, Streu und Böden die Speichermenge von 119 Tonnen C pro Hektare in der lebenden Biomasse. Der gesamte Kohlenstoffvorrat des Schweizer Waldes im Umfang von 269 Tonnen C oder gut 986 Tonnen CO₂ pro Hektare entspricht einem Spitzenwert in Europa. Multipliziert man dieses Mittel mit der im LFI5 ausgewiesenen Waldfläche²⁶ von 1,21 Millionen Hektaren, so beläuft sich der C-Vorrat in den einheimischen Wäldern gegenwärtig auf rund 325 Mt C, was wiederum über 1,19 Milliarden Tonnen gespeichertes CO₂e ergibt²⁷.

3.1 Einflussfaktoren für die CO₂-Sequestrierung

Als Klimaleistung des Waldes gilt nicht sein C-Vorrat, sondern dessen Veränderung. Die in dieser Publikation einfacheitshalber als CO₂-Sequestrierung bezeichnete netto-CO₂-Sequestrierung des Waldes entspricht seiner CO₂-Bilanz.

Sie setzt sich zusammen aus Veränderungen des gespeicherten Kohlenstoffs in der lebendigen Biomasse. Beeinflusst wird sie durch die CO₂-Aufnahme als Folge des Baumwachstums – abzüglich der Verluste durch die Holznutzung und von natürlichen Abgängen durch abgestorbene Bäume. Dazu kommen die Veränderungen der C-Vorräte im Totholz, in der Streu und in den Waldböden sowie Emissionen weiterer Treibhausgase durch Drainage von organischen Böden oder Waldbrände. Nimmt der Wald mehr CO₂ auf als er an die Atmosphäre abgibt, so ist er eine Senke (negatives Vorzeichen) und im umgekehrten Fall eine CO₂-Quelle. Jährliche Zahlen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Die C-Speicherung von Holzprodukten wird im Kapitel 4 diskutiert.

Obwohl die Mehrheit der Kohlenstoffmenge nicht in den Waldbäumen, sondern in den Waldböden gespeichert ist, wird die CO₂-Bilanz des Waldes von der lebenden Biomasse dominiert. Gemäss dem schweizerischen Treibhausgasinventar aus dem Jahr 2024¹⁸ haben die Waldböden und ihre organische Auflage im Mittel der Jahre 2013 bis 2022 jährlich –0,18 Mt C oder –0,65 Mt CO₂e gebunden. Das Totholz entsprach in dieser Zeit einer jährlichen Senke von

–0,08 Mt C oder –0,29 Mt CO₂e. Im Vergleich dazu nehmen die lebenden Waldbäume jährlich mit –0,39 Mt C oder umgerechnet –1,44 Mt CO₂e deutlich mehr Kohlenstoff auf. Folglich sind es seit Jahrzehnten die steigenden Vorräte der lebenden Biomasse und die stetige Ausdehnung der Waldfläche, welche die CO₂-Bilanz in den hiesigen Wäldern prägen.

Ohne Betrachtung des Ausnahmejahrs 2000 – mit den Auswirkungen des Orkans Lothar – lag die durchschnittliche jährliche Produktion der entsprechenden Biomasse zwischen 1990 und 2022 in einem Bereich von –12,5 bis –13 Mt CO₂e. Demgegenüber unterliegen die Verluste an lebender Biomasse von Jahr zu Jahr viel stärkeren Schwankungen als die Produktion. Durch die Holznutzung und das Absterben von Bäumen in Jahren ohne Extremereignisse beliefen sich die jährlichen Verluste an lebender Biomasse in der letzten Dekade auf 8,5 bis 12 Mt CO₂e. Starke Abweichungen zeigen sich vor allem in Jahren mit ausserordentlichen Störungen. So fiel zum Beispiel nach dem Orkan Lothar, der Ende Dezember 1999 über die Wälder fegte, im darauf folgenden Aufräumjahr 2000 so viel Sturmholz an, dass Mortalität und Nutzung auf 17,3 Mt CO₂e hochschnellten. Dies machte den Schweizer Wald- und Holzsektor ausnahmsweise zu einer beträchtlichen CO₂-Quelle von 3,2 Mt CO₂e.

In Jahren ohne grossflächige Waldschäden trägt die CO₂-Bilanz der lebenden Biomasse einen Grossteil zur Netto-Speicherleistung des Schweizer Waldes bei. Verglichen damit bestehen in den Bilanzen des Totholzes sowie der organischen und mineralischen Böden keine extremen Schwankungen in einem Umfang, der sich markant auf die Gesamtbilanz auswirken würde. Stärkere Ausschläge treten hingegen beim – von Temperatur und Niederschlägen beeinflussten – Abbau der Streu auf, wo die Fluktuationen von Jahr zu Jahr mehr als 1 Million Tonnen CO₂ ausmachen können.

Eine praktisch vernachlässigbare Rolle spielen gegenwärtig die Treibhausgasemissionen durch Waldbrände sowie durch die Drainage von Waldböden mit ihren geringfügigen Promille-Anteilen.

Ohne Berücksichtigung der Holzprodukte (siehe Kapitel 4) hat der Schweizer Wald die Atmosphäre in der Periode von

2013 bis 2022 bei jährlichen Nettomengen von –0,8 bis –3,4 Mt CO₂-Äquivalenten durchschnittlich –2,4 Mt CO₂ pro Jahr entzogen¹⁸.

Die relativ grosse Bandbreite lässt sich vor allem mit Schwankungen bei der Holzernte und einer höheren Mortalität durch Trockenheit, Windwürfe und Käferbefall erklären. Je nach Jahr können auch Veränderungen in der Streu und in geringerem Ausmass beim Totholz die Gesamtbilanz beeinflussen.

3.2 Anrechnungssystem der Klimaleistungen von Wald und Holz

Wie alle Vertragsparteien verpflichtet das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) auch die Schweiz, in einem Treibhausgasinventar jährlich Rechenschaft über die CO₂-Bilanz des Wald- und Holzsektors abzulegen.

Für die Anrechnung dieser CO₂-Bilanz gelten spezifische Regeln, welche die Vertragsstaaten der UNFCCC periodisch neu aushandeln. So erfolgte die Abrechnung der absoluten CO₂-Bilanz des Wald- und Holzsektors – in der zweiten

Verpflichtungsperiode des von 2013 bis 2020 gültigen Kyoto-Protokolls – gegenüber einem vorher definierten Referenzwert. In diesem Zeitraum konnte sich die Schweiz aufgrund der international geltenden Regeln etwa einen Fünftel der im Treibhausgasinventar ausgewiesenen Senkenleistung von Wald und Holz anrechnen lassen. Geltend machen liessen sich nur zusätzliche, zielspezifische Massnahmen für eine stärkere CO₂-Sequestrierung oder C-Speicherung, welche über die ohnehin übliche Waldbewirtschaftung oder Holzverarbeitung hinausgingen. Unter dem Pariser Klimaabkommen gelten angepasste Regeln für den Wald- und Holzsektor, und die absolute CO₂-Bilanz wird ohne Referenzwert abgerechnet.

3.3 Aktuelle Waldentwicklung und neueste Erkenntnisse aus dem LFI5

Will man den Wald schützen und nachhaltig nutzen, so braucht es objektive Grundlagen zu seinem Zustand und den Veränderungen hinsichtlich all seiner Funktionen. Dazu haben die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) Mitte der 1980er-Jahre die Arbeiten am Landesforstinventar (LFI)²⁴ aufgenommen. Seither werden

Tab. 1: Kennzahlen zu Wald und Holz publiziert im Treibhausgasinventar aus dem Jahr 2024¹⁸

Für die Periode 1990 bis 2022 gültig für bestehende und neu eingewachsene Waldflächen. Der Atmosphäre entzogene Treibhausgase (Aufnahme) sind mit negativen Vorzeichen in Mio. Tonnen CO₂e angegeben. Bei Zahlen ohne Minuszeichen handelt es sich um eine CO₂-Freisetzung.

Jahr	Jährliche Produktion von Biomasse (Zuwachs)	Jährlicher Verlust an Biomasse (Nutzung und Mortalität)	Jährliche Veränderung im Totholz	Jährliche Veränderung in der Streu	Jährliche Veränderung mineralischer und organischer Boden	Nicht-CO ₂ -Emissionen durch Waldbrand und Drainage org. Boden	Netto-Bilanz des Waldes	Jährliche Veränderung in Holzprodukten (HWP)	Netto-Bilanz des Wald- und Holzsektors
1990	–12,87	11,24	–0,09	0,18	–0,38	0,03	–1,88	–1,12	–3,00
2000	–12,54	17,33	–0,32	–0,18	–0,36	0,01	3,93	–0,70	3,23
2005	–12,58	11,19	–0,45	–1,14	–0,32	0,01	–3,30	–0,69	–3,99
2010	–13,00	11,29	–0,48	–1,19	–0,31	0,00	–3,70	–0,43	–4,12
2015	–13,08	10,35	–0,13	0,16	–0,32	0,00	–3,01	–0,07	–3,08
2018	–12,25	12,28	–0,37	–0,18	–0,33	0,00	–0,85	–0,05	–0,90
2019	–12,27	11,32	–0,39	–0,44	–0,34	0,00	–2,12	0,08	–2,03
2020	–12,28	11,60	–0,42	–0,64	–0,34	0,00	–2,08	0,02	–2,06
2021	–12,30	11,98	–0,53	–1,13	–0,35	0,00	–2,33	–0,13	–2,46
2022	–12,31	12,36	–0,39	–0,59	–0,33	0,01	–1,26	–0,04	–1,29

wiederkehrend aktuelle Daten zu Waldfläche, Vorrat, Zuwachs, Nutzung, biologischer Vielfalt, Schutzwaldqualität, soziokulturellen Leistungen des Waldes und weitere Parameter erhoben. Die Ergebnisse des LFI dienen Politik, Gesellschaft, Wirtschaft und Forschung als Arbeits- und Entscheidungsgrundlagen.

Die laufenden Erhebungen umfassen die fünfte Inventurperiode von 2018 bis 2026, wobei die Zwischenergebnisse²⁰ der ersten fünf Erhebungsjahre bis 2022 seit dem Frühjahr 2023 vorliegen. Sie legen dar, dass die Wetterextreme im Schweizer Wald nach 2018 deutliche Spuren hinterlassen haben. So gibt es mehr tote und geschädigte Bäume. Hauptgründe dafür sind die Vitalitätsverluste und Mortalität durch vermehrt auftretende Trockenheit und Hitze und Windwurf. Doch auch Insektenbefälle, Pilze und weitere Krankheiten haben zugenommen.

Ein Teil der aktuellen Schadenursachen ist allerdings nicht oder nur indirekt mit den veränderten klimatischen Bedingungen verknüpft. Dies gilt etwa für das durch einen eingewanderten Pilz verursachte Eschentriebsterben oder die starke Zunahme des Borkenkäferbefalls bei der Fichte. Hier lässt sich eine komplexe Verkettung zahlreicher Faktoren erkennen. In den tieferen Lagen unterhalb von 800 Meter über Meer wachsen die vorhandenen Fichten eigentlich an natürlichen Buchenstandorten und gelten deshalb als standortfremd. Für die Fichte als Flachwurzler ist es inzwischen an vielen solchen Standorten zu heiß und zu trocken. Dies führt zu Vitalitätsverlusten, was die Bäume anfälliger für weitere Störungen – wie Borkenkäferbefall und Windwurf – macht.

