



Holzbau als Kohlenstoffspeicher – Potenzial des Schweizer Gebäudeparks

Synthesebericht

Fachstelle nachhaltiges Bauen

Impressum

Herausgeberin

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Fachstelle nachhaltiges Bauen
Postfach, 8021 Zürich
stadt-zuerich.ch/hochbau
Kontaktperson: Niko.Heeren@zuerich.ch

Mai, 2022

Autoren

Guillaume Habert, Professor an der ETH Zürich
Francesco Pittau, Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der ETH Zürich
Daniel Savi, Dipl. Umweltnaturwissenschaftler ETH, Büro für Umweltchemie
Matthias Klingler, MSc Umweltingenieur EPFL, Büro für Umweltchemie

ETH Zürich
Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement
Professur für Nachhaltiges Bauen
Stefano-Francini-Platz 5, HIL F 28.2
8093 Zürich
sc.ibi.ethz.ch

Büro für Umweltchemie GmbH
Schaffhauserstrasse 21
8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Ausgangssituation und Zielvorgaben	8
3	Warum unterschiedliche Ansätze?	10
4	Uneinigkeit der Projektpartner bezüglich der Methoden	12
4.1	ETH	12
4.2	BfU	13
5	Kernaussagen zeitunabhängige Ökobilanz (Bearbeitung Büro für Umweltchemie)	16
5.1	Zukunftsszenarien für den Schweizer Hochbau	16
5.2	Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen	18
5.3	Kapazität der inländischen Holzbereitstellung	19
5.4	Erreichung der Klimaziele durch Holzbauförderung	19
6	Schlüsselergebnisse basierend auf dynamischer Ökobilanz (ETH Studie)	21
6.1	Bedeutung des Timings	21
6.2	Notwendigkeit einer einfachen Methode für die dynamische Ökobilanz zur Implementierung im Bauwesen	23
6.3	Alternative Lebensende-Szenarien für eine dauerhafte Kohlenstoffspeicherung	25
6.4	Einfluss der Kohlenstoffbilanzierungsmethode zukünftiger Gebäudeparkentwicklungen auf den Klimawandel	27
7	Gründe für die Unterschiede in den Schlussfolgerungen	29
8	Empfehlungen	31

1 Zusammenfassung

Die wissenschaftliche Gemeinschaft debattiert momentan heftig über die Wirksamkeit von Klimaschutzmassnahmen durch Kohlenstoffspeicherung im Holzbau und die Nutzung von Städten als "Kohlenstoffsinken". Der vorliegende Bericht ist die Synthese einer gemeinsamen Forschungsarbeit der ETH Zürich und des BfU, der darauf abzielt, das Potenzial der Kohlenstoffspeicherung in Holzbauprodukten in der Stadt Zürich bis zum Jahr 2050 zu bewerten und sowohl die Potenziale als auch die kritischen Aspekte verschiedener Ansätze für die Anrechnung von biogenem Kohlenstoff zu bestimmen. Einer der Diskussionspunkte ist die Langzeitbetrachtung von Effekten in der Ökobilanz (auch Lebenszyklusanalyse genannt, aus dem Englischen «Life Cycle Assessment», kurz LCA). Bei einer zeitunabhängigen Ökobilanz werden im Allgemeinen alle Auswirkungen so betrachtet, als würden sie heute eintreten. Die zeitabhängige, oder dynamische, Ökobilanz bezieht den tatsächlichen Zeitpunkt des Auftretens von Emissionen in die Berechnung ein. Die beiden Methoden kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Bewertung der Klimabelastung durch Kohlendioxidemissionen, die beim Lebenszyklus eines Gebäudes auftreten. Zwei alternative Methoden zur Berechnung des biogenen Kohlenstoffs wurden hier bewertet: **i) die zeitunabhängige Ökobilanz** mit Berücksichtigung von negativen Emissionen für das in den Endprodukten gespeicherte CO₂ (-1/+1-Methode), und **ii) die zeitabhängige (dynamische) Ökobilanz**, bei der der Einfluss von der Freisetzung und Bindung von Treibhausgasen auf den Klimawandel gemessen wird (DLCA). Beide Methoden wurden schliesslich auf die Entwicklung des Gebäudeparks in der Schweiz angewandt, um den potenziellen Beitrag zum Klimaschutz zu prognostizieren, der durch die Einführung des Holzbaus bis 2050 erreicht werden kann.

Die beteiligten Projektteams haben unterschiedliche Ansichten bezüglich einiger Schlussfolgerungen, die aus der Studie gezogen werden können. Daher werden zuerst die gemeinsamen Kernaussagen und danach die abweichenden Kernaussagen aufgeführt.

Gemeinsame Kernaussagen:

1. Auf der Ebene des Gebäudeparks wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ökobilanzmethoden festgestellt. Dies bedeutet, dass ein Standardansatz, der auf der -1/+1-Methode basiert, in einem kurzen Zeitraum (bis 2050) konsistente Ergebnisse liefert, um Entscheidungsträger bei der Planung von Netto-Null-Strategien zu unterstützen.
2. Wird Verbrennung als Abfall-Szenario für Altholz angenommen, gelangt theoretisch der gesamte im Produkt gespeicherte biogene Kohlenstoff zurück in die Luft. Bei der Pyrolyse zur Herstellung von Biokohle und Synthesegas können etwa 40 % des Kohlenstoffs im Restprodukt gespeichert bleiben. Dieses kann dauerhaft im Boden gelagert werden und somit fast 85% der CO₂-Emissionen vermieden werden, was zu einem netto negativen Treibhausgaspotenzial nach 100 Jahren führt. Die Förderung alternativer Verfahren für Altholz (z. B. Pyrolyse, Wiederverwendung oder eventuell Recycling) wird dringend empfohlen, um einen Teil des Kohlenstoffs dauerhaft zu speichern.

Kernaussagen des ETH Teams:

1. Eine "faire" Berechnung des Kohlenstoff-Fussabdrucks auf individueller Gebäudeebene, wenn Holz - oder allgemein bio-basierte Materialien - als Baumaterial verwendet wird, sollte die Zeitabhängigkeit von Treibhausgasfreisetzung und -bindung berücksichtigen. Die dynamische Berechnung des Treibhausgaspotenzials ermöglicht es, sowohl die Auswirkungen der verzögerten biogenen Emissionen am Ende der Lebensdauer des Gebäudes, wenn das Gebäude abgerissen wird, als auch den globalen Kühleffekt durch die Kohlenstoffaufnahme durch die Waldregeneration, zu messen. Die "echte" Klimabelastung die von dem gesamten Lebenszyklusprozess (von der Wiege bis zur Bahre) des Holzbaus verursacht wird, kann über einen bestimmten Zeithorizont mit der Norm SIA 2032 nicht erfasst werden. Lediglich eine Berechnung des CO₂ Fuss- und Handabdrucks ist durch einen statischen -1/+1-Ansatz möglich.
2. Die dynamische Ökobilanz ist ein komplexes Instrument, das in der täglichen Baupraxis nur sehr begrenzt einsetzbar ist. Der halbstatische Ansatz, der auf dem von der ETH vorgestellten GWP_{bio}-Index basiert (GWP für «Global Warming Potential», auf Deutsch Treibhausgaspotenzial, kurz THG Potenzial), dürfte in der Praxis eine bessere Alternative darstellen. Dieser erfordert für nicht-biogene Emissionen nach wie vor den Standardansatz zur Berechnung des Treibhausgaspotenzial und verlangt kein dynamisches Inventar für jedes einzelne THG. Bei beiden Methoden wirken sich die Folgen persönlicher Entscheidungen über die zeitliche Zuordnung von Inputs (z. B. negative Emissionen aus Waldwachstum, die vor oder nach dem Bau angenommen werden) erheblich auf das resultierende THG Potenzial aus. Diese Subjektivität erschwert die Kommunikation und Interpretation der Ergebnisse.
3. Das kontinuierliche Bevölkerungswachstum in der Schweiz, das sich voraussichtlich erst nach 2050 stabilisieren wird, wird in den nächsten 30 Jahren einen starken Druck auf die Nachfrage nach Baumaterialien ausüben. Anhand des vom BfU entwickelten Gebäudeparkmodells wurde durch einen dynamischen Ansatz gezeigt, dass nur eine sofortige und vollständige Umstellung bei Neubaugebäuden von konventionellen Bauarten auf Holzbau das Potenzial hat, den Klimawandel zu stabilisieren und das Bauen bis 2050 klimaneutral zu machen. Dieser radikale Umstieg auf ein Szenario der "maximalen Holznutzung" wäre jedoch aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von lokalem Rundholz aus Schweizer Nadelwäldern und fehlender Investitionen in den Infrastrukturausbau in sehr kurzer Zeit unrealistisch.
4. Beide untersuchten Szenarien, der "Basisfall" (business as usual) und "Holzförderung" (lineare Erhöhung des Holzanteils) würden das Klimaziel für das

Bauwesen verfehlen. Das bedeutet, dass die Verwendung von Holz in Gebäudestrukturen allein nicht ausreichen würde, um die bis 2050 angestrebte Kohlenstoffneutralität im Bauwesen zu erreichen. Daher müssen andere ergänzende Strategien ermittelt und gefördert werden, um den Druck zu verringern, allein durch die Wahl des Baumaterials Einfluss auf den Klimawandel zu nehmen. Ein Drehen an verschiedenen Stellschrauben, d.h. die Verwendung alternativer Materialien für die Struktur, die Isolierung und den Ausbau, ein anderes Gebäudedesign und eine andere Stadtplanung sowie Änderungen in der individuellen Nachfrage könnten es ermöglichen, die Nettonullstellung bis 2050 zu erreichen.

Kernaussagen des BfU Teams:

1. Im Hinblick auf die Auswirkungen auf den Klimawandel ist es eine gute Strategie, mehr Holz in Gebäuden zu verwenden. Solange der Gebäudepark wächst, wird die Förderung von Holz als Baumaterial es ermöglichen, Kohlenstoff in der bebauten Umwelt zumindest für eine gewisse Zeit zu speichern.
2. Die Holzbauförderung reduziert die fossilen Treibhausgasemissionen bei der Gebäudeerstellung auch ohne Berücksichtigung der Kohlenstoffeinlagerung im Holz. Die Holzbauweise reduziert den Materialverbrauch beim Bauen insgesamt, was zu niedrigeren Treibhausgasemissionen führt.
3. Das optimistischste Szenario für die Erhöhung des Holzanteils am totalen Baumaterialienverbrauch würde es ermöglichen, vorübergehend etwa 7% der derzeitigen nationalen Treibhausgasemissionen auszugleichen.
4. Damit die Strategie einer massiven Holzbauförderung mit vorwiegend einheimischem Holz umgesetzt werden kann, muss deutlich mehr Laubholz im Bausektor eingesetzt werden, als dies heute der Fall ist.
5. Biogene CO₂-Emissionen sollten in die Ökobilanz von Gebäuden und Baumaterialien einbezogen werden, um die Transparenz der Ökobilanzdaten zu erhöhen. Eine Änderung der Methoden der Ökobilanz, die zur Bewertung von Gebäuden und Baustoffen verwendet werden, ist jedoch nicht erforderlich. Die Regeln für die Berechnung von Ökobilanzen von Gebäuden, wie sie in der SIA 2032 formuliert sind, und die Regeln für die Berechnung von Ökobilanzen von Materialien, wie sie von der "Plattform Ökobilanzen im Baubereich" formuliert wurden, sind angemessen. Die Auffassung, dass die derzeit verwendeten Ökobilanzmethoden für die Bewertung biobasierter Produkte nicht angemessen sind, wird vom Büro für Umweltchemie nicht geteilt.
6. Auf Gebäudeebene (bei Verwendung einer zeitunabhängigen Ökobilanz) kann eine Auswirkung der Kohlenstoffspeicherung nur angenommen werden, wenn die biobasierten Materialien nach der Nutzungsphase nicht verbrannt werden. Zum Zeitpunkt des Baus ist das Ende der Lebensdauer unbekannt. Daher wird

das Lebensende-Szenario von Baumaterialien anhand der derzeitigen Recycling- und Entsorgungspraktiken bewertet. Durch die Berücksichtigung von Lebensende-Szenarien, die derzeit kaum verfügbar sind, wie z. B. die Pyrolyse von Holz, werden Vorteile in Ökobilanzen einbezogen, die in der Realität vielleicht nie eintreten werden. Darüber hinaus ist die Berücksichtigung von dauerhaft in Produkten gebundenem biogenen Kohlenstoff nicht mit den aktuellen Ökobilanzstandards in der Schweiz und Europa (EN15804) vereinbar. Diese Normen verlangen, dass der Ausstoss von grauem CO₂ (also Kohlenstoffdioxid das bei der Herstellung und beim Nutzen von Materialien ausgestossen oder gebunden wird) am Ende der Nutzungsphase berücksichtigt wird.

