

Sektion Waldleistungen und Waldpflege - Bundesamt für Umwelt

Bewertung der Ökosystemleistung «Kohlenstoffspeicherung» des Schweizer Waldes

Schlussbericht
9. Juni 2020

Erarbeitet durch

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich
www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

Autoren/innen

Basil Odermatt, MA UZH in Wirtschaftswissenschaften, Ökonom
Mariacarla Capillo, MSc in International and Monetary Economics
Benjamin Buser, Dr. sc. ETH, dipl. Geogr., Executive MBA HSG
Walter Ott, lic. oec. publ., Ökonom, dipl. El. Ing. ETH, Raumplaner ETH/NDS

Dateiname: 2262_econcept_bewertung_kohlenstoffspeicherung_20200609.docx Speicherdatum: 9. Juni
2020

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Jährliche Sequestrierungsleistung	4
2.1	Methodik	4
2.2	Begriffsabgrenzung	4
2.3	Quantifizierung	5
3	Kohlenstoffvorrat	7
3.1	Methodik	7
3.2	Begriffsabgrenzung	7
3.3	Quantifizierung	7
4	Monetarisierungssätze	8
4.1	Marktpreise	8
4.2	Ersatzkosten	8
4.3	Schadenskosten	9
4.4	Vermeidungskosten	10
4.5	Übersicht	10
5	Bewertung	11
5.1	Jährliche Sequestrierungsleistung	11
5.2	Kohlenstoffvorrat	11
6	Fazit	12
	Literatur	14

1 Einleitung

Wald als Ökosystemleistung

Ökosystemleistungen bezeichnen Produkte und Leistungen der Natur, welche eine wichtige Grundlage für das Wohlergehen und die Lebensqualität der Menschen bilden. Die international etablierte Klassierung von Ökosystemleistungen *Nature's Contributions to People* (NPC) fasst die verschiedenen Leistungen in 18 Kategorien zusammen, wobei zwischen regulierenden, materiellen und immateriellen Leistungen unterschieden wird (IPBES, 2018). Baranzini et al. (2018) haben basierend darauf die wichtigsten Ökosystemleistungen des Schweizer Waldes eruiert. Ihre Auswahl umfasst Holzproduktion, Erholung, Kohlenstoffspeicherung, Wasserreinigung, Naturgefahrenschutz und Biodiversität.

Die Ökosystemleistung der Kohlenstoffspeicherung ist den regulierenden Leistungen der Natur zuzuordnen und beschreibt die Sequestrierung von CO₂ in der Biomasse mittels Photosynthese. Damit wird der Anteil klimaschädlicher Treibhausgase in der Erdatmosphäre verringert. Dies generiert zwar nur einen indirekten Nutzen für den Menschen, aber trägt massgeblich zu einem langfristigen Wohlergehen der Bevölkerung bei. In der Waldpolitik 2020 des Bundes wurde der Beitrag des Waldes und der Holzverwendung zur Minderung des Klimawandels als ein zentrales Ziel festgelegt (Bundesamt für Umwelt, 2013).

Internationale Anrechenbarkeit Kohlenstoffspeicherung

Konkret ist die Kohlenstoffspeicherung des Schweizer Waldes für die Treibhausgasbilanz der Schweiz und die Erfüllung des Kyoto-Protokolls von Bedeutung: Fungiert der Wald als CO₂-Senke und speichert mehr CO₂, als er abgibt, so kann diese Senkenleistung gemäss Kyoto-Protokoll dem nationalen Absenkepfad angerechnet werden¹. Die Kohlenstoffspeicherung des Schweizer Waldes trug massgeblich zum nationalen Ziel bei, die Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber 1990 um 20% zu senken. Der Bund konnte sich in der ersten Verpflichtungsperiode (2008-2012) die Wald-Senkenleistung von 1.6 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr vollumfänglich anrechnen lassen, was rund 38% der Reduktionsverpflichtung entsprach (Bundesamt für Umwelt, 2014). Für die zweite Verpflichtungsperiode (2013-2020) gelten andere Anrechnungsregeln, unter anderem wird von der CO₂-Bilanz des Schweizer Wald- und Holzsektors ein festgelegter Referenzwert abgezogen. Das bedeutet, dass sich die Schweiz nur jene Wald-Senkenleistung anrechnen lassen kann, welche durch aktives Waldmanagement realisiert wurde.

Nationale Anrechenbarkeit Kohlenstoffspeicherung

Das aktuelle CO₂-Gesetz in der Schweiz lässt keine Anrechenbarkeit der Senkenleistung des Waldes auf nationaler Ebene zu. Folglich können Waldbesitzer/innen keine Kompensationsleistungen für Waldbewirtschaftungsmassnahmen, die zu einer zusätzlichen Speicherung von Kohlenstoff führen, von Gesetzes wegen geltend machen. Dagegen ist die Speicherung von CO₂ in langlebigen Holzprodukten als Kompensationsprojekt zugelassen.