Aktuell ist die Fichte immer noch die wirtschaftlich wichtigste und häufigste Baumart der Schweiz. Doch die Zwischenergebnisse des LFI5 belegen, dass sie im Jura und Mittelland sowie in Teilen der Voralpen von einer deutlichen Zunahme der Mortalität und von Zwangsnutzungen betroffen ist. Als Hauptursachen dafür gelten Insektenbefall und Stürme.

Die Bekämpfung der Verbreitung und Vermehrung des Borkenkäfers bedingt aktive Massnahmen der Waldbesitzer in Form von Zwangsnutzungen. Geschwächte und betroffene Fichten sollten möglichst rasch gefällt und entweder für die Verarbeitung abtransportiert oder vor der

Lagerung im Wald entrindet werden. Ohne Bekämpfung können sich die Borkenkäfer in grossen Mengen vermehren und weitere Bestände befallen²⁸. Zudem profitieren die Borkenkäfer insofern von der Klimaerwärmung, als sich die Insekten schneller entwickeln und in einem Jahr vermehrt mehrere Generationen davon auftreten.

Auch die Buche als zweithäufigste Baumart im Inland leidet regional stark unterschiedlich unter der Zunahme von Trockenheit und Hitze. Die grössten Veränderungen lassen sich nach 2018 vor allem in der Produktionsregion Jura beobachten. Aufgrund der insbesondere im Karstgebiet flachen und wasser durchlässigen Böden sind die Standortbedingungen hier zusätzlich herausfordernd. Auch wenn die Buche im Jura als standortgerechte Baumart gilt, leidet sie während längeren Trockenperioden rasch an Wassermangel. Gleich verhält es sich mit den anderen vorkommenden Baumarten wie etwa Fichte und Tanne. Somit hat sich die Mortalität in dieser Region innert fünf Jahren mehr als verdoppelt.

Die Zwischenergebnisse des LFI5 zeigen auch auf, dass wenig junge Bäume nachwachsen. Der Anteil dicht geschlossener Wälder hat sich erhöht, und die Bestände werden einschichtiger. Diese Trends führen dazu, dass die Widerstandsfähigkeit solcher Wälder gegen Störungen wie Sturm und Borkenkäfer abnimmt.

Auch in vielen Schutzwäldern ändern sich die Standortsbedingungen, wenn es durch den Klimawandel wärmer wird. Künftig gewährleisten hier andere Baumarten als heute die Schutzwirkung. Damit diese zukunftsfähigen Baumarten aufkommen können, braucht es zwingend eine Verjüngung der Wälder. Sie ist damit ein Schlüsselement für die Anpassung der Schutzwälder an den Klimawandel.

Die Kombination aus zunehmender Störungsanfälligkeit und fehlender Verjüngung stellt für die langfristige Schutzwirkung ein Risiko dar. Denn wenn im Schutzwald grössere Lücken entstehen und junge Bäume fehlen, kann der Schutz vor Naturgefahren für eine gewisse Zeit ungenügend sein. Auch drohen dadurch Verzögerungen bei der erforderlichen Anpassung der Wälder an den Klimawandel.

Die unterschiedlichen Entwicklungen in den Produktionsregionen legen dar, dass zusätzlich zum Klimawandel auch

weitere Einflussfaktoren eine Rolle spielen. Dazu gehören die Höhenlage, die Standort- und Bodeneigenschaften, die Verfügbarkeit von Wasser während Trockenphasen, das Alter und die Baumartenmischung der Bestände sowie die Anpassungsfähigkeit der jeweiligen Baumarten.

Die Schweizer Waldböden weisen relativ grosse C-Vorräte auf, die sogar jene der lebenden Biomasse der darauf stockenden Bäume übersteigen. Daher stellt der Erhalt des C-Vorrats im Boden ein wesentliches Ziel dar. Eine Intensivierung der Waldbewirtschaftung kann zu einem Rückgang dieses Vorrats führen. Entsprechend wichtig ist eine bodenschonende Waldbewirtschaftung, um den Rückgang des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs weitgehend zu vermeiden³. Waldbewirtschaftungspraktiken wie die Förderung einer grossen Baumartenvielfalt oder die Totholzförderung sind Bestandteile eines naturnahen, nachhaltigen Waldbaus, wirken sich positiv auf die Biodiversität aus und können gleichzeitig eine Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Boden bewirken⁵. Treten allerdings natürliche Störungen wie Waldbrände und Windwurf auf, werden grosse Mengen an Kohlenstoff freigesetzt²⁹. Gemäss IPCC wird die Häufigkeit solcher grösseren Störungen mit fortschreitendem Klimawandel zunehmen²².

Im Hinblick auf die im LFI5 beobachtete erhöhte Mortalität²⁰ ist zu beachten, dass der C-Vorrat im Totholz eine Abbaudauer von mehreren Jahrzehnten hat, die je nach Baumart und Klimabedingungen variiert. Am längsten⁴⁹ ist sie für kühle oder trockene Bedingungen. Mit einer mittleren Halbwertszeit von 35 bis 50 Jahren liegt der Totholzabbau in einer ähnlichen Grössenordnung wie diejenige von Holzprodukten³¹.

Auswirkungen der Entwicklungen zum Holzvorrat

Gemäss den Zwischenergebnissen des LFI5 ist der Holzvorrat – und somit auch der C-Vorrat – im Schweizer Wald landesweit betrachtet relativ stabil geblieben. Allerdings sind bei der Vorratsentwicklung deutliche regionale Unterschiede erkennbar. So hat sich der Vorrat im Mittelland seit der Jahrtausendwende kontinuierlich vermindert. Dagegen hat er im Alpenraum und auf der Alpensüdseite wiederum zugenommen. Die festgestellten Trends und Entwicklungen deuten darauf hin, dass sich bei weiterhin zunehmenden Störungen in Zukunft auch grössere Abnahmen des inländischen Holzvorrats nicht ausschliessen lassen. Unter Umständen wären die jährlichen Verluste damit grösser als die gleichzeitig gebundenen Mengen an CO₂, und der Wald könnte zu einer CO₂-Quelle werden.

3.4 Der Klimawandel verschärft die Risiken im Wald

Gemäss dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie ist die mittlere Temperatur in der Schweiz seit Messbeginn stark angestiegen. Verglichen mit dem vorindustriellen Durchschnitt der Periode von 1871 bis 1900 beträgt die Zunahme im Zeitraum von 2014 bis 2023 bereits 2,7 Grad Celsius³². Ohne Gegenmassnahmen zu einer drastischen Reduktion der Treibhausgasemissionen in den kommenden Jahrzehnten prognostizieren die vom Bund erarbeiteten NCCS-Klimaszenarien bis etwa 2060 noch trockenere Sommer mit einer weiteren Zunahme der bodennahen Lufttemperatur um 2,5 bis 4,5 Grad Celsius. Damit einher gehen längere Trockenperioden, mehr Hitzetage und weniger Niederschläge, während im Winter schneearme Verhältnisse mit einem Anstieg der Nullgradgrenze um bis zu 650 Höhenmeter drohen.

Auch wenn es den Vertragsparteien des Pariser Klimaabkommens gelingt, ihren Ausstoss an Kohlendioxid und weiteren Treibhausgasen bis 2050 auf den Zielwert Netto Null abzusenken, wird die globale Erwärmung – aufgrund der bisherigen Emissionen – forschreiten.

Die Klimaerwärmung hat beträchtliche Auswirkungen auf unsere Wälder und ihre Funktionen und Leistungen wie unter anderem die Klimaleistung. So geht etwa der 2022 vom Bundesrat verabschiedete Bericht «Anpassung des Waldes an den Klimawandel»⁵ davon aus, dass sich die Vegetationshöhenstufen als Folge der zunehmenden Sommertrockenheit bis Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber heute um 500 bis 700 Meter nach oben verschieben. Bäume, die heute keimen, werden daher schon in mittlerem Alter in einem stark veränderten Klima leben. Der Höhenanstieg wird die Waldstandorte und mit ihnen die Baumartenzusammensetzung verändern. Noch ist unklar, wie sich die veränderte Artenzusammensetzung auf die Biodiversität auswirken wird. Doch der rasche Klimawandel dürfte das Anpassungs- und Ausweichvermögen vieler Arten überfordern. «Steigende Temperaturen und zunehmende Trockenheit während der Vegetationszeit setzen die Bäume und andere Waldarten unter Stress und fördern den Befall und die Vermehrung von Schadorganismen», stellt der bundesrätliche Bericht fest. Deswegen sei häufiger mit Ertragseinbussen in der Waldwirtschaft, einem erhöhten Waldbrandrisiko, Beeinträchtigungen der Schutzwaldleistung sowie Einbussen bei der Erholungsnutzung zu rechnen.

Klimabedingte Störungen im Wald bergen somit auch das Risiko, durch vermehrte und grossflächige Schäden den im Wald gespeicherten Kohlenstoff als CO₂ in die Atmosphäre freizusetzen. Gefährdet sind dabei primär vorratsreiche, standortfremde und einförmige Nadelwälder, Wälder mit einer unzureichenden Verjüngung sowie Bestände an trockenen oder trockener gewordenen Standorten.

3.5 Zwingende Anpassung des Waldes an den Klimawandel

Die langfristige Klimaerwärmung und die jüngsten Schadereignisse im Wald zeigen eine kritische Entwicklung, wie sie auch die Auswertungen der LFI5-Daten²⁰ dokumentieren. Es kommt somit einer Herausforderung gleich, die Ziele der Waldpolitik zu erreichen und verdeutlicht die Bedeutung der darin aufgezeigten Massnahmen zur Anpassung des Waldes an den Klimawandel. Die Schweizer Waldpolitik will den Wald als vielfältiges, resilientes und damit anpassungsfähiges Ökosystem mit allen seinen Leistungen auf

lange Sicht erhalten. Auch unter veränderten klimatischen Bedingungen soll er seine Funktionen und Leistungen für Gesellschaft und Wirtschaft als naturnaher Lebensraum erfüllen können. Im Hinblick auf die Klimarisiken besteht ein entscheidender Beitrag darin, die nachhaltige Waldbewirtschaftung zu gewährleisten.

Durch einen naturnahen und adaptiven Waldbau sollen die Wälder bestmöglich an das aktuelle und zukünftige Klima angepasst und die Vorratsentwicklung in klimasensitiven Wäldern kontrolliert gelenkt werden⁵⁵. Ziel ist es unter anderem, die Vitalität der Bestände zu erhöhen, indem man sich auf ihre Widerstandsfähigkeit, Regenerationsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit fokussiert. Dabei spielt die Biodiversitätsförderung – durch Erhöhung der Artenvielfalt, Strukturvielfalt und der genetischen Vielfalt – eine zentrale Rolle.

So entstehen mit der Zeit zunehmend vielfältige und resiliente Wälder, die sich auch nach Störungen rasch erholen, ihre Funktionen langfristig erfüllen, sich dem weiter voranschreitenden Klimawandel weiter anpassen können und so die erwünschten Leistungen nachhaltig erbringen. Dadurch soll auch die Sequestrationsfähigkeit der Wälder langfristig erhalten bleiben.