7. Ein dynamischer oder halbstatistischer Ansatz kann einen positiven Effekt der Kohlenstoffspeicherung sogar auf Gebäudeebene zeigen. Allerdings sind die methodischen Fragen zur Berücksichtigung künftiger Emissionen noch ungelöst. Dynamische Berechnungen erfordern ausserdem Annahmen über den künftigen Lebenszyklus von Baumaterialien während der Nutzungsphase und der Behandlung am Ende der Lebensdauer. Dies macht die Anwendung eines zeitabhängigen Ansatzes komplexer und auch unsicherer als den zeitunabhängigen Ansatz.

2 Ausgangssituation und Zielvorgaben

Einbeziehung von biogenem CO ₂ in die Ökobilanz	<p>Holz nimmt in der aktuellen Diskussion um ökologische Baustoffe eine führende Position ein. Als nachwachsender Rohstoff, der bei vergleichsweise geringer Dichte hohe Lasten aufnehmen kann, erfüllt er viele Anforderungen an einen nachhaltigen Baustoff. Klassische Vergleiche der fossilen Treibhausgasemissionen zwischen einer Holzkonstruktion und ihrer konventionellen Massivvariante (aus Ziegel und Beton) zeigen jedoch oft relativ bescheidene Vorteile für den Holzbau (Kasser et al., 2012, p.). Grund dafür ist die Energie, die bei der Herstellung von Bauholz eingesetzt wird und fossile Treibhausgase emittiert. Die klassische Berechnungsmethode berücksichtigt keine biogenen CO₂-Ströme. In diesem Bericht haben wir die biogenen CO₂-Ströme im Holzbau quantifiziert und mit verschiedenen Berechnungsmethoden den Einfluss auf die Ergebnisse des Klimawandels bewertet.</p>
Dynamische vs. statische Ökobilanz	<p>Die dynamische Ökobilanzmethode berücksichtigt die Auswirkungen des Emissionszeitpunkts, um den Kohlenstoff-Fussabdruck zu berechnen. Diese Methode macht das Interesse an der Speicherung von biogenem Kohlenstoff in Gebäuden während ihres Lebenszyklus und dessen späterer Freisetzung nachvollziehbar, ist aber diskussionsbedürftig. Dieser Ansatz wurde im ETH-Projektteil untersucht.</p> <p>Bei der etablierten zeitunabhängigen Ökobilanz werden alle Emissionen, die während des Lebenszyklus anfallen, so behandelt, als ob sie heute anfallen würden. Üblicherweise werden nur die fossilen CO₂-Emissionen betrachtet, um den Beitrag zum Klimawandel zu quantifizieren. Das biogene CO₂ kann jedoch separat bilanziert werden. Dieser Ansatz wurde im Teilprojekt des Büros für Umweltchemie untersucht.</p>
Fragestellungen	<p>Ausgehend von dieser Ausgangslage hat das Amt für nachhaltiges Bauen der Stadt Zürich eine Studie in Auftrag gegeben. Folgende Fragestellungen sollten beantwortet werden. In Klammern ist jeweils angegeben, welche Gruppe die Fragestellung bearbeitet hat:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Wie können faire Bilanzierungsregeln auf der Ebene einzelner Gebäude aussehen, die den zeitlich verschobenen Treibhauseffekt berücksichtigen? (ETH)2. Wie unterscheidet sich der Treibhauseffekt eines Holzgebäudes von dem eines Betongebäudes im Zeitverlauf? (ETH)3. Ist es zu stark vereinfacht, den gesamten Gebäudepark als Kohlenstoffsенke zu betrachten (BfU)4. Wie hoch ist das Potenzial von Recycling, Kaskadennutzung und Kohlenstoffbindung? (ETH)5. Welches Potenzial hat der Wald heute? (BfU)6. Wie viel der heutigen Treibhausgasemissionen aus dem Bausektor könnten bei maximaler Holznutzung vorübergehend aufgehoben werden? (BfU / ETH)

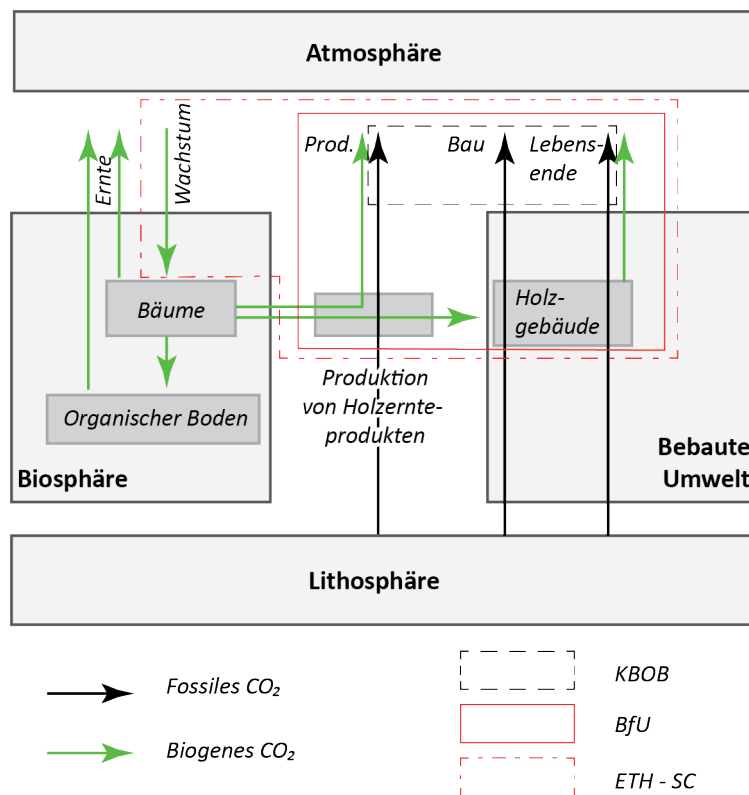
7. Wie könnte ein Konzept für die endgültige Lagerung von Kohlenstoff am Ende des Lebenszyklus von Gebäuden aussehen? *(ETH)*

3 Warum unterschiedliche Ansätze?

Zeitunabhängiger Ansatz	Der zeitunabhängige Ökobilanzansatz geht von der grundlegenden Annahme aus, dass die biogenen Treibhausgasemissionen in relativ kurzer Zeit auf neue Biomasse übertragen werden. Biogene Emissionen seien nicht die Ursache für den heutigen erhöhten Treibhauseffekt, der zu höheren Temperaturen auf unserem Planeten Erde führt. Diese würden nur durch fossile und geogene Emissionen von Treibhausgasen verursacht, die zu einem zunehmenden Treibhauseffekt in der Atmosphäre führen. Als Konsequenz dieses Ansatzes trägt biogener Kohlenstoff nicht zum Klimawandel bei. Das zu Beginn des Lebens der Pflanze aufgenommene CO ₂ werde am Ende ihres Lebens wieder freigesetzt. Diese über den Lebenszyklus betrachtete Kohlenstoffneutralität wird als Klimaneutralität bezeichnet.
Dynamischer (zeitabhängiger) Ansatz	Der dynamische Ansatz berücksichtigt den Strahlungsantrieb eines jeden Treibhausgases in der Atmosphäre unabhängig von seiner Herkunft. Sowohl die Bindung als auch die Freisetzung der Treibhausgase werden bei diesem Ansatz zeitlich zugeordnet. Während fossile Emissionen im dynamischen Ansatz grundsätzlich gleich behandelt werden wie im statischen Ansatz, werden Unterschiede sichtbar, wenn es um biogene Emissionen geht. Beim dynamischen Ansatz werden die Emissionen aus fossilen und biogenen Quellen gleichbehandelt. Allerdings können biogene Emissionen hier durch die Bindung von Kohlenstoff in der nachwachsenden Biomasse kompensiert werden. Das CO ₂ sei vollständig aus der Atmosphäre entfernt, sobald die neue Pflanze die gleiche Grösse wie die geerntete erreicht hat. Um Klimaneutralität zu erreichen, müsse die Masse der geernteten Pflanze über den gleichen Zeitraum gelagert werden, beispielsweise in einem Gebäude. Falls die Lagerzeit die Zeit des Nachwachsens übersteigt, könne mit diesem Ansatz sogar eine Reduzierung des Treibhauseffekts erreicht werden.
Unterschiede zwischen den Methoden in Bezug auf die Systemgrenzen	Abbildung 1 zeigt schematisch den Kohlenstoffkreislauf und den Austausch zwischen den verschiedenen Sphären. Man kann den Austausch zwischen der Biosphäre und der Atmosphäre sehen, der durch das Wachstum der Bäume und ihr Absterben erfolgt. Wir haben auch den Fluss von Kohlenstoff in den organischen Boden durch die Bildung von Humus dargestellt. Wenn ein Baum gefällt wird, um ein Holzprodukt herzustellen, wird ein Teil des im Baum enthaltenen Kohlenstoffs auf das Produkt übertragen. Allerdings wird bei der Produktion auch ein Teil des im Baum gespeicherten biogenen Kohlenstoffs an die Atmosphäre abgegeben. Der Einsatz fossiler Brennstoffe zum Ernten, Schneiden oder Verleimen des Produkts führt zu einem Fluss von fossilem CO ₂ aus der Lithosphäre in die Atmosphäre. Dies ist das Ergebnis der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die Ernte des Baumes führt auch zu einer Veränderung der Biosphäre. Die Wurzeln und einige Äste des abgestorbenen Baumes verbleiben im Wald, wodurch Kohlenstoff an die Atmosphäre abgegeben wird. Diese Kohlenstoffströme bestehen zum Teil aus Methan und nicht aus Kohlendioxid. Sie sind im linken Teil der Abbildung

1 dargestellt, da sie in dieser Studie nicht berücksichtigt werden. Im Hinblick auf die bebaute Umwelt wird das geerntete Holzprodukt für den Bau eines Holzgebäudes verwendet. Während des Baus dieses Holzgebäudes wird fossiles CO₂ freigesetzt, da für den Transport und den Bau fossile Brennstoffe verwendet werden. Am Ende der Lebensdauer des Gebäudes wird der im Holz gespeicherte biogene Kohlenstoff schliesslich in die Atmosphäre freigesetzt, was ebenfalls mit fossilen CO₂-Emissionen verbunden ist. Die aufgeführten Umweltbelastungswerte in der Liste der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB berücksichtigen die fossilen CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit dem Lebenszyklus von Produkten und Gebäuden. In der BfU-Studie wurden die mit diesem Lebenszyklus verbundenen fossilen und biogenen Emissionen sowie die Quantifizierung des in den Holzgebäuden gespeicherten biogenen Kohlenstoffs berücksichtigt. Die ETH-Studie berücksichtigt die Auswirkung der CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre durch das Wachstum neuer Bäume, die nach der Baumfällung im Wald gepflanzt werden.