¹ Ab der zweiten Kyoto-Verpflichtungsperiode (2013-2020) ist diese Anrechnung nicht mehr freiwillig. Alle Vertragsparteien müssen über die Aufnahme und Freisetzung von CO₂ durch Waldbewirtschaftung Rechenschaft ablegen.

Sägereien und Holzwerkstoffproduzenten, welche sich an einem anerkannten Projekt beteiligen, erhalten für die zusätzliche Produktion von langlebigen Holzprodukten Bescheinigungen. Diese Bescheinigungen können zum Beispiel an die Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation «KliK» verkauft werden.

Anrechenbarkeit Kohlenstoffspeicherung auf freiwilligem Markt

Auf dem freiwilligen Markt wiederum ist die Senkenleistung des Waldes als CO₂-Kompensation anerkannt. Auf lokaler Ebene lancierten die Oberallmeindkorporation (OAK) Schwyz im Jahr 2010 sowie der «Bürgergemeinden und Waldeigentümer Verband Kanton Solothurn» (BWSO) Wald-Klimaschutzprojekte zur Vermarktung von CO₂-Zertifikaten. Über den Kauf dieser Zertifikate können Unternehmen und Private ihre Emissionen kompensieren, im Gegenzug verpflichten sich die Waldbesitzer/innen zu einer veränderten Waldbewirtschaftung mit reduzierter Holznutzung².

Insgesamt betrachtet leistet der Schweizer Wald über seine Funktion der Kohlenstoffspeicherung einen wichtigen Beitrag an die Erreichung der Klimaziele, insbesondere der vom Bundesrat anvisierten Emissionsbilanz von Netto-Null bis 2050³. Daher ist es von Interesse, die Ökosystemleistung der Kohlenstoffspeicherung mengen- wie auch wertmässig zu beziffern. Infolgedessen ist es das Ziel dieses Berichts, eine monetäre Bewertung der Kohlenstoffspeicherung im Schweizer Wald vorzunehmen. Die Zielsetzung dieses Berichts ist ähnlich wie die Bewertung der Klimaschutzleistungen des deutschen Waldes durch Elsasser et al. (2020): Diese schätzen die Klimaschutzleistung (welche methodisch etwas breiter gefasst ist als die Kohlenstoffspeicherung) des deutschen Waldes auf 2.1 Mrd. EUR pro Jahr. Im Gegensatz zu Elsasser et al. (2020), welche nur die jährliche Klimaschutzleistung des Waldes betrachtet haben, bewerten wir nicht nur die jährliche Sequestrierungsleistung, sondern den gesamten Kohlenstoffvorrat des Schweizer Waldes. Bei dieser Grösse handelt es sich um die kumulative Sequestrierungsleistung aller Vorjahre und stellt somit keine Fluss- sondern eine Bestandsgrösse dar. Die zusätzliche Bewertung dieser Grösse wurde auch von Baranzini et al. (2018) vorgeschlagen. Zudem soll die sekundäre Speicherung in Holzprodukten in die Bewertung miteinfließen. Dies wird damit begründet, dass die Kohlenstoffspeicherung nach der Holzernte in Holzprodukten fortgesetzt werden kann (Brunet-Navarro et al., 2018). Hinsichtlich der jährlichen Sequestrierungsleistung müssen ausserdem die Grenzen des Waldwachstums berücksichtigt werden. Diese Kapazitätsgrenzen werden das Ausmass der jährlichen Sequestrierungsleistung in Zukunft massgebend beeinflussen.

Zur Monetarisierung der Ökosystemleistung der Kohlenstoffspeicherung werden verschiedene Bewertungsmethoden diskutiert: Einerseits werden Markt- und Ersatzkosten thematisiert, andererseits Vermeidungs- und Schadenskosten aufgegriffen. Die wertmässige Beur-

² Doppelzählungen zwischen dem freiwilligen Markt und dem nationalen Inventar gemäss Kyoto-Protokoll werden vermieden, sofern die Käufer/innen von CO₂-Zertifikaten keine Treibhausgasemissionen ausserhalb der Schweiz kompensieren wollen (Kompensationen von Emissionsquellen im Ausland wie auch internationalen Flugreisen würden hingegen zu Doppelzählungen führen, siehe dazu Bundesamt für Umwelt, 2017).

³ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen/bundesrat.msg-id-76206.html>. [Stand URL: 04.05.2020].

teilung der Kohlenstoffspeicherung hängt demnach von der gewählten Bewertungsmethode ab. Baranzini et al. (2018) schlagen deshalb vor, eine Unter- und Obergrenze aufzuzeigen.

In Kapitel 2 und 3 betrachten wir die jährliche Sequestrierungsleistung respektive den Kohlenstoffvorrat und nehmen entsprechende Quantifizierungen vor. In Kapitel 4 diskutieren wir die verschiedenen Bewertungsmethoden. Die Bewertung der Kohlenstoffspeicherung erfolgt in Kapitel 5 und ein entsprechendes Fazit wird in Kapitel 6 gezogen.