Die Anpassung des Waldes an den Klimawandel mindert das Risiko einer Abnahme seiner Fähigkeit, CO₂ aus der Atmosphäre aufzunehmen und zu speichern³. Bei klimasensitiven Beständen, die oft auf trockenen Standorten und Böden wachsen oder von standortfremden Nadelhölzern dominiert sind, erfordert dies gezielte Entscheide der Waldbauverantwortlichen – und entsprechende Massnahmen. Sie beinhalten allenfalls, dass kurz- und mittelfristig mehr Holz geerntet und verarbeitet wird und dass zukunftsfähige Baumarten gefördert werden. Umgekehrt lässt sich in risikoarmen, angepassten Beständen und an entsprechenden Standorten der Vorrat situativ auch erhöhen.

Möglicherweise führen die Anpassungsmassnahmen in den nächsten Jahrzehnten zu einer Reduktion des Holzvorrats, doch langfristig erfolgt wieder ein Aufbau. Zu berücksichtigen sind dabei veränderte Standortbedingungen, eine neue, klimaangepasste Baumartenzusammensetzung und die Grundsätze der naturnahen, adaptiven Waldbewirtschaftung.

3.6 Weitere Hindernisse und Herausforderungen

Wie der bundesrätliche Bericht zur «Anpassung des Waldes an den Klimawandel»⁵ festhält, gibt es auf dem Weg zu angepassten und resilienten Wäldern einige Hindernisse. Dazu gehört in weiten Gebieten des Landes der Verbiss aufkommender Jungbäume durch das Schalenwild. Gerade zukunftsfähige Baumarten – wie zum Beispiel Weisstanne, Bergahorn, Traubeneiche, Waldföhre oder Elsbeere – werden von Wildtieren wie Reh, Hirsch und Gämse stark verbissen oder gefegt. Ohne Wildschutz können ihre Jungbäume oft gar nicht aufkommen. Das gilt für natürlich verjüngte, aber noch stärker für gepflanzte Bäume. Unter dem Fressdruck der heutigen Wildbestände besteht deshalb die Gefahr, dass der angestrebte Wechsel hin zu klimaresistenteren Baumarten – ohne zusätzliche Wildbestandregulierung – misslingen könnte. Für die Waldbesitzenden sind Wildschutzmassnahmen jedoch oft aufwändig und kostspielig.

Eine weitere Herausforderung bilden die oft zu wenig dynamischen waldbaulichen Planungsgrundlagen, welche in etlichen Fällen noch nicht ausreichend auf die Herausforderungen durch den Klimawandel ausgerichtet sind.

Zudem gilt gut ein Drittel aller Wälder im Inland als nicht oder nur unregelmässig bewirtschaftet. Die Gründe dafür sind oft wirtschaftlich bedingt. Wenn die Kosten der Bewirtschaftung die Einnahmen aus Holzverkäufen übersteigen, beschränken viele Waldeigentümerinnen und Waldeigentümer die Pflegemassnahmen und Holzernte auf ein Minimum.

Dazu kommt, dass die Schweizer Waldwirtschaft mit ihren rund 250 000 Waldeigentümerinnen sehr kleinstrukturiert aufgebaut ist und – gemessen an den kommenden Aufgaben – noch zu wenig organisiert. Mit Ausnahme von Schutzwäldern und bei erheblichen Waldschäden besteht hierzulande keine Bewirtschaftungspflicht.

3.7 Waldpolitische Steuerungsinstrumente

Mit dem 2016 revidierten Waldgesetz hat der Bund die rechtlichen Grundlagen für Massnahmen zur Anpassung des Waldes an den Klimawandel, zur Bekämpfung von Schadorganismen sowie zur Steigerung der Holznutzung und Holzverwendung geschaffen. Hauptsächlich im Rahmen der «Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen (NFA)» schliesst er Programmvereinbarungen mit den Kantonen ab. Massgebend ist die Programmvereinbarung Wald mit den drei Teilprogrammen Schutzwald, Waldbiodiversität und Waldbewirtschaftung. Grundsätzlich wirken sich die von Bund und Kantonen finanziell unterstützten Massnahmen positiv auf die Klimaleistungen des Waldes aus. Diese fördern nämlich Aspekte wie die Waldentwicklung im Klimawandel oder die Optimierung der Bewirtschaftungsbedingungen. Zudem stehen Fördermittel des BAFU für Aktivitäten der Forschung oder Umweltbeobachtung zur Verfügung.

Dazu kommt das Instrument der forstlichen Investitionskredite. Sie sollen die Waldbewirtschaftung mittel- und langfristig verbessern. Finanziert werden damit Projekte und Anschaffungen, die entweder dem Schutz vor Naturereignissen dienen oder der rationellen Pflege und Nutzung des Waldes.

Im Übrigen hat der Bund bereits verschiedene Grundlagen und Instrumente zum Themenkreis Wald und Klimawandel entwickelt. Diese sind auch in den bundesrätlichen Bericht «Anpassung des Waldes an den Klimawandel»⁵ eingeflossen. Unter anderem zeigt der entsprechende Überblick auf, in welchen Bereichen noch Handlungsbedarf besteht und welche Massnahmen zu treffen sind.

Die Integrale Wald und Holzstrategie 2050 (IWHS 2050)⁶ definiert die langfristige Perspektive mit Horizont 2050, aber auch Massnahmen, um die waldbpolitischen Ziele zu erreichen.



Markthalle Toggenburg, Wattwil SG, 2005
Foto: Ralph Feiner, Malans / LIGNUM

Die Klimaleistungen der Holzverwendung in der Schweiz

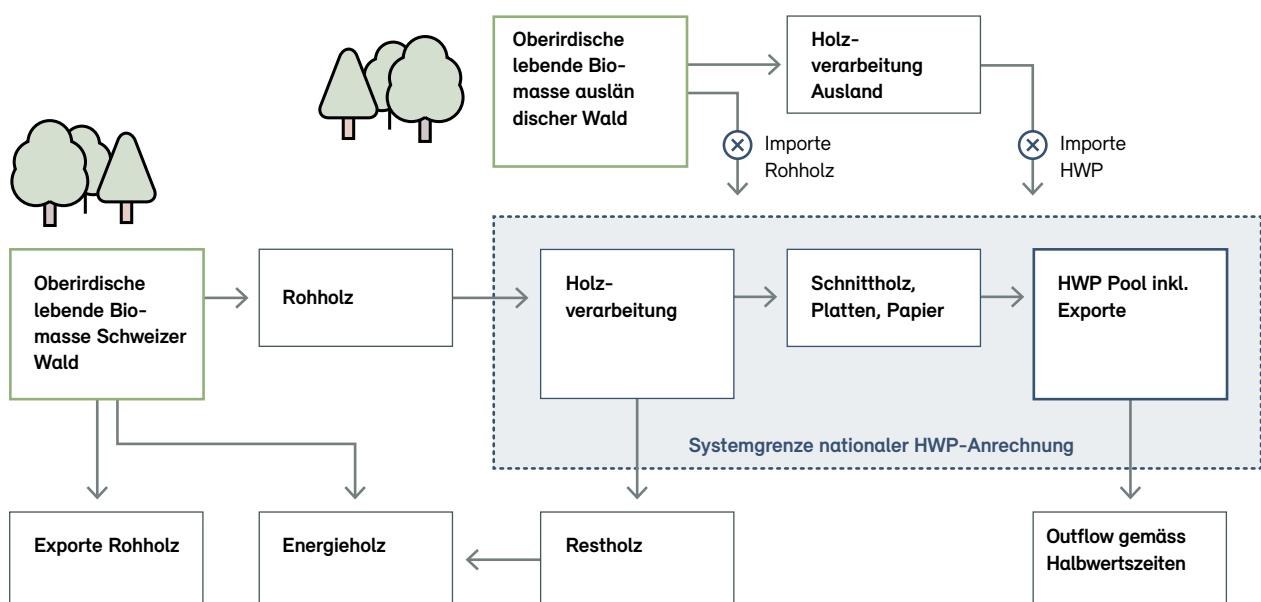
4 Holzprodukte vermehrt und länger einsetzen

Die Holzernte für eine stoffliche und energetische Verwendung kann positive Beiträge zum Klimaschutz leisten. Der Anteil der C-Speicherung in Holzprodukten lässt sich aus Schweizer Sicht erhöhen, wenn mehr dieser Waren aus inländischem Holz hergestellt werden und die Ausbeute der Holzernte steigt. Auch ein mehrfacher materieller Einsatz, der die C-Speicherung verlängert, optimiert die Klimaleistung. Wird Holz anstelle von emissionsintensiven Baustoffen oder anstelle von fossilen Energieträgern verwendet, spart auch dies Emissionen ein und erhöht den Substitutionseffekt. Im Vergleich zur CO₂-Sequestrierung im Schweizer Wald sind die Größenordnungen der C-Speicherung in Holzprodukten und der Substitutionseffekte deutlich kleiner, aber trotzdem relevant.

Langlebige Holzprodukte prägen unseren Alltag. Viele Möbelstücke, die uns zuhause oder bei der Arbeit umgeben, sind aus dem erneuerbaren Rohstoff gefertigt – vom Bettgestell über den Kleiderschrank und die Küchenkombination bis hin zum Esstisch, Bücherregal oder Schreibtisch.

Bedeutender als dieser C-Vorrat in Einrichtungsgegenständen sind die im Gebäudepark Schweiz verbauten Wände, Decken, Dachstühle, Fassaden, Dämmstoffe, Fenster, Türen, Treppen oder Bodenbeläge aus Holz. Dazu kommen weitere Einsatzgebiete wie Verpackungen, Zäune, Unterstände, Schalungssysteme und Gerüstbretter

Abb. 11: Systemgrenze der HWP-Anrechnung (gestrichelte Linie) von Holzprodukten (HWP: harvested wood products), wie sie das Treibhausgasinventar der Schweiz gemäss den internationalen Anrechnungsregeln des IPCC anwendet.



sowie Bestandteile von Infrastrukturanlagen wie Brücken, Lärmschutzwände oder Bahnschwellen.

Der im Baumstamm gespeicherte Kohlenstoff (C) verschwindet bei der Holzernte zwar aus dem Wald, doch wenn Schnitt- und Industrieholz zu langlebigen Produkten verarbeitet werden, bleibt ein Teil des eingelagerten Kohlenstoffs weiterhin gebunden und wechselt einfach den Speicherort (siehe Abbildung 11). Zu seiner Freisetzung kommt es erst, wenn die ausgedienten Holzprodukte später verbrannt werden oder verrotten.

Unter dem Strich beläuft sich die Gesamtmenge des Kohlenstoffs, der in langlebigen Holzprodukten aus Schweizer Holz gebunden ist, landesweit auf 16,5 Mt C¹⁸.

4.1 Die C-Speicherung in Holzprodukten

Die international geltenden Anrechnungsregeln unter dem Pariser Klimaabkommen, schreiben den Vertragsstaaten vor, über die Veränderungen des Kohlenstoffvorrats in langlebigen Produkten aus einheimischem Holz Rechenschaft abzulegen. Wie bei der Klimaleistung des Waldes gilt bei den als «harvested wood products» (HWP) genannten Holzprodukten nicht der C-Vorrat als Klimaleistung, sondern die Bilanz der jährlichen Zu- und Abflüsse von Kohlenstoff im HWP-Pool (siehe Abbildung 11). Diese Bilanz entspricht der Netto-C-Speicherung in Holzprodukten und wird in dieser Publikation einfachheitshalber als C-Speicherung bezeichnet. Will die Schweiz in diesem Bereich eine Senkenwirkung ausweisen, so muss der Zufluss in den C-Speicher des HWP-Pools aus Schweizer Holz also grösser sein als der Abfluss.