Abbildung 1:



4 Uneinigkeit der Projektpartner bezüglich der Methoden

4.1 ETH

Unterschiede im Zeithorizont zwischen statischen und dynamischen Ansätzen

In der LCA-Community gibt es eine hitzige Debatte zwischen statischen und dynamischen Berechnungsmethoden. Abbildung 2 ist ein schematisches Diagramm, das hilft zu verstehen, wo die wesentlichen Unterschiede auftreten.

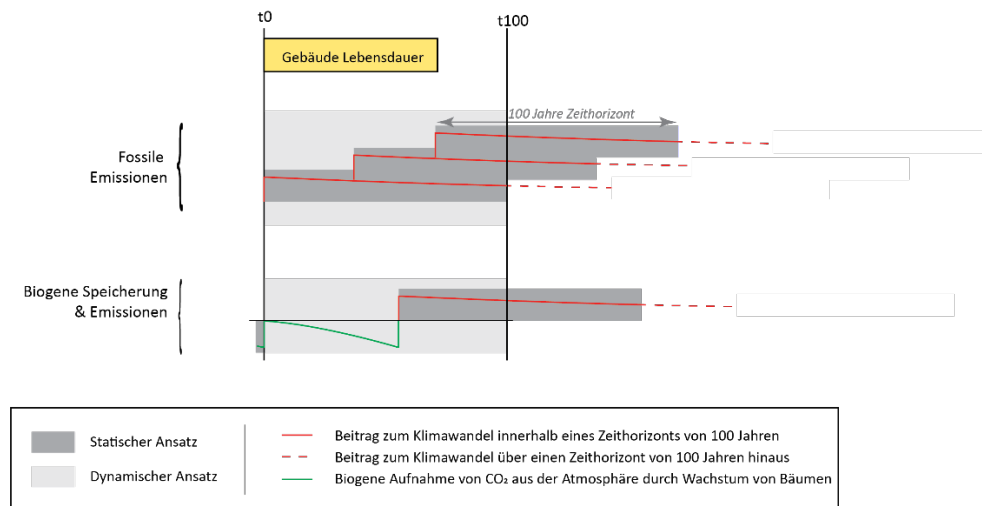
Bei der dynamischen Methode wird ein Ansatz angenommen, der den Zeitpunkt des Projekts berücksichtigt. Bei dieser Methode werden die Auswirkungen der durch das Projekt freigesetzten Treibhausgase innerhalb eines bestimmten Zeithorizonts (in der Regel 100 Jahre nach Aktivitätsbeginn, eventuell aber auch länger) betrachtet. Dies bedeutet, dass Emissionen, die erst spät innerhalb des gesetzten Zeithorizonts entstehen, weniger Einfluss haben.

Im Gegensatz dazu nimmt die statische Methode einen Ansatz an, der unabhängig von dem Zeitpunkt des Projekts ist. Bei dieser Methode wird die kumulative Wirkung der während des Projekts freigesetzten Treibhausgase berechnet. Die Wirkung der Treibhausgase ist zudem auf einen bestimmten Zeithorizont begrenzt (in der Regel 100 Jahre nach Aktivitätsbeginn, eventuell aber auch länger).

Es ist ersichtlich, dass beide Methoden konvergieren, wenn wir lange Zeithorizonte (500 bis 1000 Jahre) betrachten, jedoch erlaubt die dynamische Methode zu erfassen, was tatsächlich über die Zeit hinweg in der Atmosphäre passieren wird und wie sich unsere Massnahmen in Echtzeit auswirken. Sie verdeutlicht somit das vorübergehende Interesse an einer Aufschiebung der Emissionen.

Ausserdem können sowohl die statische als auch die dynamische Methode biogene Emissionen berücksichtigen oder ignorieren. Bei statischen Methoden, die biogene Emissionen berücksichtigen, wird in der Regel ein so genannter -1/+1 Ansatz gewählt, d.h. zu Beginn der Lebensdauer wird -1 Emission angenommen und am Ende der Lebensdauer +1 addiert. Dies führt zu insgesamt null biogenen CO₂-Emissionen und verhindert in der Regel das Aufzeigen des Nutzens der Zwischenlagerung. Dynamische Methoden bilden die Dynamik von Absorptionen und Emissionen ab, und ermöglichen es somit, den Nutzen einer vorübergehenden Reduzierung der Treibhausgase in der Atmosphäre aufzuzeigen. Dieser Nutzen ist zeitlich begrenzt und wird daher auch bei dynamischen Methoden nicht sichtbar, wenn ein längerer Zeithorizont betrachtet wird.

Abbildung 2:
Skizze zur Erläuterung der unterschiedlichen Gesichtspunkte zwischen der statischen und der dynamischen Methode in der Ökobilanz



4.2 BfU

Missverständnisse beim Zeithorizont

Beim dynamischen Ansatz wird manchmal ein Zeithorizont von 100 Jahren für die Berechnung des Strahlungsantriebs von Emissionen und der Absorption von Treibhausgasen verwendet. Dies wird mit dem «GWP100» begründet, welches auch in Berichten des «Intergovernmental Panel on Climate Change» (IPCC) und in zeitunabhängigen Ökobilanzen als Masseinheit verwendet wird, um das Erderwärmungspotenzial von verschiedenen Treibhausgasen ausgeglichen darzustellen. Die Verwendung eines Zeithorizonts von 100 Jahren bei dynamischen Berechnungen ist jedoch nicht gleichbedeutend mit der Verwendung einer Einheit von «GWP100» bei zeitunabhängigen Ansätzen. In einem zeitunabhängigen Ansatz wird «GWP100» genutzt, um die CO₂-Äquivalente für verschiedene Treibhausgase wie Methan, Wasser oder Distickstoffoxid zu berechnen. Es ist also eine Art Masseinheit, hat jedoch keinen Einfluss auf den Zeithorizont der Berechnung. Dieser Zeithorizont ist nicht genau definiert. Im Falle der Treibhausgase liegt die Grenze irgendwo zwischen der Umsatzzeit biogener Treibhausgase und geogener Prozesse, bei denen Erdöl entsteht. Letztere ist zweifellos länger als hundert Jahre.

Lastenverschiebung in die Zukunft

Durch die Berücksichtigung eines Zeitrahmens von 100 Jahren nach Aktivitätsbeginn, der im dynamischen Ansatz berücksichtigt wird, werden die mit den heutigen Aktivitäten verbundenen «Lasten» der Umweltauswirkungen in die Zukunft verlagert. Wenn eine CO₂-Emission später in diesem Zeitrahmen stattfindet, wird der berechnete Treibhausgaseffekt reduziert. Dies ist eine wesentliche Änderung einer Grundannahme der Ökobilanz, die besagt, dass Lasten, die durch heutige Aktivitäten entstehen, nicht auf künftige Generationen verschoben werden sollen.

Auswirkung- gen des dynamischen Ansatzes sind in realen Anwendungs- fällen marginal	<p>Die Verwendung des dynamischen Ansatzes wird als realistischer angesehen, da er sich direkter auf den Strahlungsantrieb in der Atmosphäre bezieht als der zeitunabhängige Ansatz. Allerdings sind die Unterschiede in den Ergebnissen bei der Berücksichtigung von biogenem Kohlenstoff zwischen den beiden Ansätzen für reale Beispiele minimal. Der dynamische Ansatz, selbst in seiner halbstatistischen Variante, die von der ETH in dieser Studie entwickelt wurde, benötigt viel mehr Informationen und auch Annahmen über die zukünftige Nutzung als der zeitunabhängige Ansatz. Das erschwert seine Anwendung. Ausserdem ist er leichter anfechtbar. So muss bei einer dynamischen Berechnung insbesondere die Lagerzeit von Holz in Gebäuden abgeschätzt werden, eine Zahl, die immer in Frage gestellt werden kann.</p>
Ebene Gebäude	<p>Betrachtet man die Ökobilanz einzelner Gebäude, so ergeben sich grundlegende Unterschiede zwischen den beiden Methoden. Dennoch unterscheiden sich die Ergebnisse nicht wesentlich.</p> <p>Die folgende Frage soll beantwortet werden: "Wie ist der Effekt von in Gebäuden gelagertem Holz auf die Treibhausgasemissionen, wenn man die biogenen Emissionen betrachtet?"</p> <p>Mit dem zeitunabhängigen Ansatz hat diese Frage eine einfache Antwort: keine. Denn das gesamte Holz, das in das Gebäude eingebracht wird, wird später wieder aus dem Gebäude entfernt. Wenn das Holz in der End-of-Life-Phase verbrannt wird, wird sein Kohlenstoffgehalt in Form von CO₂ an die Umwelt abgegeben. Alternativ kann es in ein Recyclingprodukt umgewandelt werden. Durch das Recycling werden biogene Emissionen am Ende des Lebenszyklus vermieden. Jedoch wird auch dieses Produkt irgendwann zu Abfall. Unabhängig davon, wie viele Zyklen das Holz durchläuft, wird der im Holz gespeicherte Kohlenstoffgehalt letztendlich als CO₂ an die Atmosphäre zurückgegeben.</p> <p>Mit dem dynamischen Ansatz kann ein Treibhausgaseffekt berechnet werden. Da das Holz in einem Gebäude gelagert wird, wird sein Kohlenstoffgehalt von der Atmosphäre abgezogen. Während der Lagerzeit können neue Bäume wachsen, was zu einer Verringerung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre führt. Diese kann angerechnet werden, bis ein Baum der gleichen Grösse nachgewachsen ist.</p> <p>Dennoch sind die Unterschiede in den Ergebnissen auf Gebäudeebene minimal. Betrachtet man die Ergebnisse des ETH-Berichts für Holz im Rohbau, so liegen die Faktoren bei realistischen Zeiten für Nutzung und Nachwachsen nahe bei Null. Dies führt also zum gleichen Ergebnis wie die Betrachtung der biogenen Emissionen mit dem zeitunabhängigen Ansatz. Lediglich bei Materialien mit sehr kurzen Wachstumszeiten, wie Hanf oder Stroh, und langer Nutzung in Gebäuden zeigen die Ergebnisse signifikante Unterschiede. Diese Materialien tragen nur zu geringen Anteilen zu den CO₂-Emissionen eines Gebäudes bei. Der heutige Standard erlaubt es nicht neue Hochhausgebäude hauptsächlich mit Stroh oder Hanf zu bauen. Eine</p>

alternative Umstellung unserer Bebauung auf kleine Hanf- oder Strohhäuser, in der Grössenordnung von Einfamilienhäusern, würde zu einem immensen Anstieg des Flächenverbrauchs und in der Folge zu einer enormen Zunahme der Transportwege führen. Diese Nebeneffekte disqualifizieren eine solche Strategie zur wirksamen Bekämpfung der Klimakrise.