2 Jährliche Sequestrierungsleistung

2.1 Methodik

Die methodischen Grundlagen zur Berechnung der Kohlenstoffspeicherung im Schweizer Wald sind im Treibhausgasinventar⁴ (Bundesamt für Umwelt, 2019) ausführlich beschrieben. Grundsätzlich basieren sie auf einer Verknüpfung verschiedener Datensätze und Methodenkonventionen:

Daten / Methoden	Herausgeber/in	Verwendungszweck
Arealstatistik	Bundesamt für Statistik	Hinweise zur Bodennutzung
Forststatistik	Bundesamt für Statistik	Ermittlung der Holzernte
Landesforstinventar	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	Berechnung der jährlichen Veränderungen in der lebenden Biomasse sowie des CO ₂ -Vorrats im Totholz
Bodendatenbank	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	Berechnung des CO ₂ -Vorrats in der Streu und im Boden
Bodenmodell «Yasso»	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	Berechnung der jährlichen Veränderungen in der Streu, im mineralischen Boden und im Totholz unter Berücksichtigung von klimatischen Gegebenheiten, Totholz- und Streuqualität
IPCC-Standardmethode 2003	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	Berechnung der jährlichen Veränderungen in Holzprodukten sowie in organischen Böden

Tabelle 1: Daten- und Methodengrundlagen für die Ermittlung der Kohlenstoffspeicherung im Schweizer Wald gemäss Treibhausgasinventar (Bundesamt für Umwelt, 2019).

2.2 Begriffsabgrenzung

Die jährliche Sequestrierungsleistung des Schweizer Waldes setzt sich aus den folgenden Kategorien zusammen:

- Oberirdische Kohlenstoffsequestrierung: Jährliche Produktion von Biomasse durch Zuwachs von Wald abzüglich dem jährlichen Verlust an Biomasse durch Nutzung und Mortalität sowie die jährliche Veränderung im Totholz
- Unterirdische Kohlenstoffsequestrierung: Jährliche Veränderung in der Streu sowie im Bodenkohlenstoff mineralischer und organischer Böden
- Jährliche Veränderung in Holzprodukten aus einheimischem Holz
- Emissionen durch Waldbrand

Methodisch entspricht dies der Nettosequestrierungsleistung, da Abgänge aus den jeweiligen Speichern berücksichtigt werden. Das Nettokonzept entspricht den Konventionen der Treibhausgasberichtserstattung, da für die Atmosphäre nur die Differenz zwischen Sequestrierung und Emission entscheidend ist (Elsasser et al., 2020).

⁴ Tabelle 6-4 (S. 341) zu den Kohlenstoffvorräten und –veränderungen der lebenden Biomasse, des Totholzes, der Streu und der mineralischen und organischen Böden je Arealtyp; unterschieden nach Höhenlage, NFI-Produktionsregion und Bodentyp.

Im Gegensatz zu Elsasser et al. (2020) fliesst in der internationalen Klimaberichterstattung die Bewertung die Substitutionsleistung, welche die Einsparung fossiler Energie bei der Verwendung von Brennstoffen aus Holz quantifiziert, nicht mit ein. In Elsasser et al. (2020) wurde die gesamte Klimaschutzleistung des Waldes bewertet, weswegen die Bewertung der Substitutionsleistung von zentralem Interesse ist. Für die Bewertung der Kohlenstoffspeicherung kann von der Substitutionsleistung abgesehen werden, da der Kohlenstoff bei der Verwendung des Holzes als Energieträger nicht länger gespeichert wird.

2.3 Quantifizierung

Tabelle 2 zeigt die jährliche Sequestrierungsleistung zwischen 2001 und 2017 nach Kategorie. Der jährliche Durchschnitt der jährlichen Sequestrierungsleistung zwischen 2001 und 2017 beträgt rund -2.68 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr⁵ (Bundesamt für Umwelt, 2019).

Jahr [1'000 t]	Zuwachs von Bio- masse	Verlust an Biomasse	Verände- rungen im Totholz	Verände- rungen in der Streu	Verände- rungen im Boden	Emissio- nen durch Waldbrand	Veränderun- gen in Holz- produkten	Netto-Bi- lanz
2001	-12'502	11'583	-374	-302	-7	5	-542	-2'139
2002	-12'511	9'594	-278	154	-7	13	-408	-3'443
2003	-12'521	10'617	-427	-703	-7	15	-440	-3'466
2004	-12'530	10'585	-339	-336	-8	4	-606	-3'229
2005	-12'540	10'929	-387	-698	-8	4	-739	3'440
2006	-12'971	12'848	-563	-443	-6	6	-542	-1'672
2007	-13'063	12'836	-428	37	-7	8	-515	-1'132
2008	-13'084	11'965	-463	-289	-7	4	-382	-2'257
2009	-13'102	11'183	-471	-428	-8	4	-410	-3'231
2010	-13'112	11'820	-543	-900	-8	3	-415	-3'155
2011	-13'122	11'721	-304	317	-9	6	-459	-1'850
2012	-13'133	10'784	-351	-110	-9	3	-294	-3'110
2013	-13'146	11'122	-384	-373	-9	3	-89	-2'877
2014	-13'162	11'406	-149	599	-10	3	-300	-1'611
2015	-13'169	10'616	-279	-30	-9	3	-228	-3'096
2016	-13'191	10'448	-205	100	-9	8	-125	-2'975
2017	-13'256	10'957	-267	-165	-9	5	-166	-2'902
Ø	-12'948	11'236	-365	-210	-8	6	-392	-2'681

Tabelle 2: Sequestrierungsleistung zwischen 2001 und 2017 nach Kategorie. Angabe in 1'000 Tonnen CO₂, negative Vorzeichen entsprechen einer Netto-Speicherung (Senke). Quelle: Bundesamt für Umwelt (2018).