Für die Berechnung der HWP-Bilanz sind die jährlichen Produktionsmengen an Halbwaren wie Schnittholz und Holzwerkstoffen sowie an Papier und Karton aus Schweizer Holz massgebend, welche unter anderem in der Datenbank der Welternährungsorganisation (FAOSTAT)¹⁹ erfasst sind. Der Abfluss wird mittels einer Zerfallsfunktion¹ berechnet, bei der für Schnittholz eine Halbwertszeit von 35 Jahren und für Platten eine solche von 25 Jahren angenommen wird. Bei den kurzlebigeren Waren Karton und Papier verkürzt sich die Halbwertszeit auf zwei Jahre.

Laut dem schweizerischen Treibhausgasinventar aus dem Jahr 2024¹⁸ belief sich die zusätzliche C-Speicherung in Holzprodukten im Zeitraum von 2013 bis 2022 auf durchschnittlich –21 920 Tonnen CO₂e pro Jahr. Dies entspricht 0,9 Prozent der gesamten Klimabilanz des Wald- und Holzsektors in dieser Periode (–2,4 Mt CO₂e; siehe Kapitel 3, Tabelle 1). Seit den 1990er-Jahren hat die entsprechende Speicherwirkung stetig abgenommen. Bezogen auf Holzprodukte aus der Schweiz erreichte sie in der Periode von 1990 bis 1995 eine mittlere jährliche Speicherung von –590 000 Tonnen CO₂e. Doch mittlerweile ist diese C-Bilanz der letzten Jahre mehr oder weniger ausgeglichen.

In den Jahren 2013, 2017, 2019 und 2020 war der HWP-Pool gar eine CO₂-Quelle. Denn es floss weniger Kohlenstoff ein als – aufgrund der Lebensdauer anhand der Halbwertszeiten – gleichzeitig aus dem Pool verschwand.

Die inländische Holzindustrie leidet noch immer unter den Folgen eines harten Strukturwandels, den die wirtschaftlichen Verwerfungen nach der Weltfinanzkrise von 2007 auslösten. Stark ins Gewicht fallen in dieser Beziehung unter anderem die Schliessung der Cellulosefabrik im solothurnischen Attisholz (2008), das wirtschaftliche Ende des modernen und nur wenige Jahre betriebenen Grosswägeworks im bündnerischen Domat-Ems (2010) sowie die Schliessung der beiden Pavatex-Werke in Freiburg (2014) und Cham (2019). Seit die Holzpreise nach einem langen Sinkflug in den letzten Jahren erstmals wieder leicht angezogen haben, hat sich die Situation etwas normalisiert.

Ohne eine markante Änderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zugunsten der einheimischen Wald- und Holzwirtschaft ist die Trendwende allerdings kaum zu schaffen. Zumindest kurzfristig betrachtet wird die C-Speicherung in langlebigen Holzprodukten deshalb nicht mehr an die Klimaleistungen früherer Jahre heranreichen. Gleich wie beim Wald erfolgte die Anrechnung der absoluten CO₂-Bilanz in der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls gegenüber einem vorher definierten Referenzwert (siehe Kapitel 3.2). Unter dem Pariser Klimaabkommen gelten angepasste Regeln und die absolute CO₂-Bilanz wird ohne Referenzwert abgerechnet.

4.2 Holz ersetzt klimabelastende Werkstoffe und Energieträger

Allerdings beschränkt sich die Klimawirkung von holzbasierten Gütern nicht nur auf die Speicherung von Kohlenstoff. Bedeutend sind auch die materiellen Substitutionseffekte. Sie entstehen, wenn der Werkstoff Holz Baumaterialien wie Beton oder Stahl ersetzt, deren Herstellung mehr CO₂ freisetzt. Die im Auftrag des BAFU erarbeitete wissenschaftliche KWH-Sstudie⁶⁴ beziffert die Minderemissionen bei einer materiellen Substitution im Durchschnitt auf –730 Kilogramm CO₂e pro Kubikmeter Holz (siehe Tabelle 2). Je nach Art und Herkunft der ersetzen Rohstoffe entfallen etwa 45 Prozent dieser Einsparungen auf die Schweiz und der Rest auf andere Herkunftsländer.

Ins Gewicht fallen auch die energetischen Substitutionseffekte, die sich aus der energetischen Verwendung von Holzprodukten am Ende ihrer Lebensdauer ergeben. Wenn Holz als Energieträger eingesetzt wird, braucht es dadurch weniger fossile Brennstoffe wie Heizöl, Erdgas oder Kohle. Hier macht der abgeschätzte mittlere Substitutionseffekt –575 Kilogramm CO₂e pro Kubikmeter Holz aus (siehe Tabelle 2), wovon aufgrund der Holzherkunft 80 Prozent der Schweiz und der Rest dem Ausland zugerechnet werden. Weil die Substitutionseffekte bei einer Kaskadennutzung pro Kubikmeter Holz mehrmals stofflich und am Ende auch energetisch eintreten, summieren sich deren Wirkung.

Längerfristig sind die Substitutionseffekte durch Verwendung von Holzprodukten allerdings nicht gesichert, weil sich im Zuge der angestrebten Dekarbonisierung hierzulande und in Europa das technologische, industrielle und gesellschaftliche Umfeld stark verändert.

Die Herstellung der meisten Produkte darf in wenigen Jahrzehnten keine Treibhausgasemissionen mehr freisetzen, und die Ökobilanz von Holz als Energieträger wird sich in Zukunft vermehrt an erneuerbaren Wärme- und Stromquellen wie der Wasserkraft, Solar- und Windenergie messen müssen. Diesbezüglich gibt die internationale Klimapolitik modernen Industriekonventionen wie der Schweiz mit einem Zielwert von Netto-Null bis 2050 für die Emissionen von Treibhausgasen die Stossrichtung vor. Die dazu erforderlichen Innovationen dürften den Ausstoss von Kohlendioxid und weiteren Treibhausgasen je produzierter Einheit in den kommenden Jahrzehnten deutlich reduzieren. Damit wird auch die Substitutionswirkung von Holz gegenüber konkurrenzierenden Werkstoffen und Energieträgern fortlaufend abnehmen.

4.3 Die materielle Holzverwendung stärken

Auf lange Sicht sollten sich die Bemühungen der Wald- und Holzwirtschaft darauf konzentrieren, im Schweizer Wald stabile Nutzungsmengen und eine stabile CO₂-Sequestrierung zu sichern sowie ihre Klimaleistungen zu optimieren. Dies läuft auf eine markante Steigerung und langfristige Erhaltung der C-Speicherung in Holzprodukten hinaus. Wie die Resultate des Nationalen Forschungsprogramms «Ressource Holz» (NFP 66) aufzeigen, steht eine vermehrte Holzgewinnung nicht im Widerspruch zur Erhaltung der übrigen Waldfunktionen und Waldleistungen.

Allerdings führen die im Vergleich zum Ausland teureren Verarbeitungskosten zu einem höheren Produktionsaufwand, was die Konkurrenzfähigkeit gegenüber importierten Holzwaren deutlich herabsetzt.

Tab. 2: Gerundete Kennzahlen der eingesparten CO₂e-Emissionen pro eingesetzten Kubikmeter Holz für materielle und energetische Zwecke¹

kg CO ₂ e/m ³ Holz	CH	Ausland	Total
Materiell	–338	–392	–730
Energetisch	–460	–115	–575
Total	–798	–507	–1305

Um diese Nachteile etwas auszugleichen, sollte die einheimische Holzwirtschaft die Ausbeute der geschlagenen Bäume für materielle Verwendungszwecke erhöhen. Aufgrund einer hohen Nachfrage nach Hackschnitzeln und Pellets und zusätzlich günstiger Förderbedingungen und Subventionen für Holzheizungen, landet aktuell fast die Hälfte des Frischholzes direkt im Ofen. Dies führt dazu, dass gemäss Treibhausgasinventar der Schweiz¹⁸ aktuell nur gerade 15 Prozent des Kohlenstoffs von gefällten und abgestorbene Bäumen aus dem Schweizer Wald in langlebige Holzprodukte (HWP) gelangen. Damit steht die direkte energetische Verwendung in Konkurrenz zu einer höheren materiellen Verwertung.

4.4 Die lokale Wertschöpfung fördern

Dabei ist die Wertschöpfung verarbeiteter Holzprodukte weit höher als diejenige einer energetischen Verwertung und kann insbesondere auch die gewerblichen Strukturen in Randregionen stärken. Dazu braucht es aber vermehrt regional ausgelegte und verankerte Wertschöpfungsketten.

Neue Möglichkeiten für eine gesteigerte materielle Holzverwendung bieten etwa Weiterentwicklungen von Holzanwendungen sowie die Erschliessung zusätzlicher Absatzmärkte. Noch im Entwicklungsstadium stecken Projekte für holzbasierte Bioraffinerien, die chemische Bausteine aus Biomasse herstellen und Bestandteile wie Tannine oder Nanocellulose als Ausgangsstoffe neuartiger Materialien für industrielle Produkte verwenden. In diese Richtung zielen auch Handlungsempfehlungen des NFP 66, die einheimische Ressource Holz verstärkt in eine umfassende Bioökonomiestrategie des Landes einzubetten und ein Kompetenzzentrum Bioraffinerie zu schaffen.

Generell geht es darum, das in der Schweiz geerntete Holz sinnvoll und ressourceneffizient zu verarbeiten, möglichst für langlebige Produkte einzusetzen, damit lokale Wertschöpfungsketten zu stärken und das Potenzial der Kohlenstoff-Speicherung in Holzprodukten langfristig zu nutzen.

4.5 Ausrichtung auf veränderte Holzsortimente

Die Schweizer Holzwirtschaft ist auch insofern gefordert, als sich das Holzangebot aus den inländischen Wäldern durch den Klimawandel und den naturnahen, adaptiven Waldbau künftig verändern wird⁶⁸. Der Trend geht weg von den heute dominierenden Nadelbäumen hin zu mehr Laubbäumen, weil die globale Erwärmung die Wachstumsbedingungen in den hiesigen Wäldern und damit auch deren gegenwärtige Baumartenzusammensetzung verändert.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Fichte zwar noch immer die wichtigste Baumart und macht hierzulande fast die Hälfte der gesamten Holzernte aus. Doch in den tieferen Lagen haben diese klimasensitiven Bestände in den letzten Jahren stark unter Trockenheit, Borkenkäferbefall und den damit einhergehenden Zwangsnutzungen gelitten.

Während sich diese Entwicklung eher langfristig abzeichnet, zeigt der Klimawandel auch kurzfristige Auswirkungen wie eine tendenzielle Zunahme geringerer Holzqualitäten – etwa durch mehr Schadholz aufgrund von häufigeren Wetterextremen oder den Befall durch Borkenkäfer. Für diese Holzsortimente braucht es zusätzliche Verwertungspfade. Denn die erwartete Zunahme der ungeplanten Zwangsnutzungen aufgrund von Wetterextremen wie Trockenheit, Hitze und Stürmen sowie Insekten- und Pilzbefall führen zu höheren Erntemengen. Wenn es nicht gelingt, dieses anfallende Holz möglichst klimawirksam zu nutzen, könnte der Schweizer Wald – wie im Jahr 2000 nach dem Orkan Lothar – erneut zu einer erheblichen CO₂-Quelle werden.