Ebene

Gebäudepark

Betrachtet man den Gebäudepark als Ganzes, kann seine Dynamik in die Berechnung der Speichereffekte biogener Materialien einbezogen werden. Dieser Ansatz wird von beiden Teams verwendet, und die Auswirkungen auf den Klimawandel werden mit beiden Methoden bewertet. Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Ansätze werden später in diesem Bericht ausführlich erörtert.

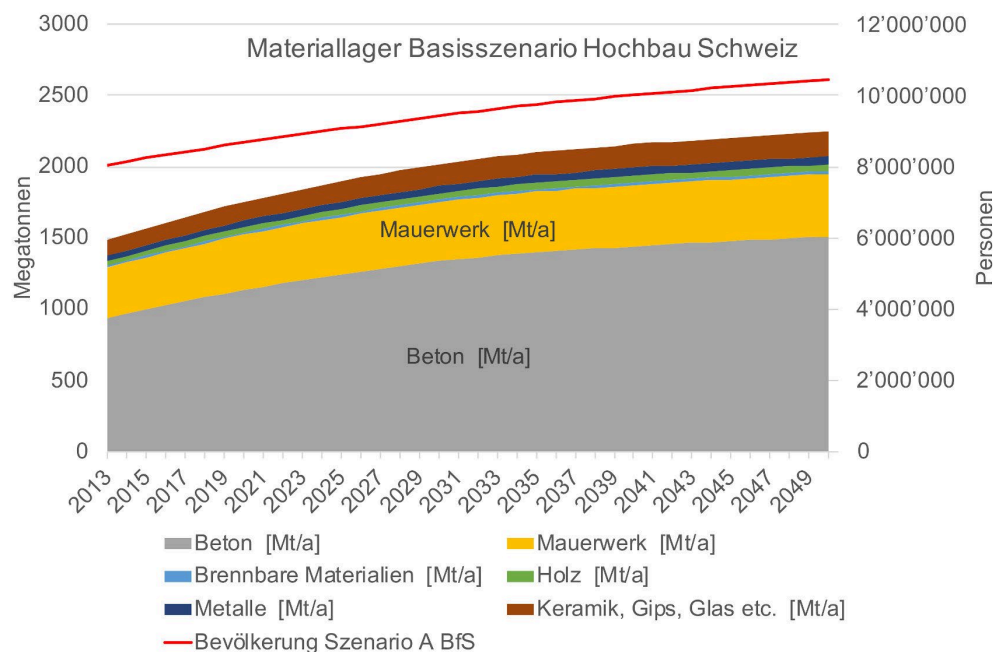
5 Kernaussagen zeitunabhängige Ökobilanz (Bearbeitung Büro für

5.1 Zukunftsszenarien für den Schweizer Hochbau

Stoffflussmodell zur Abklärung der Senkenleistung

Um die mögliche Einlagerung von Kohlenstoff im Gebäudepark über die nächsten 30 Jahre abzuschätzen, wurde ein Modell des Materialverbrauchs des Gebäudepark Schweiz erstellt. Das Modell basiert auf dem Inventar des Gebäudeparks aus zwei Studien (Gauch et al., 2018; Guerra et al., 2015) für das Jahr 2013. Der Zufluss von Baustoffen wurde für die Jahre 2013-2020 aus der Materialgesamtflussrechnung des Bundes hergeleitet. Die Prognose für die Zukunft geht von der Annahme aus, dass die Menge der Baustoffe im Gebäudepark mit der Bevölkerungszahl korreliert. Aus dem prognostizierten Zuwachs der Bevölkerung gemäss dem Bundesamt für Statistik ergibt sich ein Zuwachs des verbauten Materials. Die Flüsse von Sekundärbaustoffen und Abfällen aus dem Gebäudepark werden durch einen Transferfaktor pro Baustoff modelliert. Abbildung 3 zeigt die Entwicklung des Basisszenarios, das die Aufteilung der Baustoffe gegenüber heute unverändert lässt.

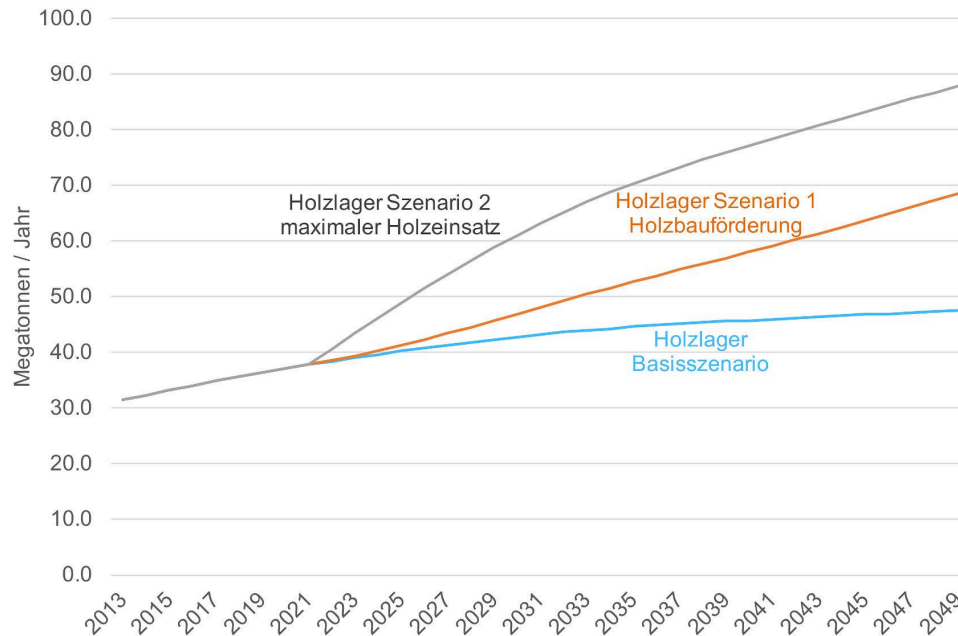
Abbildung 3: Entwicklung des Materiallagers ohne Förderung des Holzbaus



Szenarien für die Entwicklung des Materiallagers

Zur Ermittlung des Einspeicherungspotenzials werden drei verschiedene Szenarien für den Anteil des Holzes im verbauten Materialstrom definiert. Zusätzlich zum Basisszenario wird in zwei Szenarien ein erhöhter Anteil des Holzbaus angenommen. Im Szenario 1 erfolgt eine schrittweise Förderung des Holzbaus ab 2021 bis zum Jahr 2050, wo ausschliesslich Holzbauten neu erstellt werden. Im Szenario 2 werden bereits ab dem Jahr 2021 ausschliesslich Gebäude in Holzbauweise erstellt. Abbildung 4 unten zeigt die Entwicklung der Mengen an verbautem Holz im Gebäudepark für die drei Szenarien.

Abbildung 4:
Vergleich der
Entwicklung des
Holzlagers in
Schweizer Hoch-
bauten



Bilanzierung
der Treib-
haus-
gasemissio-
nen

Für alle drei Szenarien wurden die Treibhausgasemissionen für die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe quantifiziert. Berechnet wurde jeweils die Summe der Emissionen der Jahre 2020 bis 2050. Es wurden einerseits fossile und geogene Treibhausgasemissionen gemäss der gängigen Methode der KBOB-Liste «Ökobilanzdaten im Baubereich» berücksichtigt (KBOB, 2016). Andererseits wurden zusätzlich die Emissionen von biogenem Kohlenstoff während der Produktion, dem Recycling und der Entsorgung von Baustoffen, sowie die Einspeicherung von biogenem Kohlenstoff in der verbauten Biomasse berechnet.

Bewertung
der Realisier-
barkeit der
Szenarien

Die Betrachtung der Szenarien zeigt, dass das Szenario 2 «maximaler Holzeinsatz» nicht realistisch ist. Zum einen kann ein so starker Wandel politisch und wirtschaftlich nicht umgesetzt werden, zum anderen überlastet diese Strategie die Kapazität der Holzbereitstellung zeitweise deutlich. Auch die Umsetzung des Szenarios 1 erfordert grosse Anstrengungen. Zur Realisierung sind massive regulatorische Eingriffe in den Bausektor nötig. Ab 2021 müsste der Anteil von Holzbauten in Neubauprojekten linear gesteigert werden bis 2050 nur noch Neubauten mit Primärkonstruktion aus Holz erstellt würden. Eine solche Entwicklung ist nur durch verpflichtende Vorgaben zur Planung und Realisierung von Holzbauten durch den Gesetzgeber denkbar. Der Einsatz von Laubhölzern im Baubereich müsste massiv zunehmen, da die ausgelöste Nachfrage alleine mit Nadelhölzern nicht gedeckt werden kann, es sei denn, dass der Schweizer Baumbestand grossflächig mit mehr Nadelhölzern besetzt wird. Durch den Klimawandel ist jedoch im Gegensatz dazu mit einer stärkeren Ausbreitung der Laubhölzer zu rechnen

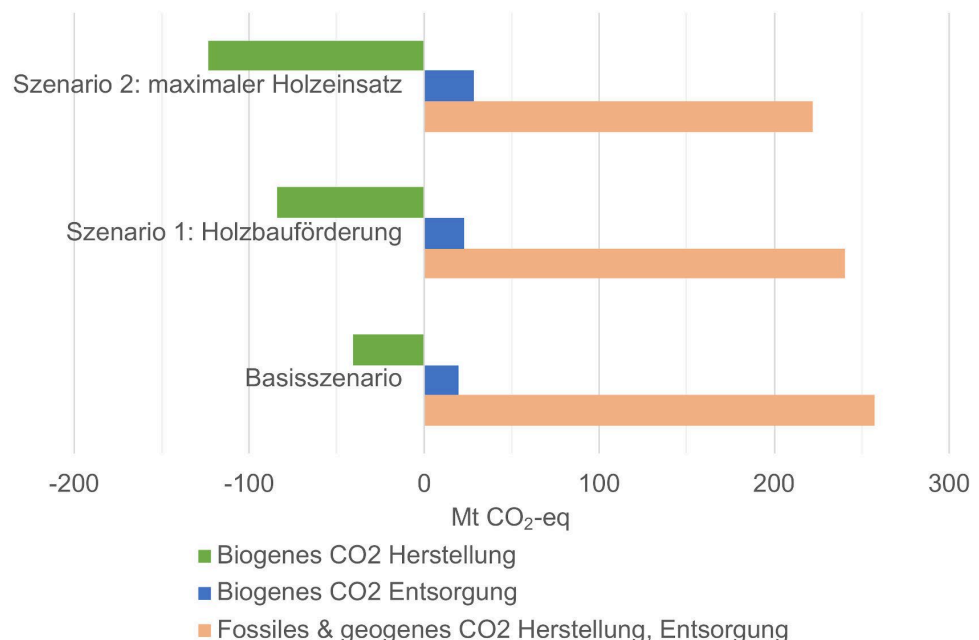
5.2 Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen

Reduktion der CO₂-Emissionen und Einspeicherungspotenzial durch Holzbauförderung

Der Holzbau hat positive Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen. Zwei Effekte sind dafür verantwortlich: Zum Ersten reduziert der Holzbau durch die leichtere Bauweise die Emissionen von Treibhausgasen aus fossilen und geogenen Quellen, die während der Erstellung der Gebäude ausgestossen werden (oranger Balken in Abbildung 5). Zum Zweiten agieren Holzbauten unter Annahme eines wachsenden Gebäudeparks über die nächsten Jahrzehnte als temporäre Speicher von biogenem Kohlenstoff. Der Einlagerungseffekt übertrifft den Effekt der Gewichtsreduktion bei Weitem, wie im Folgenden gezeigt wird.