Es gilt zu beachten, dass sich die Schweiz gemäss IPCC-Richtlinien nur einen Teil der jährlichen Senkenleistung als Beitrag des aktiven Waldmanagements anrechnen lassen kann. Abgezogen wird ein Referenzwert, welcher der modellierten jährlichen mittleren

⁵ Das Jahr 2000 wurde aufgrund der grossen Schäden des Orkantief Lothars als Ausreisser klassifiziert und fliesst nicht in die Berechnung mit ein.

CO₂-Bilanz des Schweizer Wald- und Holzsektors unter einem angenommenen Holzernstesenzenario entspricht. Der provisorische Referenzwert liegt bei 2.49 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr, wird aber noch bis zum Abschluss der Verpflichtungsperiode im Jahr 2022 korrigiert (Bundesamt für Umwelt, 2019). Folglich entspricht die Senkenleistung des Schweizer Waldes, welche sich die Schweiz aufgrund ihres aktiven Waldmanagements anrechnen lassen kann, durchschnittlich $2.68 - 2.49 = 0.19$ Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr. Von Interesse für die Waldökosystemleistung «Kohlenstoffspeicherung» ist die Sequestrierungsleistung des Waldes unabhängig davon, ob der Wald bewirtschaftet wird. Entsprechend berücksichtigen wir den Referenzwert bei der Bewertung dieser Ökosystemleistung nicht und rechnen mit der vollen jährlichen Senkenleistung von 2.68 Mio. Tonnen CO₂.

Bei der jährlichen Sequestrierungsleistung sollte berücksichtigt werden, dass eine in dieser Grössenordnung stattfindende Senkenbildung im Schweizer Wald nicht unendlich möglich ist, da die Wälder ab einem gewissen Zeitpunkt an ihre Wachstumsgrenze stossen. Es ist daher davon auszugehen, dass die angegebene jährliche Sequestrierungsleistung von 2.68 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr in Zukunft tendenziell abnehmen wird. Weil die jährliche Sequestrierungsleistung deshalb nur eine Momentaufnahme darstellt, wird als zweite Messgrösse für die Bewertung der gesamte Kohlenstoffvorrat im Schweizer Wald und den geernteten Holzprodukten bewertet (siehe Kapitel 3).

3 Kohlenstoffvorrat

3.1 Methodik

Im Waldbericht 2015 wurde erstmals der Kohlenstoffvorrat des Schweizer Waldes nach Kyoto-Regeln ausgewiesen. Die Datengrundlagen und Methodenkonventionen entsprechen denjenigen zur Berechnung der jährlichen Sequestrierungsleistung.

3.2 Begriffsabgrenzung

Um die Ökosystemleistung der Kohlenstoffspeicherung ganzheitlich abzubilden, ist es sinnvoll, nicht nur die jährliche Senkenleistung zu berücksichtigen, sondern auch den totalen Kohlenstoffvorrat im Schweizer Wald zu betrachten. Dieser Wert setzt sich aus der kumulativen Sequestrierungsleistung aller Vorjahre zusammen und ist eine Bestandsgrösse. Inhaltlich besteht er aus dem Kohlenstoffvorrat in lebender Biomasse, in Totholz, in Waldböden sowie in der organischen Auflage (Humus) (Bundesamt für Umwelt, 2015). Zudem wird analog zur jährlichen Sequestrierungsleistung auch der in Produkten aus einheimischem Holz gespeicherte Kohlenstoff hinzugezählt.

3.3 Quantifizierung

Der Kohlenstoffvorrat im Schweizer Wald belief sich im Jahr 2015 auf 329 Mio. Tonnen Kohlenstoff (siehe Tabelle 3). Davon waren 156 Mio. Tonnen Kohlenstoff im Waldboden und 144 Mio. Tonnen in der lebenden Biomasse gespeichert. Die Einlagerung in der organischen Auflage machte 21 Mio. Tonnen Kohlenstoff aus und die Speicherung im Totholz 8 Mio. Tonnen (Bundesamt für Umwelt, 2015).

Weitere 17 Mio. Tonnen Kohlenstoff sind gemäss den Modellrechnungen für das Schweizer Treibhausgasinventar in geernteten Holzprodukten gespeichert (Bundesamt für Umwelt, 2020).