Aktuell verfügt die Schweizer Holzwirtschaft insgesamt über zu geringe Verarbeitungskapazitäten, um einen hohen Anfall von zwangsgenutztem Schadholz bewältigen zu können. Außerdem ist sie noch zu wenig auf die Nutzung von Stark- und Laubholz sowie auf die ändernde Zusammensetzung der Baumarten eingestellt.

Die Ziele einer leistungsfähigen Wertschöpfungskette und einer möglichst klimaschonenden Nutzung der Ressource lassen sich jedoch nur erreichen, wenn das Angebot aus dem Wald, die Holzverarbeitung sowie die Nachfrage nach Holzprodukten gut aufeinander abgestimmt sind.

4.6 Vorteile der Kaskadennutzung

Einiges verspricht sich der Bund auch von der Kreislaufwirtschaft³⁵, die den Ressourceneinsatz – und damit auch Energie, Abfälle und Emissionen – durch verlangsamte, verringerte und geschlossene Materialkreisläufe reduzieren soll. Bei Holzprodukten kommt zusätzlich eine Verlängerung der C-Speicherung in Produkten durch eine zeitlich hinausgeschobene Verbrennung dazu.

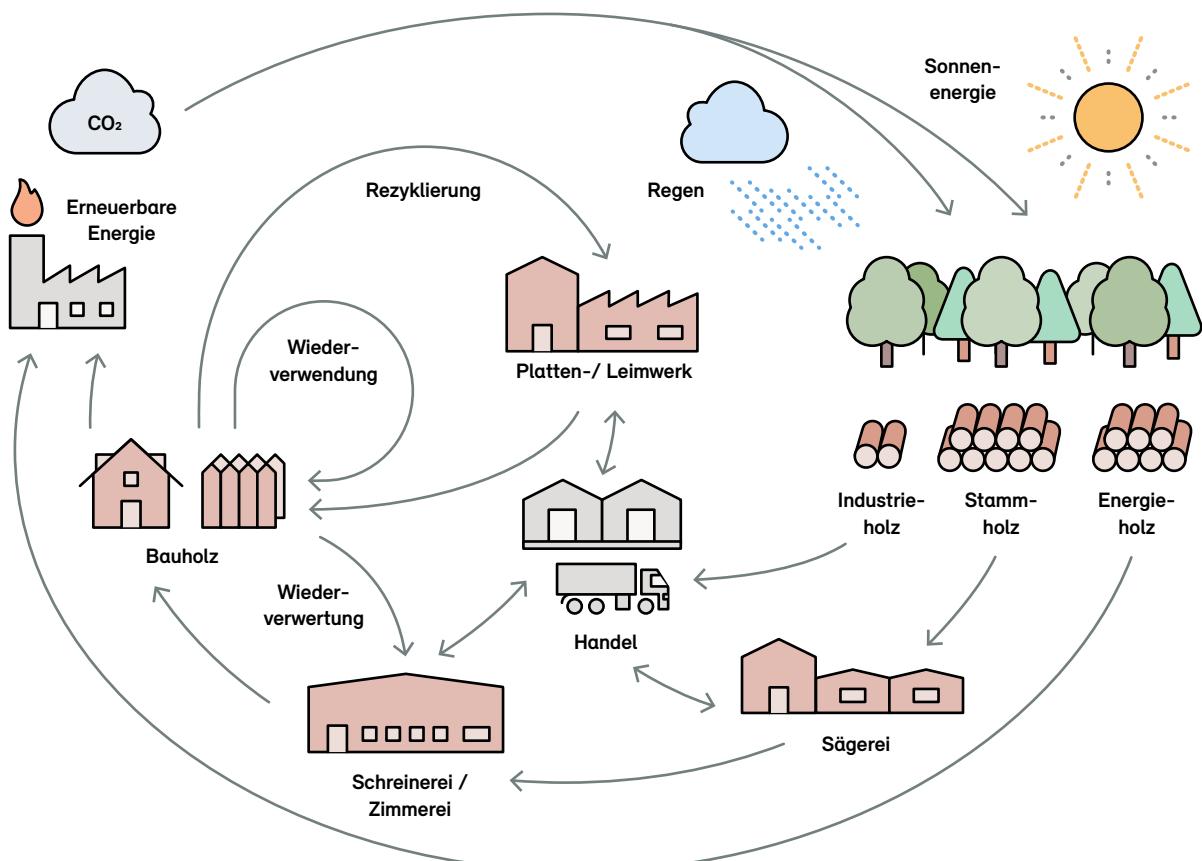
Für grössere Holzmengen steht das Konzept der angestrebten Kaskadennutzung¹² (siehe Abbildung 12) noch in den Anfängen. Damit sollen Holzwaren die materielle Substitutionsleistung durch mehrfache Verwendung wiederholt erbringen und die Freisetzung von Kohlendioxid so möglichst lange hinauszögern. Entlang der Holzketten liesse sich damit eine zusätzliche Wertschöpfungskette aufbauen. Dies bedingt unter anderem, dass beim

materiellen Einsatz von Holz die Aspekte Rückbaubarkeit, einfache Demontage, Sortenreinheit und Wiederverwendung eine stärkere Beachtung finden.

Wesentlich besser würde die Gesamtbilanz zudem aussehen, wenn es gelingt, das bei der energetischen Verwertung von Holz entweichende Kohlendioxid einzufangen und danach dauerhaft einzulagern. Das Konzept «Bioenergy with Carbon Capture and Storage» (BECCS) hat ein signifikantes Potenzial, Holz als negative Emissionstechnologie³⁶ einzusetzen.

Auf Bundesebene stehen diverse lenkende Massnahmen zur Diskussion, um den Anteil der materiellen Holzverwendung zulasten der energetischen zu steigern. Dazu gehören etwa eine Umverteilung der staatlichen Förderung von der Holzenergie zur hochwertigeren und klimafreundlicheren Verwendung von Holz für langlebige Produkte.

Abb. 12: Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung von Holzprodukten



Im Gespräch sind auch Auflagen für Holzenergiewerke, die im Interesse des Klimaschutzes weniger Frischholz und dafür häufiger nicht mehr materiell verwertbares Altholz verbrennen sollten. Diskutiert wird auch über staatliche Zielwerte für die Verwertungswege von geerntetem Holz mit Mindestanforderungen für die materielle Verwendung oder über ein Exportverbot für Altholz.

4.7 Neue Impulse

Mit der bisherigen «Ressourcenpolitik Holz 2030»¹² sowie den Förderprogrammen «Aktionsplan Holz» (APH)³⁷ und «Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz» (WHFF-CH)³⁸ will der Bund die Schweizer Wald und Holzwirtschaft stärken und entwickeln. Damit sollen die Wettbewerbsfähigkeit und die Beiträge von Holz und seinen Produkten an die Minderung des Klimawandels erhöht werden.

Einen Schwerpunkt bilden die Stärkung und Entwicklung der Wertschöpfungsnetzwerke für Schweizer Holz sowie für dessen Absatzmärkte. So will das BAFU als federführendes Amt etwa Entscheidungsgrundlagen für eine optimale Bewirtschaftung bereitstellen, neue Technologien, Verarbeitungsprozesse und Vermarktungswege fördern und die breite Bevölkerung für eine wachsende Holznachfrage sensibilisieren.

Die starke Ausrichtung dieser Bemühungen auf die Ressource aus den einheimischen Wäldern hat gute Gründe. Wie der technische Bericht der KWHS-Studie¹ zeigt, besteht zwischen der Holzernte im Inland und der Holzverwendung in der Schweiz nicht immer ein direkter Zusammenhang.

Um die Attraktivität von Holzprodukten aus heimischer Herkunft zu stärken, richtet sich der Fokus auf die ökologischen Vorteile eines natürlichen, weitgehend klimaneutralen, lokal erzeugten Rohstoffs, der nur kurze Transportwege erfordert und zudem dezentral Wertschöpfung und Arbeitsplätze schafft. Gelingt es nicht, das Schweizer Holz in diesem Sinn als Premiumprodukt zu positionieren, so wird weiterhin viel Importware die hiesige Holzbranche unter Druck setzen. Als Konsequenz davon erfolgen Holzernte, Verarbeitung und Wertschöpfung in

Abhängigkeit vom Preis im Ausland, wie die Ergebnisse der KWHS-Studie belegen.

Damit die erwünschte Trendwende künftig unter Einbezug aller Akteure gelingen kann, hat das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) das BAFU beauftragt, eine Integrale Wald- und Holzstrategie 2050 (IWHS 2050) zu erarbeiten. Sie soll die bisherigen Waldpolitik und Ressourcenpolitik Holz zusammenführen. Dabei gilt es, die Interessen von allen Akteuren der Branche auf verschiedenen Ebenen optimal aufeinander abzustimmen.



Forstrevier Cône de Thyon, Sion VS, 2014
Foto: Corinne Cuendet, Clarens/LIGNUM

Kernaussagen und Schlussfolgerungen der KWHS-Studie für den Schweizer Wald- und Holzsektor

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Publikation präsentiert die Kernaussagen der KWHS-Studie, welche die potenzielle Auswirkung der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz auf die Treibhausgasbilanz im In- und Ausland beleuchtet. Im Fokus stehen dabei die drei als 3S bezeichneten Klimaleistungen der Sequestrierung von Kohlendioxid im Wald, der Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten sowie der Substitution. Anschliessend werden Schlussfolgerungen definiert, welche die Klimaleistungen von Wald und Holz zukünftig stärken sollen.

5.1 Kernaussagen der KWHS-Studie

Ausgangspunkt der vorliegenden Publikation war die vom BAFU in Auftrag gegebene Studie «Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz (KWHS)»¹. Die Autorinnen und Autoren der Studie sind zu folgenden Erkenntnissen gelangt:

Absolute Beiträge der 3S-Klimaleistungen

Bei allen untersuchten Szenarien ist für die gesamten Klimaleistungen von Wald und Holz die Entwicklung der CO₂-Sequestrierung im Schweizer Wald entscheidend. Die Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten und die Substitution haben im Vergleich dazu nur einen geringen Einfluss.

Die C-Dynamik im Wald wird praktisch ausschliesslich von der lebenden Biomasse dominiert, wobei auch Totholz, organische Auflagen und der Boden einen Beitrag leisten. Da in der Schweiz gemäss Treibhausgasinventar nur etwa 15 Prozent des Kohlenstoffs aus gefällten und abgestorbenen Bäumen in langlebige Holzprodukte gelangen, ist der absolute Beitrag der C-Speicherung in Holzprodukten relativ gering. Die Grössenordnung der Klimaleistungen von Wald und Holz sind mittel- bis langfristigen direkt von den Folgen des Klimawandels abhängig. Deshalb ist eine genaue Quantifizierung schwierig und mit grossen Unsicherheiten verbunden.