In allen drei Szenarien wird mehr biogenes CO₂ im Baukörper eingelagert, als bei der Produktion der Baustoffe frei wird. Der grüne Balken in Abbildung 5 zeigt den Einlagerungseffekt dieser Differenz zwischen dem im Holz fixierten und während der Produktion der Holzwerkstoffe freigesetzten biogenen CO₂. Bei der Verbrennung von Baustoffen aus dem Rückbau wird biogenes CO₂ frei (blauer Balken in Abbildung 5). Es wird insgesamt in allen Szenarien im Zeitraum von 2020-2050 mehr biogenes CO₂ eingelagert als ausgestossen. Dadurch resultiert ein Einlagerungseffekt, der durch das wachsende Holzlager in den Schweizer Hochbauten bewirkt wird.

Abbildung 5: Treibhausgas-Emissionen und CO₂-Einspeicherung nach Szenarien 2020-2050



Die Modellierung der Szenarien zur Holzförderung zeigt zudem, dass durch ein vermehrter Einsatz von Holz in Gebäuden die CO₂-Emissionen des Baumaterialverbrauchs deutlich reduziert werden können. Im Vergleich zum Basisszenario können mit Szenario 1 «Förderung Holzbau» die Treibhausgasemissionen der Erstellung des Gebäudeparks im Zeitraum 2020-2050 um

22% reduziert werden. Bei einem maximalen Holzeinsatz beträgt die Reduktion der Treibhausgase bei der Herstellung und Entsorgung von Baustoffen sogar 45%. Diese Berechnung berücksichtigt sowohl fossile und geogene Quellen, wie auch die Einspeicherung und Emissionen von biogenem Kohlenstoff.

Vergleich mit den Emissionen des Bau-sektors

Bei einem Vergleich der eingesparten und eingelagerten Treibhausgase mit den fossilen und geogenen Treibhausgas-Emissionen des Baubereichs zeigt sich ein Einsparpotential von knapp 5 %. Dieser Effekt lässt sich beobachten, solange die Menge von Holzbauten im Gebäudepark Schweiz ansteigt.

Vergleich mit den Gesamtemissionen der Schweiz

Betrachtet man die Situation im Kontext der inländischen Treibhausgasemissionen von gegenwärtig 46 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr, dann entspricht die erzielte Einsparung über 30 Jahre einem Anteil von rund 2 – 7%. Demzufolge ist der Effekt der Einspeicherung gemessen an den heutigen nationalen Emissionen eher bescheiden.

5.3 Kapazität der inländischen Holzbereitstellung

Vergleich Szenarien mit verfügbarem Holzangebot

Im Szenario 1 «Holzbauförderung steigt der Holzbedarf im Baubereich bis 2050 auf 2.2 Mio. Tonnen. Im Szenario 2 «maximaler Holzeinsatz» für die drei untersuchten Szenarien wurde ein Bedarf von 2.2 bis 8.4 Mio. Tonnen an waldfischem Holz ermittelt. Die nachhaltig nutzbare Produktion des Schweizer Waldes liegt gemäss Literatur (Hofer et al., 2011) bei rund 5.6 Mio. Tonnen. Das Szenario 2 «Maximaler Holzeinsatz» würde die Kapazität des Schweizer Waldes zeitweise überschreiten. Im Szenario 1 «Holzbauförderung» wird die Kapazität des Schweizer Waldes nicht überschritten. Zu berücksichtigen ist jedoch die Tatsache, dass rund ein Drittel des geernteten Holzes Laubholz ist, welches gegenwärtig noch wenig Anwendungen im Baubereich kennt. Für eine Maximierung der Nutzung von einheimischem Holz müsste auch vermehrt Laubholz stofflich genutzt werden. Laubholz wird heute zu rund 70% energetisch genutzt.

5.4 Erreichung der Klimaziele durch Holzbauförderung

Förderung Holzbau als ergänzende Massnahme zur Erreichung der Klimaziele

Aufgrund der Untersuchung wird ersichtlich, dass eine alleinige Förderung des Holzbaus nicht ausreicht, um die Klimaziele im Bausektor zu erreichen. Sie kann jedoch einen wesentlichen Beitrag dazu leisten. Im Kontext der Gebäudeerstellung und des Gebäudebetriebs ist eine massive Holzbauförderung weniger wirkungsvoll zur Erreichung der Klimaziele als die Reduktion des Heizwärmebedarfs durch eine verbesserte Gebäudeisolation und die Umstellung der Gebäudeheizung auf nicht-fossile Energieträger. Die Emissi-

onen aus der Gebäudeheizung machen rund 25% der inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz aus (BAFU, 2020). Bei der Erstellung von Neubauten liegt zudem ein grosses Potenzial bei einer Änderung der Herstellungstechnologien von Baustoffen allgemein. Dies betrifft vor allem den vermehrten Einsatz von erneuerbarer Energie in der Produktion und Rohstoffgewinnung.

6 Schlüsselergebnisse basierend auf dynamischer Ökobilanz (ETH)

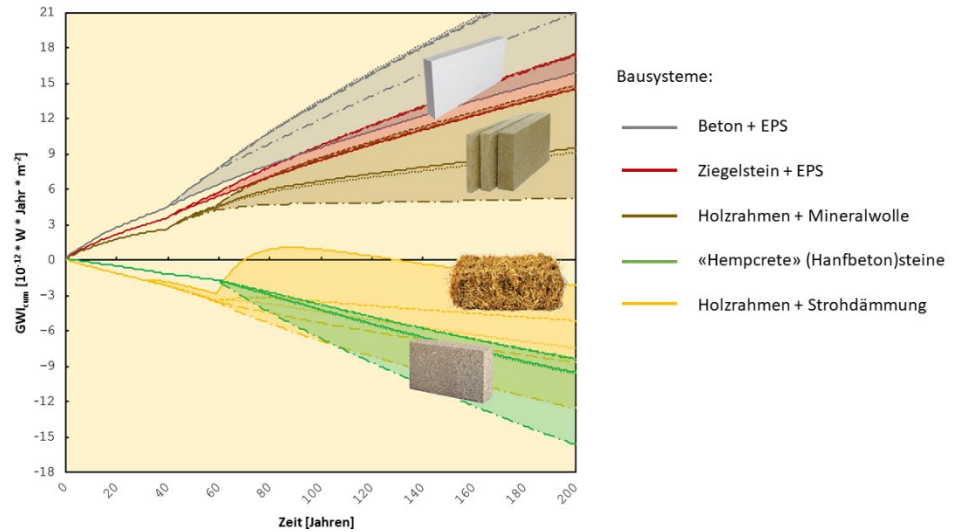
6.1 Bedeutung des Timings

Unterschied zwischen Kohlenstoffneutralität und Klimaneutralität

Die derzeitige Praxis in der Ökobilanzierung (ausser Acht lassen des Zeitpunkts) kann problematisch sein, wenn es um Klimaneutralität geht. Wenn sich die Bewertung auf die Menge der in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgase konzentriert, scheint die Verwendung von Holz im Bauwesen nur eine Übertragung der Masse, und des in ihr gebundenen Kohlenstoffs, von einem Reservoir (dem Wald) in ein anderes (das Gebäude) zu sein. Dies macht keinen Unterschied für die Atmosphäre. Nur wenn ein neuer Baum wächst, kann man von einer zusätzlichen Kohlenstoffentnahme aus der Atmosphäre sprechen. Obwohl mit dem $-1/+1$ -Ansatz die *Kohlenstoffneutralität* erreicht werden könnte - was bedeutet, dass das gespeicherte biogene CO₂ als negative Emission angenommen wird und die biogenen Emissionen aus der endgültigen Verbrennung in die End-of-Life-Phase einbezogen werden - kann dank des dynamischen LCA $-1(t)/+1(t)$ -Ansatzes auch die *Klimaneutralität* berechnet werden.

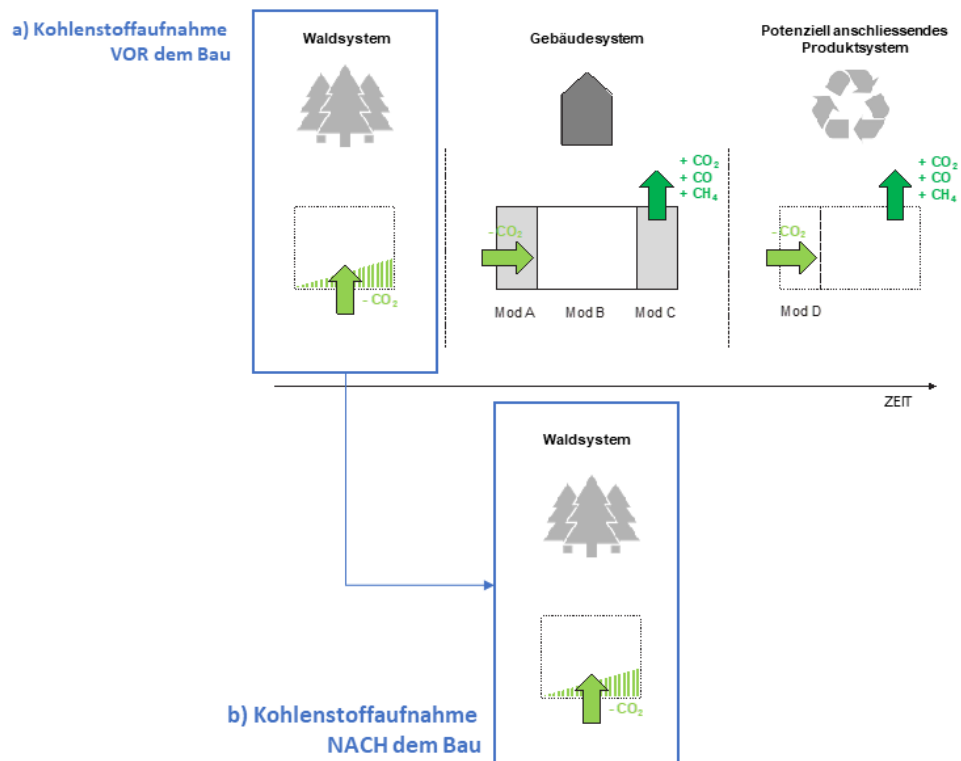
Die Klimaneutralität (d. h. der Zustand, der die Strahlungsbilanz in der Atmosphäre nicht verändert) hängt von drei Hauptfaktoren ab: i) dem Zeitpunkt der Kohlenstoffaufnahme (d. h. vor oder nach dem Bau); ii) der Umlaufzeit (d. h. der Zeit, die die Pflanze benötigt, um ihre Reife zu erreichen); iii) der Speicherzeit (d. h. der Zeit, in der der Kohlenstoff im Produkt gespeichert bleibt).