Kategorie	Kohlenstoffvorrat in Mio. Tonnen (Stand 2015)	Kohlenstoffvorrat pro Hektare in Tonnen (Stand 2015)
Lebende Biomasse	144	121
Totholz	8	7
Waldboden	156	126
Organische Auflage / Humus	21	17
Total Wald	329	271
Holzprodukte	17	-
Total Wald und Holz	346	-

Tabelle 3: Kohlenstoffvorrat im Schweizer Wald und geernteten Holzprodukten im Jahr 2015 nach Kategorie.
Quelle: Bundesamt für Umwelt (2015) und Bundesamt für Umwelt (2020).

4 Monetarisierungssätze

Die Kohlenstoffspeicherung des Schweizer Waldes kann mittels verschiedener Methoden monetär bewertet werden. Im Folgenden werden Ansätze zu Marktpreisen, Ersatzkosten, Schadenskosten und Vermeidungskosten vorgestellt. Dabei beziehen wir uns auf die Diskussion der verschiedenen Bewertungsmethoden aus econcept und WSL (2020).

4.1 Marktpreise

Im Emissionshandelssystem der Schweiz bilden sich Marktpreise über die Nachfrage nach der ausgegebenen Menge an Zertifikaten, mit welchen die Treibhausgasemissionen auf einen politisch vorgegebenen Absenkpfad gebracht werden sollen. Der Preis für ein CO₂-Zertifikat lag in der Auktion vom November 2019 bei 18.15 CHF/tCO₂eq. Zwar ist dieser Preis gegenüber älteren Auktionen deutlich gestiegen, jedoch wird nach wie vor Kritik an der Verwendung dieses Marktpreises ausgeübt. In diesem Zusammenhang weisen Baranzini et al. (2018) darauf hin, dass die Marktpreise aus dem Schweizer Emissionshandelssystem grundsätzlich zu niedrig seien, da nicht alle externen Kosten darin enthalten sind. Ausserdem wurde bei der Ausgabe der Emissionsrechte ein grösseres Wirtschaftswachstum angenommen, als schlussendlich eingetreten ist. Dies hat dazu geführt, dass die Unternehmen die vorgeschriebenen Reduktionsziele ohne grosse Anstrengungen erreichen konnten. Entsprechend bestand eine geringe Nachfrage nach Zertifikaten, was sich negativ auf den Preis auswirkte.

4.2 Ersatzkosten

Ersatzkosten sind jene Kosten, welche durch die Kompensation von CO₂-Emissionen anfallen. Verschiedene Unternehmen bieten solche Kompensationsleistungen an. Die veranschlagten Kosten für die Kompensation einer Tonne CO₂ basieren dabei nicht auf dem Prinzip von Angebot und Nachfrage, sondern widerspiegeln die tatsächlichen Kosten zur Erreichung dieser Einsparung. Bei myclimate kann beispielsweise eine Tonne CO₂ zum Preis von 26 CHF kompensiert werden. Damit werden ausländische Projekte finanziert, welche die entsprechenden CO₂-Einsparungen garantieren sollen.

Alternativ können CO₂-Zertifikate für inländische Wald-Klimaschutzprojekte wie beispielsweise in Schwyz und Solothurn erworben werden. Damit wird die Erhöhung des Holzvorrats in einem gewissen Gebiet finanziert. Die Waldbesitzer/innen werden dabei mit den Einnahmen für ihre Arbeitsaufwände und Ertragsminderungen entschädigt. Der Preis für ein CO₂-Zertifikat aus dem OAK-Projekt in Schwyz liegt bei einer Kompensation von mindestens 5 Tonnen CO₂ bei 40 CHF/ tCO₂eq⁶. Im Solothurner Projekt wird ein Preis von 35 CHF/ tCO₂eq⁷ angestrebt.

⁶ <https://www.oak-shop.ch/co2-zertifikate/40/co2-zertifikat-aus-dem-projekt-oberallmig>, [Stand URL: 11.03.2020]

⁷ <https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/volkswirtschafts-und-gesundheitsdirektion/amt-fur-wald/dokumentation/downloads/2019-03-waldnachrichten.pdf>, [Stand URL: 13.03.2020]

Die Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation «KliK» hingegen, welche als Kompensationsgemeinschaft für fossile Treibstoffe fungiert, kompensierte im 2018 eine Tonne CO₂ im Durchschnitt zu 83 CHF (Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation KliK, 2019). Für Bescheinigungen aus inländischen Kompensationsprojekten gemäss Vorschriften der CO₂-Verordnung werden pauschal 100 CHF vergütet. Die Anrechnung der Senkenleistung von langlebigen Schweizer Holzprodukten stellt beispielsweise ein solches Projekt dar.

Für die nachfolgende Bewertung der Ersatzkosten stützen wir uns auf den Preis eines CO₂-Zertifikats aus dem OAK-Projekt in Schwyz von 40 CHF/ tCO₂eq. Es handelt sich dabei um ein inländisches Kompensationsprojekt, welches darauf abzielt, mit gezielten Bewirtschaftungsmassnahmen zusätzliches CO₂ im Schweizer Wald zu binden.