Substitutionseffekte und Einfluss der Dekarbonisierung

Indem sie andere, energieintensivere Materialien substituieren, können Holzprodukte kurz bis mittelfristig durch die materielle Substitution pro Kubikmeter Holz ca. 730 kg CO₂ und durch die energetische Substitution ca. 575 kg CO₂ einsparen (Tabelle 1). Langfristig sind

die Substitutionseffekte durch die Verwendung von Holzprodukten nicht garantiert wegen der angestrebten Dekarbonisierung bis 2050.

Die Herstellung von langlebigen Holzprodukten reduziert die CO₂-Emissionen, die ansonsten bei der Produktion von emissionsintensiveren Werkstoffen in die Atmosphäre gelangen würden (materielle Substitution). Wird Holz als Energieträger eingesetzt, so wird dadurch der Bedarf an fossilen Brennstoffen verringert (energetische Substitution). Langfristig sind die Substitutionseffekte durch Verwendung von Holzprodukten jedoch nicht gesichert. Die Netto-Null-Klimapolitik erfordert in allen Branchen technologische Neuerungen, welche die Klimabilanz konkurrierender Rohstoffe positiv beeinflussen werden. Dies führt zu einem kontinuierlichen Rückgang des Substitutionspotenzials von Holz.

Kaskadennutzung von Holz verbessert die gesamte Klimaleistung

Die Kaskadennutzung von Holz, bei der Holz zuerst in langlebigen Holzprodukten ggf. sogar mehrfach verwendet und anschliessend als Brennstoff genutzt wird, verbessert die gesamte Klimaleistung, weil bei einer Mehrfachnutzung die C-Speicherung im Holz verlängert wird und die Substitutionseffekte mehrmals eintreten.

Die Studie betont die Vorteile der Kaskadennutzung bei der Holzverwertung. Optimal ist eine Verarbeitung zu Produkten mit hoher Wertschöpfung, die auch ökologisch von grossem Nutzen sind und Mehrfachnutzungen ermöglichen. Ein derartiges Vorgehen verbessert damit die Klimaleistungen der Holzverwendung.

Kein direkter Zusammenhang zwischen Holzernte und Holzverwendung

Eine erhöhte Holzernte im Schweizer Wald bedeutet nicht zwangsläufig, dass mehr Schweizer Holz im Inland verwendet wird.

Die wirtschaftlichen Annahmen der KWHS-Studie legen nahe, dass kein direkter Zusammenhang zwischen der in der Schweiz geernteten Holzmenge und dem Holzverbrauch besteht. Preiseffekte können dazu führen, dass entweder vermehrt Schweizer Rundholz exportiert wird oder dass die Nachfrage nach Holzprodukten und -energie zu vermehrten Importen führt. Massnahmen, die die Preise beeinflussen, führen stets zu Veränderungen in der Außenhandelsbilanz entlang der Wertschöpfungskette.

Der Bezugsrahmen spielt eine wichtige Rolle

Der Bezugsrahmen (global oder national) und die Annahmen in den Berechnungen beeinflussen die Quantifizierung der Klimaleistungen von Wald und Holz.

Die Gesamtwirkung der Klimaleistungen der verschiedenen Szenarien fällt je nach geografischen Bezugsrahmen (Schweiz und global) sehr unterschiedlich aus. Sie sind zudem abhängig von den Annahmen zur Entwicklung des Substitutionspotenzials der Holzverwendung. Aus nationaler Perspektive können Importe von Holzprodukten die Substitutionswirkung erhöhen, während Exporte von Rundholz die Kohlenstoffvorräte im inländischen Wald abbauen und nicht zum HWP-Pool der Schweiz beitragen, da diese nach internationalen Regeln nicht angerechnet werden können (siehe Kapitel 2.1).

5.2 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der KWHS-Studie wurden sowohl in den wissenschaftlichen, in den wirtschaftlichen sowie in den politischen Kontext³ eingebettet. Aus Perspektive des BAFU wurden anschliessend Schlussfolgerungen gezogen⁴, deren Umsetzung durch die nationale Waldbewirtschaftung und Holzverwendung zur Stärkung der Klimaleistungen beitragen soll. Die Schlussfolgerungen sind ebenfalls in die Integrale Wald- und Holzstrategie 2050⁶ (IWHS 2050) eingeflossen.

Die Klimaleistungen von Wald und Holz gilt es integral zu betrachten

Die Klimaleistungen von Wald und Holz sind gesamthaft und umfassend zu betrachten. Die Klimaleistungen von Wald und Holz stehen in einem breiten waldpolitischen Kontext, da der Schweizer Wald eine Vielzahl von Waldfunktionen erfüllt und Leistungen erbringt. Damit diese sich gegenseitig möglichst wenig konkurrenzieren, braucht es eine gute Abstimmung der diversen Interessen.

Stärken der Klimaleistung des Schweizer Waldes durch naturnahen und adaptiven Waldbau

Es ist von zentraler Bedeutung, den Schweizer Wald so zu bewirtschaften, dass er sich an den Klimawandel anpassen kann und gleichzeitig die CO₂-Sequestrierung im Wald und die Nutzungsmengen langfristig erhalten bleiben. Grundvoraussetzung dafür ist eine Waldbewirtschaftung nach den Prinzipien des adaptiven Waldbaus. Sie soll zukünftige Schäden und damit einhergehende CO₂-Emissionen minimieren und mit einer leistungsfähigen Wald- und Holzwirtschaft ein biodiverses, multifunktionales Waldökosystem anstreben.

Mit dem Klimawandel nehmen die Unsicherheiten über den zukünftigen Umfang der CO₂-Sequestrierung im Wald zu. Laut den Zwischenergebnissen des LFI5¹¹, haben Wetterextreme seit 2018 deutliche Spuren im Schweizer Wald hinterlassen (siehe Kapitel 3.3).

Verlagern von mehr C in langlebige Holzprodukte und Kaskadennutzung

Das geerntete Holz soll zu möglichst langlebigen Holzprodukten verarbeitet werden. Die Menge der C-Speicherung in Holzprodukten kann durch eine Verbesserung der Ausbeute des geernteten Holzes und einer erhöhten stofflichen Verwendung deutlich gesteigert werden. Insbesondere Laubholz und minderwertige Holzqualitäten sollen zukünftig besser materiell verwendet werden. Denn beides, sowohl Klimawandel als auch ihm entgegengesetzte Anpassungsmassnahmen, werden das zukünftige Angebot an Holzarten und -qualitäten verändern.

Die mehrfache materielle Verwendung verlängert die C-Speicherung im Holz und ermöglicht wiederholte materielle Substitutionen, an deren Ende dann eine

energetische Verwendung steht. Somit lassen sich durch die Kaskadennutzung mehr CO₂-Emissionen einsparen, da Substitutionseffekte für den gleichen Kubikmeter Holz mehrfach auftreten können.

Steigern der Holzverarbeitung und -verwendung im Inland

Die Holzverarbeitung und -verwendung im Inland soll gesteigert werden, um die Lücke zwischen der Holzgewinnung aus einheimischen Wäldern und dem höheren Holzendverbrauch zu verkleinern, die derzeit durch Importe gedeckt wird.

Nutzen des begrenzten Zeitfensters der Substitution

Das Substitutionspotenzial wird erhöht, wenn Holz vermehrt materiell genutzt wird. Eine Steigerung der materiellen Holzverwendung kann durch Erhöhung ihres Anteils zulasten der energetischen Holzverwendung erreicht werden. Dafür sind zusätzliche Absatzmärkte für die Verwendung von Holz unterschiedlicher Qualität in langlebigen Produkten notwendig. Innovationen im Bausektor und auch die Entwicklung neuer Werkstoffe und Produkte aus Holzbestandteilen für die Bioökonomie sind dazu erforderlich.

Es gilt, das Zeitfenster bis zur angestrebten Dekarbonisierung in 2050 zu nutzen und möglichst viel Kohlenstoff aus Schweizer Wäldern, der bei der geplanten Waldbewirtschaftung und durch Anpassungsmassnahmen in Form von Holz anfällt, in langlebige Produkte zu verschieben. Die Klimaleistung der materiellen Substitution ist durch die Dekarbonisierung zeitlich begrenzt. Wenn die Bedeutung der Substitutionseffekte in Zukunft abnimmt, bieten sich dereinst unter Umständen neue Chancen für ausrangierte Holzprodukte als Energieträger in BECCS-Anlagen, mit denen Negativemissionen erzeugt werden könnten.

5.3 Grenzen der Aussagekraft bei der Quantifizierung der 3S-Klimaleistungen

Im Unterschied zu früheren Studien basieren die hier präsentierten Resultate und Schlussfolgerungen auf umfassenderen Daten und weiterentwickelten Modellen. Erstmals wurden mögliche Effekte der Schweizer Handelsbilanz auf die Klimaleistungen im In- und Ausland quantifiziert und zudem die erwarteten Auswirkungen politischer Programme und Massnahmen im Inland berücksichtigt, die verschiedene Sektoren betreffen. Exemplarisch sei das Netto-Null-Ziel der Klimapolitik genannt, welches direkt das zukünftige Substitutionspotenzial beeinflusst.

Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse müssen insbesondere folgende Grenzen beachtet werden:

- Die KWHS-Studie hat die Folgen des Klimawandels auf den Wald nur begrenzt berücksichtigt. Die Zwischenergebnisse aus dem Landesforstinventars LFI5 (2018–2026)⁸¹ waren zum Zeitpunkt der Durchführung des Projekts noch nicht verfügbar und das verwendete Waldmodell MASSIMO konnte die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald nur beschränkt abbilden.
- Die KWHS-Studie berücksichtigt Holzprodukte nur unter den international geltenden Anrechnungsregeln des Pariser Klimaabkommens. Daher werden nur Holzprodukte aus einheimischem Holz berücksichtigt. Importierte Holzprodukte können in der Schweiz nicht als HWP angerechnet werden, und Rundholzimporte und -exporte fallen aus dem Bezugsrahmen.
- Die Systemgrenze der Studie schliesst bestimmte Klimaeffekte ausserhalb des Modellrahmens aus. So kann der Wald durch biogeophysikalische Eigenschaften wie zum Beispiel das Rückstrahlungsvermögen (Albedo) das Klima beeinflussen (siehe Kapitel 2.7).

6 Glossar

3S-Klimaleistungen von Wald und Holz

Die Klimaleistungen von Wald und Holz haben einen direkten oder indirekten Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf – respektive auf die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre – und können positiv oder negativ sein. Die 3S-Klimaleistungen umfassen die → CO₂-Sequestrierung im Wald, die → C-Speicherung in Holzprodukten sowie die → Substitution.

Abgänge

Bäume, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Inventuren des Landesforstinventars (LFI) gefällt wurden, abgestorben oder verschwunden sind.

Adaptiver Waldbau

Ziel des adaptiven Waldbaus ist es, das Ökosystem Wald durch waldbauliche Eingriffe im Rahmen des naturnahen Waldbaus oder durch gezielte Unterlassung und Verwendung der natürlichen Dynamik an das mögliche künftige Klima anzupassen. Damit soll der Wald seine Leistungen und Funktionen nachhaltig erbringen und erfüllen können.

Altholz

Holz, das bereits einem Verwendungszweck zugeführt wurde und einer nächsten Verwertung zur Verfügung steht. Dies ist etwa Holz aus abgebrochenen Gebäuden, von entsorgten Möbeln oder Verpackungen. Altholz ist je nach Herkunft naturbelassen oder behandelt.

Aussenhandel

Wareneinfuhr und Warenausfuhr; Import und Export

BECCS

Bioenergy with Carbon Capture and Storage. Die energetische Nutzung bzw. Umwandlung von Biomasse unter Abscheidung und geologischer Speicherung von CO₂.

Biodiversität

Synonym für die biologische Vielfalt. Sie umfasst die Vielfalt der Lebensgemeinschaften und Ökosysteme, die Vielfalt der Arten sowie die genetische Vielfalt samt derjenigen von Kulturpflanzen und Nutztieren.

Bioökonomie

Die Produktion von erneuerbaren biologischen Ressourcen sowie die Umwandlung dieser Ressourcen und Abfallströme in höherwertige Produkte wie Nahrungs- und Futtermittel, biobasierte Erzeugnisse und Bioenergie.

C

Chemisches Zeichen für Kohlenstoff

C-Speicher im Wald

Reservoir oder Pool für Kohlenstoff (C). Im Wald umfasst der C-Speicher die lebende ober- und unterirdische Biomasse, Totholz, Streu sowie die organischen und mineralischen Böden.

Der Kohlenstoffspeicher von Holzprodukten (siehe HWP) deckt die Halbwaren Schnittholz, Plattenwerkstoffe sowie Papier und Karton ab.

C-Speicherung in Holzprodukten

Dieser Bericht verwendet den Begriff als Netto-C-Speicherung, berechnet als Bilanz der jährlichen Zu- und Abflüsse von Kohlenstoff im Pool der Holzprodukte.

C-Vorrat

Die gespeicherte Menge C in einem Kohlenstoff-Speicher, welche sich über die Zeit verändern kann.

CO₂

Chemisches Zeichen für Kohlenstoffdioxid oder kurz Kohlendioxid. CO₂ spielt im Stoffwechsel von Pflanzen die Hauptrolle. Bei der Photosynthese wird es unter Einfluss von Sonnenlicht und mit Wasser zu Sauerstoff und Zucker (Glucose). Als Treibhausgas beeinflusst CO₂ durch den Treibhauseffekt das Klima der Erde wesentlich.

CO₂-Äquivalent (CO₂e)

Ein Kohlendioxid-Äquivalent oder CO₂-Äquivalent ist eine Maßeinheit, um die Klimawirkung unterschiedlicher Treibhausgase – wie zum Beispiel Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) – miteinander vergleichen zu können. Dabei dient die Treibhauswirkung von Kohlendioxid als Referenzwert.

CO₂-Quelle

Der Wald wirkt als CO₂-Quelle, wenn er mehr Kohlendioxid an die Atmosphäre abgibt als er aufnimmt – so etwa durch Waldbrände oder verrottendes Holz. Sinngemäss wirkt der Holzproduktepool als Quelle für Kohlenstoff, wenn der Zufluss kleiner ist als der Abfluss und somit eine negative Netto-C-Speicherung stattfindet. Im Treibhausgasinventar werden der Wald- und Holzsektor zusammen rapportiert.

CO₂-Senke

Der Wald wirkt als CO₂-Senke, wenn er mehr CO₂ aufnimmt als abgibt. Sinngemäss wirkt der Holzproduktepool als Senke für Kohlenstoff, wenn der Zufluss grösser ist als der Abfluss und somit eine positive Netto-C-Speicherung stattfindet.

CO₂-Sequestrierung im Wald

Sie umfasst alle Prozesse von der CO₂-Aufnahme aus der Atmosphäre bis zur Speicherung als Kohlenstoff (C) in der lebenden ober- und unterirdischen Biomasse, im Totholz, in der Streu und im Waldboden. Dieser Bericht verwendet den Begriff als Netto-CO₂-Sequestrierung, berechnet als Differenz aus der aufgenommenen Menge an CO₂ und der freigesetzten Menge an CO₂, CH₄ und N₂O. Er entspricht damit der CO₂e-Bilanz des Waldes, die in der Einheit CO₂-Äquivalente (CO₂e). angegeben wird.

Dekarbonisierung

Reduktion der Emissionen von klimaschädigendem Kohlendioxid durch die Abkehr von fossilen Rohstoffen und den vermehrten Einsatz von klimaschonenden Werkstoffen, Verfahren und erneuerbaren Energien.

Fertigwaren

Produkte, die für den Endverbrauch bestimmt sind.

Halbwaren

Produkte, die für den Endverbrauch einen weiteren Verarbeitungsschritt benötigen.

Holzendverbrauch

Beim Holzendverbrauch handelt es sich um das Marktvolumen der Holzprodukte, die nicht mehr weiterverarbeitet und in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt – beziehungsweise verbraucht – werden.

Holzenergie

Holzenergie ist nach der Wasserkraft der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger der Schweiz. Mit Energieholz wird vorwiegend Wärme produziert. Es wird nach der Herkunft unterschieden: Waldholz, Flurholz, Restholz aus der Weiterverarbeitung und Altholz. In den letzten Jahren nahm nicht nur der Anteil der Holzenergie zu, auch die Effizienz verbesserte sich laufend.

Holzernte (Nutzung liegend)

Die Holzernte bezeichnet die Entnahme von Bäumen aus dem Wald mit dem Ziel, sie in einen verkaufs- oder verwendungsfähigen Zustand zu überführen. Nicht Teil der Holzernte sind gefällte Bäume oder Baumteile und Ernterückstände, die im Wald verbleiben. Die geernteten Holzmengen werden in Liegenvolumen (m³/Jahr) der Verkaufssortimente Stamm-, Industrie- und Energieholz angegeben. Die Erhebung der landesweiten Holzernte erfolgt in der Schweiz durch die Forststatistik (FS). Dadurch nicht erfasst werden gewisse Mengen, welche die Waldeigentümer in vielen Kantonen ohne Meldepflicht frei ernten dürfen.

Holznutzung (Nutzung stehend)

Als Holznutzung gilt die durch eine forstliche oder waldbauliche Massnahme genutzte Holzmenge. Ob das geschlagene Holz teilweise liegen gelassen wird, ist nicht relevant. Die Holznutzung wird in Stehendvolumen angegeben und basierend auf Inventurdaten hochgerechnet. Das Volumen bezieht sich auf den gesamten oberirdischen Baumstamm ab einen Brusthöhendurchmesser von 12 cm und schliesst auch den Stockanteil und Baumwipfel ein. Angegeben wird das Total der m³/Jahr oder der m³/ha/Jahr. Die Erfassung der landesweiten Holznutzung in der Schweiz erfolgt im Rahmen des Landesforstinventars (LFI).

Holzverarbeitung

Rundholz aus dem Wald oder von ausserhalb des Waldes, das in den Verarbeitungsprozess gelangt, beispielsweise in der Sägerei zu Schnittholz verarbeitet oder für die Papierproduktion aufbereitet wird.

Holzverwendung

Einsatz von Holz für materielle oder energetische Zwecke (siehe auch «Holzendverbrauch»)

Holzverwertung

Rundholz aus dem Wald oder von ausserhalb des Waldes, das stofflich oder energetisch verwertet wird. Bei der stofflichen Verwertung wird Holz nicht energetisch verwertet, vielmehr wird es im Holzbau, für Möbel und im Innenausbau eingesetzt, für Verpackungen, in der Faserproduktion für Papier und Kleidung oder in der chemischen Verwertung für Grundstoffe der Pharma industrie. Bei der energetischen Verwertung dient Holz der Gewinnung von Wärme, Strom oder Treibstoff.

HWP

„Harvested wood products“; Kategorie der Anrechnung von Halbwaren aus Holz im Rahmen der internationalen Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (UNFCCC). Nur hierzulande hergestellte Holzprodukte aus einheimischem Holz werden als Schweizer «HWP» rapportiert. Dabei wird aufgrund der unterschiedlich langen Lebensdauer differenziert zwischen Schnittholz, Plattenwerkstoffen und Papier/Karton. Papier/Karton wird in dieser Studie mangels Relevanz (kurze Lebensdauer; minimaler Einfluss auf das Konsumverhalten zwischen den Szenarien) nicht betrachtet.

Industrieholz

Rohholz, das mechanisch zerkleinert oder chemisch aufgeschlossen wird. Es dient der Herstellung von Holzschliff, Zellstoff, Holzwolle, Span- und Faserplatten sowie von anderen industriellen Produkten.

IPCC

Das UNO-Fachgremium Intergovernmental Panel on Climate Change wird im deutschsprachigen Raum als Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen bezeichnet – oder vereinfacht als Weltklimarat.

IWHS 2050

Integrale Wald- und Holzstrategie 2050

Kaskadennutzung

Strategie, um Rohstoffe oder daraus hergestellte Produkte so lange wie möglich im Wirtschaftssystem zu nutzen. Dabei werden Nutzungskaskaden durchlaufen, die vom hohen Wertschöpfungs niveau schrittweise in tiefere Niveaus münden. Bei einer Kaskadennutzung wird die Wertschöpfung insgesamt erhöht und die Umweltwirkung weiter verbessert. Im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe kann eine Kaskadennutzung mehrere Nutzungsetappen oder Produktzyklen umfassen, an deren Ende eine energetische Verwertung steht.

Klimaleistungen Wald und Holz

Siehe → 3S-Klimaleistungen von Wald und Holz

KWHS

Das Projekt «Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz» (KWHS) wurde im Auftrag des BAFU durchgeführt. Es umfasst eine wissenschaftliche Studie mit einem technischen Bericht (Werner et al. 2023), eine Einbettung der Resultate der wissenschaftlichen KWHS-Studie in den wirtschaftlichen und politischen Kontext (Interface 2023) und eine Reflexion über die KWHS-Studie (BAFU 2024), die Schlussfolgerungen zur Stärkung der entsprechenden Klimaleistungen aus Sicht des BAFU zieht. Im Weiteren wurde auch eine wissenschaftliche Untersuchung über die biogeophysikalischen Klimafolgen durch die Waldbewirtschaftung durchgeführt (Davin et al. 2022).

Kyoto-Protokoll, Übereinkommen von Paris

Das Kyoto-Protokoll entstand im Rahmen der UNO-Klimakonvention und umfasste die beiden Verpflichtungsperioden von 2008–2012 und 2013–2020. Es legte für die Industrieländer Ziele zur Reduktion des Ausstosses von Treibhausgasen fest. Unter dem Übereinkommen von Paris bestimmen alle beteiligten Länder ihre eigenen Klimaschutzziele.

Landesforstinventar (LFI)

Das LFI ist eine Stichprobeninventur auf rund 6500 Probeflächen. Es erfasst periodisch den Zustand und die Veränderungen des Schweizer Waldes. Diese Datensammlung ermöglicht statistisch verlässliche Aussagen für die Schweiz, grössere Kantone und Regionen. Aktuell läuft die fünfte Inventur (LFI5: 2018–2026). Die früheren Inventuren fanden in folgenden Perioden statt: 1983–1985 (LFI1), 1993–1995 (LFI2), 2004–2006 (LFI3) und 2009–2017 (LFI4). Die primären Datenquellen sind Luftbilder, Erhebungen im Wald sowie Umfragen beim Forstdienst.

Mortalität

Gesamtheit der durch natürliche Ursachen abgestorbenen Bäume. Gemäss dem Landesforstinventar fallen unter die Mortalität Bäume, welche zwischen zwei Inventuren natürlicherweise abgestorben sind – etwa durch Windwurf oder Insekten – oder zum Beispiel durch Lawinen verschwunden sind, ohne forstlich genutzt zu werden. Als verbleibende Mortalität gelten seit der Vorinventur abgestorbene Bäume, welche als Totholz noch auf der Probefläche erfasst wurden.

Ökosystem

Dynamische, funktionelle Einheit aller Lebewesen mitsamt ihrem Lebensraum. Die Lebewesen stehen in Wechselwirkung mit ihrer Umgebung (Boden, Wasser, Luft, Konkurrenten, Schadorganismen usw.) und tauschen Energie, Stoffe und Informationen aus.

Rundholz

Sammelbegriff für das im Wald bei der Holzernte in roher, runder Form bereitgestellte Stammholz, Industrieholz und Energieholz. Entsprechend den Baumartengruppen unterscheidet man Laubrundholz und Nadelrundholz.

Schadholz

Durch biotische (z.B. Borkenkäfer) oder abiotische (z.B. Sturm, Hitze, Trockenheit) Faktoren verursachte Störung des Waldes, die den Tod oder einen massiven Verlust der Vitalität, der Produktivität oder des Wertes von Bäumen zur Folge hat.

Schnittholz

Schnittholz sind die in Sägewerken durch den Einschnitt von Stammholz hergestellten Produkte (Schnittwaren).

Es handelt sich dabei zum Beispiel um Bretter und Latten für den Bau, die Verpackungsindustrie oder die Möbelherstellung.

Sortimente

Für den Verkauf wird Holz grundsätzlich nach drei Arten sortiert: Güte, Stärke und Sortiment. Die Einteilung nach Sortiment erfolgt gemäss dem Verwendungszweck. Drei wichtige Kategorien sind Stammholz, Industrieholz und Energieholz.

Stammholz

Schaftholz ohne Rinde und ohne Stock (auch Säge-Rundholz), das einer Sortimentsklasse der Schweizerischen Holzhandelsgebräuche zugeordnet werden kann. Säge-Rundholz wird in Sägereien oder Furnierwerken zu Schnittholz oder Furnieren verarbeitet.

Substitution

Die Klimaleistung Substitution zeichnet sich dadurch aus, dass Holz anstelle fossiler Rohstoffe oder energieintensiver Materialien Verwendung findet und es somit zur vollständigen Einsparung oder zu reduzierten CO₂-Emissionen kommt. Der Substitutionseffekt tritt ein, wenn eine Gesamtnachfrage gegeben ist, die Wahl aber zwischen Holzprodukten und funktional gleichwertigen Nichtholzprodukten – respektive Brennstoffen – besteht.

- Energetische Substitution: Ersatz von fossilen Energieträgern durch Holz.
- Materielle Substitution: Ersatz von Baumaterialien wie Metallen, Beton oder Kunststoffen durch Holzbauteile, deren Herstellung weniger Emissionen freisetzt.

Treibhausgase

Treibhausgase (THG) sind strahlungsbeeinflussende gasförmige Stoffe in der Luft, die zum Treibhauseffekt beitragen und sowohl einen natürlichen als auch einen anthropogenen Ursprung haben können.

Totholz

Abgestorbene Bäume oder Baumteile von unterschiedlicher Dimension und Qualität

Wald und Holz

Verwendete Synonyme für die Wald- und Holzbranche

Walfunktionen

Die Walfunktionen umfassen Aufgaben, die vom Lebensraum Wald erfüllt werden (Wirkungen oder Potenzial des Waldes) und erfüllt werden sollen (Ansprüche des Menschen). Die Walfunktionen sind in der Bundesverfassung und im Waldgesetz verankert und umfassen die Nutz-, Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen. Die Waldbewirtschaftung dient dazu, die Walfunktionen im Sinne der Nachhaltigkeit sicherzustellen.

Waldleistungen

Waldleistungen umfassen den wirtschaftlichen, sozialen und gesundheitlichen Nutzen des Waldes für den einzelnen Menschen und die Gesellschaft. Der Begriff Waldleistungen ist im breiteren Begriff Walfunktionen enthalten. Der Wald erfüllt Walfunktionen und erbringt Waldleistungen.

Treibhausgasinventar

Eine umfassende nationale Emissionsstatistik der Treibhausgase nach den Vorgaben der UNO-Klimakonvention (UNFCCC).

UNFCCC

UNO-Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen mit dem Ziel des Klimaschutzes.

Zuwachs

Zunahme des Holzvolumens, Durchmessers, Umfangs, der Höhe oder des Werts in einer bestimmten Zeiteinheit. Im LFI wird damit der gesamte Schaftholzzuwachs in Rinde zwischen zwei einander folgenden Inventuren bezeichnet.

Der Bruttozuwachs bildet die gesamte Volumenzunahme ab – einschliesslich des Anteils abgestorbener Bäume. Dagegen umfasst der Nettozuwachs nur den lebendigen Anteil dieser Volumenzunahme.

Zwangsnutzung

Ungeplantes Fällen von Bäumen aufgrund von Störungen wie beispielsweise Stürmen, Insektenbefall, Trockenheit oder Pilzkrankheiten.

Quellenverzeichnis

- 1 Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung- und Holzverwendung in der Schweiz; BAFU 2023; Werner F., Forsell N., Stadelmann G., Thürig E., Rihm B.
- 2 Synthesis report: Biogeophysical climate impacts of forest management; BAFU, 2022; Davin E., Schwaab J., Meier R.
- 3 Einbettung der Studie «Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz»; INTERFACE, 2023; Hänggli A., Landolt D.
- 4 Reflexion über die Studie «Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz»; BAFU, 2023; Hänggli A., Landolt D.
- 5 «Anpassung des Waldes an den Klimawandel», Bericht des Bundesrats; 2022: www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/74194.pdf
- 6 Wald- und Holzstrategie des Bundes: [> Thema > Wald und Holz > Wald- und Holzpolitik](http://www.bafu.admin.ch)
- 7 CO₂-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz; BAFU, 2007; Taverna R., Hofer P., Werner F., Kaufmann E., Thürig E.: www.bafu.admin.ch/uw-0739-d
- 8 Energieperspektiven 2050+, Technischer Bericht, BFE 2022: [> Startseite > Politik > Energieperspektiven 2050+](http://www.bfe.admin.ch)
- 9 [> Thema > Wald und Holz > Wald- und Holzpolitik](http://www.bafu.admin.ch)
- 10 From Paris to Switzerland: four pathways to a Forest Reference Level. Frontiers in Forests and Global Change; Volume 4, 148. Stadelmann G., Portier J., Didion M., Rogiers N., & Thürig E., 2021: [www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2021.685574/full](https://frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2021.685574/full)
- 11 Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017; WSL / BAFU, 2020: www.lfi.ch/de/publikationen/ergebnisberichte/lfi4; Tabelle 52 auf Seite 73.
- 12 Ressourcenpolitik Holz 2030; BAFU, 2021: www.bafu.admin.ch/ui-2103-d
- 13 ClimWood2030 – Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products, perspective 2030 – Final report; Rüter S., Levet A., Forsell N. et al. (2016): <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/993ecb81-2e54-11e8-b5fe-01aa75ed71a1>
- 14 Quantifizierung der Waldbiomasse und des Holznutzungspotenzials in der Schweiz, Golo Stadelmann; WSL, 2020: www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A23452/datastream/PDF/Stadelmann-2020-Quantifizierung_der_Waldbiomasse_und_des-%28published_version%29.pdf
- 15 Data on soil carbon stock change, carbon stock and stock change in surface litter and in coarse dead wood prepared for the Swiss NIR 2024 (GHG 1990–2022). Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, 2023. Commissioned by the Federal Office for the Environment FOEN, Bern; Didion M.: www.climatereporting.ch
- 16 <https://globiom.org/introduction.html>
- 17 <https://iiasa.ac.at/models-tools-data/g4m>
- 18 Treibhausgasinventar der Schweiz, BAFU, 2024: [> Treibhausgasinventar](http://www.bafu.admin.ch/treibhausgase)
- 19 www.fao.org/faostat/en/#home
- 20 Zwischenergebnisse des LFI5: <https://lfi.ch>

-
- 21 Low naturalness of Swiss broadleaf forests increases their susceptibility to disturbances; For. Ecol. Manag. 532, 120827 (8 pp.). Scherrer D. et al. 2023: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723000609?via%3Dihub
- 22 Sixth Assessment Report, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Working Group III contribution; IPCC, 2022: www.ipcc.ch/report/ar6/wg3
- 23 Fig. 2.1 in 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Copyright by IPCC, 2006: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html
- 24 Schweizerisches Landesforstinventar – Wissenswertes zum Schweizer Wald: www.lfi.ch
- 25 www.holzvomfach.de/fachwissen-holz/wissenswertes/holzwissen/die-rohdichte-des-holzes
- 26 Swiss national forest inventory – Result table No. 1315900. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, 2023: Abegg M.; Ahles P.; Allgaier Leuch B.; Cioldi F.; Didion M.; Düggelin C.; Fischer C.; Herold A.; Meile R.; Rohner B.; Rösler E.; Speich S.; Temperli C.; Traub B.: <https://lfi.ch/resultate/resultate.php?auswNr=434&befNr=2635&invNr=550&p=theme®ionNr=49&zigrNr=44&prodNr=95&prodItNr=1315900>
- 27 Waldbericht 2025: Entwicklung, Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes; Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Bern; Birmensdorf, 2025. Strauss A., Fischer C. (Eds.): www.bafu.admin.ch/uz-2501-d
- 28 <https://waldschutz.wsl.ch/de/wald/krankheiten-schaedlinge-stoerungen/waldschaedlinge-der-buchdrucker/>
- 29 Wie Störungen die Kohlenstoff-Speicherung im Waldboden beeinflussen; WSL, 2024: www.wsl.ch/de/news/wie-stoerungen-die-kohlenstoff-speicherung-im-waldboden-beeinflussen
- 30 Dynamics of dead wood decay in Swiss forests. Forest Ecosystems 7, 36. Hararuk, O.; Kurz, W.A.; Didion, M. (2020): <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-020-00248-x>
- 31 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (KP Supplement). Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. (eds). IPCC, Switzerland, 2014: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg
- 32 MeteoSchweiz zum Klimawandel: www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel.html
- 33 Schweizer Klimaszenarien: www.admin.ch > National Centre for Climate Services NCCS > Klimawandel und Auswirkungen > Schweizer Klimaszenarien CH2018 > Kernaussagen
- 34 www.nfp66.ch/SiteCollectionDocuments/NFP66_Programmresumee_DE.pdf
- 35 www.bafu.admin.ch > Thema Wirtschaft und Konsum > Kreislaufwirtschaft
- 36 Technologie: Die wichtigsten NET-Ansätze; BAFU, 2022: www.bafu.admin.ch > Thema Klima > CO2-Entnahme und Speicherung
- 37 Aktionsplan Holz, BAFU: www.bafu.admin.ch > Thema Wald und Holz > Wald- und Holzpolitik > Aktionsplan Holz
- 38 Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz, BAFU: www.bafu.admin.ch > Thema > Wald und Holz > Wald- und Holzpolitik > Wald- und Holzforschungsförderung WHFF