Aus diesen Gründen können Holzprodukte nicht von vornherein als kohlenstoffneutral angesehen werden. Im Gegensatz dazu können schnell wachsende Biobaustoffe wie Stroh und Hanf dank ihrer kurzen Umlaufzeit einen wirksamen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen leisten, indem sie der Atmosphäre rasch Kohlenstoff entziehen (siehe Abbildung 6).



Darüber hinaus können die Ergebnisse von Studien, die mit dynamischen Ökobilanzen durchgeführt wurden, erheblich voneinander abweichen, je nachdem, ob die negativen CO₂-Emissionen aus der Kohlenstoffaufnahme durch die Photosynthese der Pflanzen vor dem Bau oder nach dem Bau durch das Nachwachsen der Wälder (dank nachhaltiger Forstwirtschaft) berücksichtigt werden. Abbildung 7 veranschaulicht diese Divergenz.

Abbildung 7: Berücksichtigung des Zeitpunkts des Baumwachstums in der dynamischen Ökobilanz



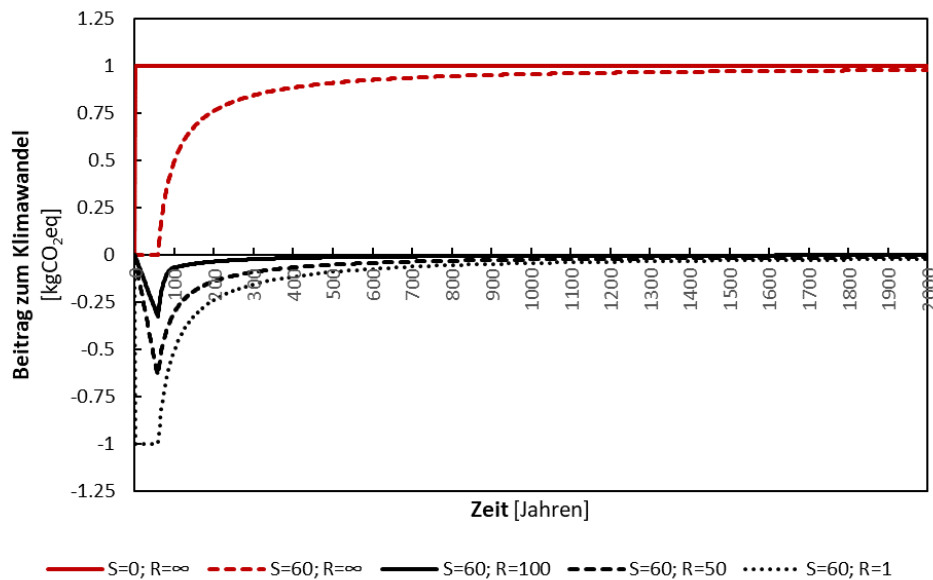
6.2 Notwendigkeit einer einfachen Methode für die dynamische Ökobilanz zur Implementierung im Bauwesen

Klassische und komplexe dynamische Ökobilanz

Der Vorteil der Ökobilanz besteht darin, dass die wissenschaftliche Diskussion über die Umweltauswirkungen von Schadstoffen zwar komplex sein kann, die Verwendung der Ergebnisse jedoch von einfachen mathematischen Verfahren profitiert. Sobald man sich auf einen Charakterisierungsfaktor geeinigt hat, ergibt sich die Auswirkung lediglich aus der Multiplikation der Schadstoffmenge mit diesem Charakterisierungsfaktor. Bei der dynamischen Ökobilanz sollten dynamische Charakterisierungsfaktoren berechnet werden, um den Minderungseffekt von verzögerten Emissionen zu bewerten. Leider erhöht die dynamische Ökobilanz die Komplexität der Berechnung und ist damit als Instrument für LCA-Praktiker (Architekten, Bauunternehmer, Portfoliomanager usw.) nicht gerade benutzerfreundlich.

Die folgende Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der dynamischen LCA-Simulation unter Berücksichtigung verschiedener Wachstumsraten für die Pflanzen. Auf sehr lange Sicht (über 500 Jahre hinaus) hat die vorübergehende Kohlenstoffspeicherung keine Auswirkungen auf die Atmosphäre, und alle Simulationen enden bei Null für die schwarzen Kurven (unter Berücksichtigung der Auswirkungen einer Aufnahme von 1 kg biogenem CO₂ in einer Pflanze in Abhängigkeit von ihrer Wachstumsrate und ihrer Emission nach 60 Jahren) und bei Eins für die roten Kurven (unter ausschliesslicher Berücksichtigung der Emissionen von 1 kg CO₂ entweder sofort oder nach 60 Jahren). In dem kurzen Zeithorizont, der uns in Bezug auf die Klimastrategie betrifft (vor 2100), können wir jedoch einen eindeutigen Vorteil der Verzögerung von Emissionen erkennen. Die zeitliche Speicherung von biogenen CO₂-Emissionen in Gebäuden kühlt die Atmosphäre während eines bestimmten Zeitraums ab. Der Vergleich nach 100 Jahren, dem derzeit in den meisten IPCC-Berechnungen verwendeten Zeithorizont, zeigt deutlich den Nutzen der dynamischen LCA-Methode im Hinblick auf politische Entscheidungspotenziale. Im nächsten Abschnitt werden wir auch die Tatsache erläutern, dass eine dauerhafte Speicherung erreicht werden kann, die dann zu einer dauerhaften Abkühlung der Atmosphäre führt (was mit der klassischen KBOB-Berechnungsmethode nicht modelliert werden konnte).

Abbildung 8: Modellierung der Emission und Absorption von 1 kg CO₂ als Beitrag zum Klimawandel unter Verwendung der dynamischen Ökobilanz. "S" steht für die Speicherdauer, "R" für die Zeit der CO₂-Regeneration. Die roten Linien zeigen den Beitrag der Emission zum Zeitpunkt 0 (durchgezogene Linie) und zum Zeitpunkt 60 Jahre (gestrichelte Linie), mit einer unendlichen Regenerationszeit (auch genannt: keine Regeneration). Die schwarzen Linien berücksichtigen immer eine Emission nach 60 Jahren mit einer Regenerationszeit von 100 Jahren (durchgezogene Linie), 50 Jahren (gestrichelte Linie) und 1 Jahr (gepunktete Linie).



Vereinfachte semistatische dynamische Ökobilanz

Obwohl dynamische Ökobilanzberechnungen interessante Ergebnisse liefern können, um die aktuelle Situation und die Potenziale in der nahen Zukunft zu erfassen, ist die Berechnungsmethode mit dynamischem Charakterisierungsfaktor schwer zu implementieren.

In jüngster Zeit wurde an einer halbstatistischen Methode, dem so genannten GWP_{bio}, gearbeitet, bei der der Charakterisierungsfaktor für biogenes CO₂ von der Umlaufzeit (Wachstumsrate der Pflanze) und der Speicherzeit (Verweilzeit im Gebäude) abhängt. Dies wäre leichter in einer SIA-kompatiblen Weise zu implementieren, da die Speicherdauer durch die Funktion definiert ist (10 Jahre für den Ausbau, 30 Jahre für Dämm-/Fassadenelemente, 60 Jahre für Strukturen). Wenn wir zudem bedenken,

dass schnell wachsende Pflanzen (wie Stroh oder Hanf) im Wesentlichen für die Dämmung verwendet werden und deshalb gemäss SIA-Norm nach 30 Jahren ersetzt werden, und dass Nadelholz für Tragwerke verwendet wird, ergibt sich, dass beide einen Charakterisierungsfaktor von etwa 0,25 haben werden. Ein solcher Charakterisierungsfaktor von 0.25 für alle biobasierten Materialien würde dann die Definition einer Funktion vermeiden und könnte direkt in die KBOB implementiert werden, wobei 1 kg biogenes CO₂ einen Beitrag zum Klimawandel von -0.25 kg CO₂-Äquivalenten («eq.») leistet.

Abbildung 9: Entsprechender GWP_{bio}-Index, in kg CO₂ eq. nach 100 Jahren, für 1 kg CO₂, das in den Hauptbauelementen gespeichert ist

Wachstumsrate (Jahren)	Pflanzenart	Art des Elements (und Lagerung)		
		Ausbau (10 Jahre)	Fenster/Dämmung (30 Jahre)	Strukturen (60 Jahre)
1	Saisonale Kulturpflanzen (Stroh, Baumwolle, Flachs, Hanf, usw.)	-0.07	-0.23	-0.5
60	Nadelwälder - Weichholz (Tanne, Fichte, Kiefer, Lärche, usw.)	0.17	0.01	-0.26
90	Laubbäume (Buche, Eiche, Birke, usw.)	0.31	0.15	-0.12

Vereinfachte französische dynamische Methode für RE2020

In Frankreich berücksichtigt die neue Umweltverordnung RE2020 nicht die Wachstumsrate nach dem Bau, sondern die davor. Daher gibt es keine Diskussion über die Pflanzenarten. Es wird angenommen, dass alle Arten anhand der ersten Zeile der vorherigen Tabelle berechnet werden können. Darüber hinaus wird die Auswirkung der Speicherdauer mit einem Diskontsatz für CO₂ berücksichtigt. In gewissem Sinne wendet das neue RE2020 die klassische Lebenszykluskostenmethode mit einem Diskontsatz für die Ökobilanz an und berücksichtigt auch negative CO₂-Emissionen zum Zeitpunkt des Baus, da angenommen wird, dass das Pflanzenwachstum vor dem Bau stattfindet.

6.3 Alternative Lebensende-Szenarien für eine dauerhafte Kohlenstoffspeicherung

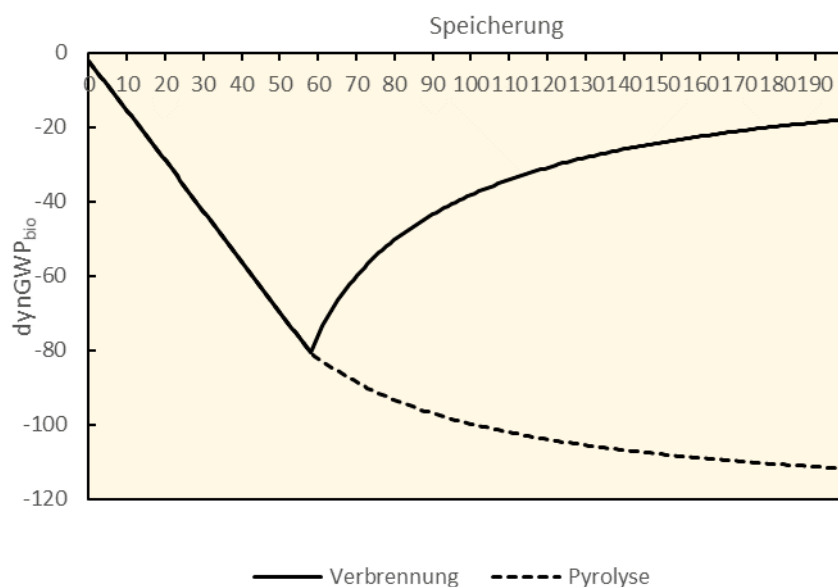
Pyrolyse

Bei allen bisherigen Hypothesen wurde der im Holzprodukt gespeicherte Kohlenstoff am Ende der Lebensdauer freigesetzt, wenn das Gebäude abgerissen und das Holz verbrannt wird. Diese vorübergehende Speicherung könnte natürlich verlängert werden, wenn das Holz in einem anderen Gebäude wiederverwendet wird.