4.3 Schadenskosten

Schadenskosten beziffern den monetären Wert von Schäden, welche durch die Speicherung einer zusätzlichen Einheit Kohlenstoff verhindert werden können. Da die Schäden durch den Klimawandel bei zunehmender CO₂-Konzentration überproportional zunehmen, kann umgekehrt argumentiert werden, dass bei gegebener Menge an CO₂ in der Atmosphäre der Grenznutzen jeder zusätzlich gespeicherten Einheit Kohlenstoff abnimmt. Aus diesem Grund weisen sowohl Elsasser et al. (2020) als auch Baranzini et al. (2018) darauf hin, dass die Schadenskosten nicht als konstante Grösse, sondern in Abhängigkeit von der Menge bereits sequestrierter Emissionen zu modellieren sind: Je höher die bereits sequestrierte Menge an Emissionen, desto tiefer die Schadenskosten (dies unter der ceteris paribus Annahme, dass keine weiteren Emissionen hinzukommen). Die Zahlungsbereitschaft für eine zusätzliche Einheit gespeicherten Kohlenstoff sinkt entsprechend mit der Menge bereits sequestrierter Emissionen. Da es sich bei der Senkenleistung um ein globales, öffentliches Gut handelt und der Effekt der Kohlenstoffspeicherung im Schweizer Wald im weltweiten Vergleich vernachlässigbar klein ist, verzichten wir auf eine mengenabhängige Bewertung. Stattdessen wird die Kohlenstoffspeicherung mit konstanten Schadenskosten geschätzt.

Für die Ermittlung dieser Schadenskosten stützen wir uns auf die Methodenkonvention 3.0 des deutschen Bundesumweltamtes (2018). Die Schadenskosten werden bei einer Zeitpräferenzrate von 1% auf ungefähr 180 EUR₂₀₁₆/tCO₂eq geschätzt. Die Zeitpräferenzrate von 1% drückt aus, dass Schäden, welche bei späteren Generationen auftreten, mit einem Zinssatz von 1% abdiskontiert werden. Bei einer Zeitpräferenzrate von null, was einer einheitlichen Gewichtung des Nutzens aller Generationen gleichkommt, ergeben sich dagegen Schadenskosten von 640 EUR₂₀₁₆/tCO₂eq.

Für die nachfolgende Bewertung stützen wir uns auf die Schadenskosten bei einer Zeitpräferenzrate von 1%, sprich 180 EUR₂₀₁₆/tCO₂eq. Dieser Kostensatz wurde von Elsasser et al. (2020) verwendet.

4.4 Vermeidungskosten

Vermeidungskosten drücken aus, wie teuer eine (technische) Vermeidung einer zusätzlich emittierten Einheit Kohlenstoff wäre. Auch hier erfolgt die Bewertung in der Theorie mengenabhängig: Je grösser die zu reduzierende Menge an Emissionen ist, desto teurer die Massnahmen je Tonne CO₂. Elsasser et al. (2020) setzen dies mit einer angebotsseitigen Bewertung gleich, verzichten aber aufgrund von praktischen Problemen auf eine Bewertung anhand von Vermeidungskosten.

In der Schweiz werden die Klimakosten des Verkehrs durch INFRAS und ecoplan (2019) auf 124 CHF₂₀₁₅/tCO_{2eq} festgelegt. Die Ermittlung der Vermeidungskosten basiert auf dem methodischen Ansatz aus einer Studie von Kuik et al. (2009). Diese stellt gemäss INFRAS und ecoplan (2019) die einzige Metaanalyse zu Vermeidungskosten hinsichtlich der Erreichung des 2-Grad-Ziels⁸ dar.

4.5 Übersicht

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die ermittelten Kostensätze. Der niedrigste Wert bildet der Marktpreis mit rund 18 CHF/tCO_{2eq}. Am höchsten liegt der Wert, welcher anhand der Schadenskosten-Methode ermittelt wurde. Dieser beträgt 200 CHF/tCO_{2eq}⁹. Die Spannweite für die Bewertung der Kohlenstoffspeicherung des Schweizer Waldes ist entsprechend gross.

Methode	Ermittelter Wert	Bemerkung
Marktpreis CH	18.15 CHF/tCO _{2eq}	Preis CO ₂ -Zertifikat schweizerisches Emissionssystem (Stand November 2019).
Ersatzkosten	40 CHF/tCO _{2eq}	Kosten für die Kompensation einer Tonne CO ₂ mit inländischen Wald-Klimaschutzprojekten (OAK-Projekt Schwyz).
Schadenskosten	200 CHF ₂₀₁₆ /tCO _{2eq}	Schadenskosten gemäss UBA Methodenkonvention bei einer Zeitpräferenzrate von 1%. (Umweltbundesamt, 2019).
Vermeidungskosten	124 CHF ₂₀₁₅ /tCO _{2eq}	Kostensatz zur Bewertung der externen Kosten des Verkehrs (INFRAS und ecoplan, 2019).

Tabelle 4: Herleitung der verschiedenen Preise für die Bewertung der Kohlenstoffspeicherung. In Anlehnung an econcept und WSL, 2020.

⁸ Das 2-Grad-Ziel der internationalen Klimapolitik sieht vor, die Erderwärmung bis zum Jahr 2100 auf weniger als zwei Grad Celsius gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung zu begrenzen.

⁹ Die ermittelten Schadenskosten belaufen sich auf 180 EUR₂₀₁₆/tCO_{2eq}. Für die Umrechnung in Schweizer Franken wenden wir einen Umwandlungssatz CHF/EUR von 1.11 an.

5 Bewertung

5.1 Jährliche Sequestrierungsleistung

Die jährliche Sequestrierungsleistung wird bei einer Bewertung zu Marktpreisen auf 49 Mio. CHF geschätzt. Bei einer Bewertung zu Ersatzkosten beläuft sich die jährliche Sequestrierungsleistung hingegen auf 107 Mio. CHF. Höhere Schätzungen ergeben sich aus den Bewertungen zu Vermeidungs- und Schadenskosten: Die jährliche Sequestrierungsleistung entspricht dann 332 resp. 536 Mio. CHF (siehe Tabelle 5).

Jährliche Sequestrierungsleistung									
Menge in Mio. Tonnen CO ₂	Marktpreis		Ersatzkosten		Vermeidungskosten		Schadenskosten		
	Preis	Wert (Mio. CHF)	Preis	Wert (Mio. CHF)	Preis	Wert (Mio. CHF)	Preis	Wert (Mio. CHF)	
2.68	18.15	49	40	107	124	332	200	536	

Tabelle 5: Bewertung der jährlichen Sequestrierungsleistung des Schweizer Waldes.

5.2 Kohlenstoffvorrat

Die Bewertung des gesamthaft im Wald und den geernteten Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffs hängt von der Wahl der Bewertungsmethode ab. Zu Marktpreisen wird der Kohlenstoffvorrat mit 6.3 Mrd. CHF, zu Ersatzkosten mit 13.8 Mrd. CHF bewertet. Werden Vermeidungskosten zur Bewertung beigezogen, beläuft sich die Bewertung des Kohlenstoffvorrats auf 42.9 Mrd. CHF. Werden hingegen Schadenskosten verwendet, lässt sich der Kohlenstoffvorrat mit 69.2 Mrd. CHF bewerten. Dies ist in Tabelle 6 dargestellt.

Kohlenstoffvorrat									
Menge in Mio. Tonnen CO ₂	Marktpreis		Ersatzkosten		Vermeidungskosten		Schadenskosten		
	Preis	Wert (Mrd. CHF)	Preis	Wert (Mrd. CHF)	Preis	Wert (Mrd. CHF)	Preis	Wert (Mrd. CHF)	
346	18.15	6.3	40	13.8	124	42.9	200	69.2	

Tabelle 6: Bewertung des Kohlenstoffvorrats im Schweizer Wald und in geernteten Holzprodukten.

6 Fazit

Für die Bewertung der Ökosystemleistung «Kohlenstoffspeicherung» des Schweizer Waldes können sowohl mehrere Messgrössen als auch verschiedene Monetarisierungssätze herangezogen werden.

Messgrössen

Als Messgrösse haben wir zum einen die jährliche Senkenleistung, sprich die Veränderung des gespeicherten Kohlenstoffs in der Biomasse, betrachtet. Diese Grösse wird gemäss internationalen Konventionen errechnet und im Treibhausgasinventar ausgewiesen. In der aktuellen Massnahmendiskussion zur Erreichung von Netto-Null CO₂-Emissionen bis Ende 2050 zeigt diese Grösse, welchen Beitrag der Wald als CO₂-Senke leisten kann. Allerdings gilt es bei diesem Wert zu beachten, dass es sich dabei um eine Momentaufnahme handelt. Eine in dieser Grössenordnung stattfindende jährliche Sequestrierungsleistung ist aufgrund der beschränkten Wachstumskapazitäten des Waldes nur über einen begrenzten Zeitraum zu erwarten.

Als zweite Messgrössen für die Bewertung haben wir deswegen den Gesamtvorrat an gespeichertem Kohlenstoff im Schweizer Wald verwendet. Dieser Wert stellt eine Betrachtung der kumulativen Sequestrierungsleistung aller Vorjahre dar. Es handelt sich folglich nicht um eine Fluss- sondern um eine Bestandsgrösse. Dieser Wert wurde letztmals im Jahr 2015 ausgewiesen.

Monetäre Bewertung der Messgrössen

Für die Monetarisierung dieser beiden Messgrössen wurden vier verschiedene Kostensätze beigezogen. Die niedrigsten Kosten für eine Tonne gespeicherten Kohlenstoff entstehen über die Zertifikatspreise. Dabei gilt es zu beachten, dass sowohl beim Schweizer wie auch beim Europäischen Emissionshandelssystem anfänglich zu viele Zertifikate ausgegeben wurden, was zu einem drastischen Preiszerfall führte. Inzwischen wurden zwar Massnahmen getroffen, um diesem Überangebot von Zertifikaten entgegenzuwirken. Der Preis hat sich aber auf niedrigem Niveau eingependelt. Zudem sind nach wie vor nicht alle Unternehmen und Branchen zur Teilnahme am Emissionshandelssystem verpflichtet. Die im Emissionshandelssystem resultierenden Zertifikatspreise, welche hier als Marktpreise verwendet werden, widerspiegeln die Kosten der Kohlenstoffreduktion, welche sich aufgrund der politisch festgelegten Zertifikatsmengen ergeben und reflektieren die externen Kosten zu wenig.