Der Kohlenstoff könnte auch nahezu dauerhaft aus der Atmosphäre entfernt werden, wenn die Verbrennung am Ende der Lebensdauer des Holzprodukts unter anaeroben Bedingungen erfolgt. Ohne Sauerstoff werden

Kohlenstoffmaterialien nicht in CO_2 und H_2O , sondern in Kohlenstoff umgewandelt. Dabei entsteht Kohle, die als Biokohle bezeichnet wird, um auf ihren nichtfossilen Ursprung hinzuweisen. Biokohle kann dann wieder für Bauzwecke verwendet oder in den Boden zurückgeführt werden, wo sie einige tausend Jahre lang als Kohlenstoff verbleibt. Die folgende Abbildung 10 quantifiziert diesen Vorteil der dauerhaften Speicherung von biogenem CO_2 .

Abbildung 10:
Auswirkung der
Pyrolyse auf das
Treibhaus-poten-
zial unter Ver-
wendung der dy-
namischen Öko-
bilanzierung



Unterschied
zwischen
Gebäude und
Gebäudepark

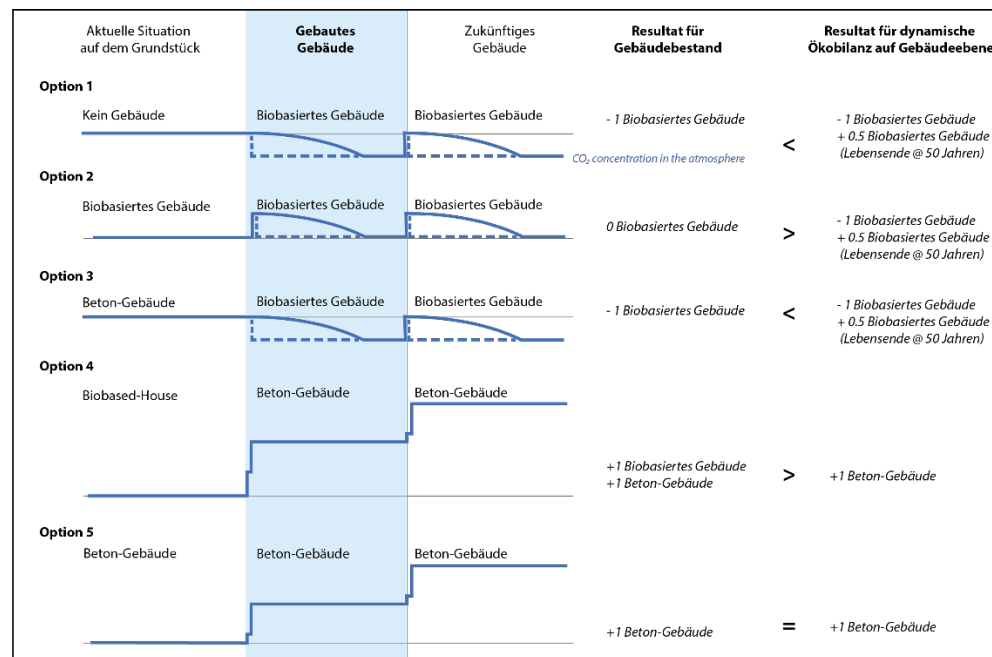
Die dauerhafte Speicherung von biogenem Kohlenstoff kann auch erreicht werden, wenn man den Gebäudepark als Ganzes versteht und nicht als eine Ansammlung von Gebäuden.

Wenn wir das Kohlenstoffspeicherungspotenzial des Waldes betrachten, berechnen wir es nicht als Addition jedes einzelnen Baumes unter Berücksichtigung seiner individuellen Lebenszeit, sondern wir betrachten die vom Wald genutzte Fläche. Die zusätzliche Speicherkapazität ergibt sich aus der Ausdehnung des Waldes, während der Kohlenstoffbestand unter Berücksichtigung der Gesamtfläche des reifen Waldes berechnet wird.

Wenn wir dieselbe Denkweise auf die bebauten Umwelt anwenden, wird deutlich, dass es darauf ankommt, wie viele Gebäude mit Biobaustoffen gebaut werden. Wenn ein neues biobasiertes Gebäude entweder auf einem leeren Grundstück oder anstelle eines mineralischen Gebäudes gebaut wird, erhöht dies die Kohlenstoffspeicherung in der bebauten Umwelt. Wird dagegen ein biobasiertes Gebäude anstelle eines bereits bestehenden biobasierten Gebäudes gebaut, so erhöht dies nicht den Kohlenstoffbestand, sondern trägt zu seiner dauerhaften Speicherung bei. Wird ein mineralisches Gebäude anstelle eines biobasierten Gebäudes gebaut, so kommt dies einer Abholzung gleich und verringert den Kohlenstoffbestand.

Abbildung 11 veranschaulicht diese Logik für ein einzelnes Gebäude und zeigt in erster Näherung die Unterschiede zwischen der Ökobilanz auf Gebäudeebene und den tatsächlichen Folgen auf Gebäudeparkebene..

Abbildung 11: Skizze, die den Unterschied zwischen einer Gebäude- und einer Gebäudeparkbetrachtung der Emissionen verdeutlicht

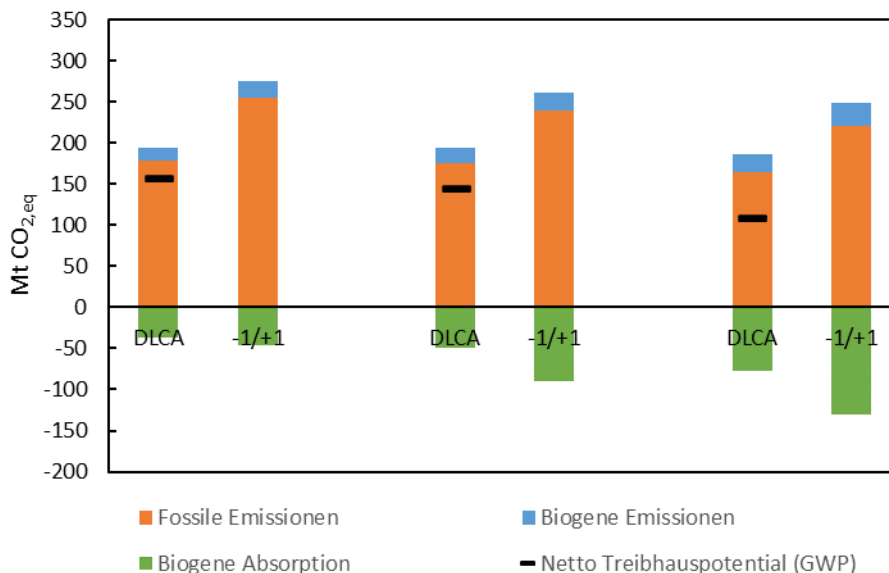


6.4 Einfluss der Kohlenstoffbilanzierungsmethode zukünftiger Gebäudeparkentwicklungen auf den Klimawandel

-1/+1 versus DLCA-Methode

Die Ergebnisse der Kohlenstoffemissionen und -absorptionen für die beiden Methoden, unter Berücksichtigung des biogenen Kohlenstoffs, sind in Abbildung 12 dargestellt. Die -1/+1-Methode hat die Tendenz, sowohl die fossilen Emissionen als auch die biogene Kohlenstoffaufnahme zu überschätzen. Dieser Unterschied zwischen der dynamischen Ökobilanzierung («DLCA») und der -1/+1-Methode ist darauf zurückzuführen, dass bei der DLCA-Methode die Wachstumsrate der Bäume berücksichtigt wird, was den Effekt der Kohlenstoffaufnahme verringert. Auch die Emissionen am Ende des Lebenszyklus haben in DLCA weniger Einfluss als in -1/+1.

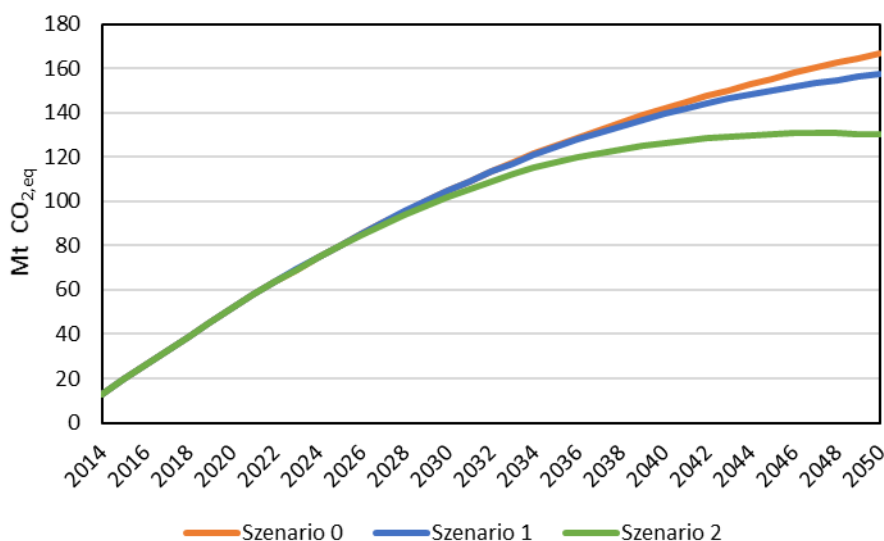
Abbildung 12:
Ergebnisse zu
CO₂-Emissionen
für die -1/+1 und
DLCA-Methode



Detaillierte
DLCA-
Ergebnisse

Die Simulation mittels dynamischer Ökobilanz zeigt, dass ein Szenario mit intensivem Holzeinsatz eine Stabilisierung der Emissionen ermöglicht (siehe Abbildung 13). In gewissem Sinne bedeutet dies, dass eine intensive Nutzung von Holz im Bauwesen eine klimaneutrale Strategie für die bebauten Umwelt der Schweiz darstellt. Bis 2050 führt die Verwendung von Holz als Baumaterial zu einer Anpflanzung neuer Bäume, die Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufnehmen und die fossilen Emissionen durch die Verwendung von nicht-biogenen Materialien ausgleichen können.

Abbildung 13:
Kumulatives
Treibhausgas-
potenzial (GWP)
berechnet mittels
dynamischer
Ökobilanzierung



7 Gründe für die Unterschiede in den Schlussfolgerungen

Methodische Unterschiede zwischen BfU und ETH

Die Modellierungen der BfU- und ETH-Teams, liefern in der Summe leicht unterschiedliche Ergebnisse, auch wenn beide wissenschaftlich korrekt und mit dem Prinzip der Massenerhaltung vereinbar sind. Der Grund dafür liegt aber nicht in der unterschiedlichen Methodik zwischen statischer und dynamischer Ökobilanz, da in beiden Fällen eine statische Ökobilanzberechnung zum Vergleich durchgeführt wurde. Der Grund liegt vielmehr darin, dass die biogene Kohlenstoffaufnahme in beiden Studien nicht von der gleichen Quelle stammt. Dies geht auch aus Abbildung 14 hervor. In der BfU-Studie entspricht die Kohlenstoffaufnahme dem Kohlenstoffgehalt aus den geernteten Holzprodukten, während in der ETH-Studie die Kohlenstoffaufnahme mit dem Wachstum neuer Bäume im Wald aufgrund der Baumfällung für den Bau verbunden ist. Das bedeutet, dass die Systemgrenze auch auf den Wald ausgedehnt wird. Für das BfU-Team entspricht die Kohlenstoffaufnahme dem Kohlenstofftransfer zwischen der Biosphäre und der bebauten Umwelt, während für das ETH-Team die Kohlenstoffaufnahme dem Kohlenstofftransfer zwischen der Atmosphäre und der Biosphäre entspricht, der durch die Entnahme von Bauholz entsteht. Dieser Unterschied führt zu einem höheren Wert der biogenen Aufnahme in der ETH-Studie als in der BfU-Studie.

Abbildung 14: Vergleich der BfU- und ETH-Resultate bei gleicher Methode, aber unterschiedlichen Systemgrenzen (vgl. Abb. 1) in Mt CO₂ eq.

Szenario	ETH-BfU	ETH-BfU	ETH	BfU
	Fossile Emission	Biogene Emission	Biogene Absorption	Biogene Absorption
Basis	254,5	20,0	-46,0	-39,6
1	238,8	22,6	-90,0	-82,2
2	220,5	27,8	-130,0	-121,4

Die Schlussfolgerungen sind für beide Studien ähnlich, da sie zeigen, dass die Gesamtspeicherung von Kohlenstoff im Vergleich zu den Gesamtemissionen gering ist.

Es lohnt sich jedoch zu wiederholen, dass, obwohl die kumulative Kohlenstoffaufnahme kleiner ist als die kumulativen Kohlenstoffemissionen, die Dynamik des Bestands zeigt, dass eine massive Zunahme von Holz im Bauwesen die Emissionen stabilisieren kann. Zumindest mit den in der ETH-Methodik verwendeten Systemgrenzen. Es ist daher möglich, im Jahr 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen, auch wenn eine praktische Umsetzung unrealistisch erscheint. Mit der vom BfU verwendeten Berechnungsmethodik wird Netto-Null nicht erreicht, aber die Emissionen werden von 2020 bis 2050 um rund 66% reduziert. Das Szenario 2 beinhaltet einen massiven Wechsel in der Bauweise und kann daher als unrealistisch angesehen werden. Es muss jedoch angemerkt werden, dass in allen Szenarien nur ein Parameter geändert wurde, nämlich die Art der Gebäudestruktur – die Umstellung von Beton auf Holz. Die folgenden Aspekte wurden nicht berücksichtigt:

- Holz kann auch für die Fassadenverkleidung verwendet werden (Erhöhung des Holzanteils im Gebäudebestand);
- Schnell wachsende biobasierte Dämmstoffe können anstelle von fossilen Dämmstoffen verwendet werden (Verringerung der Emissionen und Speicherung von zusätzlichem Kohlenstoff);
- Gebäudeanpassung anstelle von Abriss und Wiederaufbau kann vorangetrieben werden (Verringerung der CO₂-Emissionen und Begünstigung zusätzlicher Holzgeschosse auf bestehenden Gebäuden);
- Umwandlung bestehender Gebäude von Büro- in Wohngebäude, wodurch mehr Wohnraum geschaffen würde, ohne dass neue Gebäude errichtet werden müssten;
- Änderung des persönlichen Verhaltens durch Reduzierung des Flächenverbrauchs pro Kopf;

All diese Massnahmen ermöglichen es die CO₂-Emissionen zu verringern und somit entweder vor 2050, oder mit weniger extremen Holzbauszenarien Nettonull zu erreichen. Dies würde allerdings weitere Studien erfordern.

8 Empfehlungen

<p>Berechnungs- methode auf Ebene Gebäudepark</p>	<p>Die Berücksichtigung biogener CO₂-Emissionen beeinflusst die Art und Weise, wie wir eine umfassendere Politik in Bezug auf die Bewirtschaftung des Gebäudeparks vorantreiben können. Es scheint daher wichtig, biogenen Emissionen und Absorptionen zu quantifizieren.</p> <p>Dynamische Ökobilanzen zeigen nach Ansicht der ETH eine genauere Darstellung dessen, was in der Atmosphäre durch die Verwendung von Holz geschieht. Auf der Ebene des Gebäudebestands scheinen die Tendenzen jedoch ähnlich zu sein wie bei der Anwendung statischer Methoden. Nach Ansicht des BfU basiert die dynamische Ökobilanz auf mehr Annahmen über die Zukunft als der zeitunabhängige Ansatz, weshalb es nicht möglich sei zu beurteilen, welche Methode am genauesten sei.</p> <p>Beide Seiten empfehlen daher, die statische Methode beizubehalten und die biogenen Kohlenstoffflüsse zu quantifizieren, wenn es um den Gebäudebestand und lange Zeiträume geht.</p>
<p>Berechnungs- methode auf Ebene Gebäude</p>	<p>Beim Bau von Gebäuden ist die Anwendung einer statischen Methode und die Zusammenrechnung von biogenem und fossilem Kohlenstoff gefährlich, da sie dazu verleiten kann, fossile CO₂-Emissionen aus Beton durch die zusätzliche Verwendung von Holz zu kompensieren, obwohl die Realität für die Atmosphäre eine andere ist, da CO₂ aus mineralischen Materialien im Jahr des Baus emittiert wird, während die Kohlenstoffaufnahme aus Holz erst nach 50 Jahren wirksam wird, wenn die Bäume zu reifen beginnen.</p> <p>Ein halbstatistischer Ansatz, der einfacher zu implementieren ist als ein volldynamischer Ansatz, kann interessant sein, um diese zeitliche Auswirkung des Pflanzenwachstums zu erfassen.</p> <p>Eine zweite Option besteht darin, den biogenen Beitrag und den fossilen Beitrag getrennt zu betrachten. Der Effekt der Wachstumsrate sollte nach Ansicht des ETH Teams jedoch weiterhin berücksichtigt werden, um zu vermeiden, dass die Verwendung von Holz im Bauwesen nur einen Kohlenstofftransfer vom Wald zum Gebäude darstellt und der wahre Nutzen für die Pflanze erst dann erreicht wird, wenn wieder ein neuer Baum (oder eine neue Kulturpflanze) gewachsen ist. Nach Ansicht des BfU Teams ist die Wachstumsrate ein wichtiger Parameter für die Bewertung der Fähigkeit von Ökosystemen, Kohlenstoff zu speichern. Die Einbeziehung dieses Parameters in künftige Ökobilanzen von Gebäuden scheint aufgrund der Komplexität der erforderlichen Berechnungen jedoch schwer praktikabel zu sein.</p>
<p>Chancen der Holzver- wendung beim Bau</p>	<p>Beide Seiten sind sich einig, dass ein massiver Einsatz von Holz im Bauwesen die CO₂-Emissionen stark reduziert, unabhängig von der Methode zur Berechnung der CO₂-Speicherung in Bauholz.</p> <p>Der statische Ansatz des BfU Teams reduziert die CO₂-Emissionen bis 2050 auf etwa die Hälfte des heutigen Wertes. Der von dem ETH Team verwendete statische Ansatz ermöglicht eine Stabilisierung der CO₂-Emissionen bis 2050. Das würde bedeuten, dass die Verwendung von Holz</p>

im Bauwesen es ermöglichen würde, im Jahr 2050 einen Netto-Null-Gebäudepark zu erreichen.

Dies ist ein äusserst wichtiges Ergebnis, da es zeigt, dass ein Netto-Null Gebäudepark tatsächlich erreichbar ist. Das einzige Szenario, das eine solche Stabilisierung der Emissionen jedoch ermöglicht, ist, wenn wir ab sofort jedes neue Gebäude mit Holz bauen. Dieser radikale Wechsel zu einem Szenario mit "maximaler Holzverwendung" ist allerdings aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von lokalem Rundholz aus Schweizer Nadelwäldern, sowie der fehlenden Zeit zur Umstellung des Bausektors und der fehlenden Investitionen in den Ausbau der Infrastruktur in sehr kurzer Zeit, unrealistisch.

Beide Seiten empfehlen daher mögliche ergänzende Strategien zu ermitteln, die leicht umgesetzt werden können, indem gleichzeitig weitere Aspekte des Gebäudes berücksichtigt werden (z. B. Fassaden, Dämmung usw.) und indem auch andere städtebauliche Strategien gewählt werden (z. B. Verdichtung, Transformation usw.).

Realistische
Zukunftspfade
für Netto-Null-
Emissionen

Die Studie zeigt, dass wir die Emissionen stark reduzieren oder sogar stabilisieren können, aber dass das dazu erforderliche Szenario nicht realistisch ist. Es ist daher wichtig, andere Hebel in Bewegung zu setzen, um das angestrebte Ergebnis zu erreichen.

Nicht alle Neubauten können von heute an aus Holz gebaut werden. Mit einem dynamischen Ansatz kann jedoch eine ähnliche Kohlenstoffaufnahme auch bei der Renovierung von Gebäuden mit biobasierter Dämmung erzielt werden. Bei dem zeitunabhängigen Ansatz ist der Beitrag von Dämmung allein zum Kohlenstoff-Fussabdruck von Gebäuden von geringer Bedeutung. In dieser Studie wird der gesamte Materialfluss im Gebäudesektor verändert, einschliesslich neuer Gebäude und der Renovierung bestehender Gebäude. Bei dieser globalen Betrachtung werden jedoch keine Annahmen darüber getroffen, wie genau die Umstellung auf Holzgebäude erfolgt. Wird mehr Gewicht auf die Verwendung von Holz bei der Renovierung oder bei der Verwendung von Holz in neuen Gebäuden gelegt? Im "Szenario der maximalen Holznutzung" ändern sich sowohl Neubauten als auch Renovierungen dramatisch und sofort.

Es ist bekannt, dass der Schwerpunkt der Bautätigkeit in den nächsten Jahrzehnten auf der Renovierung bestehender Gebäude liegen wird. Wenn die Renovierung bestehender Gebäude mit Stroh/ Hanf/ Flachs/ Zellulose anstelle von Steinwolle und EPS durchgeführt wird, kann unter Verwendung des dynamischen Modellierungsansatzes, eine zusätzliche Kohlenstoffaufnahme erzielt werden.

Beide Seiten sind sich einig, dass eine Kombination aus biobasierten Materialien für die Renovierung von Bestandsgebäuden und Holz für den Neubau in einem differenzierteren Modell quantifiziert werden sollte. Eine solche Kombination könnte, auch bei einem langsamer

voranschreitenden Übergang zu nachwachsenden Materialien, dazu beitragen, eine Stabilisierung der Emissionen bis 2050 zu erreichen.

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Lindenhofstrasse 21
Postfach, 8021 Zürich
T+ 41 44 412 11 11
stadt-zuerich.ch/hochbau