Bei den Ersatzkosten haben wir den Kostensatz aus dem Waldklimaschutzprojekt im Kanton Schwyz gewählt. Diese Kosten stehen für die zusätzlichen Aufwände respektive Mindereinnahmen im Zusammenhang mit der Bewirtschaftungsform, welche zu einer CO₂-Senkenleistung im Wald führt. Dies entspricht dem Prinzip der Ökosystemleistung «Kohlenstoffspeicherung». Ähnliche Kostensätze werden auch bei anderen Waldklimaschutzprojekten in der Schweiz veranschlagt.

Die Ermittlung der Vermeidungs- und Schadenskosten hängt stark von der jeweiligen Modellierung ab. Gemäss Methodenkonvention 3.0 des deutschen Bundesumweltamtes (2018) sind gerade bei der Schadenskostenmodellierung grosse Unsicherheiten vorhanden. Zudem spielt die Wahl der Modellparameter eine grosse Rolle: Das Herabsenken der Zeitpräferenzrate von 1% auf 0% lässt den Schadenskostensatz von 200 CHF/ tCO₂eq auf umgerechnet 710 CHF/ tCO₂eq ansteigen.

Bewertung der Ökosystemleistung als Spannbreite

Aufgrund der verschiedenen Legitimierungen für die unterschiedlichen Monetarisierungssätze folgen wir der Empfehlung von Baranzini et al. (2018) und bewerten die Ökosystemleistung «Kohlenstoffspeicherung» als Intervall mit einer Unter- und Obergrenze. Als Untergrenze wählen wir die Ersatzkosten, welche 40 CHF/ tCO₂eq ausmachen. Als Obergrenze fungiert der Schadenskostensatz von 200 CHF/ tCO₂eq (bei einer Zeitpräferenzrate von 0% anstelle von 1% wäre die Obergrenze nochmals deutlich höher) Die Unter- und Obergrenze unterscheiden sich somit um einen Faktor von 5. Davon ausgehend lässt sich die jährliche Sequestrierungsleistung der Schweizer Wälder mit 107 Mio. CHF bis 536 Mio. CHF und der Kohlenstoffvorrat im Schweizer Wald und den geernteten Holzprodukten mit 13.8 Mrd. bis 69.2 Mrd. CHF bewerten.

Literatur

- Baranzini A., Borzykowski N., Scherantz A., Ferro Luzzi G., Maradan D. (2018): Concept pour l'évaluation économique des services des écosystèmes forestiers suisses, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU.
- Brunet-Navarro P., Jochheim H., Kroiher F., Muys B. (2018): Effect of cascade use on the carbon balance of the German and European wood sectors. *Journal of Cleaner Production* 170 (Supplement C), S. 137-146.
- Bundesamt für Umwelt (2013): Waldpolitik 2020. Visionen, Ziele und Massnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Schweizer Waldes.
- Bundesamt für Umwelt (2014): Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll.
- Bundesamt für Umwelt (2015): Waldbericht 2015. Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes.
- Bundesamt für Umwelt (2017): Freiwilliger CO₂-Markt: Bestätigung des Bundes betreffend Doppelzählungen.
- Bundesamt für Umwelt (2019): Treibhausgasinventar der Schweiz 1990-2017.
- Bundesamt für Umwelt (2020): Harvested wood products (HWP) in the Swiss National Inventory Report 2020 (GHG inventory 1990–2018). Description of time series, modelling methodology and results used for accounting HWP under the Kyoto Protocol.
- econcept und WSL (2020): Zukunft und Wert von Ökosystemleistungen in der Schweiz. Schlussbericht vom 17. Februar 2020, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, unveröffentlicht.
- Elsasser P., Altenbrunn K., Köthke M., Lorenz M., Meyerhoff J. (2020): Quantifizierung und Regionalisierung des ökonomischen Wertes von Waldökosystemleistungen in Deutschland, im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft.
- INFRAS und ecoplan (2014): Externe Effekte des Verkehrs 2010, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten, im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE.
- INFRAS und ecoplan (2019): Externe Effekte des Verkehrs in der Schweiz. Strassen-, Schienen-, und Schiffsverkehr 2016, im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE.
- IPBES (2018): Assessing nature's contributions to people.
- IPCC (2003): Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

Kuik O., Brander L., Tol R.S.J. (2009): Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis. *Energy Policy* 37 (4), S. 1395-1403.

Liski J., Palosuo T., Poltoniemi M., Sievänen R. (2005): Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecol Model* 189, S. 168-182.

Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation KliK (2019): Jahresbericht 2018 der Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation KliK.

Umweltbundesamt (2019): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze.