

Mit Unterstützung von



Basel, 14.12.2021

Klimapositives Bauen Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad



Autoren

Peter Näf, Nova Energie Basel AG, Basel

Priska Sacher, Nova Energie Basel AG, Basel

Fredy Dinkel, Carbotech AG, Basel

Cornelia Stettler, Carbotech AG, Basel

Diese Studie wurde mit Unterstützung von EnergieSchweiz erstellt.

Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Verdankung

Zur Umsetzung des Projekts konnten wir auf die finanzielle Unterstützung von folgenden Institutionen zählen:

Mit Unterstützung von



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

- EnergieSchweiz, ein Programm des Bundesamts für Energie BFE
- Bundesamt für Umwelt
- Baloise Jubiläumsstiftung
- Kanton Aargau
- Kanton Graubünden
- Kanton Basel-Stadt
- Kanton Bern
- Kanton Thurgau
- Kanton Zürich
- WWF Schweiz

Die Mitglieder des Begleitgremiums, in alphabetischer Reihenfolge:

- Christian Aebischer, BAFU
- Andreas Baumgartner, NNBS
- Paul Eggimann, KBOB
- Adrian Gossenbacher, BFE
- Heinrich Gugerli, 2000-Watt Areale
- Niko Heeren, Stadt Zürich
- Martin Kärcher, NNBS
- Urs Christian Luginbühl, Ingenieurbüro für Holzbau
- Joe Luthiger, NNBS
- Claudio Menn, BFE

Dank gebührt auch folgenden Personen, die massgeblich zum Gelingen des Projekts beigetragen haben:

- Rolf Frischknecht, Kommission SIA 2032, treeze AG
- Guillaume Habert, Chair of Sustainable Construction, ETHZ
- Annick Lalive d'Epinay, Kommission SIA 2032, Liegenschaften Stadt Zürich
- Sébastien Lasvaux, Kommission SIA 2032, HES-SO
- Katrin Pfäffli, Kommission SIA 2032, Architekturbüro K. Pfäffli
- Peter Richner, Stellvertretender Direktor Empa
- Dietrich Schwarz, UNI LI, Dietrich Schwarz Architekten AG ETH/SIA

Impressum

Titel:

Klimapositives Bauen – Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad

HauptautorInnen:

Peter Näf, Nova Energie Basel AG, Basel

Priska Sacher, Nova Energie Basel AG, Basel

www.novaenergie.ch

Co-AutorInnen:

Fredy Dinkel, Carbotech AG, Basel

Cornelia Stettler, Carbotech AG, Basel

www.carbotech.ch

Fachlektorat:

Heinrich Gugerli, Gugerli Dolder GmbH, Bülach

Haftungsausschluss:

Die Analysen, Auswertungen und Empfehlungen in diesem Bericht wurden nach bestem Wissen und Gewissen auf Basis der genannten Grundlagen und Hilfsmittel erstellt. Die AutorInnen übernehmen keine Verantwortung für aus diesem Bericht abgeleitete Entscheide und Handlungen Dritter. Das Urheberrecht liegt bei den AutorInnen.

Zusammenfassung

Studiendesign

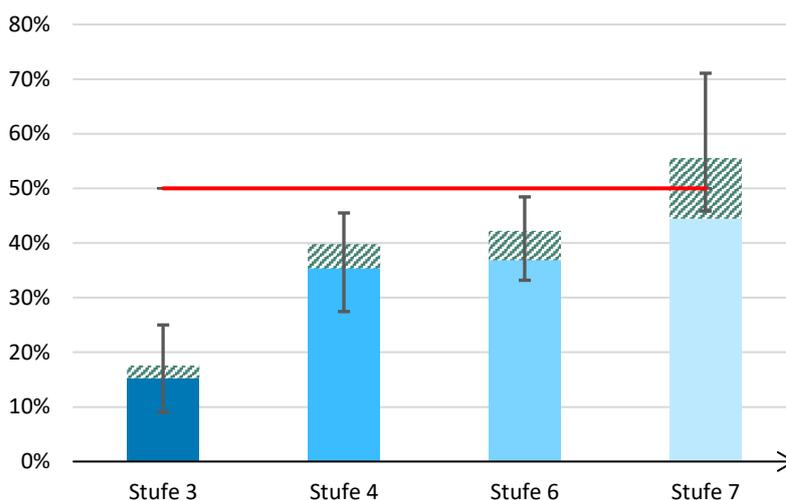
Aufgrund der Bekenntnisse des Schweizer Bundesrats zu den klimapolitischen Zielen der Schweiz entwickelten die StudienautorInnen einen Absenkpfad für graue Treibhausgasemissionen (GTHG) im Baubereich, der den Vorgaben des Pariser Klimaabkommens entspricht. Für das Ende des Betrachtungszeitraumes dieser Studie (2030) fordern sie ein Reduktionsziel von -50% für GTHG gegenüber 1990. Ziel der Studie war es, die Machbarkeit eines solchen Ziels zu überprüfen und daraus Empfehlungen für alle Akteure/Akteurinnen der Bauwirtschaft, aber insbesondere für Bauherrschaften, PlanerInnen und Bauunternehmen abzuleiten.

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale wurden basierend auf einzelnen Massnahmen zu Strategien aggregiert, berechnet und mit einem heute üblichen Mehrfamilien-Referenzhaus verglichen. Pro Massnahme bewegen sich die Reduktionspotenziale für Neu- und Umbauten zwischen 0% und 16%. Sofern dem im Gebäude gespeicherten Kohlenstoff eine Reduktionswirkung

beigemessen wird (als gewichteter temporärer Speichereffekt für gebundenen Kohlenstoff, beispielsweise in Bauholz), können einzelne Reduktionsmassnahmen bis 30% erreichen.

Die AutorInnen schlagen Bedingungen vor, unter welchen eine Reduktionswirkung angerechnet werden kann. Durch geschicktes Kombinieren von einzelnen Massnahmen (zu aggregierten Strategien) ergeben sich auf Gebäudeebene Reduktionspotenziale von rund 40%. Nimmt man die gewichteten C-Speichereffekte dazu, können bei Neubauten (vgl. Abbildung oben) und Umbauten 50% knapp erreicht werden. Ein solches Gebäude bezeichnen die AutorInnen als „klimapositiv“, weil es damit nachweislich mit dem Absenkpfad des Pariser Abkommens kompatibel ist.



Die AutorInnen schlagen Bedingungen vor, unter welchen eine Reduktionswirkung angerechnet werden kann. Durch geschicktes Kombinieren von einzelnen Massnahmen (zu aggregierten Strategien) ergeben sich auf Gebäudeebene Reduktionspotenziale von rund 40%. Nimmt man die gewichteten C-Speichereffekte dazu, können bei Neubauten (vgl. Abbildung oben) und Umbauten 50% knapp erreicht werden. Ein solches Gebäude bezeichnen die AutorInnen als „klimapositiv“, weil es damit nachweislich mit dem Absenkpfad des Pariser Abkommens kompatibel ist.

Realisierbarkeit

Um die flächendeckende Umsetzung der Reduktionspotenziale zu überprüfen, wurde jeder Massnahme eine sog. „Ambitionsstufe“ zugewiesen. Diese beinhaltet zum einen die Bewertung der kommerziellen Verfügbarkeit entsprechender Produkte und Dienstleistungen und zum anderen eine Wertung der Bereitschaft der Bauwirtschaft zur Umsetzung. Dabei zeigte sich, dass aktuell das sofort umsetzbare Reduktionspotenzial, basierend auf den heute vorhandenen und akzeptierten Massnahmen für Mehrfamilienhäuser, lediglich bei rund 15% liegt (vgl. Abbildung oben, Stufe 3). Mit Ansteigen der Ambitionsstufe nimmt das Reduktionspotenzial rasch zu (vgl. Stufe 4 und 6), um schliesslich auf Stufe 7 die 50% zu erreichen. Damit diese 50% Reduktion möglich werden, müssen schnell diverse Rahmenbedingungen angepasst werden: im Bereich Regulierung, Bildung, Bauprodukte usw.

Empfehlungen

Die quantitative Prüfung von rund 20 Reduktionsmassnahmen erlaubt nun, qualifizierte Empfehlungen für Bauherrschaften, PlanerInnen, ArchitektInnen und Bauunternehmen abzugeben (Reihenfolge gemäss dem Potenzial):



Vorurteile hinter sich lassen, konkrete Ziele setzen

Es braucht den Mut aller Beteiligten, jetzt konkrete Ziele festzulegen, aktiv zu werden und Verantwortung gegenüber der Umwelt zu übernehmen.



Früh entscheiden und einfordern

Bereits während der strategischen Planungsphase müssen die Entscheidungsträger (Entwickler, Baurechtgeber, Bauherrschaften) klimapositives Bauen einfordern. Je schneller die Entscheidung zur Reduktion gefällt sind, desto weniger Kosten entstehen nachrangig.



Suffizienz und effiziente Gestaltung

Weglassen ist die naheliegendste und günstigste Möglichkeit, GTHG einzusparen. Kompakte, funktionelle Grundrisse mit wenig Fläche sollen weitläufigen Grundrissen vorgezogen werden.



Leicht bauen

Geringes Gewicht und sparsame Materialisierung gehen mit Ausnahme bei Dämmstoffen meistens mit THG-Einsparungen einher. Dies gilt für alle Bauweisen, egal ob Massiv- oder Leichtbau.



Bauteile wiederverwenden

Verwendet man Bauteile über die übliche Lebensdauer hinaus, können gegenüber dem Ersatz mit Neuen grosse Mengen an THG-Emissionen eingespart werden.



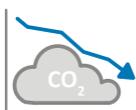
Biogene oder wenig verarbeitete Baustoffe verwenden

Die Menge an zwischengespeichertem biogenem Kohlenstoff in Gebäuden soll zunehmen. Natürliche Materialien weisen zudem oft einen geringeren CO₂-Fussabdruck auf, weil sie weniger stark verarbeitet sind.



Materialien recyclingfähig verbauen

Um Materialkreisläufe zu schliessen, sollen die Materialien sortenrein trennbar und recyclingfähig verbaut werden, während nicht recyclingfähige Bauprodukte und -stoffe vermieden werden sollen.



THG-Intensität der Baustoffe und Bauteile reduzieren

THG-arme Baustoffe sollten immer gegenüber THG-intensiven Baustoffen bevorzugt werden (KBOB-Liste beachten).

Résumé

Conception de l'étude

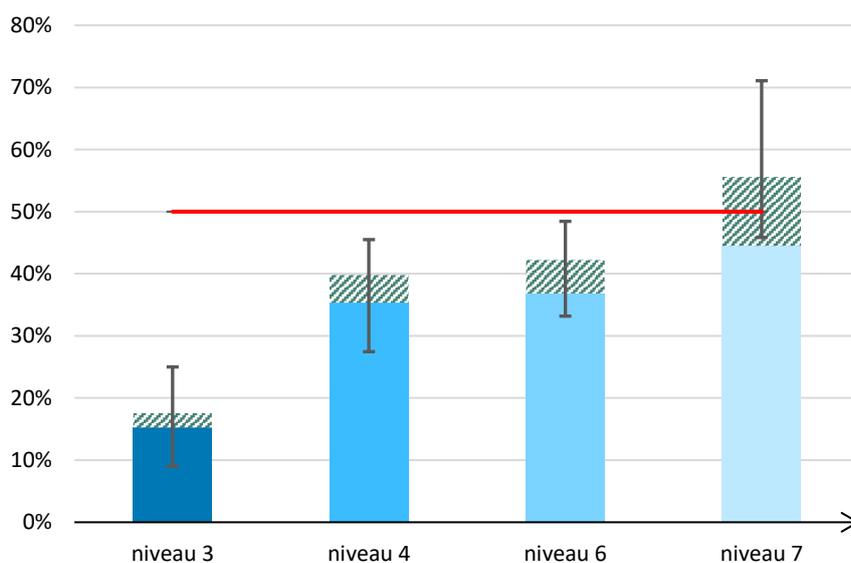
Au vu des objectifs climatiques que le Conseil fédéral s'est donnés pour la Suisse, les auteures et auteurs de l'étude ont élaboré une trajectoire de réduction des émissions grises de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment. Cette trajectoire est conçue de manière à répondre aux exigences de l'accord de Paris sur le climat. Pour l'horizon temporel de cette étude (2030), les auteures et auteurs préconisent un objectif de réduction de -50% pour les émissions grises par rapport au niveau actuel. L'objectif de l'étude était d'examiner la faisabilité d'un tel objectif et d'en tirer des recommandations pour tous les acteurs et actrices du secteur de la construction, en particulier pour les maîtres et maîtresses d'ouvrage, les spécialistes en planification et les entreprises de construction.

Potentiel de réduction

Les potentiels de réduction ont été agrégés en stratégies basées sur des mesures individuelles. Ils ont ensuite été calculés et comparés avec la situation d'un immeuble d'habitation standard. Le potentiel de réduction pour les nouveaux bâtiments et les transformations se situe entre 0% et 16% par mesure. En admettant un effet de réduction pour le carbone stocké dans les bâtiments

(donc un effet de stockage temporaire pondéré, par ex. pour le carbone lié dans le bois de construction), le potentiel de réduction de certaines mesures peut aller jusqu'à 30%. Les auteures et auteurs proposent des conditions pour la prise en compte d'un effet de réduction. En combinant habilement les différentes mesures (pour en faire des stratégies agrégées), on obtient des potentiels de réduction d'environ 40%

au niveau des bâtiments. Si l'on y ajoute les effets pondérés du stockage carbone, on peut atteindre un potentiel de réduction de près de 50% pour les nouveaux bâtiments (cf. figure ci-dessus) et les transformations. Pour les auteures et auteurs, un bâtiment construit ou transformé selon ces critères peut être qualifié de «positif pour le climat» car manifestement compatible avec la trajectoire de réduction de l'accord de Paris.



Faisabilité

Afin de vérifier la faisabilité des potentiels de réduction à grande échelle, un «degré d'ambition» a été attribué à chaque mesure. Pour ce faire, les auteures et auteurs ont évalué la disponibilité commerciale des produits et services nécessaires ainsi que la volonté du secteur de la construction à mettre en œuvre la mesure en question. Sur la base des mesures actuellement disponibles et acceptées pour les immeubles d'habitation, l'analyse montre que le potentiel de réduction pouvant être mis en œuvre immédiatement n'est que

d'environ 15% (cf. figure ci-dessus, degré 3). Il s'avère toutefois qu'avec un degré d'ambition plus élevé, le potentiel de réduction augmente rapidement (cf. degrés 4 et 6), pour finalement aboutir à 50% au degré 7. Afin d'avancer dans ce sens, il faudra faire évoluer un certain nombre de conditions-cadres, notamment en matière de réglementation, de formation et de produits de construction.

Recommandations

L'analyse quantitative d'une vingtaine de mesures de réduction permet désormais de formuler des recommandations solides à l'intention des planificatrices et planificateurs, des maîtresses et maîtres d'ouvrage ainsi que des entreprises de construction (par ordre de priorité en matière de potentiel):



Surmonter les préjugés et se donner des objectifs concrets immédiats

Toutes les parties impliquées doivent avoir le courage de fixer des objectifs concrets, d'agir en conséquence et de se responsabiliser vis-à-vis de l'environnement et des générations futures.



Formuler les décisions et les exigences en amont du projet

Les décideurs (promoteurs, propriétaires, maîtres d'ouvrage) doivent formuler l'exigence d'une construction positive pour le climat dès la phase de planification stratégique. La fixation d'objectifs de réduction le plus vite possible au cours de la planification permet de réduire les coûts ultérieurs.



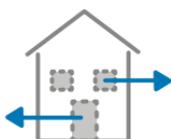
Sobriété et conception efficace

Renoncer à certains éléments est le moyen le plus évident et le plus économique d'éviter les émissions grises de GES. Les plans d'étage compacts et fonctionnels consommant peu de surface sont à privilégier par rapport aux plans spacieux.



Construction légère

Un faible poids et une matérialisation économique vont généralement de pair avec des économies de GES, sauf s'il s'agit de matériaux d'isolation. En principe, ce constat vaut également pour la construction massive.



Réutiliser les éléments de construction

En prolongeant l'utilisation des éléments de construction au-delà de leur durée de vie normale, on économise un important volume de GES par rapport à l'utilisation de nouveaux éléments.



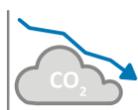
Utiliser des matériaux de construction biogènes ou peu transformés

Il s'agit d'augmenter la quantité de carbone biogénique stockée dans les bâtiments. Étant moins transformés, les matériaux naturels présentent souvent une empreinte carbone plus faible.



Construire avec des matériaux recyclables

Il s'agit de boucler les cycles de matériaux, d'utiliser des matériaux qui peuvent être séparés par catégories et recyclés, et d'éviter les produits ou matériaux de construction non recyclables.



Réduire l'intensité en GES des matériaux et éléments de construction

Les matériaux à basse intensité de GES sont toujours à privilégier par rapport aux autres (voir liste KBOB).

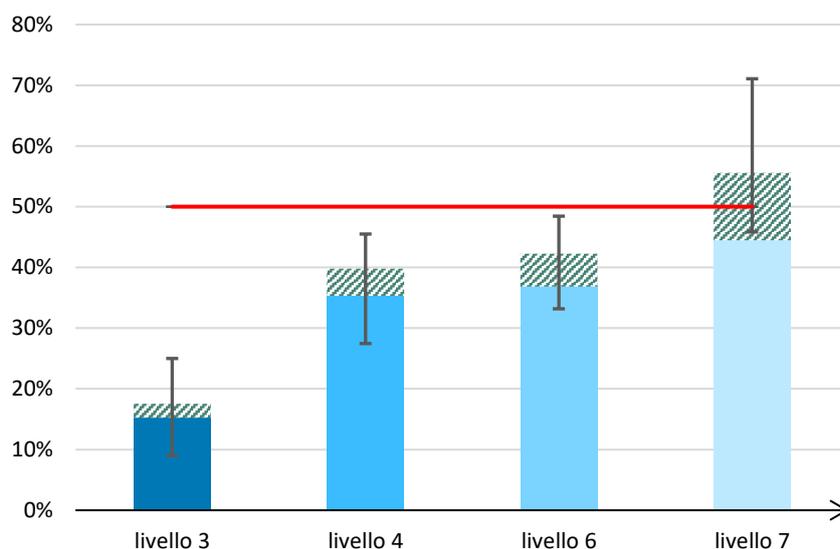
Riassunto

Disegno dello studio

Il Consiglio federale si è dichiarato a favore degli obiettivi di politica climatica della Svizzera e per questa ragione le autrici e gli autori dello studio hanno sviluppato un percorso di riduzione per le emissioni grigie di gas a effetto serra (GESG) in ambito edile che corrisponde alle prescrizioni dell'Accordo di Parigi sul clima. Per la fine del periodo di considerazione del presente studio (2030) chiedono un obiettivo di riduzione pari al 50% dei GESG rispetto alla situazione attuale. Lo studio mirava a verificare la fattibilità di un simile obiettivo derivando al contempo delle raccomandazioni per tutte le parti coinvolte dell'edilizia, ma in particolare per committente, pianificatrici e pianificatori e imprese di costruzione.

Potenziali di riduzione

I potenziali di riduzione sono stati riuniti in strategie in base a singole misure, calcolati e confrontati con una comune casa plurifamiliare di riferimento. Per ogni misura i potenziali di riduzione per nuove costruzioni e ristrutturazioni si situano tra lo 0% e il 16%. Se viene attribuito un effetto di riduzione anche al carbonio accumulato nell'edificio (come effetto di accumulazione temporaneo ponderato per carbonio fisso, ad esempio nel legno da costruzione), singole misure di riduzione possono raggiungere un tasso pari al 30%. Le autrici e gli autori propongono delle condizioni alle quali può essere attribuito un effetto di riduzione. Attraverso un'abile combinazione di singole misure (in strategie aggregate), il potenziale



di riduzione a livello di edifici si attesta al 40% circa. Se si aggiungono gli effetti ponderati di accumulo di carbonio, in caso di nuove costruzioni (cfr. immagine precedente) e ristrutturazioni è possibile raggiungere un tasso pari quasi al 50%. Le autrici e gli autori definiscono un tale edificio come «positivo dal punto di vista climatico» poiché in questo modo è dimostrato che il percorso di riduzione è compatibile con l'Accordo di Parigi.

Fattibilità

Per verificare l'attuazione dei potenziali di riduzione su tutto il territorio, a ogni misura è stato assegnato un cosiddetto «livello di ambizione». Esso prevede da un lato una valutazione della disponibilità commerciale di relativi prodotti e servizi e dall'altro una valutazione della disponibilità dell'edilizia volta all'attuazione. È emerso che attualmente il potenziale di riduzione immediatamente attuabile in base alle misure oggi disponibili e accettate per le case plurifamiliari si attesta solo al 15% circa (cfr. immagine precedente, livello 3). Con l'aumento del livello di ambizione aumenta però rapidamente anche il potenziale di riduzione (cfr. livello 4 e 6), che raggiunge il 50% con il livello 7. Affinché questo sviluppo sia possibile occorre dapprima creare molte condizioni quadro diverse ad es. nei settori regolamentazione, educazione, prodotti di costruzione, ecc.

Raccomandazioni

La verifica quantitativa delle circa 20 misure di riduzione permette ora di rilasciare raccomandazioni qualificate per pianificatrici e pianificatori, committenze e imprese di costruzione (ordine in base al potenziale):



Lasciarsi alle spalle i pregiudizi, stabilire ora obiettivi concreti

È necessario che tutte le parti abbiano il coraggio di stabilire ora degli obiettivi concreti, di agire attivamente e di assumere la responsabilità nei confronti dell'ambiente e delle generazioni future.



Decidere ed esigere tempestivamente

Gli organi decisionali (promotori, detentori del diritto di superficie, committenti) devono esigere costruzioni positive dal punto di vista climatico già durante la fase di pianificazione strategica. Prima vengono prese le decisioni di riduzione nella procedura di pianificazione, minori saranno i costi in seguito.



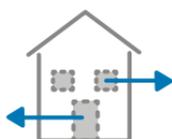
Sufficienza e architettura efficiente

Omettere è la possibilità più semplice ed economica per ridurre i GESG. Planimetrie compatte e funzionali con poca superficie devono essere preferite a planimetrie ampie.



Costruzione leggera

Nella maggior parte dei casi, peso ridotto e materializzazione parsimoniosa sono sinonimi di minori emissioni di gas serra, ad eccezione dei materiali isolanti. Ciò vale in linea di principio anche per le costruzioni massicce.



Riutilizzare gli elementi costruttivi

Se degli elementi costruttivi vengono utilizzati oltre la durata di vita consueta, rispetto a una sostituzione con nuovi elementi costruttivi è possibile evitare l'emissione di grandi quantitativi di gas serra.



Utilizzare materiali da costruzione biogeni o poco elaborati

L'entità di carbonio biogeno fissato negli edifici deve aumentare. L'impronta CO₂ dei materiali naturali è inoltre inferiore siccome sono meno elaborati.



Integrare i materiali in modo da poterli riciclare

Per chiudere i cicli, i materiali devono essere integrati in modo da poter essere rimossi secondo il tipo e in uno stato riciclabile. I prodotti e i materiali di costruzione non riciclabili vanno invece evitati.



Ridurre l'intensità di emissioni di gas serra dei materiali da costruzione e degli elementi costruttivi

I materiali da costruzione a bassa intensità di emissioni di gas serra vanno sempre privilegiati rispetto a quelli ad alta intensità (osservare l'elenco KBOB).

Executive Summary

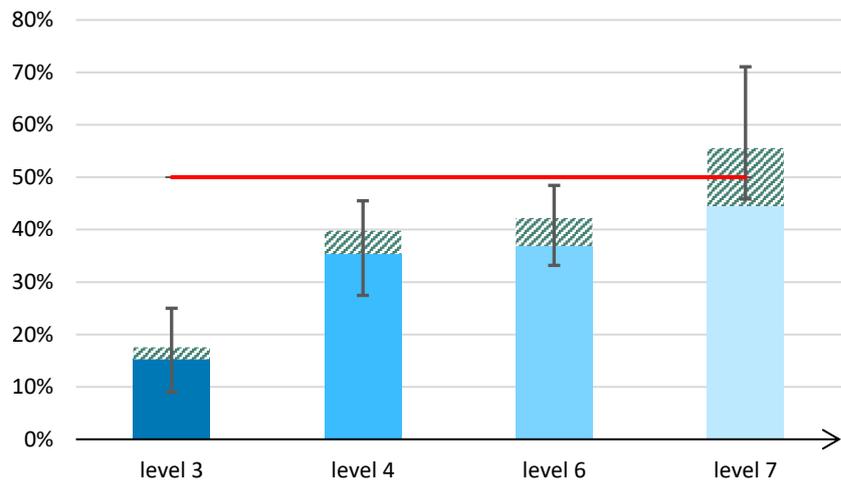
Study design

Based on the Swiss Federal Council's commitment to Switzerland's climate policy goals, the study authors developed a reduction path for embodied greenhouse gas emissions (EGHG) in the building sector that meet the requirements of the Paris Climate Agreement. For the end of the period considered in this study (2030), they call for a reduction target of -50% for EGHG compared to today. The aim of the study was to verify the feasibility of such a target and to derive recommendations for all actors in the construction industry, but especially for building owners, planners and construction companies.

Reduction potential

The reduction potentials were aggregated into strategies based on individual measures, calculated and compared with a standard apartment building. For each measure, the reduction potentials for new buildings and conversions range between 0% and 16%. If a reduction effect is attributed to the carbon stored in the building (as a weighted temporary storage effect for bound carbon, for example in timber), individual reduction measures can reach up to 30%. The authors propose conditions under which a reduction effect can be credited. Skilful combination of individual measures (to aggregated strategies) results in reduction potentials of about 40% at the building level. If the weighted C-storage effects are added, 50%

can just about be achieved for new buildings (cf. figure) and conversions. The authors describe such a building as "climate positive" because it is demonstrably compatible with the reduction path of the Paris Agreement.



Feasibility

In order to verify the comprehensive implementation of the reduction potentials, each measure was assigned a so-called "ambition level". This includes, on the one hand, an assessment of the commercial availability of corresponding products and services and, on the other hand, an evaluation of the willingness of the construction industry to implement them. This showed that the reduction potential that can be implemented today, based on the measures currently available and accepted for apartment buildings, is currently only around 15% (cf. figure, level 3). However, as the ambition level increases, the reduction potential increases rapidly (cf. levels 4 and 6) to finally reach 50% at level 7. In order for this development to be possible, many different framework conditions must first be created, e.g. in the areas of regulation, education, construction products, etc.

Recommendations

The quantitative examination of around 20 reduction measures allows qualified recommendations to be made for planners, builders and construction companies (in order of potential):



Leave prejudices behind, set specific goals

It takes the courage of everyone involved to set concrete goals now, to take action, and to assume responsibility toward the environment.



Decide and demand early

Already during the strategic planning phase, decision-makers (developers, building lenders, building owners) must demand climate-positive construction. The sooner the decisions for reductions are made, the less costs are incurred downstream.



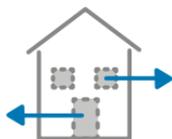
Sufficiency and efficient design

Omission is the most obvious and least expensive way to save GTHG. Compact, functional floor plans with little square footage should be preferred over expansive floor plans.



Build lightweight

Low weight and economical materials usually go hand in hand with GHG savings, with the exception of insulation materials. This applies to all construction methods, whether solid or lightweight.



Reuse building components

If building components are reused beyond their usual service life, large amounts of GHG emissions can be saved compared to replacing them with new ones.



Use biogenic or low-processed building materials.

The amount of temporarily stored biogenic carbon in buildings should increase. Natural materials also often have a lower carbon footprint because they are less processed.



Use recyclable materials

In order to close material cycles, materials should be separated by type and installed in a recyclable manner, while non-recyclable building products and materials should be avoided.



Reduce GHG intensity of building materials and components

Low-GHG building materials should always be preferred over GHG-intensive building materials (follow KBOB list).

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungen/Glossar	15
1.1	Abkürzungen	15
1.2	Glossar	16
2.	Einleitung	19
2.1	Leseorientierung	20
2.2	Ausgangslage, Motivation	21
2.3	Problemstellung	28
2.4	Hypothesen	28
2.5	Fragestellungen	28
2.6	Zielgruppe und Zielsetzung	28
2.7	Methodisches Vorgehen	29
3.	Auslegeordnung: Baustoffe, Bauteile, Gebäudekonzepte	30
3.1	Einordnung und Systemgrenzen	31
3.2	Experteninterviews	33
3.3	Wissenschaftliche Literatur	34
3.4	Ausgewählte Forschungsprojekte	39
3.5	Praxisbezogene Reduktionsstrategien und -massnahmen	43
3.6	Normgebung und Standardisierung	45
3.7	Anreizinstrumente in Europa und der Schweiz	47
3.8	Benchmarks, Standards und Labels	48
4.	Zwischenfazit: Einordnung von Handlungsmöglichkeiten	58
4.1	Zwischenfazit aus den Expertenaussagen	59
4.2	Zwischenfazit zu Benchmarks und Standards	61
4.3	Zwischenfazit zur wissenschaftlichen Literatur	62
4.4	Neueste Entwicklungen des SIA-Merkblatts 2032 und der KBOB-Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich	66
5.	Quantifizierung der Reduktionsmassnahmen	68
5.1	Fragestellung, Zielsetzung und Rahmenbedingungen	69
5.2	Ökobilanzmethode	70
5.3	Methodik zur Bewertung der Massnahmen	73
5.4	Resultate zum Potenzial der Massnahmen, Auswertung Raster	88
6.	Bewertung Handlungsmöglichkeiten	98
6.1	Übersicht Reduktionsstrategien auf Ebene der Massnahmen	99

6.2	Bewertung von Planungsszenarien auf Ebene Gebäude	104
6.3	Anbindung empfohlener Massnahmen an Labels, Standards	118
7.	Fazit	119
7.1	Erkenntnisse	120
7.2	Stellungnahme zu den Hypothesen	120
7.3	Beantwortung der Forschungsfragen	120
7.4	Kommentar der AutorInnen	121
8.	Handlungsempfehlungen	123
8.1	Vorurteile hinter sich lassen, konkrete Ziele setzen	124
8.2	Früh entscheiden und einfordern	124
8.3	Suffizienz und effiziente Gestaltung	124
8.4	Leicht bauen	124
8.5	Bauteile wiederverwenden	125
8.6	Biogene und wenig verarbeitete Baustoffe einsetzen	125
8.7	Materialien recyclingfähig verbauen	125
8.8	THG-Intensität der Baustoffe und Bauteile reduzieren	126
8.9	Kontext	126
9.	Diskussion	128
9.1	Gesetzmässigkeiten der Wiederverwendung	129
9.2	Kosten der THG-Reduktion	129
9.3	Bedeutung der Erneuerung vs. Verdichtung	130
9.4	Digitalisierung und traditionelle Bautechniken	130
9.5	Baumaterialien, Konstruktionen im ökologischen Wettbewerb	131
9.6	Freiwillige Verpflichtung vs. Regulierung	131
9.7	Diskontsätze für GTHG und Lebensdauer nach SIA	132
9.8	End of Life von Bauprodukten	133
9.9	Nachhaltigkeitsdimension der Klimakrise	133
10.	Schlussfolgerungen und Ausblick	135
10.1	Prognose zur Entwicklung bis 2030	136
10.2	Schritte zur Umsetzung	137
10.3	Ausblick	138
11.	Quellen, Literaturverzeichnis	141
12.	Anhang	149
12.1	Nebeneffekte Systemgrenzen	150
12.2	Experteninterviews	150
12.3	Wissenschaftliche Literatur	161
12.4	Praxisbezogene Reduktionsstrategien und -massnahmen	177
12.5	Normgebung und Standardisierung	196
12.6	Amortisationszeiten nach SIA 2032:2020, Tab. 5	203

12.7	Prognose zur Entwicklung bis 2030	205
12.8	Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich	209
12.9	Kommentar Fachperson und Replik Autorschaft	211
12.10	Steckbriefe Reduktionsmassnahmen	215

1. Abkürzungen/Glossar

1.1 Abkürzungen

BAFU	Bundesamt für Umwelt, Schweiz
BECCS	<i>Bioenergy with Carbon Capture and Storage</i> (Bioenergie-CCS)
BFE	Bundesamt für Energie, Schweiz
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> (CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung)
CO₂	Kohlendioxid
DCF	<i>Discounted Cash Flow</i> (abgezinster Geldfluss)
DLCA	<i>Dynamic Life Cycle Analysis</i> (Dynamische Lebenszyklusanalyse)
EBF	Energiebezugsfläche (A _E)
eBKP-H	auf Elementen basierende Gliederung des Baukostenplanes
EHS	Emissionshandelssystem
EOI	<i>End of Life</i> (Lebensende)
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i> (Umweltproduktdeklaration)
GE	Graue Energie
GTHG	Graue Treibhausgase In der SIA-Norm 2032:2020 auch Treibhausgasemissionen der Erstellung genannt
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Treibhauspotenzial)
HWP	<i>Harvested Wood Products</i> (Holzprodukte)
IBP	Interessengemeinschaft privater, professioneller Bauherren
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Weltklimarat)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Internationale Organisation für Normung)
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LCA	Lebenszyklusanalyse
LCCA	<i>Life-Cycle Cost Analysis</i> (Lebenszyklus-Kostenanalyse)
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE n 14	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich, Version 2014
nEBF	Nicht-EBF (siehe EBF)
SCNAT	Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (gibt unter anderem Baunormen und Merkblätter/Standards heraus)
SSH	Verein Senke Schweizer Holz
THG	Treibhausgase
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen, vgl. Kyoto-Gase im Glossar
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> (Lösemittel)
WDVS	Wärmedämmverbundsystem

1.2 Glossar

Additionalität	Prinzip der Zusätzlichkeit einer Kompensationsmassnahme. Vgl. BAFU (2021).
Allokation	Eine Allokation im Rahmen einer Ökobilanz ist eine „Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen“ (ISO 14040).
Avoided Emissions	Deutsch: vermiedene Emissionen, siehe weiter unten; Reduktion von THG-Emissionen
Benchmark	Gesetzter Wert, an dem individuelle Werte gemessen werden können. Der Benchmark kann auf einem Durchschnittswert von vergleichbaren Projekten beruhen oder ein Zielwert sein.
CO₂	Kohlendioxid
CO₂-Äquivalente	Kurz: CO ₂ eq (siehe auch GWP) Die Treibhauswirkung der THG wird in kg oder t CO ₂ -Äquivalenten ausgedrückt. Diese Kenngrösse kumuliert die Wirkungen verschiedener THG bezogen auf die Leitsubstanz CO ₂ .
CO₂-Handabdruck	Der Begriff wird verwendet für die temporäre Speicherung von C in der Biomasse. Das Resultat wird berechnet ausgehend von der gespeicherten Menge kg C in der Biomasse und umgerechnet in die entsprechende Menge kg CO ₂ , welche dafür umgewandelt wird (siehe auch Kapitel 5.2.2).
CO₂-Fussabdruck	Der Begriff ist gleichbedeutend mit den ermittelten THG-Emissionen. Das Resultat wird ausgedrückt mit dem Treibhauspotenzial in CO ₂ eq (siehe auch Kapitel 5.2.2).
Cradle-to-Cradle (C2C)	Ist ein Modell für eine durchgängige und konsequente Kreislaufwirtschaft. C ₂ C-Produkte können kontinuierlich in technischen Kreisläufen gehalten werden oder als biologische Nährstoffe in biologische Kreisläufe zurückgeführt werden.
Energiebezugsfläche A_E	Die Energiebezugsfläche (EBF) ist die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist (SIA 416:2007).
Gebäudehüllzahl	Verhältnis der thermischen Gebäudehülle zur Energiebezugsfläche (A _{th} /A _E). Ein guter Wert liegt bei 1, unter 1 weist auf ein kompaktes Gebäude hin. Eine hohe Gebäudehüllzahl führt zu höheren Wärmeverlusten über die Gebäudehülle.
Global Warming Potential (GWP)	Engl. Begriff für Treibhauspotenzial, Treibhauswirkung der THG, gemäss dem fünften Sachstandsberichtes des IPCC (2013).
Karbonisierung (beschleunigt)	Engl. auch <i>Accelerated Carbonation Curing, ACC</i> . „Die beschleunigte Karbonisierung von Beton ist ein Prozess, bei dem die CO ₂ -Absorption in Betonfertigteilen während der Herstellung ermöglicht wird.“ ¹
Klimapositiv	Bauweise, die zum heutigen Zeitpunkt bereits dem Ziel des Absenkpfad für das Jahr 2030 entspricht. Der Begriff wird im Kapitel 5.3.2 detaillierter erörtert.
Klimawandel	Wandel beim Zustand des Klimas. Dieser Wandel kann aufgrund von Veränderungen von Durchschnittswerten und/oder der Variabilität bestimmter Eigenschaften über längere Zeitspannen (mehrere Jahrzehnte oder länger) festgestellt werden. Der Klimawandel kann durch natürliche interne Prozesse oder externe Kräfte wie die Änderungen beim Sonnenzyklus, Vulkanausbrüche und andauernde menschliche Änderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der Landnutzung entstehen (IPCC, 2014a).
Kompensation	In dieser Arbeit wird der Begriff im Sinne des BAFU verwendet (vgl. BAFU, 2020). Mit den aus Kompensationsprojekten generierten Bescheinigungen können THG-Emissionen kompensiert bzw. ausgeglichen werden. Eine Bescheinigung entspricht 1 t CO ₂ eq eingespartes THG. Wichtig ist der Unterschied zwischen Kompensationen und negativen Emissionen. Die heute in der Schweiz aktiven Projekte generieren in der Regel Bescheinigungen lediglich mit vermiedenen THG und nicht mit negativen Emissionen. Vergleiche z. B. das „Kompensationsprojekt Senkenleistung Schweizer Holz“ Kapitel 3.4.2.4.
Kreislaufwirtschaft	Engl. auch <i>Circular Economy</i> . Modell, das vorsieht, so wenig Abfall wie möglich zu produzieren, Produkte und Rohstoffe so lange wie möglich zu verwenden bzw. wiederzuverwenden. Der produzierte Abfall soll möglichst wiederverwendet werden. Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, natürliche Ressourcen zu schonen und den Schutz der Umwelt sicherzustellen.
Kyoto-Gase	Diese umfassen die von der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) erfassten THG Kohlendioxid (CO ₂), Methan (CH ₄), Lachgas bzw. Distickstoffmonoxid (N ₂ O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), Perfluorkohlenstoffe (PFS) und Schwefelhexafluorid (SF ₆). Die Liste wurde in der zweiten Verpflichtungsperiode ergänzt mit Stickstofftrifluorid (NF ₃) (Unfccc, 2009).

1 Aus: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/accelerated-carbonation> [15.06.2020].

Kyoto-Protokoll	Protokoll der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC), welches am 11. Dezember 1997 in Kyoto angenommen wurde und am 16. Februar 2005 in Kraft getreten ist. Das Kyoto-Protokoll verpflichtet die Mitgliedsstaaten u. a. dazu, verbindliche Reduktionsziele einzuhalten (UNFCCC and CDM, 2019).
Lebenszyklus	Der Lebenszyklus umfasst den gesamten Lebensweg von Produkten und Dienstleistungen. Mit einer Lebenszyklusanalyse werden bei der Ökobilanzierung Umweltwirkungen über den gesamten Lebensweg vom Abbau der Rohstoffe bis zur Entsorgung „von der Wiege bis zur Bahre“ Erfasst.
Lignum	Dachorganisation der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft
MONET	Das Indikatorensystem MONET 2030 bietet einen Überblick über die nachhaltige Entwicklung in der Schweiz und illustriert die erzielten Fortschritte bei der Umsetzung der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen (SDGs) sowie hinsichtlich weiterer, schweizspezifischer Themen. Es besteht aus über 100 Indikatoren in den drei Dimensionen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft, die gemäss den 17 SDGs gebündelt sind. ²
Nachhaltigkeit	„Verbesserung der gesellschaftlichen Wohlfahrt, die nicht nur für die Gegenwart, sondern auch für alle kommenden Generationen eintreten soll.“ ³
Nachhaltiges Bauen	Nachhaltiges Bauen bedingt ganzheitliches Planen und Bauen vor dem Hintergrund der 3 Nachhaltigkeitsdimensionen Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft. Der vorliegende Bericht behandelt mit den GTHG ein einzelnes Thema im Bereich der Umwelt.
Negative Emissionen	Engl. auch <i>Removals</i> . Negative Emissionen beschreiben THG, die mittels unterschiedlicher Technologien physikalisch nachweisbar aus der Atmosphäre entfernt werden. In dieser Studie als negative CO ₂ -Emissionen betrachtet werden durch den Menschen geschaffene Senken und Zwischenspeicher, z. B. in Form von Holz im Gebäudebestand oder in mineralischen Produkten gespeichertes CO ₂ . Aufgrund der teilweise zeitlich begrenzten und damit variablen Wirkung der Senken werden diese als separate Kenngrösse ausgewiesen und nicht direkt zum Ergebnis der THG-Emissionen addiert.
Ökobilanz	Eine Ökobilanz ist eine systematische Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen von Produkten über deren gesamten Lebensweg „von der Wiege bis zur Bahre“. Häufig verwendet wird der Begriff Lebenszyklusanalyse mit der englischen Abkürzung <i>LCA</i> (<i>Life Cycle Analysis, Life Cycle Assessment</i>). Das Verfahren einer Ökobilanz definiert die DIN EN ISO 14040/14044.
Senke (von CO₂)	Als Senken bezeichnet werden in diesem Bericht biologische und geologische Prozesse, welche CO ₂ dauerhaft oder mit temporärem Speicher aus der Atmosphäre entfernen bzw. binden (z. B. Wälder und Holz, Ozeane, Feuchtgebiete oder Sedimentschichten abgestorbener kalkbildender Organismen im Meer). In der wissenschaftlichen Literatur wird zwischen einer (teilweise temporären) Senkenleistung, welche aus einer Bilanz von Quellen und Senken berechnet wird und der Sequestrierung, einer dauerhaften Entfernung von THG aus der Atmosphäre unterschieden.
Substitution	Die Substitution beschreibt bei der Erstellung von Gebäuden den materiellen Ersatz von Baustoffen oder Bauteilen mit funktional gleichwertigen Konstruktionen, wobei die Gleichwertigkeit streng gesehen z. T. schwierig einzuhalten ist. So kann z. B. ein THG-intensiver Zement mit einem weniger THG emittierenden Zement ersetzt werden oder eine Betondecke mit einer Holzdecke. Die hauptsächliche Funktion bleibt erhalten, die Holzdecke weist jedoch andere physikalische Eigenschaften auf als die Betondecke usw.
Strahlungsantrieb	Engl. auch <i>Radiative Forcing</i> . Der Strahlungsantrieb drückt die Veränderung des Strahlungsflusses (ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter; W/m ²) in der Tropopause oder an der Spitze der Atmosphäre aufgrund einer Änderung eines externen Treibers des Klimawandels aus, wie z. B. einer Änderung der Konzentration von Kohlendioxid (CO ₂) oder der Leistung der Sonne (IPCC-DDC, 2019).
Suffizienz	Die Reduktion von Rohstoff- und Energieverbrauch durch Reduktion von Konsum- oder Komfortansprüchen. Alternativer Begriff: Genügsamkeit ⁴
Systemgrenzen	Sie definieren den für eine Fragestellung notwendigen Umfang und Rahmen eines Systems (oder einer Analyse). Bei Ökobilanzierungen stellen sie einen wesentlichen Faktor für das Ergebnis dar.
Treibhauseffekt	Siehe Klimawandel.
Upcycling	Form der Wiederverwertung von Stoffen (Recycling). Anders als beim Recycling oder Downcycling kommt es beim Upcycling zu einer stofflichen Aufwertung. Siehe Beispiel in Kap. 12.4.3.10.

² Quelle: bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/monet-2030.html [17.06.2021].

³ Quelle: wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/nachhaltige-entwicklung-40414 [15.03.2021].

⁴ Quelle: <https://www.energie-lexikon.info/suffizienz.html> [19.05.2021].

Vermiedene Emissionen	Engl. auch <i>Avoided Emissions</i> . Dies sind THG-Reduktionen, welche aufgrund unterschiedlicher Strategien wie Effizienz, Wiederverwendung, Substitution oder zirkulärem Bauen erzielt werden. Als potenzielle Vermeidung wird dabei die erwartete Reduktion beim Ersatz einer spezifischen Technologie (Referenzfall) durch eine hypothetische Technologie (Substitution) bezeichnet.
Wiederverwendung	Durch Wiederverwendung wird weniger Neumaterial verbraucht. Die Wiederverwendung von Bauteilen ist nicht mit Recycling zu verwechseln. Wiederverwendete Bauteile werden in ihrer Stofflichkeit nicht verändert, sondern lediglich für einen neuen bzw. zweiten Einsatzzweck aufbereitet. Dies ermöglicht grosse Einsparungen bei den THG-Emissionen.
Zirkuläres Bauen	Kreislaufwirtschaft im Baubereich. Zirkuläres Bauen verfolgt „[...] das Ziel, Materialien und Produkte in möglichst vielen Kreisläufen zu verwenden und sie mit einem Minimum an Abfall und Verschmutzung wiederzuverwerten.“ ⁵

⁵ Aus: <https://www.empa.ch/web/empa/circular-economy> [15.06.2020]

2.

Einleitung

Die Studie, welche als Grundlagenbericht erarbeitet wurde, enthält hauptsächlich zwei Teile, einerseits eine umfassende, systematische Übersicht über den heutigen Stand des Wissens, andererseits eine Fallstudie mit Berechnungen zu konkreten Massnahmen. Anfangs geäusserte Hypothesen sollen mit berechneten Planungsszenarien bestätigt werden. Basierend auf dem Erkenntnisgewinn werden zukunftsgerichtete Lösungsvorschläge und konkrete Planungsempfehlungen abgegeben.

2.1 Leseorientierung

Im Kapitel „**Einleitung**“ (2) werden die Rahmenbedingungen der Studie erläutert. Wir äussern uns zu unserer Motivation, diesen Bericht zu schreiben, und schildern die entsprechenden Hintergründe. Danach folgen die Problemstellung, die Hypothesen sowie die Fragestellungen. Den Schluss der Einleitung bilden die Darstellung der Zielgruppe und die Zielsetzung dieser Studie.

Im Kapitel „**Auslegeordnung: Baustoffe, Bauteile, Gebäudekonzepte**“ (3) wird der Stand des Wissens des Kernthemas umrissen und die Systemgrenzen werden geklärt. Der Hauptteil und für den Verlauf der Arbeit wichtig ist die eine systematische Übersicht (engl. *Review*) zur wissenschaftlichen Literatur über die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet des klimapositiven Bauens (3.3). Diese Aufzeichnungen sind z. T. sehr umfangreich, sodass sich Teile davon im Anhang 2 befinden. Ebenfalls im Anhang sind transkribierte, thematisch gegliederte Textteile aus Experteninterviews zu finden. In Kapitel 3 folgt eine Übersicht zu ähnlichen Forschungsprojekten, die gleichzeitig mit diesem Projekt bearbeitet werden oder schon abgeschlossen wurden. Im Unterkapitel der praxisbezogenen Reduktionsstrategien werden aktuelle Beispiele von Reduktionsmassnahmen dargestellt. Kapitel 3.6 schafft einen Bezug zu relevanten Normen und Standards. Weiter werden bereits angewendete Anreizinstrumente in der Schweiz und Europa vorgestellt. Zum Abschluss des Kapitels wird Bezug auf Benchmarks, Standards und Labels genommen.

Im Kapitel „**Zwischenfazit**“ (4) werden die vorher geschilderten Sachverhalte gebündelt dargestellt. Sie bilden die Grundlage für den weiteren Verlauf. Dieses Kapitel kann als Quereinstieg in die Studie genutzt werden. Zentrale Aussagen aus den Leitfadeninterviews, den Benchmarks, Standards und Labels sind hier festgehalten sowie – als Überleitung zum nachfolgenden Kapitel – Schlussfolgerungen zu den wissenschaftlichen Grundlagen.

Im Kapitel „**Quantifizierung der Reduktionsmassnahmen**“ (5) werden die Potenziale einer Auswahl der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Reduktionsmassnahmen berechnet. Die ausführlichen Resultate und Hintergründe dazu können im Anhang unter „Steckbriefe Reduktionsmassnahmen“ (12.10) eingesehen werden.) Weiter werden in diesem Kapitel die Berechnungsmethoden sowie die Bedeutung des Begriffs „klimapositiv Bauen“ erläutert.

Das Kapitel „**Bewertete Handlungsmöglichkeiten**“ (6) fügt die im vorherigen Kapitel erhobenen Potenziale verschiedener Massnahmen zu Paketen bzw. Bau- und Planungsszenarien zusammen. Hier erfolgt die Prüfung der in der Einleitung aufgestellten Hypothesen (2.4), einerseits für den Fall eines Neubaus und andererseits für den Fall einer Erneuerung.

Im Kapitel „**Diskussion**“ (9) werden Aussagen gegenübergestellt, Zielkonflikte beleuchtet sowie Aspekte angesprochen, die in der Planung laut den AutorInnen noch nicht befriedigend gelöst sind.

Das Kapitel „**Handlungsempfehlungen**“ (8) versammelt unsere Planungsempfehlungen, welche aus den Berechnungen sowie aus qualitativen, „weichen“ Faktoren der Planungskultur abgeleitet werden. Sie richten sich direkt an Bauherrschaften und Planerteams.

Im 9. Kapitel folgt die Zusammenfassung.

Im Kapitel „**Schlussfolgerungen und Ausblick**“ (10) wird anhand des zeitlichen Ablaufs von heute bis ins Jahr 2030 gezeigt, wie die imaginierte Entwicklung hin zum klimapositiven Bauen aussehen könnte. Daraus werden regulatorische, wirtschaftliche und weitere Voraussetzungen abgeleitet, welche für eine erfolgreiche Entwicklung notwendig erscheinen.

Im 11. Kapitel folgen die Quellen bzw. das **Literaturverzeichnis**.

Danach folgt der gegliederte, reichhaltige **Anhang** (12), welcher ergänzende Details zu den obigen Kapiteln zusammenführt.

2.2 Ausgangslage, Motivation

2.2.1 Motivation

Als Spezialisten für nachhaltiges Bauen mit Hintergrund Architektur stellen wir im Berufsalltag fest, dass klimafreundliches Bauen, obwohl es grundsätzlich möglich wäre, bei der Erstellung noch viel zu wenig bedacht und realisiert wird. Da wir aus unserer früheren Praxis als ArchitektInnen wissen, wie aufwändig es sein kann, unter den zahlreichen neuen Materialien dasjenige zu finden, das einen bestimmten Zweck am besten erfüllt, wollten wir zum einen eine Übersicht über die heute verfügbaren Baustoffe, Bauteile und Baukonzepte zusammenstellen, andererseits insbesondere ArchitektInnen und Bauherrschaften zur Thematik sensibilisieren und griffige Vorschläge für klimafreundliches Bauen bereitstellen.

Weil die Veränderung des Klimas grosses Schadenspotenzial in sich birgt, gilt es, entschlossen und konsequent zu handeln. Wir versuchen deshalb, alle möglichen Massnahmen für eine klimapositive⁶ Erstellung der Gebäudeinfrastruktur abzudecken, welche im Einflussbereich von Bauherrschaften und PlanerInnen liegen. Weiter geht es uns auch darum, die bereits erfolgten Bemühungen von Anbietern zum klimapositiven Bauen zu würdigen. Aus diesem Grund stehen wir mit den Schweizer Labelfamilien für nachhaltiges Bauen⁷ in Kontakt und setzen uns dafür ein, dass planerische Werkzeuge verbessert und zielführende Grenzwerte definiert werden.

2.2.2 Hintergrund: die Klimakrise

Wie die jüngsten Berichte des IPCC zeigen, können die ehrgeizigen Klimaziele (1.5/2.0-Grad-Ziel) und die entsprechenden Absenkpfade neben den regulären Einsparungen ohne die aktive Beseitigung von Treibhausgasen (THG) aus der Atmosphäre (negative Emissionen) kaum erreicht werden (IPCC, 2018; UNEP, 2019). Im wissenschaftlichen und politischen Umfeld werden unterschiedliche Meinungen dazu vertreten. Im Anschluss schildern wir Sichtweisen, die durch einzelne AutorInnen geprägt sind. Unterschiedliche Studien und Arbeiten aus der Schweiz befassen sich mit der Thematik. So schreiben Beuttler et al. (2019), dass die heutige globale Klimapolitik – auch jene der Schweiz – ungenügend ist, um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Eine ähnliche Meinung vertritt Schleiniger (2021), indem er nachweist, dass die aktuelle Schweizer Klimapolitik wohl das 2.0°-Ziel, aber nicht das 1.5°-Ziel erreichen wird. Dies kann bedeuten, dass die meisten Länder implizit auf Technologien zur Entfernung von THG aus der Atmosphäre angewiesen sind.

Die folgende Abb. 1 zeigt beispielhaft, wie gemäss IPCC bis ins Jahr 2100 THG-Emissionen gesenkt und im späteren Verlauf weitere THG der Atmosphäre entzogen werden müssen:

⁶ Definition: Siehe Kapitel 5.3.2.

⁷ Minergie, Ecobau, NNBS/SNBS, 2000 Watt Gesellschaft.

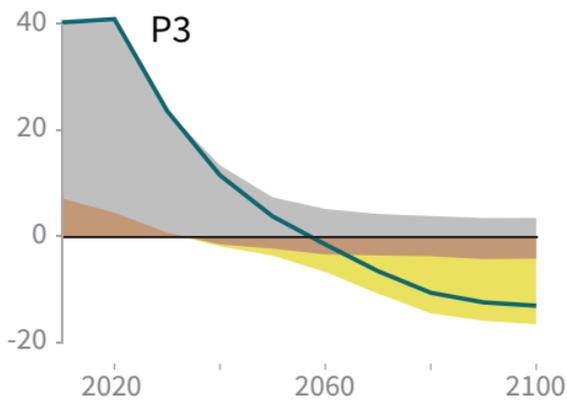


Abb. 1: Schematische Darstellung eines globalen Mittelweges zur Absenkung der THG-Emissionen für das 1.5°C-Ziel. Ab ca. 2060 müssen die Netto-THG-Emissionen negativ werden, um das Ziel zu erreichen (dunkelgrüne Linie). Graue Fläche: Emissionen fossiler Energieträger und der Industrie; braune Fläche: Emissionen bzw. negative Emissionen der Land- und Forstwirtschaft sowie andere Landnutzung; gelbe Fläche: Negative Emissionen der Bioenergie mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (IPCC, 2018, p. 14). Gleich zu Beginn der 2020er Jahre müssen die globalen THG-Emissionen aus fossilen Quellen stark abnehmen. Noch in den 40er Jahren dieses Jahrhunderts müsste gemäss dieser Modellrechnung die globale Land- und Forstwirtschaft im Schnitt der Atmosphäre THG entziehen und ab etwa 2040 müsste das gesammelte CO₂ der Abgase der zu Energiezwecken verbrannten Biomasse abgeschieden und dauerhaft gespeichert werden.

Auch die Akademie Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) schreiben in einem Merkblatt, dass sich die oben genannten „[...] Ziele allein durch Emissionsminderungsmassnahmen nur noch mit sehr grossen Anstrengungen erreichen lassen“ (SCNAT, 2018).

2.2.3 Der Beitrag der Baubranche

Der Bau- und Immobilienbereich weist mit seinem immensen Material- und Energieumsatz ein grosses Potenzial zur Vermeidung von GTHG sowie zu negativen Emissionen auf. Im Betrieb zählen Gebäude mithin noch zu den grössten Emittenten von THG. Mit der laufenden Anpassung der kantonalen Energiegesetze und der angedachten zukünftigen Entwicklung (vgl. Matthias Sulzer and Kristina Orehounig, 2020) soll der THG-Ausstoss beim Betrieb von Neu- und Altbauten stark gesenkt werden. Neubauten müssen gut gedämmte Gebäudehüllen aufweisen, Neubauten sowie zunehmend auch Altbauten dürfen nur noch mit erneuerbar betriebenen Wärmeerzeugern ausgestattet sein. Angesichts dieser positiven Entwicklung geht häufig vergessen, dass die THG der Gebäudestruktur neuer Gebäude (ohne Betrieb) über den ganzen Lebenszyklus einen ebenso grossen Anteil an THG-Emissionen darstellen. Damit müssten die GTHG-Emissionen im Brennpunkt der Weiterentwicklung der Gebäudevorschriften stehen.

Die nachfolgende Darstellung von Fallbeispielen von Neubauten und sanierten Gebäuden erlaubt eine Einordnung der Relevanz der Erstellung bzw. der zugehörigen THG-Emissionen (vgl. Wyss et al., 2014). Die Diskussion von Richtwerten für eine Gesamtumweltbelastung von Gebäuden im Rahmen des SIA-Effizienzpfades Energie ist für die Zielerreichung relevant. Wir denken, dass die aktuellen Ziel- und Richtwerte nicht mit dem Absenkpfad des Pariser Klimaabkommens kompatibel sind (vgl. dazu 4.2).

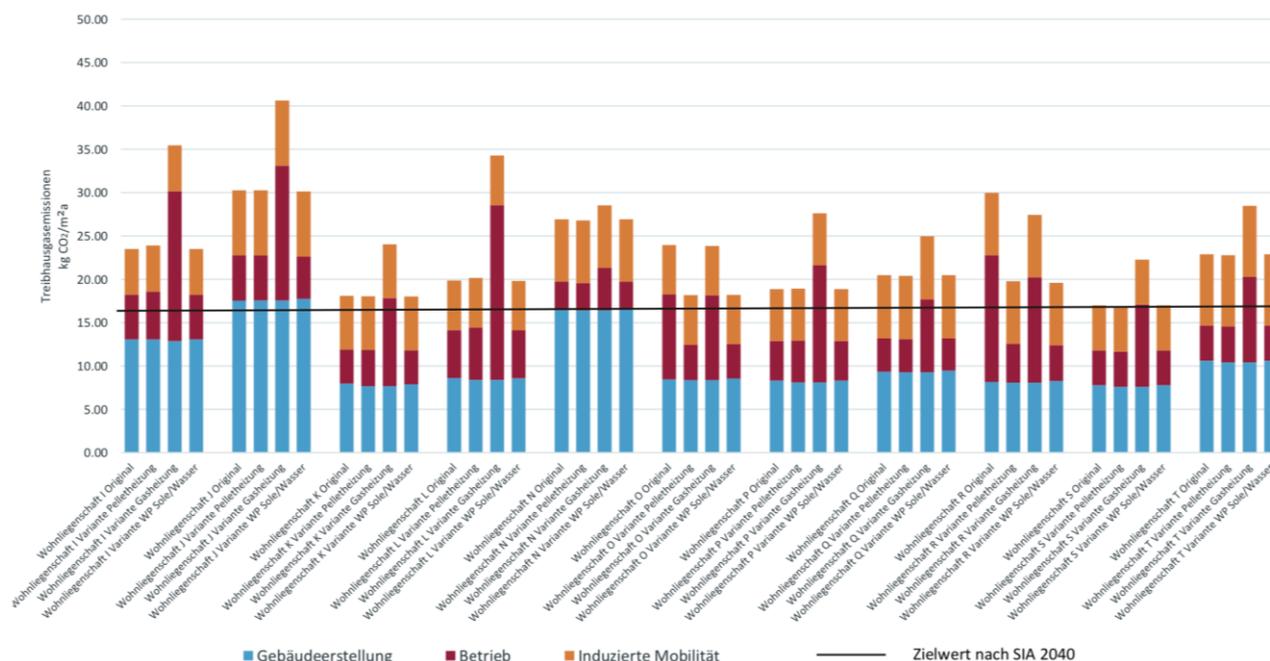


Abb. 2: Darstellung einer Sensitivitätsanalyse für verschiedene Wohnliegenschaften zur Überprüfung typischer Kennwerte für die Gebäudeerstellung (blau), den Betrieb (rot) und die induzierte Mobilität (orange). Die GTHG bewegen sich zwischen 7.5 und 16 kgCO₂e/m²a. Rund 50% der Gesamtemissionen gehen auf das Budget der Erstellung. (Wyss et al., 2014, fig. 8.10)

Original-Bildunterschrift: „Variantenvergleich: Ergebnisse der Umweltbelastungen der Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität für den Indikator Treibhausgasemissionen.“

Dabei ist es bereits heute möglich, mit einer geschickten Kombination von THG-armen Bau- und Planungsmethoden für die Erstellung, beispielsweise durch Nutzung von Holz und Wiederverwendung von Bauteilen, Gebäude mit signifikant tieferen THG-Emissionen zu errichten. Gleichzeitig werden weitere Methoden und Technologien entwickelt, welche in den kommenden Jahren oder Jahrzehnten marktreif werden. Der vorliegende Bericht zeigt Wege auf, um die Gebäudeerstellung auf den Absenkpfad des Pariser Klimaabkommens zu bringen.

2.2.4 THG-Emissionen des Schweizer Gebäudeparks

Im Rahmen des Projektes MatCH wurden die Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen und der Treibhauseffekt der baulichen Infrastruktur der Schweiz analysiert (Gauch et al., 2016). Im Jahr 2015 lagen die über Materialflüsse bestimmten Emissionen von Baumaterialien für den Hoch- und Tiefbau im Bereich von 11 Mio. t CO₂e. Ein wesentlicher Teil davon fällt durch den Import von Baustoffen aus dem Ausland an. Dem Betrieb der Gebäude werden in dieser Studie rund 26.7 Mio. t CO₂e/a zugeordnet.

2015	Materialfluss		Treibhauseffekt		Gesamter Energiebedarf **		Gesamt-Umweltbelastung	
	Mio. t/a	Prozentsatz	Mio. t CO ₂ -eq/a	Prozentsatz	TJ/a	Prozentsatz	Mio. UBP/a	Prozentsatz
Elektrizität (toe) *	1.72	3%	5.43	15%	489 367	52%	15 341 076	27%
Brennstoff (toe) *	5.69	9%	20.84	56%	328 109	35%	16 057 456	28%
Kies, Sand	6.33	10%	0.16	0%	2 226	0%	523 331	1%
Asphalt	1.31	2%	0.38	1%	8 470	1%	446 130	1%
Beton	39.79	63%	3.15	8%	22 350	2%	3 672 565	6%
Mauerwerk	2.90	5%	0.89	2%	7 589	1%	809 784	1%
Brennbare Materialien	0.32	1%	0.77	2%	14 302	2%	857 379	2%
Holz	0.86	1%	0.32	1%	4 614	0%	677 671	1%
Metalle	1.39	2%	3.94	11%	43 021	5%	16 424 108	29%
Keramik, Gips, Glas etc.	3.15	5%	1.41	4%	16 978	2%	1 731 122	3%
Total Energie	7.41	12%	26.27	70%	817 476	87%	31 398 532	56%
Total Baumaterialien	56.05	88%	11.01	30%	119 550	13%	25 142 090	44%
Total Bauwerk Schweiz	63.46	100%	37.28	100%	937 026	100%	56 540 622	100%

** Nicht erneuerbar

Abb. 3: Aufstellung der THG-Effekte u. a. aufgrund der Materialflussanalyse MatCH. 11 Mio. t THG entfielen auf die Baumaterialien (Erstellung Hoch- und Tiefbau) und rund 26 Mio. t auf den Betrieb der Gebäude (Gauch et al. 2016, Tab. 4–6).

Im Bereich der THG-Emissionen auf Gebäudeebene gibt es zwischen Gebäuden unterschiedlicher Bauperioden grosse Unterschiede. Die folgende Darstellung (Abb. 4) veranschaulicht das sich wandelnde Verhältnis zwischen Betriebsemissionen (grau) und GTHG (rot) über die gesamte Lebensdauer der Wohngebäude im Verlauf der Zeit. Die GTHG haben einen unveränderten Anteil an den Emissionen, während die Betriebsemissionen drastisch zurückgehen und bei neuen Wohnbauten weit unter den GTHG liegen.

Kg CO₂ / m²

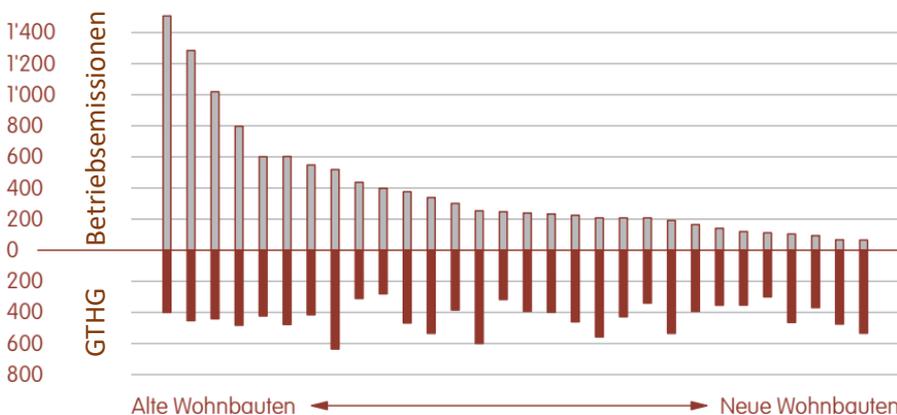


Abb. 4: Illustration THG-Bilanz von 30 Gebäuden aus unterschiedlichen Zeiträumen (Salza, 2020, p. 15). Zu beachten: Es handelt sich nicht wie auf der Abbildung beschrieben um Energie, sondern um THG-Emissionen.

Wir unterscheiden im Folgenden zwischen Emissionen, welche durch die Gebäudeerstellung (Bauteile, Materialien) inkl. Unterhalt für Instandhaltung während dem Lebenszyklus (inkl. Entsorgung) entstehen, und Emissionen aus dem Betrieb der Gebäude (Strom und Wärme).

2.2.4.1 Betrieb

Zu den THG-Emissionen von Gebäuden während der Nutzungsphase in der Schweiz liegen genaue Angaben vor. Von Seiten der Behörden bestehen betreffend Heizenergieverbrauch auch klare Vorgaben. Mit wenigen Ausnahmen dürfen aufgrund der Einführung der „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich 2014“ (MuKE 2014) keine fossil betriebenen neue Heizungen mehr in Betrieb genommen werden. Die THG-

Emissionen aus dem Betrieb von Gebäuden belaufen sich per 2017 auf total 13'017 kt CO₂eq (stationäre Feuerungen zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser, IPCC-Kategorie 1A4). Dies entspricht 27.6% der Schweizer THG-Emissionen, welche gemäss dem Kyoto-Protokoll im Jahr 2019 rapportiert wurden. Nicht inbegriffen sind gemäss dem Schweizer Kyoto-Bericht 2'937 kt CO₂eq aus (erneuerbaren) Biomassequellen. Im Jahr 1990 betrug die Emissionen noch 17'641 kt CO₂eq bzw. 33.1% der Emissionen.⁸ Dies entspricht einer Reduktion um 26% innerhalb von rund 30 Jahren und kann eindeutig auf die Regulation durch die Behörden zurückgeführt werden (BAFU, 2019).

Jahr	Stationäre Feuerungen (IPCC-Kategorie 1A4)	Anteil an CH-Gesamtemissionen gemäss Kyoto-Vertrag
1990	17'641 kt CO ₂ eq	33.1%
2017	13'017 kt CO ₂ eq	27.6%

Tab. 1: THG-Emissionen von Schweizer Gebäuden im Betrieb. Die jährlichen Betriebsemissionen sind seit 1990 kontinuierlich gesunken, auch im Vergleich zu den Schweizer Gesamtemissionen (BAFU, 2019).

2.2.4.2 Erstellung (GTHG-Emissionen)

Da die durch den Gebäudebereich verursachten THG-Emissionsquellen vielgestaltig sind und verteilt über alle Wirtschaftssektoren, z. T. auch im Ausland, anfallen, ist die Herleitung schwieriger. Bekannt sind jedoch die THG-Emissionen für die Erstellung eines Quadratmeters Energiebezugsfläche (EBF). Beim Neubau Kategorie „Wohnen“ rechnet man mit 10.8 kg CO₂eq/m²a (SIA Zürich, 2018, p. 19) und bei einem durchschnittlichen Umbau mit rund 4.5 kg CO₂eq/m²a (Martin Jakob et al., 2016, p. 87). Der Zubau von Energiebezugsflächen im Wohnungsbereich liegt laut dem Bundesamt für Energie (BFE) bei 6.3 Mio. m² pro Jahr.⁹ Rechnet man mit einer Sanierungsrate von 1% bei einem Bestand von 486 Mio. m² EBF Wohnbauten (vgl. SIA Zürich, 2018) entspricht dies 4.9 Mio. m² betroffene EBF. Aus den oben genannten Kennzahlen resultieren jährliche THG-Emissionen durch den Wohnungsbau von 5'405 kt CO₂eq (vgl. Abb. 5).

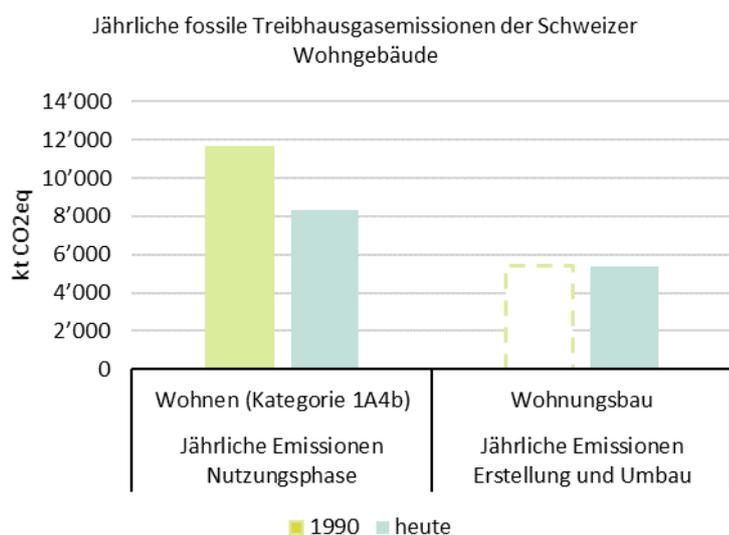


Abb. 5: Jährliche fossile THG-Emissionen der Schweizer Wohngebäude (Bestand). Die Emissionen der Nutzungsphase (links) beziehen sich auf Daten aus dem Schweizer Treibhausgasinventar 2017 (BAFU, 2019). Die Emissionen der IPCC-Kategorie 1A4b bezeichnen stationäre Feuerungen, welche beim Betrieb von Wohngebäuden zur Anwendung kommen. Die Erstellungsphase ohne Nutzung weist gemäss der oben geschilderten Schätzung jährliche THG-Emissionen auf, die rund 35% unter denjenigen des Betriebs liegen (BAFU, 2007a, 2019; BFE, 2018).

⁸ Eine Übersicht zu den Schweizer Berichten innerhalb des Klimarahmenvertrags findet sich hier: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/climate-reporting.html> [18.12.2019].

⁹ Für den Zeitraum zwischen 2017 und 2018. Quelle: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-verwendungszweck.html> [13.04.2021].

Die Abb. 5 zeigt den Vergleich der jährlichen THG-Emissionen aus der Nutzungsphase (Wärmeproduktion Wohngebäude, IPCC-Kategorie 1A4b) und eine Schätzung¹⁰ (nur Wohnungsbau) aller Bauphasen ohne Nutzung. Die Entwicklung bei den THG-Emissionen der Nutzung ist aufgrund der behördlichen Regulierung im Sinken begriffen. Für einen sinkenden Trend gibt es bei den GTHG keine Anzeichen bzw. auch keine Daten. Wenn sich diese Entwicklung fortsetzt, ist absehbar, dass die Betriebsemissionen irgendwann unter diejenigen der Erstellung fallen werden.

Bei Neubauten kann man noch vor der Einführung der MuKE 2014 aufgrund der regulierten Betriebsemissionen von einem Verhältnis von 1:2 Betriebsemissionen zu THG-Emissionen der Erstellung ausgehen (vgl. Abb. 6 unten: THG-Emissionen jeweils in der 3. Zeile; blau: Erstellung, rot: Betrieb, gelb: induzierte Mobilität). 2 Drittel der THG-Emissionen des Baubereichs werden also nicht reguliert. Bei einer nach MuKE 2014 umgesetzten Energiegesetzgebung verschiebt sich der Anteil noch weiter zulasten der THG-Emissionen aus der Erstellung.

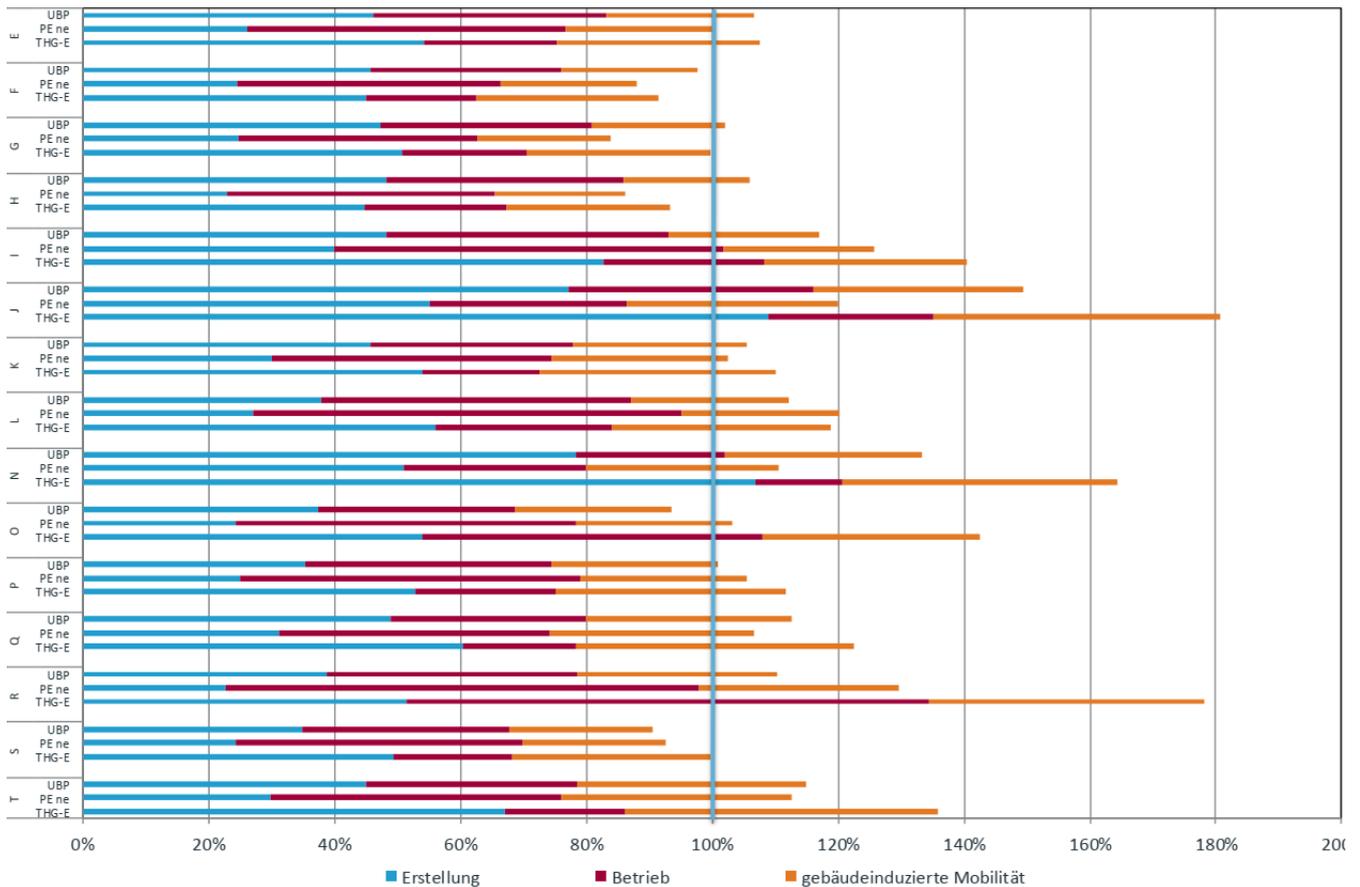


Abb. 6: Gesamtumweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar und THG-Emissionen einer Auswahl von Wohngebäuden (Neubauten), indexiert (Zielwert SIA-Effizienzpfad = 100%). Bestandaufnahme vor Einführung der MuKE 2014. Jeweils in der dritten Zeile werden GTHG dargestellt (Wyss et al., 2014, fig. 6.3).

2.2.5 Schweizer Absenkpfad bis 2050

2019 hat der Bundesrat in Anbetracht des Pariser Klimaabkommens beschlossen, dass die Schweiz ab dem Jahr 2050 unter dem Strich keine THG-Emissionen mehr ausstossen soll. Für 2030 (in weniger als 10 Jahren)

¹⁰ Neubau pro Jahr: Bundesamt für Statistik (BFS), neu zugebaute EBF pro Jahr x THG-Emissionen Erstellung gemäss SIA Zürich (2018, p. 19). Umbau pro Jahr: 1% der Bestandes-EBF gemäss BFS x THG-Emissionen Erstellung Jakob et al. (2016, p. 87).

soll die Reduktion gegenüber 1990 50% betragen.¹¹ Diese Ziele sind kompatibel mit dem 1.5°-Ziel der Vereinten Nationen.¹²

Die Reduktion betrifft technisch gesehen die Kyoto-Gase im Rahmen der Klimarahmenkonvention. Senken (*eng. Removals*) können nur in Teilbereichen berücksichtigt werden. Diese betreffen Produkte aus einheimischem Holz (u. a. in Gebäuden) sowie Veränderungen der Landschaft (Aufforstung, Vermoorung usw.). Die Berechnungsgrundlagen von Senken unterscheiden sich jedoch zwischen der Klimarahmenkonvention (Kyoto) und Schweizer Kompensationsprojekten (vgl. dazu BAFU, 2021). Längerfristig und global betrachtet (siehe oben) ist anzunehmen, dass die Klimaziele nicht ohne die Beseitigung von THG aus der Atmosphäre erreicht werden können.

Für den Gebäudebereich ist vorerst die Reduktion der fossilen Wärmeerzeuger von Bedeutung. Dazu existieren in den meisten Kantonen gesetzliche Grundlagen. Die THG im Baubereich (GTHG für die Erstellung der Gebäude), die mengenmässig bei Sanierungen und Neubauten bedeutender sind, werden bis jetzt von den Behörden weder reguliert und es bestehen auch keine Anreizsysteme, um eine Reduktion herbeizuführen.

Der folgende Abschnitt soll die Relevanz der THG im Baubereich näher erläutern.

2.2.5.1 Die Relevanz der GTHG im Gebäudebereich

Wie in Abb. 5 dargestellt, stellen die jährlich anfallenden THG im Baubereich einen grossen Anteil dar. Sie geraten aber aufgrund ihrer indirekten oder gar „unsichtbaren“ Natur häufig aus dem Blick. Die GTHG eines Gebäudes beziehen sich auf alle dem Gebäude zugehörigen Bauteile. Dabei wird die Gesamtheit der verwendeten Baustoffe berücksichtigt. Das SIA-Merkblatt 2032 verlangt, dass „[d]ie Umweltauswirkungen [...] für alle der Verwendung des Baustoffs vorgelagerten und nachgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Transport-, Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse sowie Entsorgung inkl. der dazu notwendigen Hilfsmittel, berechnet [werden].“ (SIA 2020, vgl. auch Kap. 12.5.3.1 weiter unten) Für einfache Berechnungen der GTHG werden von der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB/IPB/eco-bau, 2015) Datengrundlagen für die Schweiz zur Verfügung gestellt. Würden all diese Herstellungsprozesse auf der Angebotsseite in einer klimaneutralen Wirtschaft stattfinden, so wären die in den Gebäuden verbauten Baustoff ebenfalls klimaneutral. Bisher bestehen jedoch erst wenige behördliche Vorgaben: auf inländische Brennstoffe wird eine CO₂-Abgabe erhoben und Betreiber von treibhausgasintensiven Anlagen bestimmter Kategorien müssen am Emissionshandelssystem des Bundes, welches nach dem *Cap-and-Trade*-Prinzip¹³ funktioniert, teilnehmen. Darunter fallen Anlagen u. a. aus den Sektoren Zement, Chemie und Pharma, Raffinerien, Papier, Fernwärme und Stahl.¹⁴ Die Massnahmen auf der Angebotsseite sind unserer Ansicht nach zu wenig wirksam, um die Ziele des Pariser Absenkpfeils zu erreichen.¹⁵ Ausserdem wird ein Grossteil an Baustoffen in die Schweiz importiert und unterliegt der Gesetzgebung der jeweiligen Produktionsstandorte. Aus diesem Grund ist auf der Nachfrageseite, also den Abnehmern von Baustoffen, ein stärkeres Engagement notwendig.

¹¹ Dabei sollen laut CO₂-Gesetz «[...] 3 Viertel der Verminderung [...] mit Massnahmen in der Schweiz und ein Viertel im Ausland erzielt werden.» Quelle: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/dossiers/klimaschutz-und-co2-gesetz.html> [12.05.2021].

¹² Siehe Medienmitteilung vom 28.08.2019. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html> [1.10.2020].

¹³ Emissionsrechtshandel mit Mengenbegrenzung.

¹⁴ Weitere Informationen: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimapolitik/emissionshandel/schweizer-emissionshandelssystem--ehs-.html> [7.02.2020].

¹⁵ Vgl. dazu auch Reto Schleiniger (2021).

2.3 Problemstellung

Aufgrund der Beobachtung der AutorInnen zur aktuellen Situation sowie der Diskussion um Massnahmen zur Erreichung des Pariser Klimaziels zeichnen sich folgende Problempunkte ab:

- Auch wenn im Gebäudebereich gewisse Erfolge erzielt werden konnten, scheint es unwahrscheinlich, dass die politischen Ziele des Absenkpads mit den vom Bund vorgesehenen Reduktionsmassnahmen allein erreicht werden können.
- Je mehr der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser gesenkt und erneuerbar bereitgestellt wird, desto wichtiger werden die THG-Emissionen aus der Erstellung und dem Abbruch von Gebäuden (GTHG). Dabei spielen nicht nur Neubauten eine wichtige Rolle, sondern auch der Umgang mit dem Bestand des Schweizer Gebäudeparks mit den bereits investierten (ausgestossenen) THG.
- Die derzeitige Praxis der Berechnung der GTHG berücksichtigt weder die Wiederverwendung von Bauteilen noch die temporäre Speicherung von biogenem Kohlenstoff.
- In den letzten Jahren wurde viel in Forschung und Entwicklung zur Dekarbonisierung des Bauwesens investiert, wie z. B. in den Bereichen Holzbau und Zement/Beton. Vereinzelt wurden von ArchitektInnen und PlanerInnen dazu Ansätze getestet (Haus ohne Heizung, Wiederverwendung von Bauteilen, innovative neue Baustoffe, Keller aus Holz usw.). Die Erkenntnisse aus diesen Bestrebungen sind für die Akteure/Akteurinnen aus der Baubranche von Interesse, doch es ist schwierig, aus der Menge an Informationen die THG-relevanten Massnahmen für die Erstellung der Gebäude herauszufiltern und in der Praxis anzuwenden.

2.4 Hypothesen

- a. Mit geeigneten Gebäudekonzepten, Bauteilen sowie Baustoffen und Bauprodukten kann bei der Erstellung und Erneuerung ein grosser Teil der THG-Emissionen eingespart werden.
- b. Eine Reduktion der GTHG gemäss CO₂-Gesetz ist bis 2030 möglich.
- c. Es ist möglich, die neuen Anforderungen des klimapositiven Bauens methodisch in das SIA-Merkblatt 2032 zu integrieren (Zwischenspeicherung biogener Kohlenstoffe und Wiederverwendung).

2.5 Fragestellungen

- 1) Bei der Erstellung welcher Gebäudekonzepte, Bauteile und Baustoffe/Bauprodukte könnten THG-Emissionen in welchem Ausmass reduziert werden?
- 2) Ist eine Reduktion der GTHG gemäss CO₂-Gesetz bis 2030 möglich?
- 3) Wie können Senken (Zwischenspeicherung biogener Kohlenstoffe) in der Berechnung der THG (nach SIA 2032) berücksichtigt werden und welches Potenzial bezogen auf den Absenkpfad haben sie?
- 4) Wie können wiederverwendete Bauteile in der Berechnung der THG (nach SIA 2032) berücksichtigt werden?

2.6 Zielgruppe und Zielsetzung

Die in diesem Bericht gemachten Aussagen und Empfehlungen richten sich an die Vertreter der gesamten Baubranche, von den Investoren über die Planer bis zu den ausführenden Unternehmen sowie den Behörden. Im Speziellen richten sich die Inhalte jedoch an die Planer, weil diese als eigentliche BauexpertInnen einen

grossen Einfluss auf die restlichen Akteure/Akteurinnen haben (vgl. Kap. 12.3.5.1). Empfehlungen, die sich an die Behörden bzw. den Gesetzgeber richten, werden in diesem Bericht nicht weiterverfolgt oder kommentiert. Die Zielsetzungen der Studie lauten wie folgt:

- Motivation: Die bewertete Übersicht soll den Anwendern einen gezielten Einsatz von Reduktionsmassnahmen ermöglichen.
- Erarbeitung eines wissenschaftlichen Grundlagenberichts zur breiten Information der Baubranche mit einer Übersicht zu klimapositiven Gebäudekonzepten, Bauteilen und Baustoffen/Bauprodukten, die kategorisiert und bewertet sind.
- Abschätzung von Massnahmen und Potenzialen zur Reduktion der THG-Emissionen.
- Empfehlung zur Berücksichtigung von negativen Emissionen in der Ökobilanzierung (Bezug SIA-Merkblatt 2032)
- Empfehlung zur Berücksichtigung der Wiederverwendung von Bauteilen in der Ökobilanzierung (Bezug SIA-Merkblatt 2032)
- Angesprochen werden die Vertreter der gesamten Baubranche, vom Investor über den Planer bis zum ausführenden Unternehmen, die Behörden jedoch nur am Rande.
- Einbezug resp. Verweis auf vorhandene aktuelle Studien, welche Teilaspekte oder ähnliche Untersuchungen durchgeführt haben.
- Motivierung von Bauherrschaften und Investoren, die Reduktionsstrategien bei den PlanerInnen einzufordern (inkl. klimafreundliche Beschaffung). Im Umkehrschluss sind die Planer aufgerufen, diese Dienstleistungen anzubieten und die Bauherrschaften zu sensibilisieren.

2.7 Methodisches Vorgehen

Auf der Grundlage einer Review der wissenschaftlichen Literatur wurden THG-Reduktionsstrategien und -massnahmen identifiziert (Kap. 4.3.3). Es wurde überprüft, ob zu diesen Massnahmen Praxisbeispiele vorliegen (Kap. 12.4) und sie heute oder bis spätestens 2030 verfügbar sind. Als Referenzgrösse wurde aufgrund einer Sammlung von Beispielgebäuden ein MFH-Referenzhaus mit Mittelwerten zu GTHG und den entsprechenden Bauteilen gebildet. Es wurde ein Absenkpfad und davon abgeleitet ein Zielwert („klimapositiv“) definiert (Kap. 5.3.2). Anschliessend wurden 20 Massnahmen ausgewählt, die im Kategorienraster gleichmässig verteilt sind (Tab. 26). Deren THG-sparende Wirkung sowie der additional gewichtete C-Speicher wurden für alle Massnahmen berechnet (Kap. 5.4). In einem zweiten Schritt erfolgte die Zuteilung einer Ambitionsstufe (also die Beurteilung der Verfügbarkeit und der Bereitschaft der Bauwirtschaft zur Umsetzung der Massnahme, vgl. Kap. 6.1.1). Darauf folgend wurden die Reduktionspotenziale für 5 Planungsszenarien („Massivbau“, „Leichtbau“, „Handabdruck maximieren“, „Zirkuläres Bauen“ und „Erneuerung“) auf vier verschiedenen Ambitionsstufen berechnet (Kap. 6.2). „Konkurrierende“ Massnahmen wurden berücksichtigt, d. h. dass z. B. 2 ähnliche Massnahmen im Bereich der Wärmedämmung nicht voll angerechnet werden können. Die Resultate wurden in Bezug zum klimapositiven Zielwert gesetzt.

3.

Auslegeordnung: Baustoffe, Bauteile, Gebäudekonzepte

Anhand einer Auslegeordnung wird nachfolgend der heutige Stand des Wissens dargelegt. Dieser Hauptteil in Form einer systematischen Übersicht (engl. *Review*) stellt die Grundlage dieser Arbeit dar. Nach einer Definition der Systemgrenzen folgen Auszüge aus Experteninterviews, wissenschaftlicher Literatur, Forschungsprojekten sowie zu praxisbezogenen Reduktionsstrategien auf der Ebene von Baustoffen, Bauteilen und Gebäudekonzepten. Im Weiteren werden Normgebung und Standardisierung, Anreizinstrumente sowie Benchmarks, Labels und Standards thematisiert.

3.1 Einordnung und Systemgrenzen

3.1.1 Abgrenzung gegenüber weiteren Nachhaltigkeitsaspekten

Nachhaltiges Bauen ist ein Konzept, das die Wirtschaftlichkeit, die Ressourceneffizienz, Umwelteinflüsse sowie Gesundheit und Nutzerkomfort berücksichtigt.¹⁶ Das Projekt „Klimapositiv Bauen“ beleuchtet den Aspekt der THG-Problematik gezielt für den Schwerpunkt der Gebäudeerstellung. Mitberücksichtigt werden u. a. die Themen der Kreislaufwirtschaft wie Nutzungsflexibilität, Erweiterbarkeit, Austausch- und Rückbaufähigkeit, Recyclerbarkeit usw. Mittels Lebenszyklusanalyse (engl. LCA) werden die THG-Emissionen von Baustoffen und -produkten beim Herstellungsprozess und beim Rückbau bzw. der Entsorgung (engl. End-of-Life, EoL) bewertet.



Abb. 7: Aspekte der Kreislaufwirtschaft sind teilweise im Klimaprojekt mitenthalten, während das Klimaprojekt selbst Teil des nachhaltigen Bauens ist. Eigene Darstellung.

Das nachhaltige Bauen ist dem Projekt „Klimapositiv Bauen“ übergeordnet, Themen wie Gesellschaft, Gesundheit, Raumlufthygiene, Komfort, Tageslicht, Biodiversität und Wirtschaftlichkeit liegen ausserhalb der Systemgrenze. Aus dem klimapositiven Bauen ergeben sich jedoch Synergien für das nachhaltige Bauen (vgl. Analysen „Gesamtumweltbelastung, Treibhausgase und Primärenergie“ der Machbarkeitsstudie Richtwert Gesamtumweltbelastung Gebäude (Wyss et al., 2014)).

3.1.2 Abgrenzung zur Kreislaufwirtschaft und zum zirkulären Bauen

Herstellungs- und Entsorgungsprozesse sind für die Zukunft der Bauwirtschaft und für die Gesellschaft von zentraler Bedeutung. Konzepte zu Wiederverwendung, Verlängerung der Nutzungsphase, Wiederverwendung von Tragwerken bis zu Recycling betreffen die Aspekte klimapositives und zirkuläres Bauen gleichermaßen. Mehr zu diesem Thema und der Schnittstelle zum klimapositivem Bauen findet sich in Eberhardt, Birgisdottir und Birkved (2019), im Kapitel „4. Zwischenfazit“ und bei Salza (2020).

¹⁶ Vgl. dazu auch die Webseite des NNBS: <https://www.nnbs.ch/standard-snbs-hochbau> [20.05.2021].

3.1.3 Räumlich, physisch

Aufgrund der bei der Bilanzierung der THG-Emissionen verwendeten Werkzeuge soll der Betrachtungsperimeter in Abstimmung mit dem SIA-Merkblatt 2032 (SIA, 2020) auf das Gebäude beschränkt bleiben. Dies bedeutet, dass die Umgebung eines Gebäudes nicht berücksichtigt wird. Für gewisse Standards (vgl. weiter unten) können abweichende räumliche Abgrenzungen existieren. Auch die Mobilität, der Betrieb und die Infrastruktur (vgl. unten, Kapitel „Zeitlich“) werden nicht berücksichtigt.

Wenn nicht anders erwähnt, ist die Bezugsgrösse der GTHG die EBF A_E der Gebäude (EBF).

Städtebauliche und raumplanerische Aspekte sind ebenfalls nicht Teil dieser Studie, obwohl Anordnung und Form der Gebäude, deren Erschliessung, deren Lage usw. von grosser Bedeutung für die THG-Intensität sind (vgl. Creutzig et al., 2016).

3.1.4 Zeitlich

Für die zeitliche Abgrenzung wird auf das SIA-Merkblatt 2032 „Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden“ verwiesen (SIA, 2020). Vereinfachend kann gesagt werden, dass alle Phasen der Herstellung, Errichtung und Entsorgung (inkl. Modul B4) berücksichtigt werden, ausser der Nutzungs- bzw. Betriebsphase (B), bei der nur der Ersatz einbezogen wird. Grundsätzlich gilt für die Gebäudebewertung und die Beurteilung der einzelnen Phasen und Baustoffe die Darstellung der Lebenszyklusbetrachtung gemäss SN EN 15804 (2012):

Phasen gemäss SN EN 15804	Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase				
	Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Errichtung, Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Betrieblicher Energieeinsatz	Betrieblicher Wassereinsatz	Rückbau, Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	
																	A1
Bereich Erstellung gemäss SIA 2032	x	x	x	(x)	(x)				x					x	x	x	x

Abb. 8: Die Lebenszyklusbetrachtung kennt verschiedene Phasen (A, B, C) und innerhalb derselben verschiedene Module (A1, A2, A3 usw.). Bei der Betrachtung der GTHG wird grundsätzlich die Nutzungsphase (B) nicht berücksichtigt. Eine Ausnahme bildet das Modul B4, welches den Austausch von Bauteilen im Rahmen von grosszyklischen Sanierungen bezeichnet, was einer Bauaktivität gleichkommt. Im Merkblatt SIA 2032 werden die mit x bezeichneten Module in der Ökobilanzierung voll berücksichtigt, jene mit (x) werden teilweise vernachlässigt (SIA, 2020, p. 12).

Für Gebäude wird gemäss SIA-Merkblatt 2032 von einer Lebensdauer von 60 Jahren ausgegangen. Für einzelne Bauteile sind die Lebensdauern (Amortisationszeiten) im Anhang C des SIA-Merkblatts 2032 vorausgesetzt.

Wenn nicht anders erwähnt, entspricht die zeitliche Bezugsgrösse der GTHG 1 Jahr ($\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{m}^2\text{a}$). Während also die absoluten THG-Emissionen die Erstellung im Jahr null sowie den Austausch von Bauteilen (B4) in den Jahren 20, 30 und 40 umfassen, beträgt der auf ein Jahr bezogene Wert einen Sechzigstel aller absoluten Emissionen. Dabei kommen keine Diskontfaktoren zum Einsatz bzw. der Diskontfaktor beträgt 1.

Grundsätzlich gehen wir davon aus, dass zur Senkung der Emissionen aus dem Gebäudebetrieb im Gegensatz zu den GTHG-Strategien, Gesetze und das technische Wissen vorhanden sind. Auch wenn sich für die Nutzungsphase wichtige Fragen zur Reduktion der betrieblichen Emissionen stellen (Stichwort Heizungsersatz, Sanierungsquote usw.), gehen wir nicht weiter darauf ein.

Der Zeithorizont bei der Beurteilung von Reduktionsmassnahmen und -strategien im vorliegenden Bericht reicht höchstens bis ins Jahr 2030. Entwicklungen darüber hinaus werden, auch wenn dazu einzelne Quellen vorliegen¹⁷, nicht berücksichtigt. Dieser Bericht widmet sich Massnahmen, mit denen bereits heute und in nächster Zukunft klimapositiv und entsprechend dem Absenkpfad des Pariser Abkommens gebaut werden kann.

3.1.5 THG

Grundsätzlich werden gemäss SIA 2032 (2020) sämtliche „Kyoto-Gase“ (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFS, SF₆ und NF₃) sowie die ozonschichtabbauenden, treibhauswirksamen Gase berücksichtigt.¹⁸ Die THG werden als äquivalente CO₂-Emissionsmenge (sog. CO₂-Äquivalente, CO₂eq, siehe Glossar) bzw. als Treibhauspotenzial (GWP, siehe Glossar) ausgedrückt. Wenn im Folgenden von THG oder CO₂-Äquivalenten die Rede ist, sind die oben genannten THG gemeint. Mit CO₂-Äquivalenten werden in den Ökobilanzdaten und Resultaten die kumulierten Wirkungen verschiedener THG bezogen auf die Leitsubstanz CO₂ ausgedrückt. Die Treibhauswirkung der einzelnen Stoffe wird dabei auf Basis der Treibhauspotenziale des 5. Sachstandberichts des IPCC (Myhre et al., 2014) quantifiziert.

3.1.6 Nebeneffekte

Im Gebäudebereich existieren zahlreiche Effekte, die sich auch ohne Mitwirkung von THG-Emissionen auf das Klima auswirken, wie die Albedo und das Mikroklima (Hitzeinseleffekt). Im Rahmen dieser Arbeit gehen wir auf solche Nebeneffekte nicht ein. Zur Abgrenzung und weil sie relativ bedeutend sind, sollen sie jedoch genannt und kurz erläutert werden (siehe Anhang Kap. 12.1).

3.2 Experteninterviews

Damit wir uns einen Überblick über die Thematik verschaffen konnten, wurden einleitend zur Arbeit mit folgenden Personen Leitfadeninterviews durchgeführt:

- Rolf Frischknecht, Ökobilanzierung, treeze Ltd.
- Cornelia Stettler, Ökobilanzierung, Carbotech AG
- Dietrich Schwarz, Architekt ETH/SIA, Professor für Nachhaltiges Bauen Universität Liechtenstein
- Peter Richner, Stellvertretender Direktor und Leiter Forschungsschwerpunkt Energie an der Empa
- Guillaume Habert, ETH Professor und Leiter des Instituts für Bau- & Infrastrukturmanagement, Chair of Sustainable Construction

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse befindet sich im Kap. 4.1.

¹⁷ Vgl. z. B. Alig et al. (2020).

¹⁸ Kommunikation von Dr. Rolf Frischknecht vom 23.08.2018.

3.3 Wissenschaftliche Literatur

In der Wissenschaftsgemeinde ist unbestritten, dass sich das Klima unter dem Einfluss der Menschen in eine unerwünschte Richtung entwickelt und rasch Massnahmen dagegen ergriffen werden sollten (Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019). Längerfristig (über 2050 hinaus) muss laut IPCC (2018) die globale Emissionsbilanz negativ sein, d. h. die jährliche Entnahme von THG aus der Atmosphäre muss die jährlichen Emissionen übersteigen. Um die internationalen und nationalen Emissionsziele zu operationalisieren, werden sogenannte Budgetansätze verwendet. Die Literatur bietet eine Vielfalt von Ansätzen, die wir hier zusammenfassen.

3.3.1 Äusserst knappes THG-Budget

Die Dringlichkeit des Klimawandels wird im Aufsatz von Obersteiner et al. (2018a) sehr deutlich spürbar. Ein Zuwarten mit einer aktiven Umsetzung von Entnahmetechnologien (wie in der Abb. 1 oben dargestellt) wird von Obersteiner et al. (2018a) stark kritisiert. Sie zeigen die Konsequenzen auf und führen eine lange Reihe von Argumenten auf, wieso sofort (ab 2020) THG im grossen Massstab aus der Atmosphäre entnommen werden müsste (Fall c und d in Abb. 9) und nicht erst ab Mitte des Jahrhunderts (Fall a und b).

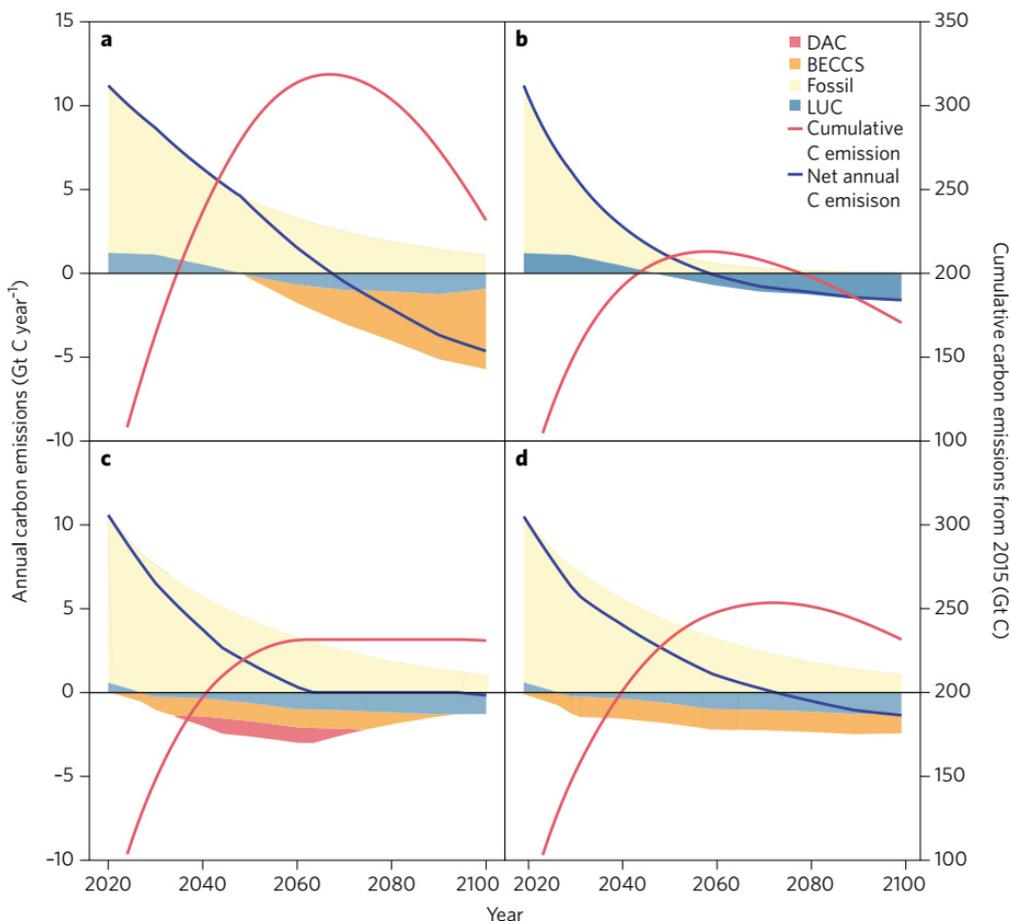


Abb. 9: 4 Archetypen von Emissionspfaden, welche den globalen 2°C-Erwärmungsgrenzwert einhalten, mit den höchsten jährlichen Emissionen im Jahr 2020. Die negativen Emissionen (unterhalb der horizontalen Achse) spielen in allen 4 Szenarien eine wichtige Rolle. Insbesondere ein früher Einsatz von Entnahmetechnologien (Fall c und d) bringt mehr Handlungsspielraum.

DAC = direkte Gewinnung von CO₂ aus der Luft (*Direct Air Capture*), BECCS = Bioenergie mit Kohlenstoffsequestrierung (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage*), LUC = Landnutzungsänderungen, z. B. Aufforstung (*Land Use Change*), blaue Linie = jährliche globale Nettoemissionen (linke Skala), rote Linie = kumulierte Emissionen, welche der Überprüfung dienen, ob das THG-Budget eingehalten werden kann oder nicht (rechte Skala) (aus Obersteiner et al., 2018b, fig. 1).

So können z. B. mit einem frühzeitigen Entfernen von THG ein zu starkes und gefährliches Überschreiten der THG in der Atmosphäre vermindert sowie exponentiell steigende Kohlenstoffpreise vermieden werden (rote Linie (kumulierte THG-Emissionen) in Fall a in Abb. 9 oben). Weiter braucht es zum Ende des Jahrhunderts keine gigantischen Infrastrukturen und Landflächen, um biogenes CO₂ aus Energieprozessen zu speichern, weil BECCS stark zunehmen müssten (vgl. orange Fläche in Fall a in Abb. 9 oben). Als weiterer Grund wird das Vorsorgeprinzip erwähnt – von den Fähigkeiten und der Opferbereitschaft zukünftiger Generationen auszugehen, ist schlicht unvernünftig und ungerecht. Ein frühzeitiger Start von Entnahmestrategien mit terrestrischen und biologischen CO₂-Speicherungsmethoden (Aufforstung und Bodenverbesserung usw., LUC) zahlt sich zudem für die unter Druck stehenden Ökosysteme aus. Mit Abstand die wichtigste Grösse in den Darstellungen sind die jährlichen THG-Emissionen (blaue Linie). In allen Szenarien, die Obersteiner et al. (2018 a) analysiert haben, wird mit Spitzenemissionen (*Peak Emissions*) im Jahr 2020 gerechnet. Verschiebt sich der Peak um nur 5 Jahre in das Jahr 2025, führt dies zu drastischen (auch volkswirtschaftlichen) Konsequenzen, weil bedeutend mehr THG aus der Atmosphäre entnommen werden müssten. Die frühzeitige Entnahme von THG aus der Atmosphäre ist auch darum so wichtig, weil schnelle Reduktionsstrategien wie beim Szenario b (siehe Abb. 9 oben, Halbierung der Emissionen alle 10 Jahre) als unrealistisch betrachtet werden müssen. Eine Halbierung der Emissionen alle 25 Jahre ist realistischer sowie sozioökonomisch verträglicher (Obersteiner et al., 2018c). Die Konsequenz dieser Überlegungen ist die möglichst rasche Verringerung der THG-Emissionen in den reichen Ländern und eine möglichst frühe Entnahme von THG aus der Atmosphäre.

3.3.2 Vorschläge für klimapositives Bauen

Die Wissenschaft befasst sich unter stets wachsendem Druck mit dem Thema. Das „Beratende Organ für Fragen der Klimaänderung“ empfiehlt den Schweizer Behörden für den Baubereich folgende Massnahmen (OCC, 2019):

- Starke Erhöhung und Beschleunigung der Sanierungsraten
- Verbot fossiler Heizungen (Ausnahmen allenfalls zulassen)
- Erlass zukunftsgerichteter und klimaverträglicher Standards und Normen (z. B. SIA), auf die sich in den entsprechenden Gesetzen, Verordnungen oder anderer Ausführungsbestimmungen verweisen lässt (Neubauten wenn möglich im „plusenergie“ Standard planen)
- Hemmnisse für den Umbau (z. B. Denkmalschutz) identifizieren und Lösungsansätze suchen.“

Die Empfehlung konzentriert sich auf die rein betrieblichen Aspekte, die Gebäudetechnik für Heizen, Lüften, Energieproduktion etc. Unerwähnt bleibt, dass die Gebäudeerstellung in einem ähnlichen Mass zu den THG-Emissionen beiträgt wie der Betrieb derselben. Röck et al. (2020) zeigen, dass über den Lebenszyklus betrachtet bei Neubauten auf der ganzen Welt (mit relativ geringen Betriebsemissionen) durchschnittlich rund 25% bis 50% der THG-Emissionen nicht aus der Betriebsphase, sondern aus der Herstellung, Errichtung, dem Ersatz und der Modernisierung sowie dem Rückbau, der Entsorgung und dem Recycling stammen. Bei Mohammed et al. (2013) liegt die Bandbreite des GTHG-Anteils am gesamten Lebenszyklus „zwischen 2% und 80%“. Die Studie von Wyss et al. (2014) weist für Schweizer Bestandesbauten einen Wert von 11.2 kg CO₂eq/m²a aus. Aus eigenen Berechnungen erhielten die AutorInnen der vorliegenden Studie einen Durchschnittswert von 10.7 kg CO₂eq/m²a.

Quelle	GTHG in kgCO ₂ eq/m ² a	Anteil GTHG am gesamten Lebenszyklus
Röck et al. (2020)	11.2 kg 12.0 kg	25% bis 50% 43% (Niedrigenergie) 53% (Bürogebäude)
Mohammed et al. (2013)		2% bis 80%
Wyss et al. (2014a)	11.2 kg	Rund 66%
Eigene Berechnung (vgl. Tab. 15)	10.7 kg	59% (Betrieb: 7.4 kgCO ₂ eq/m ² a)

Tab. 2: Werte der GTHG der Erstellung sowie deren Anteil an den Lebenszyklusemissionen aus der Literatur sowie eigener Berechnung.

Röck et al. (2020) weisen in ihrer Studie von Niedrigenergie-Wohnhäusern (MuKEn 2014 bzw. Minergie/-P oder ähnlich) einen THG-Anteil für die Erstellung von 43% (11.2 kg CO₂eq/m²a) und bei Bürogebäuden von 53% (12.0 kg CO₂eq/m²a) aus. Die meisten der 238 untersuchten Gebäude liegen über dem Richtwert von 11 kg CO₂eq/m²a für Erstellung und Betrieb von Wohngebäuden nach SIA 2040:2017 „Effizienzpfad Energie“.

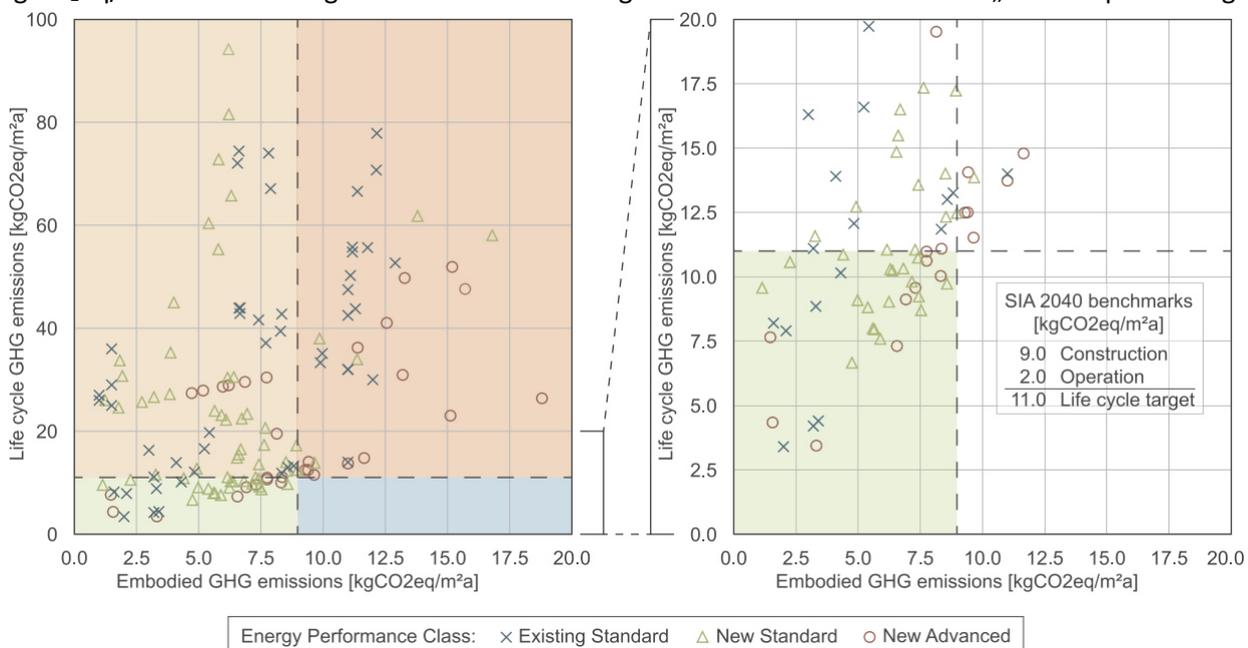


Abb. 10: THG-Emissionen europäischer Wohngebäude über den Lebenszyklus (vertikale Skala) und deren GTHG-Werte pro Jahr (horizontale Skala) in Bezug zu den Zielwerten des SIA-Effizienzpfades Energie (Röck et al., 2020, fig. 5).

Die meisten Objekte liegen ausserhalb der Zielwerte im grünen Feld (links unten).

Dies zeigt laut den AutorInnen, dass es dringend weitere Anstrengungen braucht, um die Emissionen im Betrieb sowie in der Erstellung zu reduzieren.

Dass die Entwicklung von Gebäuden mit einem Netto-null-Lebenszyklus möglich ist, scheint anhand dieser Daten fast unmöglich zu sein. Netto-Null bedeutet eine ausgeglichene Emissionsbilanz über den gesamten Lebenszyklus (linke untere Ecke in Abb. 10 oben). Dies strebt der Bundesrat bis ins Jahr 2050 an.

Ein Beispiel für die Betrachtung der Emissionen aus dem Betrieb und der Erstellung über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes geben Lützkendorf et al. Bei einer Lebenszyklusbetrachtung über alle Phasen (von der Wiege bis zum Grab inkl. der Betriebsemissionen) zeigt sich, dass mit „Netto-null“ beworbene Gebäude in Wahrheit nicht THG-neutral sind. Im dargestellten Beispiel (Lützkendorf et al., 2015, p. 76) resultieren nicht nur beim Betrieb THG-Emissionen (5.0 kg CO₂eq/m²a), sondern nicht überraschend auch über den gesamten

Lebenszyklus betrachtet (12.2 kg CO₂eq/m²a).¹⁹ Aus diesem Grund ist für die AutorInnen eine holistische Betrachtung über den ganzen Lebenszyklus notwendig, ohne die ein „Netto-null-Gebäude“ gar nicht zu realisieren sein wird. Satola et al. (2021) machten im Rahmen einer internationalen Studie zu den zu treffenden Definitionen einen Vorschlag. Wie weit die holistische Betrachtung betreffend der Systemgrenzen gehen darf, darüber besteht jedoch weiterhin Uneinigkeit (vgl. z. B. Renger, Birkeland, und Midmore 2015).

Wegen der Speicherung von CO₂ und einer möglichen Anrechnung dieser Senke als negative Emissionen wird oft eine Bauweise mit Holz als klimapositiv bezeichnet. Die SCNAT erwähnen in ihrem Factsheet den Baubereich als mögliche Senke, denn die Methode „C-Speicherung in Holzbauten“ wird als sicher und technisch ausgereift beurteilt (SCNAT, 2018).²⁰ Andere Publikationen sehen in Betongebäuden (Hepburn et al., 2019) oder wiederum in Holzgebäuden ein Reduktionspotenzial (Churkina et al., 2020).

Klimapositive Baukonzepte müssen idealerweise früh in der Planung mögliche THG-Reduktionsstrategien berücksichtigen. Eine aktuelle Übersicht aus 2 Metastudien zu überprüften Reduktionsstrategien aus der wissenschaftlichen Literatur findet sich in Moncaster et al. (2018):

¹⁹ Dabei wurden sogar Gutschriften durch vermiedene Emissionen aus der Elektrizitätsproduktion durch eine PV-Anlage berücksichtigt.

²⁰ Vgl. dazu das Kapitel 5 Quantifizierung der Reduktionsmassnahmen.

Malmqvist et al. (2018)	Pomponi and Moncaster (2016)
<i>Substitution of materials</i>	
Using timber structures	Use of materials with lower embodied energy and carbon
Using other 'natural' materials	
Using new, innovative materials/components	
Lightweight construction	
<i>Reduction of resource use through building lifetime</i>	
Flexible/adaptable design	Better design
Design for disassembly	
Design for low maintenance	
Optimising building form and design of layout plan	
Reusing building structures	Refurbishment of existing buildings instead of new built
Using recycled and reused materials/components	Inclusion of waste, by-product, and used materials into building materials
Building/service life extension	Extending the building's life
<i>Reduction of construction/end-of-life stage impacts</i>	
Minimising on-site waste material	Reduction, reuse, and recovery of EE/EC-intensive construction materials
Optimising energy use in construction process	More efficient construction processes/techniques
	Increased use of prefabricated elements/off-site manufacturing
Waste recycling in end of life	Increased use of local materials
Reducing end-of-life impact	
Policy and management	Policy and regulations (governments)
	Policy and regulations (construction sector)
	Carbon mitigation offsets, emissions trading, and carbon tax
	Carbon sequestration
	Decarbonisation of energy supply/grid
	Tools, methods, and methodologies
	People-driven change (key role of all stakeholders in the built environment)
	Demolition and rebuild

Abb. 11: THG-Reduktionsstrategien aus 2 Metastudien (aus Moncaster et al., 2018, p. 454).

Die Inhalte und Reduktionsstrategien dieser 2 Artikel wurden nicht aufeinander abgestimmt. So gibt es übereinstimmende Strategien (z. B. Gebäudelebensdauer verlängern) und solche, die mehrere andere zusammenfassen. Im Zwischenfazit (Kap. 4) wird versucht, die Reduktionsstrategien zu harmonisieren und zu ordnen. Im Folgenden stellen wir anhand der 2 genannten Metastudien (Malmqvist et al., 2018; Pomponi and Moncaster, 2016) empirisch geprüfte Reduktionsstrategien vor. Die Unterteilung erfolgt anhand eines groben Planungs- und Bauablaufs: 1. Baukonzepte und Planung (Entwurfsphase), 2. Bauteile und Konstruktionsweise (Projektierung) und 3. Baustoffe und -produkte (Ausschreibung). Als vierter Punkt (4. Kontext) folgt eine Aufzählung von gesellschaftlich/politischen und aktorbasierten Einflussfaktoren, welche in den Kapiteln „Kontext“ und „Erkenntnisse aus der Baupraxis“ angesprochen, aber nachfolgend nicht weiter vertieft werden.

1. Baukonzepte und Planung (Entwurfsphase)	2. Bauteile und Konstruktionsweise (Projektierung)	3. Baustoffe und -produkte (Ausschreibung)	4. Kontext
Anforderungen Besteller (Nachfrageseite)	Effizientere Konstruktionsprozesse, u. a. Vorfertigung	Reduktion, Wiederverwendung und Rückgewinnung von THG-intensiven Baustoffen	Weiterbildung von Fachleuten
Bessere Planung	Leichtbaukonstruktion	Recycling-Materialien und -Komponenten	Praktische Richtlinien für den breiteren Einsatz von klimapositiven Baumaterialien
Erneuerung von Bestandesbauten/Wiederverwendung von Tragwerken	Holz und andere natürliche (u. a. biogene) Materialien	Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen und -Komponenten	Werkzeuge und Methoden
Gebäudelebensdauer	Kohlenstoffspeicherung CO ₂ -Handabdruck	Integration von Abfällen, Nebenprodukten und gebrauchten Produkten in der Baustoffproduktion	Dekarbonisierung des Energiesystems
Gebäudehüllzahl, Gebäudeform und Grundriss	Bauphase Module A4–5 verbessern	Lokale Materialien	Regulierung durch Behörden, Bausektor
Flexible und anpassbare Grundrisse		Natürliche (Biomasse-)Materialien	Kompensationen, Emissionshandel und CO ₂ -Steuer
Planen für Demontage		Neue, innovative Materialien verwenden	Verbesserter Rückbau und Wiederein- oder Aufbau
Dauerhafte Gebäude		Entsorgungsphase (C1–C4, D) verbessern	Sensibilisierung von Investoren und Bauherrschaften
Gebäudetechnik reduzieren			Verankerung von Zielen und Budgets für THG-Emissionen bis 2025
			Regulierung des THG-Fussabdrucks über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes
			Orientierung von Förderprogrammen am Umfang vermiedener THG-Emissionen
			Akteurbedingter Wandel

Tab. 3: Übersicht über die Reduktionsstrategien anhand einer tabellarischen Darstellung, basierend auf den Publikationen von Pomponi und Moncaster (2016) sowie Malmqvist et al. (2018). Die Spalte „Kontext“ umfasst ausserdem die Quelle Sustainable Built Environment D-A-CH Conference (2019, vgl. Anhang) sowie Quellen aus Kap. 12.3.5 „Erkenntnisse aus der Baupraxis“.

Die vertiefte Übersicht zu den wissenschaftlichen Beiträgen befindet sich aus Platzgründen im Anhang.

3.4 Ausgewählte Forschungsprojekte

Um den Projektgegenstand klar gegenüber ähnlichen Projekten abzugrenzen, sollen im Folgenden ähnliche laufende und abgeschlossene Projekte kurz erwähnt werden. Es wurden nur solche Projekte berücksichtigt, die entweder einen klaren Bezug zur Schweiz haben oder inhaltlich über Ländergrenzen hinweg von Bedeutung sind.

3.4.1 Forschungsprojekte Ökobilanzierung

3.4.1.1 Einsparpotenzial an Grauer Energie und THG-Emissionen von Gebäuden – Ein Leitfaden für Fachplaner, ArchitektInnen und Berater

Das Institut für Bau- und Umwelttechnologien (iTEC) der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (HTA-FR) ist dabei, zusammen mit Intep – Integrale Planung GmbH – einen Leitfaden für FachplanerInnen,

ArchitektInnen und BeraterInnen zum Einsparpotenzial an grauer Energie (GE) und THG-Emissionen von Gebäuden zu erstellen. Das Projekt entwickelt u. a. Benchmarks für die Erstellung von Gebäuden (Gebäudestruktur) in der jeweiligen Planungsphase.

Zum Zeitpunkt der Schlussredaktion waren die Endprodukte noch nicht veröffentlicht worden.

3.4.1.2 Ökobilanzen klimafreundlicher Baumaterialien

Die Firma treeze Ltd. erstellte im Auftrag des BFE und des Amt für Hochbauten der Stadt Zürich Ökobilanzen von üblichen Massenbaustoffen wie Zement/Beton, Stahl, Holz, Kunststoff usw. aufgrund zukünftiger Produktionsweisen (Alig et al., 2020).²¹ Der Zeithorizont umfasst die Jahre zwischen 2030 und 2050. Die Auswertung ergab, dass die THG in Zukunft durchschnittlich um 65% unter den Emissionen von heute liegen werden. Bezogen auf konkrete Referenzgebäude können baustoffbasierte Verbesserungen im Umfang von 61% (Bürogebäude) und 55% (MFH) erwartet werden. Realisiert werden die Einsparungen vor allem durch den Wechsel von nicht erneuerbarer auf erneuerbare Energien (z. B. Biogas oder Strom) und der Steigerung der Energieeffizienz bei Produktionsprozessen. Bei besonders herausfordernden Prozessen soll CCS angewendet werden.

3.4.1.3 Ökologische Bewertung Holzprodukte

Das Ingenieurbüro für Holzbau von Urs Christian Luginbühl führte im Namen vom Schweizerischen Verband für geprüfte Qualitätshäuser (VGQ) und der Holzindustrie Schweiz (HIS) eine ökologische Neubewertung von Holzprodukten durch. Die gewonnenen Daten sind mit dem Addendum der KBOB vom Januar 2020 bereits in die KBOB-Liste aufgenommen worden.²²

3.4.1.4 Bilanzierung des biogenen Speichers bei Holzkonstruktionen

Im Auftrag der Initiative Holz Bern (Lignum, Sektion Bern) erstellte die Firma Quantis AG aus Zürich Treibhausgasbilanzen für Holzprodukte. Dabei wurden die biogene Speicherung, die Art der Waldbewirtschaftung sowie die Speicherzeit berücksichtigt. Ziel der Initiative Holz Bern war es, die Vorteile des biogenen Baustoffs Holz herauszuarbeiten.

Der Bericht wird nicht veröffentlicht.

3.4.1.5 Wiederverwendung

Katrin Pfäffli untersucht im Auftrag der Stadt Zürich (Fachstelle Nachhaltiges Bauen) am Beispiel des Projekts Lagerplatz Winterthur des Baubüros in situ, wie wiederverwendete Bauteile bei der Bilanzierung nach SIA 2032 zu berechnen sind und wie hoch die Ersparnis durch die Wiederverwendung ist. Das Projekt ist Teil des Forschungsprojekts „Zirkuläres Bauen“ des ZHAW-Instituts Konstruktives Entwerfen. Die Resultate sollen im Sommer 2021 in einem Buch mit dem Arbeitstitel „Bauteile wiederverwenden. Eine Standortbestimmung zum zirkulären Bauen“ publiziert werden.

Zum Zeitpunkt der Schlussredaktion waren die Endprodukte noch nicht veröffentlicht.

²¹ Konkret: «Zement (Klinker) und Beton; Backsteine; Gipskartonplatten; Flachglas; Aluminium; Kupfer; Nickel; Stahl; Zink; Holzwerkstoffe (Dreischicht-Laminatplatten, Brettschichtholz, Spanplatten und Weichplatten); Glaswolle; Steinwolle; Linoleum und Kunststoffe (PE, PVC, EPS- und XPS-Dämmung sowie PLA)» (Alig u. a. 2020, vii).

²² Kann hier heruntergeladen werden: https://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Liste_Oekobilanzdaten_herstellerspezifisch_Addendum_Juni_2020_v1_0.xlsx [11.06.2020].

3.4.1.6 Berücksichtigung der Kohlenstoffspeicherung in der Ökobilanzierung von Gebäuden

Die Stadt Zürich will über einen Studienauftrag eruieren, wie die Speicherung von biogenen THG in Gebäuden berücksichtigt werden könnte und welches Potenzial diese Betrachtungsweise mit sich bringt. Churkina et al. (2020), welche im Projektbeschrieb zitiert werden, führen ins Feld, dass der vermehrte Einsatz von kohlenstoffspeichernden laminierten Holztragstrukturen als Ersatz von konventionellen mineralischen Baustoffen den Klimawandel abschwächen könnte.

Zum Zeitpunkt der Schlussredaktion waren die Endprodukte noch nicht veröffentlicht worden.

3.4.1.7 Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft bzw. mit Mitteln aus dem Waldklimafonds von Deutschland finanziert. Die Ergebnisse wurden im April 2017 publiziert (Hafner et al., 2017).²³

Das Projekt kommt zum Ergebnis, dass in Deutschland durch eine Steigerung der Holzbauquote in den folgenden Jahren „[...] ein Potenzial für eine Erhöhung des Kohlenstoffspeichers besteht sowie durch Substitution eines Teils der mineralischen Baustoffe ein grosses Potenzial zur Reduktion der THG-Emissionen vorhanden ist.“ (Hafner et al., 2017, p. 9). Die Top-down-Betrachtung ergab, dass die Speicherwirkung im Rahmen der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls anrechenbar sei. Weiter setzt sich die mögliche „[...]Klimaeinsparung aus dem spezifischen Einsparpotenzial und dem Marktvolumen[...]“ zusammen (Hafner et al., 2017, p. 9). Die Arbeit berücksichtigte die Tragstrukturen von Wohngebäuden. Wenn zusätzlich der Ausbau berücksichtigt würde, könnte der Klimaschutzbeitrag ev. verdoppelt werden. (Hafner et al., 2017)

3.4.2 Forschungsprojekte mit ähnlichem Schwerpunkt

3.4.2.1 Ökonomische Argumente für Institutionelle Bauherrschaften (IBH)

Das Centre for Corporate Responsibility and Sustainability (CCRS) der Universität Zürich erarbeitete in einem ersten Schritt an einem Vorprojekt Grundlagen für eine weitere Vertiefung. Beim Vorprojekt war das Ziel die Identifikation von möglichen Themen- und Handlungsfeldern, um die monetären Vorteile des Holzbaus bei Investitionsentscheidungen und der Bewertung aufzuzeigen. (Zea, 2018)

Beim nachfolgenden Projekt „Immobilienwirtschaftliche Lösungsansätze zur Ausschöpfung des Potenzials des Holzbaus – Entwicklung von DCF²⁴- und LCCA²⁵-Modellen sowie Datenbanken für den Holzbau“ (Publikationsdatum: 12.10.2019) geht es darum, mittels DCF- und LCCA-Datenbanken und -Modellen biogenes CO₂ im Holz ökonomisch zu bewerten (um dadurch den Holzbau zu fördern). Die Ergebnisse zeigen klar, dass zum einen die Speicherung von CO₂ und zum anderen vermiedene Emissionen in Form eines Energiegewinns einen wirtschaftlichen Nutzen aufweisen. Der Nutzen besteht im in der Holzkonstruktion gespeicherten (europaweiten) Preis für CO₂-Emissionen. Nicht einig ist man sich, auf welchem (Preis-)Niveau sich diese Speicherwirkung befindet. Weiter besteht der wirtschaftliche Nutzen darin, dass beim Rückbau des Gebäudes das Holz als klimaneutrales Brennmaterial thermisch verwertet werden kann. Entscheidend ist, dass diese Vorteile mit einem

²³ Das Dokument kann hier heruntergeladen werden: https://www.ruhr-uni-bochum.de/reb/mam/content/thg_bericht-final.pdf [13.05.2020].

²⁴ Siehe Glossar.

²⁵ Siehe Glossar.

System nationaler Richtlinien (Stichwort „Energiestrategie 2050“) und konkretisiert durch das CO₂-Gesetz verknüpft werden (Zea and Universität Zürich, 2019).

3.4.2.2 Gebäudebilanzen graue Energie: Ergänzung mit dem Indikator THG-Emissionen

Die Geschäftsstelle des Vereins ecobau hat das Zusatzkriterium mit Grenzwerten "graue Energie" um ein frei wählbares Kriterium "THG-Emissionen" ergänzt. Das Projekt soll Grenzwerte für THG-Emissionen entwickeln und mit dem Standard SNBS/NNBS abgleichen. Als Ergebnis soll am Ende des Projekts ein Werkzeug THG-Emissionen vorliegen, welches den Baufachleuten zur Verfügung gestellt werden kann. Das Werkzeug liegt vor und kann auf der Webseite von ecobau heruntergeladen werden.²⁶ Berichte wurden keine veröffentlicht.

3.4.2.3 Verbundprojekt „Energiearmer Beton“

Dieses Forschungsvorhaben ist ein Teilprojekt des „Nationalen Forschungsprogramms 70: Energiewende“ des Schweizerischen Nationalfonds. Das Projekt „Energiearmer Beton“ ergab folgende Ergebnisse:

„Auf Materialebene wurde ein neues ternäres Gemisch²⁷ mit Zement entwickelt, bei dem der Klinker-Anteil ohne Einbusse der Frühfestigkeit um bis zu 65% reduziert werden konnte. Auf struktureller Ebene wurden neue Betonlösungen mit nicht-metallischen Verstärkungen entwickelt und getestet, um Probleme mit der Alterungsbeständigkeit zu vermeiden. Die Ergebnisse zeigten, dass es möglich ist, die Emissionen, um bis zu 50% zu senken, indem ein hoher Anteil des Zements mit Zementersatzstoffen²⁸ substituiert wird. Bezogen auf die Zusammensetzung lassen sich bis zu 80% der Kohlendioxidemissionen durch Materialoptimierung und strukturelle Hybridisierung²⁹ vermeiden.“³⁰

Das Projekt ist abgeschlossen und sämtliche Ergebnisse können auf der entsprechenden Webseite (siehe Fussnote) abgerufen werden.

3.4.2.4 Kompensationsprojekt Senkenleistung Schweizer Holz³¹

Aufgrund des Artikels 14 im alten CO₂-Gesetz³² wurde es der Schweizer Holzwirtschaft ermöglicht, für allfällige Senkenleistungen (keine negativen Emissionen im Sinne der Wissenschaft, sondern nur Vermeidungen) vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) Gutschriften zu erhalten. Die methodische Grundlage für die Erhebung der Senkenleistung bildet das BAFU (2021) ab.³³ Weil die Bescheinigungen³⁴ mittels Emissionshandelssystem (EHS) der Schweiz an Schweizer Unternehmen mit hohen THG-Emissionen verkauft werden können, darf die THG-Senke nur aufgrund des Kompensationsprojekts ausgewiesen werden (Additionalitätsprinzip). Ohne Projektcharakter entstandene allfällige Senkenleistungen können nicht angerechnet werden. Der Gesuchsteller muss deshalb in einer detaillierten Beschreibung nachweisen, dass die Senkenleistung nur aufgrund der beschriebenen Projektanstrengungen zustande kommt. Basis der Berechnung bilden die THG-Emissionen des

²⁶ Siehe: <https://www.ecobau.ch/index.cfm?Nav=15&ID=14> [28.06.2021]

²⁷ Gemisch aus drei Stoffen: Gesteinskörnung, Sand und Zement.

²⁸ Zementersatzstoffen; Supplementary Cementitious Materials, SCM, wie z. B. Silikatstaub, Flugasche, Hochofenschlacke.

²⁹ Beispielsweise mit Holz-Hybrid-Konstruktionen, Stahl-, Polyethylen- oder Basaltfasern oder vorgespannt mit Karbonfasern. Anmerkung AutorInnen: Die Trennbarkeit und nachgelagerte Recyclierung (zirkuläres Bauen) wird mit solchen Methoden in Frage gestellt.

³⁰ Siehe: <http://www.nfp70.ch/de/projekte/gebaeude-und-siedlungen/projekt-habert> [27.05.2020].

³¹ Mehr Informationen: <https://www.klik.ch/de/Aktivitaeten/Plattform-Unternehmen.125.html?fsid=28&view=2> [26.05.2020].

³² CO₂-Gesetz: «Art. 14: Die Leistung der Senken von verbautem Holz ist anrechenbar.» (Schweizer Bundesversammlung, 2011)

³³ „Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland. Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung. 7. aktualisierte Ausgabe 2021“ (BAFU, 2021).

³⁴ Bescheinigungen für vermiedene THG-Emissionen.

Referenzszenarios, welches den Zustand ohne das Kompensationsprojekt beschreibt. Die Senkenleistung kann aus der Differenz der THG-Emissionen zwischen dem Referenzszenario und dem Kompensationsprojekt bestimmt werden.

Beim Projekt des Vereins Senke Schweizer Holz (SSH) bildet das Referenzszenario „[...]die Menge des von allen Sägereien und Holzwerkstoffproduzenten eingesetzten Schweizer Holzes.“ (Hermann, 2013, p. 5) Diese Menge ist aufgrund widriger Marktbedingungen in der Tendenz sinkend. Die Additionalität des Projekts wird wie folgt charakterisiert: Es werden zusätzliche Massnahmen ergriffen, die mit dem Erlös aus den Bescheinigungen finanziert werden. Dazu zählen beispielsweise „[...]die Erhöhung des Einkaufspreises von Rundholz oder die Herabsetzung von Verkaufspreisen der Holzprodukte.“ (Hermann, 2013, p. 4) Für das Jahr 2018 wurde gemäss dem letzten Verifizierungsbericht für eine Menge von 399'696 t CO_{2eq} Bescheinigungen ausgestellt (GEO Partner AG, 2019).

3.5 Praxisbezogene Reduktionsstrategien und -massnahmen

Die kommerziellen Reduktionsstrategien werden entsprechend der oben in der wissenschaftlichen Literatur (Anhang) bzw. gemäss Abb. 11 eingeführten Struktur dargestellt. Die Strategien sind entlang eines Bauplanungsablaufs gegliedert, beginnend mit dem Baukonzept. Erläuterungen aus der Literatur zum „Kontext“ und zu „Erkenntnissen aus der Baupraxis“ des klimapositiven Bauens werden hier nicht dargestellt.

1. Baukonzepte und Planung (Entwurfsphase)	2. Bauteile und Konstruktionsweise (Projektierung)	3. Baustoffe und Bauprodukte (Ausschreibung)
Vollholzkonstruktion	Dauerhafte Gebäude	Andere schnellwachsende biogene Materialien
Wiederverwendung von bestehenden Tragwerken	Effizientere Konstruktionsprozesse	Recycling-Materialien verwenden
Flexible und anpassbare Grundrisse	Leichtbaukonstruktionen	Reduktion, Wiederverwendung und Rückgewinnung von THG-intensiven Baustoffen
Vorfertigung	Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Integration von Abfällen, Nebenprodukten, bereits verwendeten Materialien
Bauphase verbessern	Planen für Demontage	Hochofenzement (CEM III/B) und andere
Flächensparende Grundrisse		Natürliche (Biomasse-)Materialien
Möglichst geringe EBF pro Kopf		Entsorgungsphase verbessern
Kompakte Gebäudeform		Strohdämmung
Holzkonstruktion		Hanfstein
Holzkeller		Made of Air Polymer
Gebäudetechnik reduzieren		Carbcrete
		Schaumglasschotter
		FenX
		Scrimber/GRASSBuilt
		Terrabloc
		Cleancrete
		PARNATUR®
		Neustark/Zirkulit, Carbon8, MCI carbonates, Fortera, Solidia, Carbon Cure, LC3
		Lehmschaum

Tab. 4: Einordnung der unten vorgestellten Praxisbeispiele in die Übersicht der Reduktionsstrategien (vgl. Kap. 3.3)

Wichtig ist zu erkennen, dass nicht nur Baustoffe sowie Bauprodukte präsentiert werden, sondern auch planerische Vorgehensweisen und Strategien, die lange vor der Ausschreibungsphase oder der eigentlichen Bauplanung zur Anwendung gelangen sollten. Bauherrschaften und Investoren sollen ermutigt und motiviert werden, die Reduktionsstrategien bei den PlanerInnen einzufordern. Für die klimafreundliche Beschaffung gibt es bereits heute Vorgaben (Kuittinen, Matti and Le Roux, Simon, 2018). Umgekehrt sind die Planer aufgerufen, diese Dienstleistungen anzubieten und die Bauherrschaften zu sensibilisieren.

Die folgende Darstellung entspricht einer Momentaufnahme. Die kommerziell verfügbaren Produkte und Vorgehensweisen zur Reduktion von THG-Emissionen beim Bauen werden sich schnell weiterentwickeln und zunehmen.

3.5.1 Baukonzepte und Planung

Mit „Baukonzepte und Planung“ sind die ersten Planungsphasen nach SIA gemeint. Bereits während der strategischen Planung (Phasen 11–13, vgl. Tab. 11), welche vielleicht noch ganz in den Händen der Investoren und Bauherrschaften liegt, werden aufgrund der beabsichtigten Nutzung, des Standorts und der Ausrichtung auf den Markt wichtige Entscheide getroffen, die später unumkehrbar sind.

Grossen Einfluss auf das Gebäudekonzept haben die Vorstudienphasen (inkl. Wettbewerbe, Phasen 21–22). Hier werden Entscheide zur Gestalt des Gebäudes sowie zur Geometrie und allenfalls zur Materialisierung der Tragstruktur gefällt, die später nicht mehr hinterfragt werden. Eine Prüfung verfügbarer natürlicher oder

wiederverwendbarer Materialien für einen späteren Einsatz kann bereits zu diesem Zeitpunkt notwendig sein. Weiter ist hier ein günstiger Zeitpunkt, um sich zur Gebäudetechnik Gedanken zu machen, damit entsprechende Entscheide architektonisch und gestalterisch umgesetzt werden können.

Die Phasen der Projektierung (Phasen 31–33) werden – zumindest teilweise – noch zu „Baukonzept und Planung“ gezählt. Hier werden tragende und nicht tragende Raumabschlüsse definiert und deren Materialisierung festgelegt. Gleichzeitig besteht hier die letzte Chance, eine modulare Bauweise oder zumindest teilweise Vorfertigung anzustreben.

Die entsprechenden Beispiele finden sich ab Kapitel 12.4.1 im Anhang.

3.5.2 Bauteile und Konstruktionsweise

Mit „Bauteile und Konstruktionsweise“ werden Aspekte der Projekt- und Ausführungsplanung angesprochen. Die Phasen der Projektierung und Werkplanung (vgl. Abb. 51 unten) weisen laut Häkkinen et al. (2015) den grössten Hebel zur THG-Einsparung auf. Auf dieser Planungsstufe kann der Bauablauf mittels Vorfertigung optimiert werden (vgl. Kap. 12.4.1.4 unten). Weiter kann – wenn nicht schon vorher geschehen – das Materialkonzept bezüglich THG-Emissionen optimiert und die Statik (Lastabtragung, Leichtbau) effizient gestaltet werden.

Die entsprechenden Beispiele finden Sie ab Kapitel 12.4.2 im Anhang.

3.5.3 Baustoffe und Bauprodukte

Im zeitlichen Planungsverlauf wird der Spielraum für klimapositives Bauen stetig kleiner. Wenn entschlossen gehandelt wird, können im Bereich der „Baustoffe und Bauprodukte“ noch Einsparpotenziale identifiziert werden. Die Ausschreibungsphase (Phasen 41–42) ermöglicht den PlanerInnen, verschiedene Produkte und Materialien auszuschreiben und gegeneinander abzuwägen. Häufig ist es keine Preisfrage, ob klimafreundliche Produkte eingebaut werden oder nicht. Es geht vor allem darum, daran zu denken und entsprechenden Materialien eine Chance zu geben. Die Ausführungsplanung gibt auch die Möglichkeit, Dinge so zu konstruieren, dass sie später zerstörungsfrei und sortenrein rückgebaut sowie allenfalls wiederverwendet werden können.

Die entsprechenden Beispiele finden sich ab Kapitel 12.4.3 im Anhang.

3.6 Normgebung und Standardisierung

Im Bereich der Normen gibt es viel Veränderung. Grundlegende Normen zur Ökobilanzierung und damit Ausgangsbasis für eine Bilanzierung der THG werden von der ISO zur Verfügung gestellt. Es sind dies die Norm ISO 14040:2006, welche Aussagen zu den Grundsätzen und Rahmenbedingungen der Ökobilanzierung macht, sowie die Norm ISO 14044:2018, in der neu verschiedene ältere Normen (ISO 14041, 14042 und 14043) zusammengefasst wurden. Diese Norm dient als Anleitung zur Durchführung von Ökobilanzen von einzelnen Produkten oder Dienstleistungen. Weitere relevante Normen und Standards für die Quantifizierung von THG-Emissionen und für deren Berechnung bei der Gebäudebewertung werden im Folgenden beschrieben. Berücksichtigte Grundlagen und eigene Ansätze für Berechnungen im Rahmen dieser Studie sind in Kapitel 5 dargestellt.

Mit Produktbilanzen und Regelungen zum Thema CO₂-Fussbdruck befasst sich ISO 14067:2018. Im Bereich Produktbilanzen wurde auch ein französischer Standard (BP X 30–323) entwickelt, welcher sich industriellen Massenprodukten widmete und 2015 im Zuge von europäischen Entwicklungen auf diesem Gebiet zurückgezogen wurde. Ein weiterer Standard für Produktbilanzen (und ausdrücklich keine Norm) ist die britische PAS

2050:2011 [2008]. Dieser Standard widmet sich ausschliesslich den THG-Emissionen und -Senken (*Removals*) in Produkten und Dienstleistungen. Aufgrund der darin enthaltenen Würdigung der Besonderheiten von THG hat der Standard international eine grosse Verbreitung erfahren. Die Norm EN 15804:2012+A2:2019 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ wurde erst kürzlich publiziert und gehört zum modularen Konzept für die Ökobilanzierung ganzer Gebäude, ausgehend von den verwendeten Produkten. Diese Norm wird für Bauprodukte als Standard für Umweltproduktdeklarationen nach ISO 14025 verwendet und entsprechende Umweltproduktdeklarationen werden bei der Gebäudebewertung in Programmen wie LEED, BREEAM und DGNB eingesetzt. Die Norm EN 15804 unterscheidet sich von den in der Schweiz verwendeten SIA-Standards. Aus diesem Grund wurde die letzte Version der Norm EN 15804 bzw. ein Entwurf davon in Werner/Frischknecht (2018) diskutiert und mit dem Schweizer SIA-Merkblatt 2032:2010 bzw. der Richtlinie KBOB (2015) verglichen. Obwohl die AutorInnen Empfehlungen zur teilweisen Übernahme gewisser Aspekte aus der neuen europäischen Norm machten, blieben diese bei der darauffolgenden Revision der 2032:2020 grösstenteils unberücksichtigt. Für diese Studie entscheidend sind folgende Differenzen: In der SIA 2032:2020 fehlt die Phase D „Vorteile und Belastungen ausserhalb der Systemgrenze“ ganz. Weiter werden auch keine durchgehende biogene Kohlenstoffbilanz³⁵ oder detaillierte Aussagen zum Abfallstatus am Ende des Lebenszyklus und dem damit verbundenen Potenzial der Baumaterialien am Lebensende durch ein Recycling oder eine Wiederverwendung verlangt.

Das Merkblatt SIA 2032:2020 [2010] (SNR 592032, keine Norm) wurde zur Ökobilanzierung der grauen Energie und der THG-Emissionen sowie zu Umweltbelastungspunkten (UBP) von Gebäuden entwickelt. Die revidierte Ausgabe trat im Jahr 2020 in Kraft. Berechnungen nach dieser Methodik werden von den Schweizer Nachhaltigkeitslabels eingefordert. Dazu bestehen auch verschiedene geprüfte Softwarelösungen. Die Anforderungen an die Qualität der Ökobilanz-Datengrundlagen orientiert sich an den Empfehlungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich. Eine Berechnung erfolgt ausgehend von entsprechend durch die Plattform geprüften Ökobilanz-Datengrundlagen zu Baumaterialien und technischen Anlagen, Stromprodukten und Wärmeerzeugung, Transporten und Entsorgungsprozessen, welche in der KBOB-Empfehlung 2009/1 publiziert und periodisch aktualisiert werden.

Im Anhang werden die Normen aufgrund ihrer Funktionsweise beschrieben und in 3 Kategorien aufgeteilt: in produktbasierte Ökobilanznormen (bottom-up, Lebenszyklus Produkte), in Methoden zur Erstellung nationaler THG-Inventare (bottom-up und top-down, länderspezifische Stoffflüsse) und in Normen und Vorgaben für Ökobilanzen von Gebäuden (bottom-up, Gebäude Lebenszyklus, Anwendungen mit einer Kombination von Bauprodukten und technischen Anlagen), die in der Baubranche angewendet werden. Im besten Fall können diese Normen als sich ergänzende Anleitungen gesehen werden, im schlechtesten Fall als sich konkurrierende Erklärungsmodelle. Die produktbasierten Normen (bottom-up) sind sehr präzise geregelt. Ihre Schwäche liegt jedoch bei Bauprodukten darin, dass bei langen Nutzungsdauern die EoL-Szenarien sehr vielfältig und aufgrund ihrer weit in der Zukunft liegenden Realisierung im Prinzip nicht verlässlich bestimmbar sind. Methoden zur Verfolgung von aktuellen Stoffflüssen auf Länderebene (top-down) können zu den Materialbeständen und dadurch indirekt zu den aktuellen EoL-Szenarien eine Aussage machen, können aber zukünftige Entwicklungen wiederum nicht voraussehen. Die in der Baubranche schliesslich angewendeten Normen erlauben es den Akteure/Akteurinnen, auf Benchmarks hinzuarbeiten, sie sind aber von der Datenqualität der vorhergehenden Schritte abhängig.

Die entsprechenden Unterkapitel finden sich ab Kapitel 12.5 im Anhang.

³⁵ In naher Zukunft soll allerdings in der KBOB-Liste der biogene C-Speicher abgebildet werden. Vgl. dazu Kap. 4.4.1.

3.7 Anreizinstrumente in Europa und der Schweiz

3.7.1 Förderinstrumente

Eine Durchsicht des Factsheets des Zentrums für Umweltforschung der Helmholtz-Gemeinschaft (vgl. Ludwig et al., 2017) für das Beispiel Holz zeigt eine Fülle an Fördermöglichkeiten. Im Folgenden wird eine Auswahl an direkt und indirekt wirkenden Förderinstrumenten vorgestellt, welche stellenweise bereits in Kraft gesetzt sind oder noch Ausbaupotenzial haben.

Förderinstrument	Funktionsweise	In Kraft	Art
Innovationsförderung	CO ₂ -Bonus pro kg verbautes Holz in der Tragstruktur	München (30 Eurocent pro kg), Stadt Hamburg	
Lebenszyklusbasierter Ansatz bei der Energiegesetzgebung	Anstatt nur Betriebsenergie soll z. B. auch die Herstellungsenergie bzw. die THG berücksichtigt werden.	Vereinzelte Sondernutzungsplanungen in Schweizer Gemeinden. SIA-Effizienzpfad Energie, 2000-Watt-Areale	
Sondernutzungsplanung, Nutzungsbonus	Festsetzung von Vorgaben zum nachhaltigen Bauen auf Areal- und Objekt-ebene, die mit einer höheren Ausnutzung belohnt werden	Diverse Gemeinden	
Verpflichtung öffentlicher Bauherrschaften	Verpflichtung öffentlicher Bauherrschaften zum nachhaltigen Bauen	Bund und einzelne Kantone	Regulierung
Verpflichtung öffentlicher Bauherrschaften	Verpflichtung kommunaler Bauherrschaften zum energie- und umweltgerechten Bauen: Gebäudestandard 2019.1 (Energie Schweiz and SVKI, 2020)	Gemeinden	
Beschaffungsvorgaben bzw. nachhaltige Beschaffung	Der Handlungsspielraum bei öffentlichen Beschaffungen soll ausgenutzt werden.	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB)	
Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzrecht	Rahmenbedingungen zu Bauabfällen verschärfen. Neue Deponien schweizweit kaum mehr bewilligungsfähig	Zögerliche Entwicklungen in einzelnen Kantonen	
Umweltabgaben bzw. Internalisierung von externen Umweltkosten (Monetarisierung)	Auf nicht nachhaltige (Bau-) Stoffe wird eine Abgabe erhoben.	Bund: CO ₂ -Abgabe Zementwerke Grossbritannien, Dänemark und Schweden	
Schärferer Emissionshandel	Emissionshandel wird mit höheren Preisen für Emissionszertifikate ertüchtigt.	Die Zertifikatspreise sind europaweit und in der Schweiz zu tief, um genügend wirksam zu sein.	Monetär
Zulassung von Kompensationsprojekten zum Emissionshandel	Negative oder vermiedene Emissionen des Baubereichs können zertifiziert werden und somit am Emissionshandel teilnehmen.	Bisher nur für Holzprodukte im Rahmen der „Branchenlösung“ des Vereins Senke Schweizer Holz (SSH) zulässig ³⁶	
Nachhaltige Normen	Die einschlägigen Normen sollen Themen des klimapositiven Bauens konsequent aufnehmen und widerspiegeln.	Grossbritannien ³⁷ Schweiz: SIA-Effizienzpfad Energie (in Revision)	Branche

³⁶ Vgl. BAFU (Hrsg.) 2020: Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland. Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung. 6. aktualisierte Ausgabe, Januar 2020; Erstausgabe 2013. Umwelt-Vollzug Nr. 1315. Im Zuge des an der Abstimmung vom 13.06.2021 gescheiterten revidierten CO₂-Gesetzes wäre eine Erweiterung auf andere Bereiche denkbar gewesen.

³⁷ Vgl. BSI: «PAS 2050:2011 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services».

Förderinstrument	Funktionsweise	In Kraft	Art
Zertifikate und Standards	Pionierhafte Anforderungen betreffend klimapositives Bauen, die über das gesetzliche Minimum hinausgehen, werden mit einem Zertifikat/Prädikat belohnt.	SIA-Effizienzpfad Energie (in Revision), 2000-Watt-Areale	

Tab. 5: Bestehende Förderinstrumente in der Schweiz und in Europa.

3.7.2 Implizite Förderung

Eine implizite Förderung klimapositiven Bauens ist zum Beispiel vorstellbar, wenn sich bestimmte Rahmenbedingungen ändern, sodass klimapositives Bauen gegenüber konventionellen Bauweisen bessergestellt wird. In diesem Bericht kann dies z. B. für die geplante Anpassung des Merkblatts SIA 2032 geltend gemacht werden. Wenn der biogene C-Speicher in der KBOB-Liste sichtbar wird, kann diese neue Information bei der Berechnung der THG-Emissionen für die Erstellung ausgewiesen werden und zu einer Sensibilisierung respektive allenfalls einem Umdenken führen. Möglicherweise folgt aus dieser Änderung eine Besserstellung der betroffenen Baustoffe, sofern dieses Kriterium bei Bauentscheidungen ein gewisses Gewicht hat.

3.8 Benchmarks, Standards und Labels

Neben dem Stand der Technik definieren gesetzliche Anforderungen, Vorschriften und Normen das zeitgenössische Bauen. Empfehlungen und Anforderungen zur Reduktion der Klimaauswirkungen (THG) beim Bauen sind bei Energie- und Nachhaltigkeitslabels zu finden, wo sie teilweise breit abgestützt einfließen.

Benchmarks stellen Vergleichswerte dar, mit denen sich individuelle Projekte in Bezug setzen resp. an denen sie sich messen können. Dabei kann es sich um Durchschnittswerte von vergleichbaren Projekten oder um ambitionierte Ziel- oder Grenzwerte handeln. Beispielsweise wird in der SIA 380/1 ein Grenzwert für den Heizwärmebedarf zur Deckung der Wärmeverluste der Gebäudehülle festgelegt, der bei einem Neubau (oder einer Sanierung) eingehalten werden muss. Die Differenz zwischen Projektwert und Grenzwert gibt Auskunft über die Qualität der Gebäudehülle.

Gebäudestandards setzen (meist mehrere) Benchmarks fest, welche durch die Gebäude einzuhalten sind, sofern die Erreichung des entsprechenden Standards angestrebt wird.

Labels und Standards sind vordefinierte Anforderungen, die (meist) als Paket zu erfüllen sind, oft mit Wahlmöglichkeiten innerhalb der Anforderungen und einem minimalen Erfüllungsgrad (von bspw. 60–80%).

Die Zielerreichung von Labels und Standards wird anhand von schriftlichen Nachweisen und Baustellenbegehungen durch eine externe, neutrale Prüfstelle (Zertifizierungsstelle) validiert und die Erfüllung der Anforderungen mit einem Zertifikat bestätigt. Standards und Labels werden von Bauherrschaften angestrebt, um ein definiertes (und in der Öffentlichkeit bekanntes) Qualitätsniveau zu erreichen und dieses einfach kommunizieren zu können.

In der Schweiz kennen wir beispielsweise die Labelfamilie des BFE: Minergie (-P/-A), mit Zusatz -Eco, Gebäudeausweis der Kantone (GEAK), der Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) sowie die 2000-Watt-Areale, welche beim quantitativen Nachweis auf dem SIA-Effizienzpfad Energie basieren.

3.8.1 Konzept 2000-Watt-Gesellschaft

Bei der 2000-Watt-Gesellschaft handelt es sich um ein energie- und klimapolitisches Konzept, welches die Knappheit nachhaltig verfügbarer energetischer Ressourcen und den Klimawandel adressiert. Es wurde Anfang der 90er Jahre angesichts zunehmender Hinweise auf den Klimawandel im Umfeld der ETHZ entwickelt.

Die 2000-Watt-Gesellschaft verfolgt das Ziel, den (durch den Endenergieverbrauch der Einwohnenden verursachten) Primärenergiebedarf bis ins Jahr 2050, auf 2000 Watt pro Person zu senken. Gleichzeitig sollen die THG-Emissionen auf Netto-null resp. (0 t) CO₂-Äquivalente pro Person und Jahr reduziert werden (siehe Abb. 13 unten). Für das Jahr 2030 wurden die Zwischenziele bei 3000 Watt Primärenergie pro Person und bei 3 t THG-Emissionen pro Person und Jahr festgelegt. Die Labels der Label-Familie des BFE sind auf das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft ausgerichtet.

3.8.1.1 Hauptziele der 2000-Watt-Gesellschaft bis 2050

Die 2000-Watt-Gesellschaft verfolgt bis ins Jahr 2050 die 3 folgenden Hauptziele:

Ziel 1: Energieeffizienz – 2000 Watt Primärenergie Dauerleistung pro Person

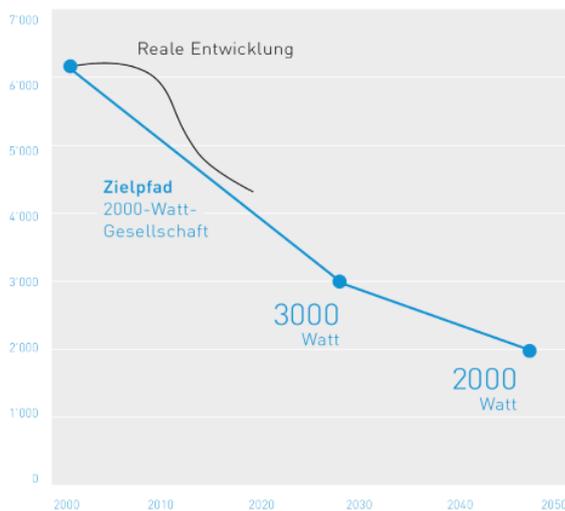


Abb. 12: Zielpfad Primärenergie Schweiz, Dauerleistung in W/EinwohnerIn. Daten gem. Gesamtenergiestatistik Schweiz mal Primärenergiefaktoren gem. KBOB und Kurve der realen Entwicklung (schwarz) (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft and BFE, 2020).

Ziel 2: Null energiebedingte THG-Emissionen

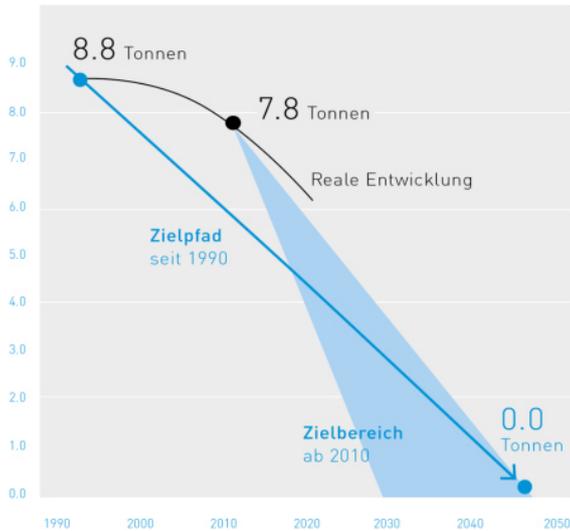


Abb. 13: Zielpfad energiebedingte THG in der Schweiz (in t CO₂eq/EW*a (inkl. Zuliefererkette der Energieträger) sowie Kurve der realen Entwicklung, welche sich über dem Zielpfad befindet (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft and BFE, 2020).

Ziel 3: 100% erneuerbare Energie

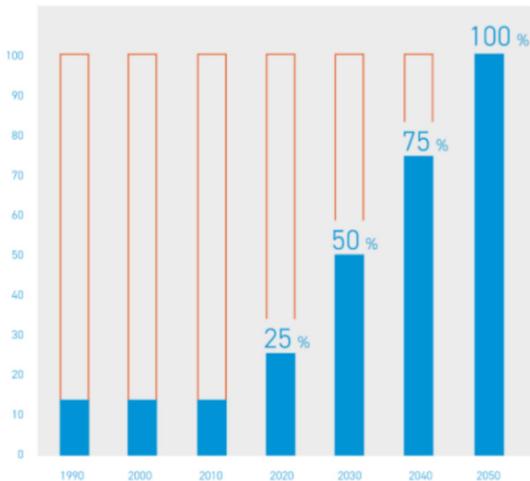


Abb. 14: Zielpfad Anteil erneuerbare Energie (für den Betrieb) in %, blau erneuerbare Energie, orange nicht erneuerbare Energie (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft and BFE, 2020).

Diese Ziele wurden im Jahr 2020 mit den neuen energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen sowie den aktuellen klimawissenschaftlichen Erkenntnissen in Einklang gebracht³⁸ und dabei gegenüber der vorangehenden Fassung deutlich verschärft:

Primärenergie	2030	2050	2100
alt (V. 2014)	k. A.	3500 Watt/EW	2000 Watt/EW
neu (V. 2020)	3000 Watt/EW	2000 Watt/EW	k. A.

THG	2030	spätestens 2050	2100
alt (V. 2014)	k. A.	2.0 t/EW*a	1.0 t/EW*a

³⁸ Unter anderem: 2018 Neue nationale Energiegesetzgebung tritt in Kraft (EnG), 2018 IPCC- Sonderbericht über 1.5°C globale Erwärmung, 2019 Bundesratsbeschluss mit Ziel «Klimaneutrale Schweiz bis 2050».

neu (V. 2020)	3.0 t /EW*a	0 t /EW*a (Netto-null)	k. A.
---------------	-------------	---------------------------	-------

Erneuerbare Energie	2030	spätestens 2050	2100
alt (V. 2014)	k. A.	k. A.	k. A.
neu (V. 2020)	50%	100%	100%

Tab. 6: Zielwerte gem. Leitkonzept 2020 (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft and BFE, 2020) für Primärenergie, energiebedingte THG und Anteil erneuerbare Energie (untere Zeile) im Vergleich mit den Werten aus dem Jahr 2014 (obere Zeile; k. A = keine Angabe für den Wert pro Einwohner (.../EW).

Gemeinde	Areale	Gebäude	Private
 <p>Klima- und Energie-Charta Städte und Gemeinden</p>	 <p>2000 Watt Areal</p>	 <p>Gebäudestandard 2019.1 Energie/Umwelt für öffentliche Bauten</p>	 <p>Diverse Rechner für Analyse der Lebensmodelle</p>
<p>«Charta»</p> <p>«Kalkulator» als Bilanzierungs-Tool</p> <p>«Front-Runner» Programm BFE</p> <p>www.2000watt.ch</p>	<p>Label</p> <p>in Entwicklung</p> <p>im Betrieb</p> <p>in Transformation</p> <p>Basis: SIA-Effizienzpfad Energie</p>	<p>Bauen für die 2000WG bedeutet:</p> <p>«Die Vorgaben des Gebäudestandard Energie / Umwelt von EnergieSchweiz / SVKI einhalten»</p> <p>Basis: Minergie/ECO/ SIA-Effizienzpfad Energie</p>	<p>Diverse Rechner für Analyse der Lebensmodelle</p> <p>footprint.ch</p> <p>ecospeed.ch</p> <p>stadt-zuerich.ch/2000-watt-rechner</p> <p>(Link)</p>

Abb. 15: Die Bilanzierungsgegenstände der 2000-Watt-Gesellschaft gemäss Leitkonzept 2020. Quelle: Tom Blindenbacher. Forum Energie Zürich vom 23.03.2021.

Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft wird auf Regionen, Gebäude und Areale sowie Personen resp. Haushalte angewendet, wobei sich in der Bilanzierung anwendungsbedingt gewisse Unterschiede ergeben. Die Bilanzierung von geografisch definierten Einheiten wie der Schweiz, den Kantonen, Regionen, Gemeinden oder Städten erfolgt über einen Top-down-Ansatz und wird danach mit der Anzahl Einwohnenden zu Pro-Personen-Werten umgerechnet. Für Private werden die THG-Emissionen und der Primärenergiebedarf von Personen (und Haushalten) individuell, das heisst Bottom-up berechnet. Der Konsum von Personen (und Haushalten) enthält den gesamten privaten Konsum (wie Wohnen, Mobilität, Infrastruktur, Ernährung und allgemeiner Konsum). So können Absenktziele für definierte Einheiten festgelegt und aktuelle Zahlen bewertet werden.

Im aktuellen Leitkonzept (EnergieSchweiz and BFE, 2020) wird darauf hingewiesen, dass plausibel begründete, langfristige negative Emissionen (Bindung von CO₂ über mehr als 100 Jahre) als Senken für die Zielerreichung situativ bereits heute mitbetrachtet und mitbilanziert werden sollen und dürfen. (EnergieSchweiz and BFE, 2020)

Allen Bilanzierungsgegenständen gemeinsam ist die Datengrundlage. Die Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ betreut eine Liste mit Primärenergiefaktoren, THG-Emissionskoeffizienten und UBP von Baumaterialien, Gebäudetechnikkomponenten, Energieträgern und Transportleistungen. Die jeweils aktuelle Liste der

Primärenergiefaktoren und der THG-Emissionskoeffizienten kann unter der folgenden Adresse als PDF und Tabellenkalkulationsdatei heruntergeladen werden: www.kbob.ch, Publikationen, Empfehlungen Nachhaltiges Bauen.

3.8.1.2 Einordnung der Gebäude in das 2000-Watt-Konzept

Quantitativ können die 3 Hauptziele³⁹ aus der territorialen Betrachtung der Schweiz als Gebietskörperschaft nicht ohne weiteres auf die Betrachtung der Gebäude (und Areale) übertragen werden. Sowohl der Bilanzierungszeitraum und die Bilanzierungseinheit wie auch der Zielhorizont sind unterschiedlich. Aus den territorialen Zwischenzielen (Kantone, Regionen, Gemeinden und Städte, vgl. oben) wurden „top-down“ Richt- und Zielwerte (sowie Zusatzanforderungen) abgeleitet und „bottom-up“ daraufhin überprüft, ob sie mit den (im Jahr 2017) zur Verfügung stehenden Mitteln (Technologien, Bauweisen etc.) und den Ökobilanzdaten aus dem Jahr 2014 auch tatsächlich realisierbar waren. Damit wurde einerseits der SIA-Effizienzpfad methodisch in Kontext zu den territorialen Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft gestellt. Andererseits wurde aufgezeigt, dass die definierten Richt- und Zielwerte für die 3 Bereiche Betrieb, Erstellung und induzierte Mobilität im Jahr 2017 mittels Best Practices umsetzbar waren. (EnergieSchweiz and BFE, 2020) Allerdings bestehen für die Gebäudebilanzierung markante Unterschiede, indem auch geogene Emissionen und Emissionen aus der ausländischen Baustoffproduktion mitberücksichtigt werden.

3.8.2 Benchmarks für Gebäude gemäss SIA-Effizienzpfad Energie

Die Anforderungen an Gebäude, basierend auf den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft, wurden im SIA-Effizienzpfad Energie, Merkblatt SIA 2040:2017, definiert (Kommission SIA 2040, 2017) und in der zugehörigen Dokumentation SIA D 0258 (SIA Zürich, 2018) illustriert. Die Anforderungen orientieren sich am Etappenziel 2050. Das neue Leitkonzept aus dem Jahr 2020 verweist auf eine zukünftige Überarbeitung der SIA 2040, ohne bereits eine Verschärfung der Zielwerte vorwegzunehmen (EnergieSchweiz and BFE, 2020). Daher beziehen wir uns hier auf die Werte der aktuell gültigen SIA 2040:2017 (Kommission SIA 2040, 2017).

Pro Gebäudekategorie werden Richt- und Zielwerte sowie Zusatzanforderungen (als Summe von Erstellung und Betrieb) für „Primärenergie nicht erneuerbar“ und „THG-Emissionen⁴⁰“ definiert. Berechnet werden die Gebäudeerstellung (inkl. Entsorgung), der Betrieb und die induzierte Mobilität der Bewohner/innen (bzw. Beschäftigten, inkl. Schüler/innen etc.). Für jede Gebäudekategorie wurde basierend auf der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2010 und dem erweiterten Gebäudeparkmodell gemäss SIA-Effizienzpfad der Istzustand 2010 ermittelt (Martin Jakob et al., 2016). Über die angestrebten Absenkfaktoren wurden daraus die Zielwerte 2050 bestimmt. Für einen Neubau mit Nutzung Wohnen (MFH mit Standardbelegung nach SIA⁴¹) ergeben sich folgende Richt- und Zielwerte:

³⁹ 2000 Watt Primärenergie pro Einwohner, null energiebedingte Treibhausgasemissionen, 100% erneuerbare Energie.

⁴⁰ Die THG-Emissionen werden als kg CO₂-Äquivalent pro Flächeneinheit angegeben. Zu den Treibhausgasen zählen neben Kohlendioxid (CO₂) Methan (CH₄), Lachgas resp. Distickstoffmonoxid (N₂O), verschiedene Fluorkohlenwasserstoffe, Perfluorkohlenstoffe, Schwefelhexafluorid sowie die im Kyoto-Protokoll nicht regulierten Substanzen der voll- und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe FCKW und H-FCKW. Es werden die aktuellsten Treibhauspotenziale (Global Warming Potentials, GWP) des Intergovernmental Panel on Climate Change verwendet (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft, 2014).

⁴¹ Gemäss SIA wird als Standard eine Nutzfläche (EBF) von 60 m²/Person angenommen. Bei höherer Belegung werden (für den Betrieb und die Mobilität) höhere Werte eingesetzt (Kommission SIA 2040, 2017).

Wohnen	Primärenergie nicht erneuerbar kWh/m ²		THG-Emissionen kg/m ²	
	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
Richtwert Erstellung	30	20	9.0	5.0
Richtwert Betrieb	60	70	3.0	5.0
Richtwert Mobilität	30	30	4.0	4.0
Zielwert	120		16.0	14.0
Zusatzanforderung (Erstellung & Betrieb)	90		12.0	10.0

Tab. 7: Neubau, Gebäudekategorie Wohnen: Zielwerte, Zusatzanforderung und orientierende Richtwerte bei Standardbelegung nach SIA, bezogen auf die EBF in einem Jahr. Die THG-Emissionen werden als CO₂eq in kg/m²*a ausgegeben und deren Richtwert bei Wohnnutzung liegt für die Erstellung bei 9.0 kg/m²*a (Kommission SIA 2040, 2017).

Für Neubauten der Nutzungskategorie Wohnen liegt der Richtwert THG für die Erstellung bei 9.0 kg/m²*a, der Zielwert bei 16 kg/m²*a und die Zusatzanforderung (für Erstellung und Betrieb) bei 12 kg/m²*a. Die einzelnen Richtwerte dürfen über- oder unterschritten und durch die Projektwerte untereinander kompensiert werden, der Zielwert muss jedoch eingehalten werden. Wenn der Projektwert einen Richtwert überschreitet, dient dies als Hinweis, in welchem Bereich mit Verbesserungsmaßnahmen anzusetzen ist.

Die Richt- und Zielwerte variieren in Abhängigkeit zur Nutzung. Es wurden Zielwerte für Neu- und Umbauten der Gebäudekategorien Wohnen, Wohnen mit Belegungsvorschriften, Verwaltung, Schule, Fachgeschäft, Lebensmittelgeschäft und Restaurant definiert.

3.8.2.1 Berechnung der GTHG

Zur Berechnung der GTHG wird auf die Berechnungsmethodik des Merkblatts SIA 2032, Graue Energie – Ökobilanzierung (SIA Zürich, 2020) zurückgegriffen. In diesem Merkblatt liegt der Fokus neben der grauen Energie auch bei den THG-Emissionen der Erstellung. THG-Bilanzierungen können, ähnlich dem Wärmeschutznachweis (SIA 380/1), mit akkreditierten Softwareprogrammen parallel zur Berechnung der grauen Energie berechnet werden. Die Flächen aller Bauteile inkl. Schichtaufbau und Amortisationsdauer werden erfasst und mit den Ökobilanzdaten der KBOB-Empfehlung 2009/1 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB/IBP/Ecobau 2016) verknüpft. Das Ergebnis ist ein auf die EBF bezogener Jahreswert, der mit den oben aufgeführten Benchmarks verglichen werden kann. Ist der Wert zu hoch, kann gezielt optimiert werden. Damit haben Planer ein Werkzeug in der Hand, um die THG-Emissionen zu steuern und zu reduzieren.

3.8.3 Einbezug der GTHG-Emissionen in Labels und Standards

Die Labelfamilie des BFE ist dem Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft verpflichtet. Einige dieser Labels bewerten die THG-Emissionen der Gebäudeerstellung resp. legen Ziel- und Grenzwerte dafür fest: der Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz, das 2000-Watt-Areal-Zertifikat sowie seit 2020 neu auch der Eco-Zusatz von Minergie. Die Bewertungssysteme stehen in Bezug zu den Grenz- und Zielwerten gemäss SIA-Effizienzpfad Energie (Kommission SIA 2040, 2017).

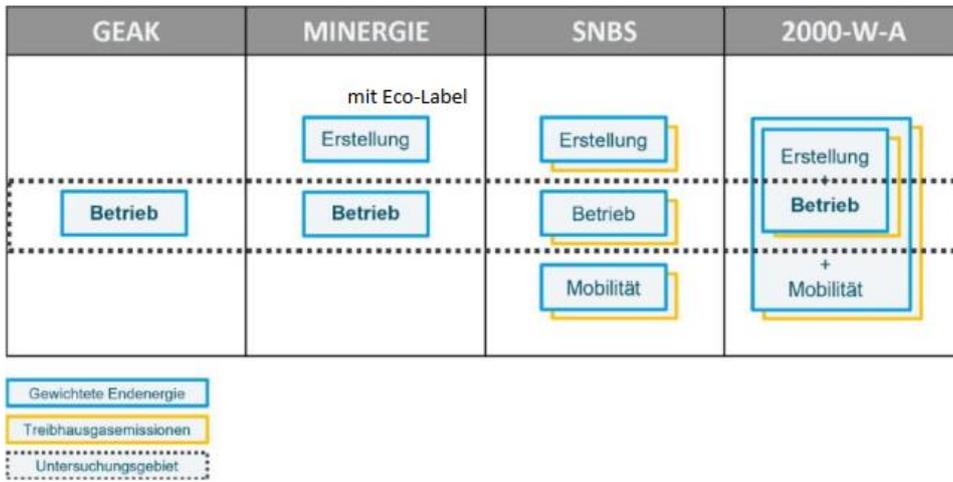


Abb. 16: Übersicht über die BFE-Labelfamilie: Die gelbe Markierung zeigt den Einbezug der THG-Emissionen. Die Labels SNBS und 2000-Watt-Areal bewerten die THG-Emissionen für die Erstellung sowie neu auch der Minergie-Label-Zusatz Eco.

3.8.3.1 2000-Watt-Areale

Ab einer Grösse von 10'000 m² Geschoss- oder Parzellenfläche gilt eine Überbauung als Areal und kann eine Zertifizierung nach 2000-Watt-Areal anstreben. Die quantitative Bilanzierung eines Areals basiert auf der Methodik des SIA-Effizienzpfades Energie gemäss Merkblatt 2040 (Kommission SIA 2040, 2017). Die Bilanzgrenze umfasst, anstelle eines einzelnen Gebäudes, alle auf dem Areal befindlichen Gebäude und Tiefbauten. Die Projektwerte sowie die Richt- und Zielwerte für das Areal werden aus der Summe der einzelnen Gebäude berechnet. Abgesehen vom Datenumfang entspricht die Arealberechnung dem Vorgehen für Gebäude gemäss dem Merkblatt SIA-Effizienzpfad Energie, unterscheidet sich aber in folgenden Punkten:

Bei Arealen wird neben der Primärenergie nicht erneuerbar und den THG-Emissionen auch die Primärenergie gesamt ausgewiesen, und dies inklusive der Eigenproduktion von erneuerbaren Energien innerhalb des Bilanzperimeters. (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft, 2014)

3.8.3.2 Minergie

Der Eco-Labelzusatz von Minergie war das erste Gebäudelabel in der Schweiz, welches die GE in die Labelvergabe für Neubauten und Modernisierungen mit einbezogen hat. Seit 2020 werden auch die THG berücksichtigt, dabei folgt die Bewertung der Methodik jener der grauen Energie.

Für eine Zertifizierung müssen die Grenzwerte für GE und THG einhalten werden. Der obere Grenzwert (GW2) darf nicht überschritten werden, der untere Grenzwert (GW1) gilt als Zielwert.

Ein Projektwert, der im unbefriedigenden Bereich (rot) liegt, ist durch eine Projektanpassung zu korrigieren, ansonsten kann das Projekt nicht zertifiziert werden (Ausschlusskriterium).

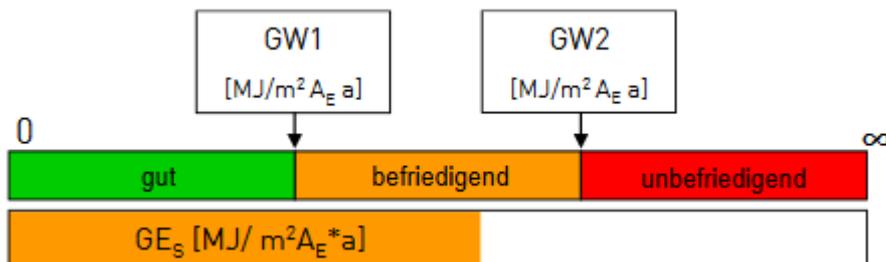


Abb. 17: Die beiden Grenzwerte bezeichnen den Übergang zwischen gut (grün) und befriedigend (orange) (GW1) sowie zwischen befriedigend (orange) und unbefriedigend (rot) (GW2) (Minergie Schweiz, 2021). Projekte mit einem Wert über dem Grenzwert 2 können nicht zertifiziert werden. (Hier dargestellt ist die Einheit für GE, die Einheit für THG ist kg CO₂/m²*a.)

Um die Anforderungen für Neubauten mit Nutzung erneuerbarer Energien (bspw. Photovoltaik) nicht zu erschweren, da diese Technologien GE/THG-lastig sind, werden die Grenzwerte anhand folgender Parameter objektspezifisch berechnet:

- Gebäude(haupt)nutzung
- Energiebezugsfläche
- Geschossfläche
- unbeheizte Fläche
- Einsatz von Erdsonden
- Fläche Photovoltaikanlage
- Fläche thermische Sonnenkollektoren

Die Basisgrenzwerte für die beheizten und unbeheizten Flächen wurden aus dem Effizienzpfad Energie (SIA 2040) abgeleitet und mittels Fallbeispielen verifiziert.

Aus den Basisgrenzwerten (s. Tabellen oben) und den dazugehörigen beheizten und unbeheizten Flächen sowie aus Angaben zu den verwendeten Haustechnikelementen (PV, thermische Kollektoren, Erdsonden usw.) werden der untere und der obere objektspezifische Grenzwert GW1 und GW2 in kg CO₂eq/m² EBF und Jahr errechnet. Die nachfolgende Tabelle fasst die verwendeten Werte zusammen:

Neubau	Minergie-Eco GW1 (2021) [kg CO ₂ /m ² *a]	Minergie-Eco GW2 (2021) [kg CO ₂ /m ² *a]
Gebäudekategorie	Eigener GW (V. 2021)	
Wohnen MFH Standardbelegung	8	10
Kl. Wohnbauten	8	10.5
Verwaltung	8	11
Schule	8	11
Fachgeschäft	11	16
Lebensmittelgeschäft	11	16
Restaurant	8	13
Museen	11	14
Spital	11	16
Industrie	11	14
Kl. Schulbauten	8	11.5
Sportbauten	11	14
Zusatz		
Unbeheizte Fläche GF-AE	2.8	4.7
Photovoltaikanlage	13.3	13.3
Thermische Solarkollektoren	5.2	5.2
Erdsonden	0.3	0.3

Tab. 8: Grenzwerte GW1 und GW2 für Neubauten nach Nutzung mit Zusatz für unbeheizte Flächen sowie PV-Anlagen, Solarkollektoren und Erdsonden zur Errechnung der projektspezifischen Grenzwerte (Minergie Schweiz, 2021).

Die Projektwerte werden nun zu den objektspezifischen Grenzwerten in Relation gesetzt. Daraus ergibt sich der Erfüllungsgrad für die THG-Emissionen des Projektes.

Im Sanierungs- resp. Modernisierungsfall wird davon ausgegangen, dass einzelne Bauteile (Aussenwände Erdgeschoss/Obergeschosse, Dächer, Bodenplatte, Fenster/Aussentüren, Photovoltaikanlage, Sonnenkollektoren,

Erdsonden, Sanitieranlage, Elektroanlage, Lüftungsanlage, Wärmeerzeuger und -verteiler und die Innenbauteile) erneuert (ersetzt oder ergänzt) werden. Hier wurden für jedes Bauteil einzelne Basisgrenzwerte bestimmt, woraus die objektspezifischen Grenzwerte berechnet werden. Für die Haustechnikelemente gelten dieselben Zusätze wie für Neubauten.

Nutzung	Aussenwände über Terrain [kg CO ₂ /m ² a]		Dächer [kg CO ₂ /m ² a]		Bodenplatte [kg CO ₂ /m ² a]		Fenster / Aussentüren [kg CO ₂ /m ² a]		Innenbauteile [kg CO ₂ /m ² a]	
	GW1	GW2	GW1	GW2	GW1	GW2	GW1	GW2	GW1	GW2
	bzgl. Bauteilfläche									
Wohnen										
MFH	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Kleine Wohnbauten	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Verwaltung	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Schule	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Verkauf	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Restaurant	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Museen	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Spital	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Industrie	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Kleine Schulbauten	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Sportbauten	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78

Abb. 18: Basisgrenzwerte für Sanierung/Modernisierung nach Nutzung und Bauteilen zur Errechnung der projektspezifischen Grenzwerte (Minergie Schweiz, 2021).

3.8.3.3 Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS)

Für die Bewertung der GTHG im SNBS 2.1 wird zum einen auf die Grundlagen von Minergie-Eco und zum anderen auf die SIA 2040 zurückgegriffen.

Bei Minergie-Eco wird eine Bewertung basierend auf den Grenzwerten aufgebaut. Die knappe Unterschreitung des oberen Grenzwertes (GW 2) erfüllt die Minimalanforderungen (Note 4), die Unterschreitung des Zielwertes (GW 1) ergibt die volle Punktezahl (Note 6). Die Bewertung sieht wie folgt aus:

BEWERTUNGSMETHODE 2: «MINERGIE-ECO»						
NOTE	1	2	3	4	5	6
WERT [kg/m ² a]	> 1,4· GW2	1,4· GW2 bis 1,2· GW2	1,2· GW2 bis GW2	GW2 bis (GW1+GW2)/2	(GW1+GW2)/2 bis GW1	≤ GW1
SKALIERUNG	Messgrössen 1. Projektwert gemäss Bilanzierungsmethodik «Minergie-ECO» [kg/m ² a]					PUNKTE 1–6

Abb. 19: Bewertungsskala der THG-Emissionen nach SNBS 2.1 gemäss Minergie-Eco (NNBS, 2021, p. 154).

Bei der Bewertung nach SIA 2040 werden die Zusatzanforderungen (Summengrenzwert für Erstellung und Betrieb) als zweite Bewertungsmethode, nachfolgender Skala hinzugezogen:

BEWERTUNGSMETHODE 1: «2000-WATT» NACH MERKBLATT SIA 2040:2017						
NOTE	1	2	3	4	5	6
WERT [%] der Zusatzanforderung Erstellung und Betrieb für THGE	>170	170–151	150–131	130–111	110–91	≤90
SKALIERUNG	Messgrößen 1. Projektwert gemäss Bilanzierungsmethodik «SIA 2032» [kg/m ² a] Hinweis Bei der Bewertungsmethode 1, «2000-Watt», wird die «Zusatzanforderung Erstellung + Betrieb» nach SIA 2040 beurteilt. Somit erfolgt die Bewertung zusammen mit dem Indikator 301.2 «Energiebedarf Betrieb» und beide Indikatoren erhalten die gleiche Note.					PUNKTE 1–6

Abb. 20: Bewertungsskala der THG-Emissionen nach SNBS 2.1 unter Einbezug der Zusatzanforderung (resp. des Summengrenzwertes von Erstellung und Betrieb) (NNBS, 2021, p. 154).

3.8.3.4 Übersicht über die Benchmarks der BFE-Labelfamilie

Neubau	Richtwert Erstellung SIA 2040 (2017)	Minergie-Eco GW1 (2021) [kg CO ₂ /m ² *a]	Minergie-Eco GW2 (2021) [kg CO ₂ /m ² *a]	SNBS 2.1 Bestnote ≤ GW1	SNBS 2.1 Min.-Anford. ≤ GW2
Gebäudekategorie		Eigener GW (V. 2021)		Bezug auf GW M-ECO	
Wohnen MFH Standardbelegung	9	8	10	≤ 8	≤ 10
Kl. Wohnbauten	–	8	10.5	≤ 8	≤ 10.5
Verwaltung	9	8	11	≤ 8	≤ 11
Schule	9	8	11	≤ 8	≤ 11
Fachgeschäft	9	11	16	≤ 11	≤ 16
Lebensmittelgeschäft	9	11	16	≤ 11	≤ 16
Restaurant	9	8	13	≤ 8	≤ 13
Museen	–	11	14	≤ 11	≤ 14
Spital	–	11	16	≤ 11	≤ 16
Industrie	–	11	14	≤ 11	≤ 14
Kl. Schulbauten	–	8	11.5	≤ 8	≤ 11.5
Sportbauten	–	11	14	≤ 11	≤ 14

Tab. 9: Übersicht über Richt- und Grenzwerte der BFE-Labels und -Standards.

3.8.3.5 Ausblick

Minergie-Eco, SNBS und 2000-Watt-Arealerichten sich klar am SIA-Effizienzpfad Energie mit dem 2-Tonnen-Zwischenziel bis 2050 gemäss Bilanzierungskonzept 2014 (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft, 2014) aus. Somit ist nicht gewährleistet, dass sich Projekte, welche nach diesen Labels zertifiziert sind, auf dem Netto-null-Pfad bis 2050 gemäss Leitkonzept 2020 befinden. Deshalb wurde die Revision des SIA-Effizienzpfades Energie in Angriff genommen.

4. Zwischenfazit: Einordnung von Handlungsmöglichkeiten

Im weiteren Verlauf ziehen wir ein erstes Zwischenfazit aus folgenden Unterkapiteln von oben:

- Experteninterviews
- Benchmarks, Standards und Labels
- Wissenschaftliche Literatur

4.1 Zwischenfazit aus den Expertenaussagen

In den folgenden Abschnitten ist das Fazit aus den Experteninterviews zusammengefasst (vgl. Kap. 3.2). Die vollständigen Interviews befinden sich aus Platzgründen im Anhang.

4.1.1 Die Lage ist ernst, die Zeit knapp

Die Betriebsenergie wurde in den letzten 20 Jahren um den Faktor 10 reduziert, doch der CO₂-Ausstoss der Erstellung ist in der Branche nur am Rande ein Thema. Für alles, was heute produziert wird, fallen Emissionen an, welche die Umwelt für die nächsten (50 bis 100) Jahre belasten werden.

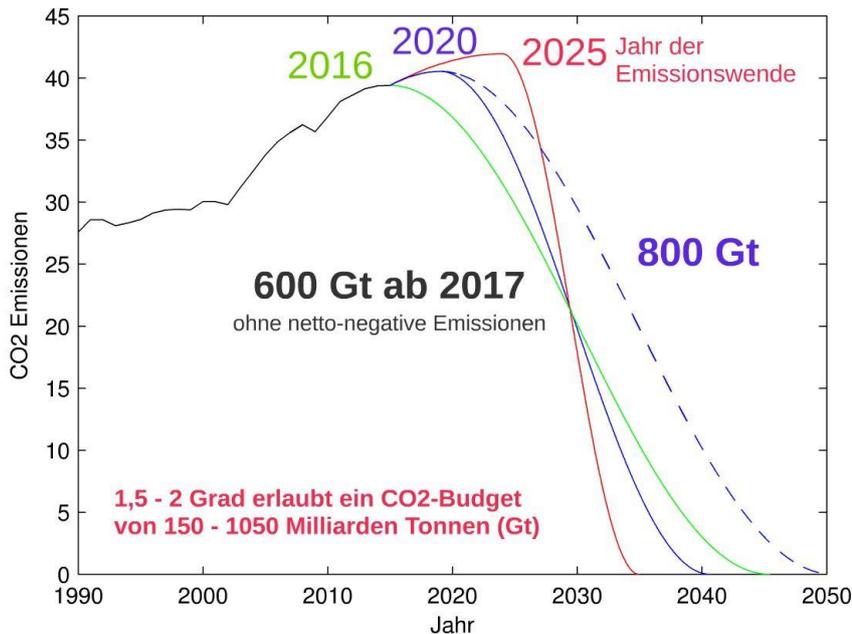


Abb. 21: Globales THG-Budget, unterschiedliche Höchstemissionen und davon abhängige Reduktionspfade. Je länger man mit THG-Vermeidung zuwartet, desto schneller müssen später die Emissionen gesenkt werden (© Prof. Stefan Rahmstorf).

So gesehen ist das Jahr 2050 heute! Die Wissenschaft sollte 10 Jahre im Vorsprung sein, doch es liegen noch keine einfachen technischen Lösungen vor und die Baubranche ist träge. Einzelne Massnahmen reichen nicht, es müssen alle heute möglichen Massnahmen ergriffen werden, um auf den Absenkpfad zu kommen. Das Klimaproblem ist ein Notfall mit Langzeitwirkung. Für einen relevanten Beitrag aus der Baubranche braucht es eine ambitionierte Zielsetzung, Grenzwerte und präzise Analyseverfahren in der Bilanzierung.

4.1.2 Ungenügende Ausbildung der ArchitektInnen

In der Lehre könnten Nachhaltigkeit und Klimaschutz einen höheren Stellenwert einnehmen als bisher vorhanden. Die Mehrheit der Studierenden ist sehr wissbegierig und reagiert betroffen. Doch die ArchitektInnen sind im technischen Bereich bisher ungenügend ausgebildet und Architekturwettbewerbe werden nach anderen Kriterien entschieden, auch wenn in praktisch jeder Ausschreibung Minergie-P oder andere umweltfreundliche Ziele formuliert werden. Die Ausbildung der ArchitektInnen (und der weiteren Planer) braucht den Einbezug der Klimathematik als Bestandteil im Lehrplan.

4.1.3 Fehlende Informationen und Marktransparenz für Bauherrschaften und PlanerInnen

Den BauherrInnen fehlt oft das Wissen, wie sie treibhausgasarmes Bauen einfordern sollen. Den PlanerInnen fehlen verlässliche Informationen, um sich eine Übersicht über die Möglichkeiten für neue Strategien zu verschaffen. Wenn der Markt transparenter wäre, könnten sie selektiver Produkte wählen, was wiederum die Angebotsseite stimulieren würde. Hinzu kommen fehlendes technisches Wissen, fehlende Erfahrung sowie fehlende Herstellergarantien. Dies hält Bauherrschaften und Planer davon ab, neue, innovative Wege zu beschreiten, da sie keine Risiken eingehen wollen, denn beim Bauen können Fehlentscheide schnell teuer werden. Die Entscheide in der ersten Phase bis und mit Vorprojekten prägt das Resultat am stärksten, es braucht ein Bewusstsein für die Konsequenzen dieser initialen Entscheidungen.

4.1.4 Schwierigkeiten der Ökobilanzierung

Die Methode der Ökobilanzierung auf Produktebene (u.a. KBOB) ist definiert und genormt, doch es gibt ungelöste Detailfragen und Verzerrungen in der Bilanzierung, die sich auf die Bilanz auf Gebäudeebene und potenziell auf die Produktwahl auswirken. Veraltete Daten einzelner Produkte, unterschiedliche Produktionsstandorte oder Anpassungen in der Stromerzeugung können den Fussabdruck eines Produktes massiv beeinflussen und zu Verzerrungen in den Vergleichen führen (bspw. PV-Erzeugung in China oder Deutschland, Zementherstellung in der Schweiz, Italien oder Griechenland). So ist es nicht möglich, länderspezifische Daten zu berücksichtigen (z. B. bei PV-Modulen). Dies erschwert den bevorzugten Einsatz von effizient hergestellten Produkten in denselben Materialgruppen. Zu einzelnen Ökobilanzmodulen fehlen z. T. belastbare Daten (z. B. Bauphase, Module A4 und A5, gemäss EN 15804). Wegen unterlassener Harmonisierungsbestrebungen sind Ökobilanzdaten über Landesgrenzen hinweg nur beschränkt vergleichbar. Viele Hersteller scheuen sich davor, für die Schweiz detaillierte Ökobilanzdaten erstellen zu lassen. Eine Aktualisierung inkl. Registrierung der Datengrundlagen der KBOB-Liste für den spezifischen Fall wäre notwendig, ist jedoch mit Aufwand und entsprechend Verzögerungen verbunden.

Auf Länderebene führen unterschiedliche Konzepte und Bilanzregeln wie unter dem Kyoto-Vertrag und nach dem Leitkonzept der 2000-Watt-Gesellschaft zu Verunsicherung unter den Anwendern (vgl. Tab. 13). Der durchschnittliche Architekt oder Bauherr scheut sich infolge der Komplexität davor, sich mit diesen Themen zu beschäftigen.

4.1.5 Unübersichtliche Ausgangslage für eine Regulierung

Zur Reduktion der Betriebsenergie konnte die Aufgabe an ExpertInnen delegiert werden (Gebäudetechniker, Bauphysiker). Die Zulieferungskette von Baumaterialien ist jedoch komplex, da sie aufgrund der Fragmentierung der Produktionsprozesse von vielen einzelnen AkteurInnen abhängt, was die Optimierung der THG enorm erschwert.

4.1.6 Fehlende Regulierung

Für die breite Umsetzung wird Freiwilligkeit nicht reichen, es müssten rasch politische Schritte zur Regulierung der THG-Emissionen bei der Gebäudeerstellung umgesetzt werden. Ein klares Ziel resp. ein Grenzwert wäre hilfreich. Eine Regulierung der THG-Emissionen bei der Gebäudeerstellung (ähnlich Wärmeschutznachweis) wären elegant, da alle Baustoffzulieferer eingeschlossen sind und nicht einzelne Industrien reguliert werden müssten. Mit den KBOB-Ökobilanzdaten und -Bilanzierungsregeln sowie den SIA-Merkblättern 2032 und 2040 liegen in der Schweiz bereits gute Grundlagen vor.

4.1.7 Die externen Kosten von CO₂-Emissionen sind nicht (durchgängig) abgebildet

Für gewisse Arten von CO₂-Emissionen (z. B. Kerosin) gibt es keinen Preis. CO₂-Emissionen müssen immer denselben Preis haben, unabhängig davon, aus welchem Prozess ein CO₂-Molekül emittiert wird. Es darf nicht sein, dass CO₂ aus Heizöl, Diesel, Kerosin und Stahlproduktion nicht gleich viel kostet.

4.1.8 Fehlende Anreize

Von den Bauherrschaften zu den ArchitektInnen bis hin zur Baustoffindustrie fehlt es bei allen AkteurInnen an Anreizen, THG-Emissionen zu vermeiden. Mögliche Anreize wären die Rückverteilung der Emissionskosten, um weniger zu emittieren, das Ausweisen der THG in Baueingaben (unter Angabe eines Ziel- oder Vergleichswertes, um das eigene Projekt reflektieren zu können) usw.

4.1.9 Die Kosten der Massnahmen zur THG-Verminderung sind tragbar

Die ExpertInnen waren sich einig, dass die Kosten für (erste) Massnahmen zur THG-Verminderung bei den Baumaterialien tragbar sind. Mehrkosten sind für die Zielerreichung 2030 vor allem durch den Einbezug von Know-how in Form von Planungsstunden zu erwarten, nicht durch teurere Materialien. Weitere Absenkschritte hin zu Netto-null lassen sich heute jedoch noch nicht beziffern, da die Technologien erst entwickelt werden müssen. Oftmals stehen ökonomische Argumente einer klimafreundlicheren Variante gegenüber. Doch die volkswirtschaftlichen Kosten des Nichthandelns werden deutlich höher sein, denn diese steigen, je länger wir zuwarten.

4.1.10 Zukunftschancen

Jede Schwierigkeit bietet auch Chancen. Die ExpertInnen gehen davon aus, dass die CO₂-Problematik die Entwicklung neuer Technologien und Materialien, die Auseinandersetzung mit alternativen Wohn- und Bauformen, die Digitalisierung (BIM; durch einfachere und genaue Berechnungen), die Vorfabrikation und die industrielle Fertigung (aufgrund von kleinerem Energieverbrauch, kleineren Materialverlusten, effizienter Produktion und Rückgang der THG-Emissionen) befördern. Zudem bieten sich Chancen, die Kreislaufwirtschaft voranzutreiben. Der Bauwirtschaft bietet sich die Chance zur Verbesserung und zur Neupositionierung.

4.2 Zwischenfazit zu Benchmarks und Standards

4.2.1 Gebäudelabel und Standards ausserhalb des Absenkpades

Die oben zusammengetragenen Fakten deuten darauf hin, dass die Zielerreichung (Reduktion 50% bis 2030 resp. Beschränkung der Erderwärmung auf 1.5°C) mit den heutigen Gebäudestandards und Benchmarks nicht gewährleistet ist. Auch in den Experteninterviews wurde auf diesen Mangel hingewiesen. Ein kurzer Vergleich zwischen dem Richtwert Erstellung des Effizienzpfades Energie und den Basisgrenzwerten Minergie bestätigt dies:

	Richtwert Erstellung Effizienzpfad Energie [kgCO ₂ eq/m ² *a]	GW1 Minergie-Eco [kgCO ₂ eq/m ² *a]	GW2 Minergie-Eco [kgCO ₂ eq/m ² *a]
Wohnen	9.0	8.0	10.0
Verwaltung	9.0	8.0	11.0
Schulen	9.0	8.0	11.0
Restaurant	9.0	8.0	13.0

Tab. 10: Richt- und Grenzwerte des SIA-Effizienzpfades Energie und von Minergie-Eco (Kommission SIA 2040, 2017; Minergie Schweiz, 2021).

Der GW2 liegt über dem Richtwert Erstellung nach Effizienzpfad Energie, ein Resultat unterhalb dem GW2 erreicht ein „befriedigendes“ Resultat. Aus der Praxis wissen wir, dass praktisch alle Gebäude im „orangenen“ Bereich, sprich oberhalb des GW1 liegen und kaum ein Gebäude den GW1 unterschreitet. Somit zeigt sich, dass die Grenzwerte bei Minergie nicht den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft (Sept. 2014) folgen und sich noch weiter entfernt vom Netto-null-Ziel resp. dem Pariser Absenkpfad befinden. Hier besteht also dringender Handlungsbedarf. Bauherren, welche nach Minergie-Eco und SNBS bauen, wiegen sich sonst in der falschen Sicherheit, dem Klimawandel entgegenzuwirken.

Gemäss der Bewertung der THG des SNBS wird klar, dass sich die Zielwerte an Minergie orientieren und den Absenkpfad gemäss Pariser Abkommen ebenso wie Minergie nicht einhalten.

Minergie-Eco und SNBS richten sich beide am (veralteten) Effizienzpfad Energie gemäss Bilanzierungskonzept 2014 (Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft, 2014) mit dem 2-Tonnen-Ziel bis 2050 aus.

Es ist zu erwarten, dass mit der Revision des SIA-Merkblattes 2040 auf den Absenkpfad des Pariser Abkommens ausgerichtete Verschärfungen folgen, als erster Schritt bis 2030 mit weiteren Verschärfungen bis 2050. Dabei bleibt zu hoffen, dass diese Anforderungen schnell und einheitlich von den Labels aufgenommen werden.

4.3 Zwischenfazit zur wissenschaftlichen Literatur

4.3.1 Reduktionsstrategien innerhalb der Systemgrenzen

Trotz der vielen unbeeinflussbaren Rahmenbedingungen ist die Bauwirtschaft gut in der Lage, den THG-Ausstoss zu reduzieren und die Klimabilanz von Gebäuden in Richtung des Absenkpfad zu steuern. Diverse Möglichkeiten zeigt insbesondere das Kapitel 12.4 „Praxisbezogene Reduktionsstrategien und -massnahmen“ auf. Ausserdem haben Berufsverbände und andere Akteure/Akteurinnen wie z. B. der SIA oder der NNBS wertvolle Grundlagen und Benchmarks zur Verfügung gestellt (vgl. Kap. 3.8), worin für alle Nutzungskategorien Massnahmen und Grenzwerte definiert sind. Mittelfristig sind weitere Massnahmen für die Zielerreichung Netto-null ab 2030 notwendig. Hierzu zeigt die Studie von Alig et al. (2020) Reduktionspotenziale in der Produktion der einzelnen Baustoffe auf. Nachfolgend werden die heute verfügbaren Reduktionsstrategien, welche später quantifiziert werden sollen, geordnet und kategorisiert.

4.3.2 Kategorienraster

Im Folgenden werden die Aussagen aus dem Kapitel 3 „Stand des Wissens“ in Verbindung mit der Zielsetzung des Projekts „Klimapositiv Bauen“ analysiert und kritisch beurteilt. Um die vorgeschlagenen Massnahmen im Kapitel 3 besser beurteilen zu können, sollen sie in einem Raster geordnet werden. Die Reduktions-

massnahmen werden in den Spalten nach SIA-Bauphasen gruppiert: A) 11–13 Strategische Planung, B) 21–22 Vorstudien, C) 31–33 Projektierung, D) 41–21 Ausschreibung. Abgeleitet von der wissenschaftlichen Literatur werden in den Zeilen 4 Kategorien dargestellt: 1) Senken (temporär/dauerhaft), 2) Zirkuläres Bauen, 3) THG-Effizienz (planerisch) und 4) Ersatz (materiell).

Reduktionsstrategien	SIA-Planungsphasen				
	A) 11–13 Strategische Planung	B) 21–22 Vorstudien	C) 31–33 Projektierung	D) 41 Ausschreibung	E) Kontext ⁴²
1) Senken (temporär/dauerhaft)					
2) Zirkuläres Bauen					
3) Planungseffizienz					
4) Materialeffizienz					

Tab. 11: Kategorienraster für die Reduktionsstrategien. Die Reduktionsmassnahmen werden in den Spalten (A–D) nach SIA-Bauphasen und in den Zeilen (1–4) nach aus der wissenschaftlichen Literatur abgeleiteten Kategorien aufgegliedert. Unter E) Kontext folgen die nicht weiter behandelten Strategien. Quelle: Eigene Darstellung.

Somit können die Reduktionsstrategien im Raster lokalisiert und grob charakterisiert werden. Weiter unten folgt das ausgefüllte Raster (Tab. 12). Im Folgenden wird kurz auf die verschiedenen Kategorien eingegangen.

4.3.2.1 Senken (temporär/dauerhaft)

Die temporären und dauerhaften Senken können heute wie folgt kategorisiert werden: CO₂-Sequestrierung im Boden, biogene temporäre Kohlenstoffspeicher (vgl. dazu Kap. 5.3.4 unten) sowie Sequestrierung in Baustoffen (Mineralisierung). Entsprechende für die Erstellung der Gebäude verfügbare kommerzielle Fallbeispiele wurden im Kapitel 12.4 (siehe unten im Anhang) beschrieben. Wir gehen aufgrund der intensiven Forschungstätigkeit sowie der Entstehung eines neuen Wirtschaftszweiges (Stichwort: Cleantech) davon aus, dass in Zukunft weitere Kategorien dazukommen werden.

Die Sequestrierung von CO₂ im Boden umfasst Materialien und Baustoffe, welche nach der Nutzungsphase Kohlenstoffe, die mittels Pyrolyse gewonnen werden, in geeigneter Form der Erde beigegeben werden können.⁴³ Diese Biokohle (engl. *Biocchar*) dient in der Landwirtschaft der Bodenverbesserung und wird häufig auch mit „Terra Preta“ (Schwarzerde) in Verbindung gebracht (vgl. Hagemann et al., 2018).

Die Gruppe der biogenen temporären Kohlenstoffspeicher beinhaltet sämtliche Biomassematerialien und -produkte, welche über einen bestimmten Zeitraum (zwischen 20 und 60 Jahren oder mehr) in einem Gebäude verbaut sind. In den Normen wird der Effekt der temporären Speicherung nicht berücksichtigt, obwohl Erkenntnisse aus der Forschung nachweisen, dass eine Erhöhung der temporären CO₂-Speichermenge in bestimmten Fällen zu negativen Emissionen führen kann. Weitere Informationen zu diesem Thema finden sich im Kap. 5.3.4.

Die chemische Sequestrierung von CO₂ in Baustoffen steht stellvertretend für eine schnell wachsende Zahl an neuen Materialien mit der Möglichkeit, THG aus der Atmosphäre (oder direkt angegliedert an Verbrennungsprozesse) einzufangen, stofflich zu verwerten und dabei dauerhaft in Baumaterialien zu binden. Beispielweise

⁴² Diese Spalte bleibt leer. Begründung: Kontextuelle Massnahmen im Bereich der Politik, Gesellschaft usw. stehen nicht im Zentrum dieser Arbeit.

⁴³ Mit Sequestrierung ist eine dauerhafte Bindung der THG gemeint (vgl. Glossar). Das Material wird nur beigemischt, nicht kompostiert. Bei der Kompostierung von z. B. organischem Material werden ursprünglich gebundene atmosphärische Kohlenstoffe durch Bodenlebewesen wieder freigesetzt.

können aus biologischen Quellen Kunststoffbestandteile gewonnen (vgl. Flexen PE), über chemische Verfahren (vgl. Made of Air) oder durch beschleunigte Betonkarbonisation atmosphärisches CO₂ dauerhaft gebunden werden.

4.3.2.2 Zirkuläres Bauen

Zirkuläres Bauen ist ein Schlagwort, welches rasch an Bedeutung gewinnt. Die entsprechenden Reduktionsstrategien können über den ganzen Bau- und Planungsprozess angewendet werden. Beispielsweise kann die Planung auf die Optimierung der Rückbaubarkeit und der Demontage Rücksicht nehmen. Oder es werden nur Materialien und Produkte verwendet (Ausschreibung), die recycelbar sind und im Sinne des zirkulären Bauens auch für zukünftige Bauaufgaben wiederverwendet werden können.

Weiter weisen erste Angebote in die Richtung, dass Bauprodukte über eine bestimmte Nutzungsphase hinweg gemietet und nicht mehr gekauft werden (*Product as Service*). Damit obliegt die Verantwortung, die gebrauchten Produkte zurückzubauen und wiederzuverwerten, den jeweiligen Unternehmen.⁴⁴ Reduktionsstrategien dieser Gruppe fokussieren u. a. auf den Umstand, dass die Wiederverwendung von bestehenden Gebäuden, Tragwerken, Bauteilen, Bauprodukten und Bestandteilen deutlich weniger THG verursacht, als wenn diese neu erstellt bzw. produziert werden müssen. Dies bedeutet, dass diese Reduktionsstrategien auf verschiedenen Masstabebenen und über den gesamten Bauprozess verteilt zur Anwendung gelangen können. Hinsichtlich der Ökobilanzierung können Einsparungen durch die Folgenutzung ausserhalb der Systemgrenze anfallen, wie bei einer Planung einfach demontierbarer Elemente (Modul D, EN 15804:2012+A2:2019). Die positiven Effekte nach dem Abbruch werden dem nachfolgenden Gebäude angerechnet. Nach heutiger Praxis kann dies in der Ökobilanz des ersten Gebäudes nicht berücksichtigt werden (vgl. auch Kap. 3.1.4 zur zeitlichen Systemgrenze, oben). Trotzdem haben solche Einsparungen einen Einfluss auf den Klimaschutz und werden in dieser Arbeit mit einem potenziellen Nutzen separat adressiert und ausgewiesen.

4.3.2.3 Planungseffizienz

Bei dieser Gruppe von Reduktionsstrategien geht es darum, bei der Planung einen möglichst geringen Ausstoss an THG zu verursachen. Die Massnahmen und Strategien dazu sind divers. Es können Aspekte der Suffizienz zur Anwendung gelangen, weglassen ist die erste und einfachste Form, um durch einen minimalen Ressourceneinsatz eine höhere THG-Effizienz zu erreichen. Der Materialverbrauch wird bereits in einer frühen Planungsphase durch eine kompakte Gebäudeform, Leichtbauweise sowie gut nutzbare und effiziente Grundrisse geprägt. In der Konstruktionsplanung können ebenfalls früh Entscheide in Richtung (modularer) Vorfertigung und Leichtbau getroffen werden.

4.3.2.4 Materialeffizienz

Die Kategorie Ersatz weist Ähnlichkeiten zu derjenigen der THG-Effizienz auf, mit der Ausnahme, dass nicht Herstellungsprozesse optimiert werden, sondern ganze Bauteile, Konstruktionen oder (Trag-)Strukturen durch alternative ersetzt werden. So kann beispielsweise eine mineralische Tragstruktur durch eine Holztragstruktur ersetzt werden. Baustoffe und -produkte können nach Kriterien der THG-Intensität ausgeschrieben werden, synthetische, metallische und mineralische Materialien durch biogene oder Recycling-Materialien, „natürliche“ oder neue, innovative Baustoffe ersetzt werden. Es kommen immer mehr Produkte auf den Markt, die nur noch einen Bruchteil der THG von konventionell hergestellten verursachen.

⁴⁴ Weitere Informationen unter: <https://circularhub.ch/magazin/details/umar-macht-zirkulaeres-bauen-vor/> [25.06.2020].

4.3.3 Kategorisierung der Reduktionsstrategien

Hier werden die Reduktionsstrategien im Raster eingeordnet. An die Stelle der Spalte „E) Kontext“ tritt neu die Spalte „E) Erneuerung“. Hier werden Strategien aufgeführt, die sich für die Anwendung bei Gesamtsanierungen u.Ä. eignen.

Reduktionsstrategien	SIA-Planungsphasen				
	A) 11–13 Strategische Planung	B) 21–22 Vorstudien	C) 31–33 Projektierung	D) 41 Ausschreibung	E) Erneuerung
1) Senken (temporär/dauerhaft)	Holzkonstruktionen verwenden	Holzkonstruktionen verwenden	Natürliche und lokale (Biomasse-)Materialien verwenden	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden Reduzieren der THG-Intensität	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden
2) Zirkuläres Bauen	Gebäudelebensdauer Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Gebäudelebensdauer Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling Wiederverwendungs-, Rückgewinnung und Recycling-Potenzial optimieren (Modul D)	Gebäudelebensdauer Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling
3) Planungseffizienz	Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz) Komfortanforderungen möglichst ohne Gebäudetechnik erfüllen	Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz) Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis) Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5) Komfortanforderungen möglichst ohne Gebäudetechnik erfüllen	Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5) Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)		
4) Materialeffizienz		Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Neue, innovative Materialien verwenden Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden Neue, innovative Materialien verwenden Reduzieren der THG-Intensität	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden

Tab. 12: Darstellung der Reduktionsstrategien, abgeleitet von der Tabelle in Abb. 11. Eigene Darstellung.

Aufgrund von weiteren Produktrecherchen (vgl. Kap. 3.5) sowie Quervergleichen zu Herzog (2020) und dem Forschungsprojekt unter Kapitel 3.4.1.1 können einzelne Reduktionsstrategien ergänzt werden. Die Darstellung in Tab. 12 beruht jedoch weiterhin vor allem auf 2 Metastudien, (vgl. Abb. 11 oben) welche wir bereinigt

und zusammengeführt haben. Insbesondere entfallen einige doppelte Erwähnungen und es werden ähnliche Reduktionsstrategien zu einer einzigen zusammengefasst.

4.3.4 Handlungsmöglichkeiten ausserhalb unserer Systemgrenzen

Wie im Kapitel 3 „Stand des Wissens“ dargestellt, gibt es viele Handlungsmöglichkeiten, die ausserhalb der Systemgrenzen bzw. des Einflussbereiches der Bauwirtschaft liegen. Dies kommt besonders in den Experteninterviews (Kap. 4.1), dem Kapitel „Kontext“ (Kap. 12.3.4) sowie den Förder- und Anreizinstrumenten (Kap. 3.7) zur Geltung. Da dieser Bericht jedoch die Baubranche (als Akteurin) im Fokus hat, vertiefen wir dies nicht weiter.

4.4 Neueste Entwicklungen des SIA-Merkblatts 2032 und der KBOB-Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich

Im Zuge der Projektarbeit kam es zu einem Treffen mit Vertretern⁴⁵ der Normkommission SIA 2032 „Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden“ und der KBOB. Um die Vorteile im Rahmen einer Gebäudebewertung auszuweisen und beurteilen zu können, sind klare Regeln wichtig. Da in der Norm bisher keine Regeln für die Methode und Handhabung der Anrechnung „biogener Speicher“ und der „Wiederverwendung“ von Bauteilen und Baustoffen beschrieben waren, stellen die AutorInnen der Normkommission Fragen bezüglich allfälliger Weiterentwicklungen dieser Aspekte. Die Antworten werden nachfolgend vorgestellt und kommentiert.

4.4.1 Biogene Speicher

Gemäss der Normkommission SIA 2032⁴⁶ wird die neue KBOB-Empfehlung für Ökobilanzdaten ab dem Jahr 2021 bei den Baumaterialien den Gehalt an biogenem Kohlenstoff in kg C ausweisen. Der (temporär) im Gebäude gespeicherte biogene Kohlenstoff wird in kg C (und nicht in negativen kg CO₂eq) ausgewiesen (gemäss Vorgabe der europäischen Norm EN 15804+A2). Die direkte Verrechnung (oder Verwechslung) der beiden Werte soll dergestalt verhindert werden. Zur besseren Unterscheidung werden die Begriffe „Fussabdruck“ und „Handabdruck“ geprägt: Der Fussabdruck (kg CO₂eq, ermittelt nach SIA 2032) soll minimiert und der Handabdruck (kg C) maximiert werden. Bei Ersatzneubauten wird empfohlen, eine projektspezifische Nettobilanz des biogenen Kohlenstoffs durch das Freisetzen beim Abbruch und das Einlagern beim Neubau zu berechnen. Falls Werte pro Jahr benötigt werden, sollen die Amortisationszeiten gemäss SIA 2032 angewendet werden. Zur Regulierung könnten gegebenenfalls Mindestanforderungen für den Handabdruck definiert werden (z. B.: min. X kg C pro m² EBF für Neubauten).

4.4.2 Wiederverwendung

Die Wiederverwendung hat mit dem Wegfall der Neuproduktion ein sehr hohes Einsparpotential. In der Praxis fehlen jedoch Erfahrungen und es gilt verschiedene Hindernisse zu überwinden. Es ist noch nicht absehbar, ob

⁴⁵ Katrin Pfäffli, Rolf Frischknecht, Sébastien Lasvaux.

⁴⁶ E-Mail von Herrn Frischknecht am 29.09.2020.

und wann neue Erkenntnisse und Ansätze in die KBOB-Empfehlungen einfließen werden. Einige Grundsätze sind aufgrund von laufenden Forschungsprojekten absehbar:⁴⁷

Wiederzuverwendende Bauteile tragen keine Umweltbelastungen aus der ursprünglichen Herstellungsphase (analog zu Baustoffen, die ins Recycling gehen). Der Erstnutzende trägt auch die gesamte Entsorgung des Baustoffes. Transporte, Auffrischungsarbeiten etc. werden hingegen dem wiederverwendeten Bauteil angerechnet.

Dem Erstnutzenden werden für ein allfälliges zukünftiges Wiederverwenden von Bauteilen in 30 bis 60 Jahren keine Gutschriften zugeschrieben, da die potenziell vermiedenen Treibhausgas-Emissionen in 30 Jahren nahe null sind (globales Netto-null-Ziel gemäss Pariser Klimaabkommen).⁴⁸ Auch recycelten Baustoffen werden aus demselben Grund keine Gutschriften angerechnet.

⁴⁷ E-Mail von Herrn Frischknecht am 29.09.2020. Weiter ist 2021 folgendes Buch zum Thema erschienen: Bauteile wiederverwenden. Ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Park Books. Zürich (Eva Stricker et al., 2021).

⁴⁸ Wenn Erstnutzende eine Gutschrift erhalten würden, müssten die Zweitnutzenden eine Lastschrift in gleicher Höhe tragen, was Wiederverwenden dem Neuerstellen gleichsetzen und einen Widerspruch zu den oben beschriebenen Berechnungsgrundsätzen darstellen würde.

5.

Quantifizierung der Reduktionsmassnahmen

Die klimarelevanten Auswirkungen von Massnahmen werden mit der Methode der Ökobilanzierung quantifiziert und beurteilt. In diesem Kapitel wird die Methode in Unterkapitel 5.2 kurz vorgestellt. Anschliessend wird in Unterkapitel 5.3 dargestellt, wie die Beurteilung der Massnahmen erfolgt. Dazu gehören unsere Definition des Begriffes „klimapositives Bauen“ sowie die Grundsätze der Bilanzierung.

5.1 Fragestellung, Zielsetzung und Rahmenbedingungen

Die zentralen Fragestellungen, zu denen dieses Projekt einen Beitrag leisten soll, sind in Kapitel 2.5 beschrieben (Fragen 1 bis 4).

Um diese Fragen zu beantworten, werden die folgenden Teilfragen gemäss der in Kapitel 2.5 aufgestellten Hypothesen behandelt:

- Welchen Beitrag leisten Gebäudeerstellung, Materialherstellung und Verwertung bzw. Entsorgung zu den Klimaauswirkungen der Schweiz?
- Welcher Absenkpfad ist in diesem Bereich für die Erreichung der Zielsetzung 1.5° anzustreben?
- Wann ist ein Gebäude als klimapositiv zu werten?
- Wie kann die Zwischenspeicherung von biogenem Kohlenstoff in der Berechnung der GTHG (nach SIA 2032) berücksichtigt werden?
- Wie können wiederverwendete Bauteile in der Berechnung der GTHG (nach SIA 2032) berücksichtigt werden?

Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen sollen Empfehlungen für eine klimapositive Bauweise mit konkreten Massnahmen erarbeitet werden. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

- Ermittlung des Istzustandes
- Bestimmung des Zielpfades für Gebäude
- Definition des Begriffes „klimapositives Bauen“ in dieser Arbeit
- Festlegung der Berechnungsgrundlage
- Berechnung von ausgewählten, praxisbezogenen Reduktionsstrategien und -massnahmen Tab. 12 (vgl. oben)
- Darauf folgt im nächsten Kapitel die Beurteilung der ausgewählten Massnahmen bezüglich des Beitrags zur Erreichung des Zielpfades.

Damit sollen der Gebäudeerstellung, der Planung und dem Materialeinsatz, den Baustoffen sowie den Bauweisen mehr Beachtung geschenkt und die Erreichung der Klimaziele zur Begrenzung der Erderwärmung auf < 1.5°C unterstützt werden.

Ergänzend zur Reduktion der CO₂-Emissionen wurde das C-Speicher-Potenzial von Materialien (z. B. Holz, Stroh, karbonsierter Beton usw.) und Bauteilen für die Erstellung von Gebäuden bestimmt. Anhand der Bewertung wurde ein möglicher Weg zur Planung von Massnahmen erarbeitet, mit welchen sich einerseits die THG-Emissionen bei der Gebäudeerstellung reduzieren lassen und andererseits auch ein C-Speicher aufgebaut werden kann, der für den Klimaschutz einen relevanten Beitrag leistet.

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt auf dem Thema Klima. Entsprechend werden als Indikatoren der CO₂-Fussabdruck und der CO₂-Handabdruck gemäss der Beschreibung in Kapitel 5.2.2 verwendet. Das heisst, es werden nur die klimarelevanten Auswirkungen betrachtet. Eine umfassende Analyse aller Umweltwirkungen steht nicht im Zentrum dieser Studie und wird nicht durchgeführt. In diesem Sinne wird keine vollständige Ökobilanz erstellt, sondern nur eine Klimabilanz.

5.2 Ökobilanzmethode

Die Ökobilanzierung oder LCA ist eine Methode, um die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt zu erfassen und zu beurteilen. Sie zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Berücksichtigung des gesamten Lebensweges von der Rohstoffbereitstellung über die Produktion, die Nutzung bis zur Wiederverwertung oder Entsorgung. Daher kommt der Name Lebenszyklusanalyse.
- Möglichst umfassende Berücksichtigung der verschiedenen Umweltauswirkungen wie z. B. Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, auf Ökosysteme, Ressourcen und das Klima.
- Quantifizierung der Umweltauswirkungen zu Kennzahlen auf der Basis von wissenschaftlichen Modellen.
- Bewertung der verschiedenen Auswirkungen begründet auf gesellschaftlichen Werten als Basis für Entscheidungen.

Die Ökobilanzierung gilt heute als die umfassendste Methode, um die Umweltauswirkungen von Prozessen, Produkten und Dienstleistungen zu beurteilen.

Das Vorgehen bei der Ökobilanzierung und der Bewertung von Ökobilanzresultaten orientiert sich im Rahmen dieses Projektes an den für den Bereich Bau in der Schweiz etablierten Normen und Standards (siehe Kap. 3.6). Dazu gehören DIN EN 15804 (häufig kurz EN 15804 genannt) „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen– Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ sowie Grundsätze der Bilanzierung von GTHG gemäss SIA 2032:2020 („SIA 2032. Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden.“ 2020). Diese basieren wiederum auf grundlegenden Normen und Standards wie ISO 14'040ff zur Erstellung von Ökobilanzen oder ISO 14'064 oder PAS 2050 zur Berechnung von Klimabilanzen.

Die Erstellung einer Ökobilanz beinhaltet gemäss ISO 14'040ff die folgenden vier Schritte:

- Festlegung der Zielsetzung und Rahmenbedingungen
- Erfassen der relevanten Stoff- und Energieflüsse sowie des Ressourcenbedarfs (Sachbilanz)
- Berechnen der Auswirkungen auf die Umwelt (Wirkbilanz)
Im Rahmen dieses Projektes werden nur die Auswirkungen auf das Klima betrachtet.
- Auswertung und Interpretation

Auf diese Schritte wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

5.2.1 Sachbilanz

In der Sachbilanz wird ein Modell für das zu bilanzierende Produktsystem (Materialien und Bauteile) entworfen und es werden die Energie- und Stoffflüsse sowie der Ressourcenbedarf der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- Die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z. B. der Menge an benötigten Rohmaterialien, Hilfsstoffen, Energiebedarf, Transporten oder Verwertungs- bzw. Entsorgungssysteme.
- Die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z. B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen, z. B. CO₂, VOC, Methan, Stickoxide u. a.

Für die Berechnung der Sachbilanz und der darauf basierenden Berechnung der Klimaauswirkungen werden als Hintergrunddaten sofern vorhanden Daten aus der KBOB-Datenbank verwendet. Darüber hinaus werden auch Ökobilanzresultate aus der Literatur sowie daraus abgeleitete Schätzwerte herangezogen. Zu beachten

ist, dass diese aus Datenbanken, der Literatur und Produktdeklarationen übernommenen Angaben Durchschnittswerte oder Näherungen darstellen. Entsprechend sind die Angaben mit Unsicherheiten verbunden oder können im Einzelfall von den Angaben in diesem Bericht abweichen. Dies muss bei der Interpretation berücksichtigt werden.

5.2.1.1 Unterteilung in Lebensphasen

EN 15804 ist die EPD-Norm für die Nachhaltigkeit von Bauarbeiten und Dienstleistungen. Diese Norm harmonisiert und strukturiert die Umweltinformationen für den Bausektor und macht die Informationen transparent und vergleichbar. Abb. 22 zeigt die dabei übliche Unterteilung der Analyse, Stoffflüsse und Wirkungen. Wir halten uns an diese Struktur.

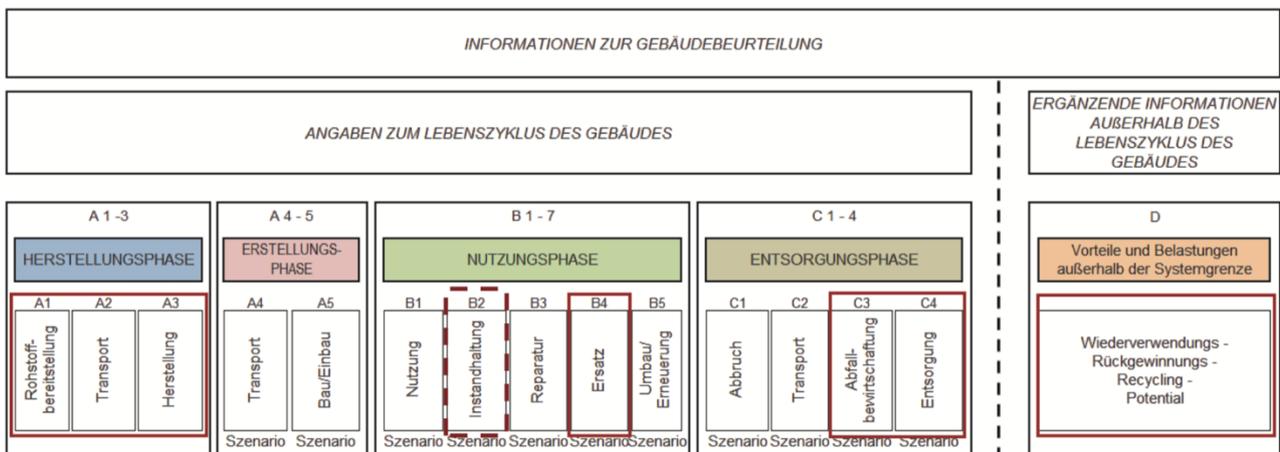


Abb. 22: Unterteilung des Gebäude-Lebenszyklus, von der Herstellung bis zur Entsorgung, in die verschiedenen Phasen nach EN 15804. Die rot umrandeten Phasen werden in dieser Analyse berücksichtigt (DIN/EN, 2019).

Im Fokus stehen in der vorliegenden Studie die Energie- und Stoffflüsse der Materialien und Bauteile für die Erstellung der Gebäude und die damit verbundenen GTHG-Emissionen. Namentlich werden folgende Prozesse beurteilt:

- Rohstoffbereitstellung A1
- Transport A2
- Herstellung A3
- Ersatz B4
- Abfallbewirtschaftung C3
- Entsorgung C4

Gemäss KBOB/SIA umfassen diese im Wesentlichen die Lebensphasen A1–A3 der Herstellungsphase, den Ersatz von Baumaterialien und Bauteilen in der Nutzungsphase B4 sowie die nachgelagerten Prozesse der Abfallströme des Baumaterials in der Entsorgungsphase in C3–C4. Weniger relevante Aspekte der Erstellungsphase A4–A5 sowie die Abbrucharbeiten und Transporte in der Entsorgungsphase C1–C4 werden nicht im Detail analysiert; so werden z. B. für die Transporte Durchschnittswerte in den Berechnungen verwendet.

Bei der Analyse der Reduktionsstrategien für die Erstellung wird grundsätzlich von einer gleichbleibenden Funktion und gleichbleibendem Aufwand im Betrieb ausgegangen. Damit bleibt die gesamte Phase B1–B7, abgesehen vom Ersatz B4, unverändert und wird nicht weiter analysiert.

5.2.1.2 Allokationen

Die Modellierung der betrachteten Produktsysteme, hier Materialien und Bauteile, erfordert an verschiedenen Stellen die Anwendung sogenannter Allokationsregeln (Zuordnungsregeln). Die Frage der Allokation stellt sich dann, wenn ein Produktsystem neben dem eigentlichen, über die funktionelle Einheit abgebildeten Nutzen weitere Zusatznutzen erbringt. Dies ist der Fall, wenn das untersuchte Produktsystem Energie- und Materialflüsse für andere Produktsysteme bereitstellt oder Abfälle verwertet. Im Rahmen dieses Projektes sind Allokationen in den folgenden Fällen relevant:

- **Wiederverwendung von Baumaterialien:**
Die Aufteilung auf die beiden Lebensphasen erfolgt auf der Basis der Amortisationszeiten der Bauteile (gem. SIA 2032). Das bedeutet z. B., wenn ein Bauteil beim Zeitpunkt der Wiederverwendung 60% der Amortisationszeit im Einsatz war, so erhält es bei einer Wiederverwendung 40% der Belastungen. Falls das Bauteil bereits über die Amortisationszeit im Einsatz war, erhält dieses für die Wiederverwendung keine Belastung zugeschrieben. Eine solche Allokation kann in einem spezifischen Fall gemacht werden, bei dem bekannt ist, wie lange ein Bauteil bereits im Einsatz war. Hier soll jedoch der allgemeine Nutzen einer Wiederverwendung betrachtet werden, daher wurde im Rahmen der Berechnungen in diesem Projekt angenommen, dass die wiederverwerteten Bauteile ihre Amortisationszeit erreicht haben und daher keine Belastung der Herstellung des Baumaterials angerechnet wird. Berücksichtigt wurden nur die Aufwände für die Aufbereitung für den zweiten Einsatz. Zudem wird berücksichtigt, dass die Lebensdauer im zweiten Einsatz geringer sein kann als ein neues Baumaterial. Entsprechend wurde der Nutzen des Ersatzes proportional zu der verkürzten Einsatzzeit reduziert.
- **Material, das ins Recycling geht:**
Dafür wurde der Cut-off-Ansatz gewählt, d. h. beim abgebenden System endet der Lebensweg und es wird diesem ersten System weder eine Gutschrift noch eine weitere Belastung angerechnet. Bei der Übergabe des Materials vom ersten zum zweiten System beginnt der Lebensweg (resp. die Berechnung) neu. Diesem zweiten System werden die Aufwände für das Recycling belastet, jedoch keine Auswirkungen durch die Produktion des ersten Systems.
- **Nutzung der Abwärme aus der Kehrlichtverbrennung (KVA):**
Auch dafür wurde der Cut-off-Ansatz verwendet, d. h. es gibt keine Gutschrift für die Nutzung der Abwärme in der KVA.

5.2.2 Wirkbilanz, Methode THG und GTHG (CO₂-Fussabdruck), Methode Beurteilung temporärer biogener C-Speicher (CO₂-Handabdruck)

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf das Klima bewertet. Entsprechend der Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 3.1), liegt der Fokus auf der Analyse der Erstellung. Gemäss SIA 2032:2020 und KBOB wird der Begriff „THG-Emissionen der Erstellung“ verwendet. In dieser Studie wird der Begriff „GTHG-Emissionen“ gebraucht, weil damit nicht nur die mit den Baumaterialien verbundenen vorgelagerten Emissionen der Herstellung, sondern auch die der nachgelagerten Emissionen der Entsorgung mitgemeint sind. Abgesehen von der abweichenden Bezeichnung wird jedoch die Definition des SIA übernommen (SIA Zürich, 2020).

Zur Beschreibung der Auswirkungen auf das Klima wird der folgende Indikator verwendet:

- CO₂-Fussbadruck: THG-Emissionen (kg CO₂eq, gemäss IPCC 2013, GWP100⁴⁹)

⁴⁹ GWP 100 = *Global Warming Potential* über 100 Jahre.

In der Bilanzierung nach IPCC wird die Zwischenspeicherung durch die biogene Aufnahme und damit die vorübergehende CO₂-Senke in biogenen Baustoffen nicht berücksichtigt. Diese werden als CO₂-neutral betrachtet, da die Aufnahme in der Phase A1 durch die Emissionen in Phase C4 ausgeglichen wird. Entsprechend hat ein biogener Baustoff keinen nennenswerten Effekt, da Modul A und C (EN 15804:2012+A2:2019) sich gegenseitig neutralisieren. Das heisst, über einen längeren Zeithorizont betrachtet wird gleich viel CO₂ von Pflanzen aufgenommen, wie beim Abbau oder bei der Verbrennung der Biomasse am Ende freigesetzt wird.

Der positive Effekt einer Zwischenspeicherung wird durch eine zusätzliche Bilanzierung des CO₂-Handabdrucks berücksichtigt und wegen der zeitlich beschränkten Wirkung nicht mit dem CO₂-Fussabdruck nach IPCC verrechnet, sondern separat ausgewiesen.

- CO₂-Handabdruck: Speicherung (kg C oder kg gebundenes CO₂, Zeithorizont der Speicherung)

Das Potenzial der Speicherung von Kohlenstoff (C-Speicherung) und eine mögliche Handhabung zur Bewertung der zeitlichen Wirkung solcher „negativen Emissionen“ wird in Kapitel 5.3.4 dargestellt. Auf den möglichen Beitrag zum Absenkpfad wird in Kapitel 5.3.4.3 eingegangen.

5.2.3 Interpretation und Auswertung

Gemäss Zielsetzung werden die Massnahmen bezüglich ihres Beitrags zur Erreichung des Absenkpfad es beurteilt. Dieser Beitrag kann einerseits durch eine Reduktion der Klimaauswirkungen bei der Erstellung und dem Rückbau der Gebäude erfolgen und andererseits durch eine C-Speicherung. Dabei ist zu beachten, dass eine zeitlich begrenzte Minderung einer schädlichen Wirkung, die temporäre C-Speicherung, einen anderen Stellenwert als eine absolute Minderung hat. Vermiedene Emissionen haben deshalb einen höheren Stellenwert als eine vorübergehende Speicherung und Minderung des Treibhauseffekts über eine gewisse Zeit. Um dies transparent darzustellen, werden die effektiv erfolgten Emissionen aus fossilen Quellen und die vorübergehende positive Wirkung durch eine Speicherung separat erfasst und bewertet.

- Fussabdruck: THG-Bilanz, fossile Emissionen
- Handabdruck: Temporäre Speicherung und Verzögerung der Emissionen, C-Speicherung, Linderung auf Zeit

Eine Verrechnung beider Kenngrössen zu einer Zahl wird vermieden, da diese eine gesellschaftliche Wertung des Nutzens einer vorübergehenden Speicherung beinhaltet. Eine volle Anrechnung der Speicherleistung würde ausblenden, dass die Emissionen einer späteren Freisetzung in der Zukunft eine Wirkung haben. Das Problem wird auf die künftige Generation übertragen, welche nicht mehr von der Senke profitieren kann, sondern mit der Kehrseite, der Freisetzung, umgehen muss.

5.3 Methodik zur Bewertung der Massnahmen

Zur Bewertung der Massnahmen muss einerseits der Istzustand bestimmt und andererseits der Absenkpfad als Ziel festgelegt werden. Auf dieser Basis kann der Begriff „klimapositiv bauen“ definiert werden. Zudem muss bestimmt werden, wie die C-Speicherung ausgewiesen und berücksichtigt werden soll. In den folgenden Kapiteln werden diese 3 Themen ausgeführt.

5.3.1 Zielsetzung Absenkpfad, Erstellung

Für den Absenkpfad der Gebäudeerstellung ist die Produktion der Baustoffe und Bauteile als grösster Beitrag entscheidend. Abb. 23 zeigt den Ausgangswert für Baumaterialien in der Schweiz im Jahr 2020 (vgl. dazu Abb. 28) sowie die mit der Zielsetzung notwendige Absenkung der THG-Emissionen über die Zeit. Dabei ist zu

bemerken, dass für die Erstellung der Gebäude bislang kein Absenkpfad ausformuliert ist. Der Absenkpfad orientiert sich am bundesrätlichen Bekenntnis zum Pariser Klimaabkommen mit dem Zwischenziel: -50% gegenüber 1990 bis 2030.

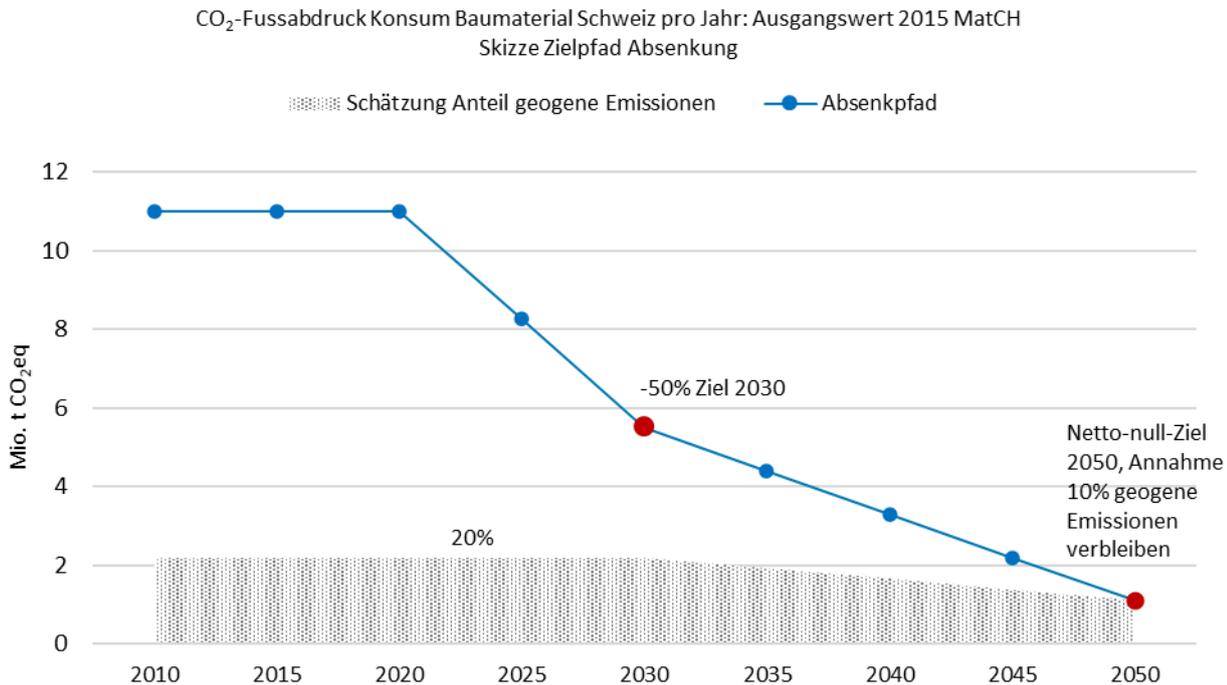


Abb. 23: CO₂-Absenkpfad für den Konsum von Baumaterialien pro Jahr in der Schweiz. Rund 10% können nicht reduziert werden und müssen für die Zielsetzung Nett-null im Jahr 2050 mit negativen Emissionen in der Höhe von rund 1 Mio. t ausgeglichen werden. Bis 2030 schätzen die AutorInnen einen Anteil von 20% geogenen Emissionen⁵⁰. Eigene Darstellung.

Für die Zeitspanne 1990 bis 2020 sowie die weitere Entwicklung ohne Massnahmen wird von einem konstanten Wert von CO₂-Emissionen für den Verbrauch von Baumaterial in der Schweiz ausgegangen. Dies entspricht der Annahme, dass bisher erzielte Optimierungen des CO₂-Fussabdrucks von einzelnen Baumaterialien durch die Auswahl von THG-intensiveren Baustoffen und dem Mehrkonsum von Baumaterial ausgeglichen werden.

Die nachfolgende Übersicht setzt den aufgestellten Absenkpfad in Bezug zu vergleichbaren Studien, Konzepten und Normen und zeigt, unter welchen Rahmenbedingungen (Einbezug THG, Berücksichtigung temporärer Speicher, Reduktionsziel) diese bestehen.

⁵⁰ Eigentlich wurden beim MFH-Referenzhaus 25% geogene Emissionen kalkuliert. Der Anteil von 20% geogenen Emissionen in dieser Studie wurde aus rein rechnerischen Gründen gewählt, weil er in einem direkten Zusammenhang mit dem Bilanzierungsschritt 4 des biogenen C-Speichers steht (vgl. dazu Kap. 5.3.4).

Bezeichnung Konzept/Studie	Berücksichtigte THG	Nicht berücksichtigte THG	Reduktionsziel 2030
Klimapositiv Bauen (diese Studie)	Inkl. Import und geogene Emissionen (Basis: KBOB/ecoinvent) Teilweise inkl. temporäre C-Speicher		-50%
SIA-Norm 2032:2020	Inkl. Import und geogene Emissionen (Basis: KBOB/ecoinvent)	temporäre C-Speicher	nicht verfügbar
MatCH	Inkl. Import und geogene Emissionen (Basis: KBOB/ecoinvent)	temporäre C-Speicher	nicht verfügbar
Leitkonzept 2000-Watt-Gesellschaft (Absenkpfad THG-Emissionen)	Energiebedingte Emissionen im Inland C-Speicher >100 Jahre	Nicht energiebedingte Emissionen im Inland (geogene etc.) und Emissionen im Ausland fehlen C-Speicher < 100 Jahre	Rund -50% (3 tCO ₂ eq/EW)
Bund/UNFCCC/Kyoto II	Nur inländische Emissionen bzw. Kyoto-Gase, aber inkl. geogene Emissionen und inkl. C-Speicher Holzprodukte	Import, int. Schiffs- und Flugverkehr fehlen C-Speicher ohne Holz	-50% (davon 3 Viertel in der Schweiz)

Tab. 13: Umfang der berücksichtigten THG-Emissionen von verschiedenen Studien, Normen und Konzepten und – wenn vorhanden – deren Reduktionsziele bis 2030. Quelle: diverse (siehe Literaturverzeichnis).

Beim Netto-null-Ziel des Bundesrates wird davon ausgegangen, dass nicht alle klimarelevanten Emissionen eliminiert werden können. Während durch den vollständigen Ersatz von fossilen Brenn- und Treibstoffen deren CO₂-Emissionen vermieden werden können⁵¹, ist dies bei gewissen chemischen Umwandlungsprozessen nicht möglich. Im Zusammenhang mit Baustoffen sind dabei die sogenannten geogenen CO₂-Emissionen aus mineralischen Umwandlungen (Kalzination) relevant, welche bei der Produktion von mineralischen Baustoffen wie Klinker oder Kalk freigesetzt werden. So entstehen bei der Produktion von einem kg Klinker 525 g CO₂ aus der chemischen Umwandlung von Kalk. Diese mineralischen CO₂-Emissionen durch die Kalzination bei der Klinkerherstellung tragen knapp 60% zu den gesamten CO₂-Emissionen der Klinkerherstellung bei und entstehen auch dann, wenn der Klinker nur mit CO₂-neutralen Brennstoffen hergestellt wird. Beim fertigen Beton⁵² ohne Armierung tragen die mineralischen CO₂-Emissionen rund 55% zu den klimarelevanten Emissionen der Herstellung bei. Dieser Wert kann je nach Klinkerfaktor im Zement und Zementanteil im Beton variieren. Tab. 14 (zeigt den Anteil geogenes CO₂ am Beton bei verschiedenen Mengen Armierungsstahl. Dazu wurden Durchschnittswerte aus der KBOB-Datenbank verwendet.

	kg/m ³ Beton	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ geogen	Anteil CO ₂ geogen
Portlandzement	300	248	142.8	57%
Portlandklinker	272	246	142.8	58%
Kies und Sand	1900	5	0	0
	Stahlmenge			
Beton unarmiert	–	253	142.8	56%
Beton armiert	60	338	141.6	42%
Beton armiert	80	366	140.4	38%
Beton armiert	100	394	139.3	35%

Tab. 14: Anteil geogenes CO₂ an den klimarelevanten Emissionen bei der Herstellung von Beton mit unterschiedlichem Anteil Armierungsstahl⁵³

⁵¹ 2000-Watt-Gesellschaft-Zielsetzung: null energiebedingte THG-Emissionen bis 2050.

⁵² Berechnungen basierend auf dem Datensatz „Concrete, normal, at plant“ aus der KBOB-2016-Datenbank.

⁵³ Quelle: Eigene Berechnung mit simapro 9.1 mit der Datenbasis KBOB, eco-bau und IPB (2018) und der Methode IPCC (2014b).

Abb. 24 zeigt die Beiträge der verschiedenen Materialfraktionen der THG-Emissionen aus der Erstellung der untersuchten Mehrfamilienhäuser (MFH), siehe auch Kapitel 5.3.3. Daraus ist ersichtlich, dass knapp die Hälfte der THG-Emissionen durch die Herstellung von Beton, Zement, Mauerwerk und Verputzen verursacht wird. Im Durchschnitt wurde für die Berechnungen ein Beton mit etwa 70 kg Stahlarmierung verwendet. Entsprechend sind knapp 20% der CO₂-Emissionen⁵⁴ der untersuchten MFH mineralischen Ursprungs und das Netto-null-Ziel kann nur durch Ersatz erreicht werden.

Für die folgenden Überlegungen wurde die Annahme verwendet, dass die Hälfte durch Ersatz erfolgt. Dabei kann es sich um den Ersatz von Beton, z. B. durch Holzbaustoffe, handeln oder durch Reduktion des Klinkeranteils im Zement oder andere materialtechnische Lösungen. Es verbleiben somit noch rund 10% der klimarelevanten Emissionen, welche gemäss Pariser Klimaabkommen mit CO₂-Abscheidungs- und -Einlagerungstechnologien (CCS) sowie Negativemissionstechnologien (NET) ausgeglichen werden müssen. Auf der Basis dieser Annahme schlagen wir vor, dass für die Erstellung der Gebäude 90% des Netto-null-Zieles durch die Reduktion der CO₂-Emissionen erfolgen soll. Damit kann für die Gebäude die allgemeine Zielsetzung zur Reduktion der Klimaauswirkungen des BAFU verwendet werden:

- Zielsetzung Netto-null bis 2050: den heutigen CO₂-Fussabdruck der Schweiz auf Netto-null zu reduzieren, wobei etwa 90% durch die Reduktion der Emissionen erreicht werden soll.⁵⁵
- Das Zwischenziel bis 2030: Eine Reduktion von 50% des CO₂-Fussabdrucks im Jahre 2021 erreichen.
- Als Ergänzung für Gebäude schlagen wir vor, dass die Erreichung des 50%-Ziels bis 2030 maximal zu 20% durch Speicherung und 80% durch Reduktion erfolgen soll.⁵⁶

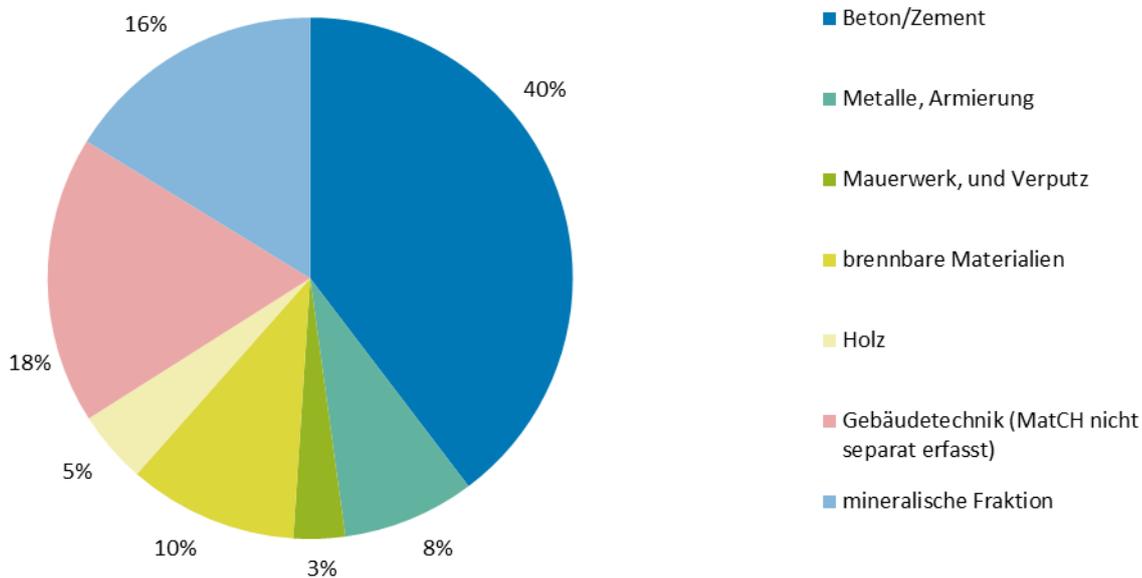
Eine lineare Interpolation zwischen 2020 und 2050 ergäbe im Jahre 2030 nur eine Reduktion von 30%. Aufgrund der Tatsache, dass man durch die Umsetzung bekannter und einfacher Massnahmen, der sogenannten „*Low Hanging Fruits*“, anfänglich schnell eine relevante Reduktion erreichen kann und zu erwarten ist, dass in Zukunft weitere Reduktionen aufwändiger und somit teurer werden, ist es für die Zielerreichung notwendig, von Beginn an ambitioniertere Ziele zu verfolgen. Daher verfolgt der Bund das Ziel einer 50%-Reduktion bis 2030.

Heute wird der wesentliche Anteil der klimawirksamen Emissionen von Gebäuden im Betrieb durch die Verwendung von fossilen Energieträgern verursacht, welche vollständig ersetzt werden können. Dadurch sollte es möglich sein, dass die gesamten Gebäude, Herstellung und Betrieb das Ziel des BAFU, 90% des Netto-null Zielles durch Reduktion zu erreichen, übertreffen.

⁵⁴ Vgl. Fussnote 50 oben.

⁵⁵ In dieser Studie wird im Gegensatz zur bundesrätlichen Strategie der Import mitberücksichtigt. Mit diesem Ansatz wird nicht zwischen Emissionen im Inland oder im Ausland unterschieden. Vgl. dazu Tab. 13.

⁵⁶ Es kann daher max. ein Viertel der regulären Reduktion mit dem Speicherbonus angerechnet werden.

Beiträge Materialfraktionen CO₂-Fussabdruck (kg CO₂eq pro m² EBF und Jahr)Abb. 24: Anteilmässige Beiträge der Materialfraktionen am CO₂-Fussabdruck bei den untersuchten MFH-Fallbeispielen. Eigene Quelle.

Dieser Absenkpfad kann nur erreicht werden mit einer Kombination unterschiedlicher Ansätze und Strategien. Die hier analysierten Massnahmen werden diesen zugeteilt (vgl. auch Tab. 11):

- 1) Senken (temporär/dauerhaft)
CO₂-Fixierung und Aufbau C-Speicher
- 2) Zirkuläres Bauen
Wiederverwendbare Bauteile, Reduktion der Neuproduktion, längere Lebensdauer von Bauten/Baumaterial
- 3) THG-Effizienz (planerisch)
Suffizienz und Effizienz
- 4) Ersatz (materiell)
Substitution, Ersatz CO₂-intensiver Baustoffe

Abb. 25 zeigt den Pfad und die Beurteilungsbasis „klimapositiv Bauen“ in der Zeitspanne bis 2050. Auf die verschiedenen Massnahmen und im Speziellen auf die mögliche Erhöhung der C-Speicherung (Senke Gebäudepark) wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

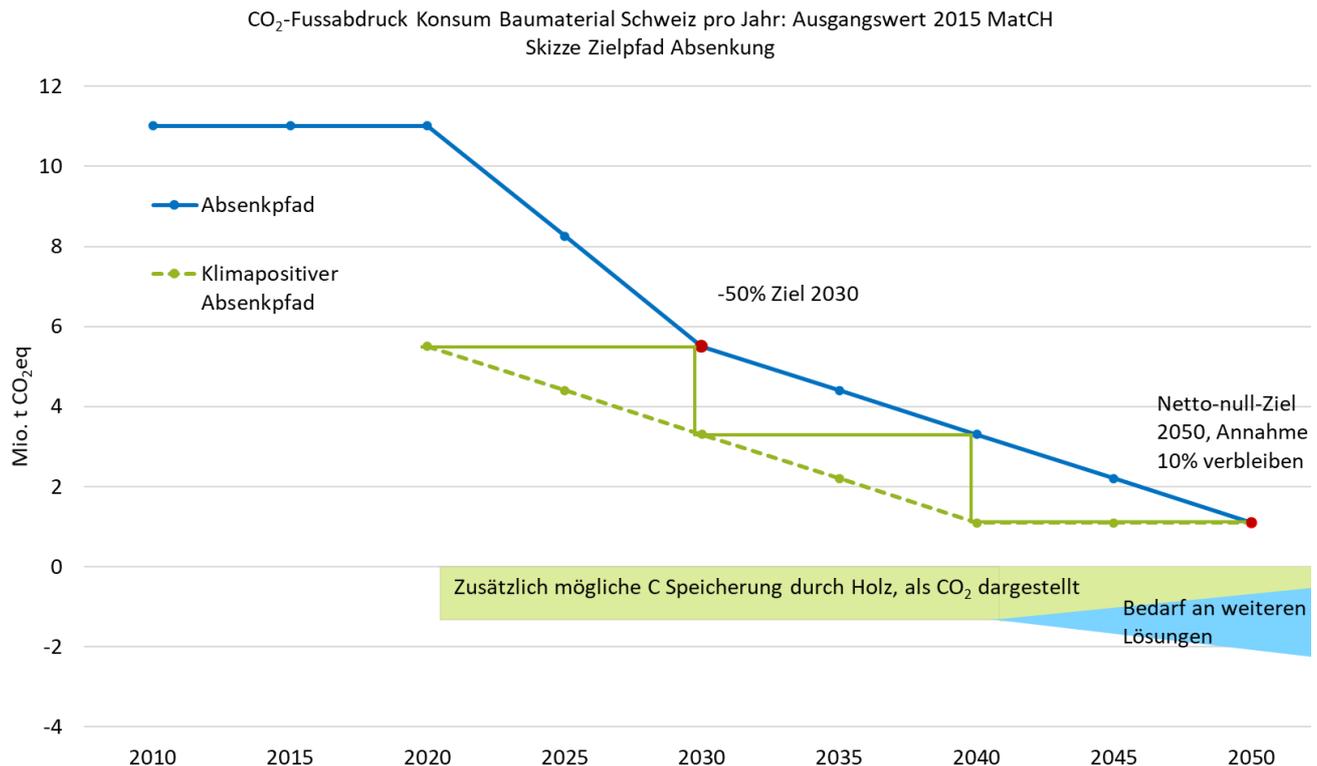


Abb. 25: Absenkpfad für den Baubereich. Als klimapositiv wird in dieser Arbeit ein Bauwerk definiert, welches zum Zeitpunkt seiner Erstellung einen CO₂-Fussabdruck aufweist, der demjenigen des Zielpfades in 10 Jahren entspricht. Die hellgrün gestrichelte Linie ergäbe sich, wenn ab heute alle Gebäude klimapositiv gebaut würden, die Anpassung der Ziele erfolgt alle 10 Jahre (Abstufung). Zudem ist unten die zusätzlich mögliche C-Speicherung dargestellt (grüne Fläche), siehe auch Kapitel 5.3.4.3. Die C-Speicherung wird in Zukunft abnehmen, wenn das eingebaute Holz rückgebaut und entsorgt wird, da gleich viel oder mehr Holz eingebaut werden muss, wie ausgebaut und entsorgt wird. Anderenfalls ergeben sich Netto-CO₂-Emissionen, siehe auch Kapitel 5.3.4.2. Für das Ziel 2050 und die verbleibenden Emissionen sind zusätzliche Lösungen negativer Emissionen notwendig (blaue Fläche), da davon ausgegangen werden kann, dass nicht alle Emissionen der Erstellung vermieden werden können (Differenz zwischen rotem Punkt (Netto-null Ziel) und Nulllinie. Eigene Quelle.

5.3.2 Definition „klimapositiv bauen“

Auf der Basis von Kapitel 5.3.1 schlagen wir für unsere Arbeit folgende Definition für den Begriff „klimapositives Bauen“ vor:

Ein Gebäude gilt dann als klimapositiv, wenn es zum Zeitpunkt der Erstellung einen CO₂-Fussabdruck aufweist, der demjenigen des Absenkpfades in 10 Jahren entspricht oder diesen unterschreitet. Dies entspricht aktuell dem Zielwert 2030 mit einer Reduktion -50% gegenüber dem Istzustand 2020. Ergänzend wird dazu vorgeschlagen, dass für die Erstellung vorläufig bis ins Jahr 2040 maximal 20% der Reduktion durch temporäre biogene Speicherung und 80% durch Reduktion erfolgen soll.

Aus pragmatischen Gründen schlagen wir vor, den entsprechenden Zielwert alle 10 Jahre entsprechend dem Absenkpfad anzupassen.

Ein heute erstelltes Gebäude gilt mit dieser Definition als klimapositiv, wenn es nur die Hälfte des CO₂-Fussabdrucks eines durchschnittlichen heute erstellten Gebäudes aufweist. Um die Anforderungen zu quantifizieren, sind die folgenden 2 Festlegungen notwendig:

- Bestimmung Istzustand: durchschnittlicher CO₂-Fussabdruck der Gebäude in der Schweiz
- Festlegung, wie Senken zur Zielerreichung angerechnet werden dürfen.

Die folgenden Kapitel befassen sich mit diesen Festlegungen.

5.3.3 Bestimmung des Istzustandes als Referenzwert 2020

Der Istzustand von heute wird benötigt, um einerseits den Referenzwert 2020 zu definieren und andererseits in diesem Durchschnittsgebäude (Mengengerüst) Bauteile gegen solche mit weniger CO₂ Emissionen auszutauschen und neu zu berechnen. Um den Istzustand abzubilden, wurden 9 verschiedene Fallbeispiele eines Standard-MFH analysiert, welche in der Zeitspanne zwischen circa 2017 bis 2020 geplant und erstellt worden waren. Tab. 15 zeigt einen Kurzbeschrieb dieser MFH. Die Daten dieser 9 Referenzgebäude beziehen sich auf Neubauten in der Schweiz, 3 davon mit Minergie-Zertifizierung, deren Berechnung von GE und GTHG-Emissionen (gem. SIA 2032) vorlagen. Der Gebäudetyp MFH wurde wegen seiner Verbreitung, dem grössten Bauvolumen im Wohnungsbau, sowie seiner Relevanz bezüglich der in Zukunft geforderten Verdichtung des Wohnens gewählt.

Für jedes Gebäude wurden die THG-Emissionen der einzelnen Bauteile berechnet, sowie ein Mittelwert der THG-Emissionen aller 9 Gebäude ermittelt. Die Berechnungen der THG-Potenziale basieren auf Berechnungen nach SIA 2032:2010 und beruhen bei einem Teil der Fallbeispiele auf vereinfachten Analysen, zum Beispiel für Innenwände und Zwischendecken. Zu beachten ist, dass Innenwände und Decken jedoch einen wesentlichen Teil der CO₂-Emissionen verursachen und zentral für die Bewertung der Zielerreichung sind. Daher wird empfohlen, in der Gebäudebewertung keine vereinfachte, sondern eine detaillierte Berechnung für Decken und Innenwände durchzuführen.

Der Mittelwert der Fallbeispiele dient als Referenzwert des Istzustandes 2020 (kurz Referenzwert 2020). Der so ermittelte Referenzwert 2020 liegt etwas unter 11 kg CO₂eq pro m² EBF und Jahr, wobei der tiefste Wert bei 7 kg CO₂eq/m²a und der höchste Wert bei 14 kg CO₂eq/m²a liegt. Unser Mittelwert stimmt mit vergleichbaren Angaben aus anderen Quellen und der Analyse von anderen Fallbeispielen überein (SIA Zürich, 2018; Wyss et al., 2014).

	1. Massiv- bau (Beton- decke/ Aussen- wand)	2. Massiv- bau (Beton- decke/ Aussen- wand)	3. Holzbau	4. Massiv- bau	5. Massivbau (Betonde- cke)	6. Massivbau (Betonde- cke)	7. Massivbau (Holzhohl- kastende- cke)	8. Massivbau (Betonde- cke)	9. Leichtbau (Betonde- cke)	Mittel- wert Fall- beispiele
Bauweise	Massiv- bau	Massiv- bau	Holzbau	Massiv- bau	Massivbau	Massivbau	Holzbau	Massivbau	Holzbau	Mittel- wert
Geb.-stan- dard	Minergie- P-Eco	Minergie- P-Eco	KfW-55	KfW-55	Minergie	Minergie	Minergie			
EBF	6230	6200	1720	1720	1690	1150	4560	1140	729	2800
nEBF	2510	2530	607	607	398	198	2240	620	404	1130

Tab. 15: Übersicht der analysierten Fallbeispiele mit Kurzbeschreibung. Eigene Quelle.

Analyse CO₂-Fussabdruck der Fallbeispiele MFH - Angabe in kg CO₂eq./m² EBF/a

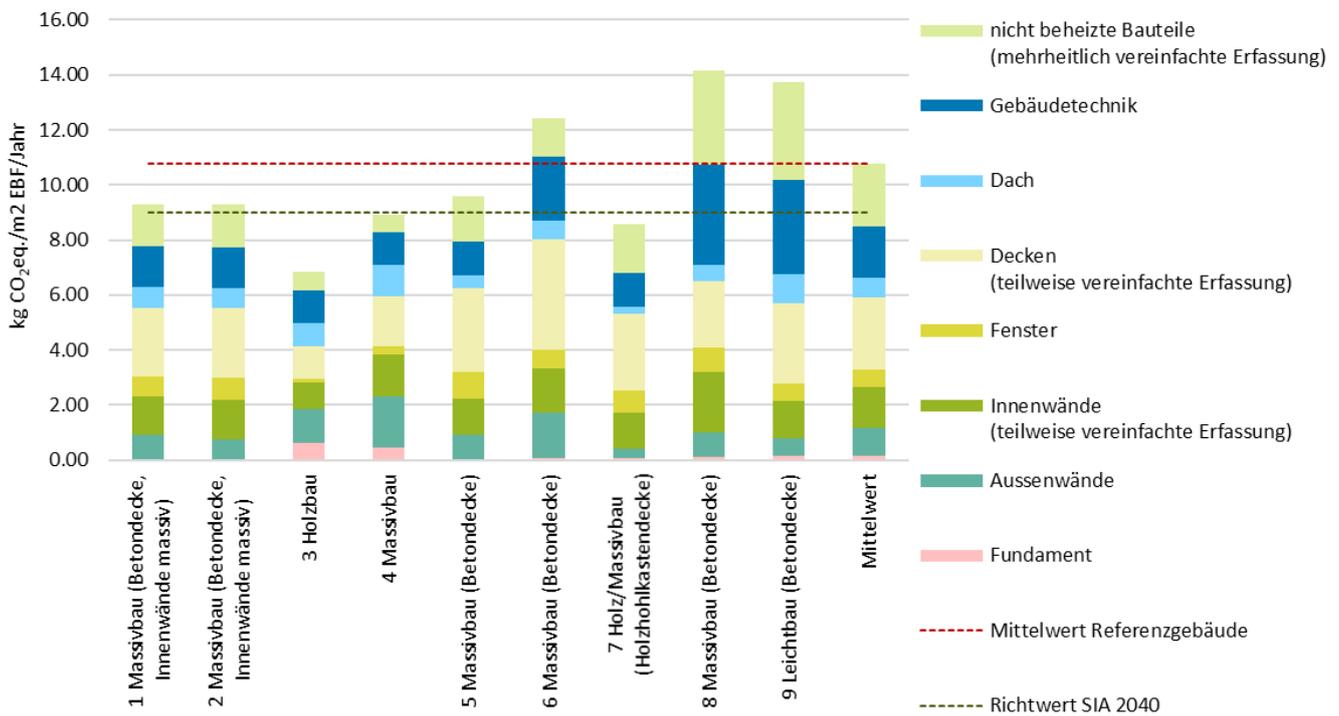


Abb. 26: Auswertung der MFH-Fallbeispiele nach CO₂-Fussabdruck und Bauteil gemäss eBKP-H. Die durchgezogene Linie bezeichnet den Mittelwert und die gestrichelte Linie den Richtwert des SIA-Effizienzpfades Energie (9 kgCO₂eq./m²a). Photovoltaikanlagen sind unter Gebäudetechnik aufgeführt, dabei wurde nur der Anteil für den Eigenbedarf berücksichtigt. Eigene Quelle.

Um die Verteilung der THG-Emissionen analysieren zu können, wurden die Bauteile in die entsprechenden Kategorien des Baukostenplans im Hochbau (eBKP-H) aufgeteilt und in Abb. 26 dargestellt.

Abb. 27 zeigt die Beiträge der Bauteile für den Mittelwert und die Beiträge der unterschiedlichen Baumaterialien. Da für nicht beheizte Innenwände und Decken häufig vereinfachte Analysen in der Gebäudebewertung verwendet werden, ist die Unsicherheit dieser Beiträge entsprechend höher.

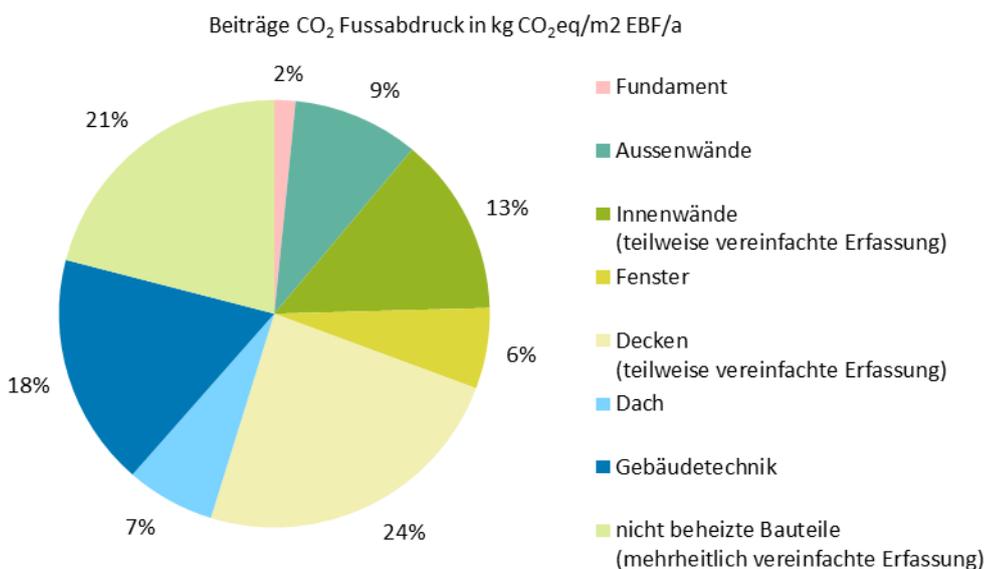


Abb. 27: Analyse der Beiträge von Baumaterialien und Bauteilen anhand der Auswertung der MFH-Fallbeispiele (Decken – einer der grösseren Beiträge – werden häufig mit einem vereinfachten Verfahren erfasst, was zu Ungenauigkeiten führt). Eigene Quelle.

Bei den analysierten Beispielen wurden Balkone und ähnliche Elemente nicht separat erfasst, diese Kategorie ist daher mit 0% ausgewiesen.

Gemäss der Publikation MatCH-Bau (M. Gauch et al., 2016) fallen aufgrund der verwendeten Baumaterialien insgesamt in der Schweiz im Jahr 2015 rund 11.01 Mio. t CO₂-Emissionen an. Diese Angabe wurde für die Top-down-Berechnung der Emissionen von MFH verwendet. Die Aufteilung auf die unterschiedlichen Bauwerkstypen erfolgte auf der Basis der Materialverteilung im Lagerbestand. Auf diesem Weg ergibt sich ein jährlicher Beitrag von 3.15 Mio. t CO₂-Emissionen für MFH und bei einem Zubau von 3'802'000 m² MFH (BFS Gebäudebestandentwicklung) ein Wert von 15 kg CO₂ pro m² EBF (Neubau und Anteil Erneuerung mit angerechnet).

2015	Materialfluss		Treibhauseffekt	
	Mio. t/a	Prozentsatz	Mio. t. CO ₂ -eq/a	Prozentsatz
Elektrizität (toe) *	1.72	3%	5.43	15%
Brennstoff (toe) *	5.69	9%	20.84	56%
Kies, Sand	6.33	10%	0.16	0%
Asphalt	1.31	2%	0.38	1%
Beton	39.79	63%	3.15	8%
Mauerwerk	2.90	5%	0.89	2%
Brennbare Materialien	0.32	1%	0.77	2%
Holz	0.86	1%	0.32	1%
Metalle	1.39	2%	3.94	11%
Keramik, Gips, Glas etc.	3.15	5%	1.41	4%
Total Energie	7.41	12%	26.27	70%
Total Baumaterialien	56.05	88%	11.01	30%
Total Bauwerk Schweiz	63.46	100%	37.28	100%

** Nicht erneuerbar

Lagerbestand Ursprungslager*Wachstum^{ΔJahre} (Kapitel 3.2, 3.3)

2015	Lager Hoch- und Tiefbau									Total
	3 167.35									
	Lagerbestand der einzelnen Gebäudekategorien [Mio. t]									
	Hochbau						Tiefbau			
Kategorie	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	725.44	85.18	263.58	1 074.19
Asphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.37	0.00	0.00	166.37
Beton	191.04	407.54	126.69	129.63	39.59	111.14	49.51	6.42	255.33	1 316.88
Mauerwerk	76.96	178.52	31.30	20.25	25.91	28.87	0.00	7.34	11.15	380.30
Brennbare Materialien	2.79	4.79	2.20	1.81	0.51	1.20	0.00	0.03	0.77	14.10
Holz	7.46	11.77	2.84	2.84	5.68	1.89	0.00	0.74	4.15	37.36
Metalle	5.86	10.66	6.92	9.73	2.75	4.61	1.30	3.36	10.09	55.27
Keramik, Gips, Glas etc.	22.41	55.14	13.75	9.88	7.06	8.53	0.00	0.00	6.12	122.88
Total	306.51	668.43	183.70	174.12	81.50	156.23	942.61	103.06	551.19	3 167.35

Abb. 28: Auszug Analysen aus der Publikation MatCH: Oben Materialflüsse und CO₂-Emissionen aus dem Jahr 2015. Unten Material Lagerbestand in den Gebäuden nach Gebäudekategorie geordnet (Gauch et al., 2016).

Gegenüber der Bottom-up-Berechnung mit Fallbeispielen ergibt sich das folgende Bild für den Durchschnittswert und die Beiträge der Materialfraktionen. Für die weiteren Analysen wird der Referenzwert 2020 verwendet, da die Gebäudebewertung auch bottom-up erfolgt und damit ein vergleichbares Vorgehen bei der

Berechnung verwendet wird. Die Differenz ist durch die Ungenauigkeit des Verteilschlüssels top-down und umgekehrt durch nicht bilanzierte Elemente beim Bottom-up-Ansatz erklärbar.

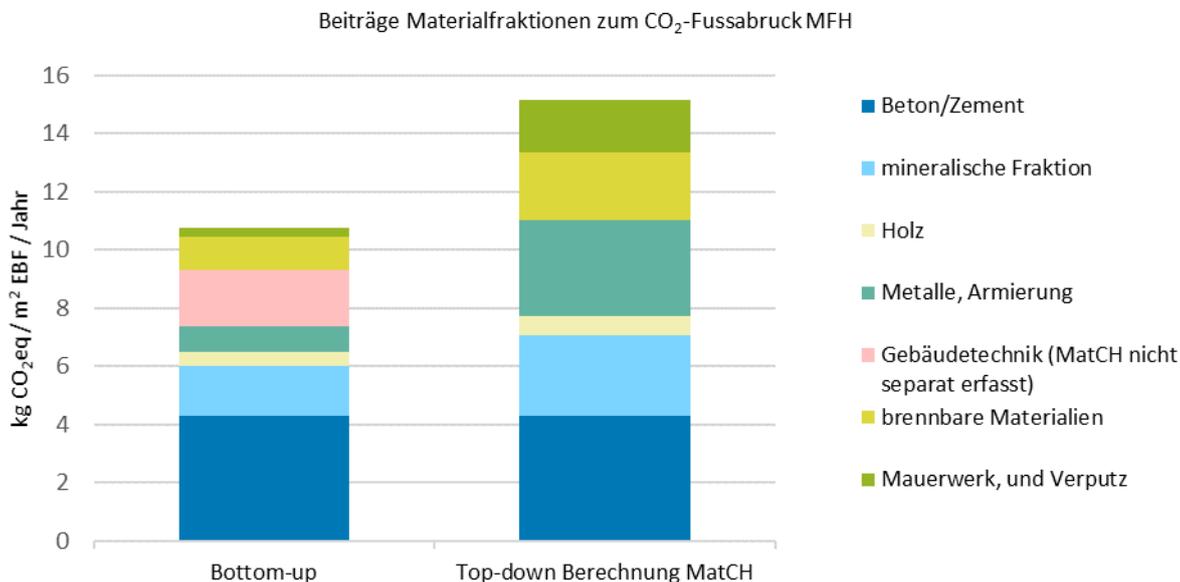


Abb. 29: Vergleich Beiträge der Materialfraktionen pro m² EBF und Jahr, bottom-up (Berechnung mit Fallbeispielen MFH, vgl. Tab. 15) und top-down (Herleitung anhand der Materialflüsse von MatCH (M. Gauch et al., 2016)). MatCH enthält keine Kategorie Gebäudetechnik, es wird angenommen, dass Teile davon, insbesondere Metalle und Kunststoffe der Rohrleitungen, unter den entsprechenden Kategorien verbucht wurden. Aufgrund der methodischen Unterschiede kommt es zwischen den beiden Ansätzen zu einer üblichen Differenz von rund 20%.

5.3.4 Bilanzierung der biogenen CO₂-Berücksichtigung der C-Speicherung

Wie im Kap. 5.1 erwähnt, widmeten sich die AutorInnen auch der Frage, ob und wie der temporäre biogene C-Speicher berücksichtigt werden kann. Bis anhin wird bei der Ökobilanzierung von Gebäuden kein Effekt durch den Einsatz von biogenen Werkstoffen ausgewiesen, da die biogene Zwischenspeicherung keine dauerhafte, sondern nur eine temporäre C-Senke darstellt. Ein temporärer biogener Kohlenstoffspeicher ist somit nicht mit einer THG-Reduktion vergleichbar. Wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben, neutralisieren sich die Auswirkungen der Module A und C (EN 15804:2012+A2:2019) gegenseitig. Das heisst, über einen längeren Zeithorizont betrachtet wird gleich viel CO₂ von Pflanzen aufgenommen, wie am Ende wieder beim Abbau oder bei der Verbrennung der Biomasse freigesetzt wird. Der Einbau von biogenen Materialien in Gebäuden hat jedoch eine Verzögerung der klimarelevanten Emissionen zur Folge, da das CO₂ während der Gebäudenutzung gebunden bleibt. Diese Dauer kann durch Wiederverwendung, Kaskaden- und Kreislaufnutzung zusätzlich verlängert werden. Dies ermöglicht, die Speicherzeit für die Entwicklung besserer Technologien zur Sequestrierung von CO₂ und zu effektiveren Reduktionen zu nutzen, was als positiver Aspekt zu werten ist.

Ausserdem hält das CO₂-Gesetz, Art. 14 fest: «Die Leistung der Senken von verbautem Holz ist anrechenbar.» Um diesen Aspekten gerecht zu werden, muss in den Augen der AutorInnen der Kohlenstoffspeicher berücksichtigt werden.

Aus diesen Gründen soll der C-Speicher sichtbar werden. Im Modul D (EN 15804:2012+A2:2019), siehe auch Abb. 22, kann der Gehalt an biogenem Kohlenstoff in Baumaterialien in der Form von kg C_{bio} bzw. kg CO_{2 bio}, welcher über die Zeit der Nutzung gespeichert wird, separat angegeben werden.

5.3.4.1 Bilanzierung der C-Speicherung, Wahl des Berechnungsansatzes des Handabdrucks

In der Bilanzierung des CO₂-Fussabdrucks (Indikator IPCC 2013, 100a GWP) wird einer temporären Speicherung und der damit verzögerten Emission nicht Rechnung getragen. Unabhängig vom Zeitpunkt der Emission wird die Wirkung auf den darauffolgenden Zeitraum, beim Fussabdruck GWP auf die darauffolgenden 100 Jahre, betrachtet. Mit dem Handabdruck für die temporäre C-Speicherung wird die Verzögerung der Emissionen und die dadurch zeitlich begrenzte Wirkung einer Senke auf einen Zeitraum von 100 Jahren beschrieben. Bei Gebäuden bedeutet dies die Wirkung ab dem Zeitpunkt des Einbaus auf die folgenden 100 Jahre.

Da viele Bauelemente kürzer als 100 Jahre eingebaut bleiben, wird nicht die gesamte C-Speicherung ausgewiesen, sondern diese nur anteilmässig der Lebensdauer, bezogen auf den 100-Jahre-Zeithorizont, berücksichtigt. Das heisst, falls ein Bauteil während 30 Jahren verwendet wird, wird nur 30% des gespeicherten C als Handabdruck ausgewiesen. Damit stellt sich die Frage, welche Lebensdauer für die verschiedenen Bauteile verwendet werden soll. Einerseits gibt die IPCC-Halbwertszeit von Bauteilen an (IPCC 2014 Tab. 2.8.2) und andererseits weist die SIA für verschiedene Bauteile Amortisationszeiten aus (SIA Zürich, 2020 Tab. 5). Da dieses Projekt primär als Hilfestellung für die schweizerische Baubranche gedacht ist, werden die Amortisationszeiten der SIA verwendet (vgl. Kap. 12.5.3.1 im Anhang).

Als Ansatz für die Bewertung der Senkenleistung des biogenen Speichers wurde eine Input-/Output-Betrachtung aufgrund der folgenden Überlegungen gewählt:

- Eine positive Wirkung durch die C-Speicherung im Gebäudepark ergibt sich nur bei einem Zuwachs der Speichermenge insgesamt, wenn mehr Holz eingebaut wird als ausgebaut
- Das Potenzial der C-Speicherung im Gebäudepark darf unter Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Nutzung der Wälder ausgeschöpft werden, d. h. dem Ziel einer Zunahme beider Senken Wald und Holzprodukte wird damit Rechnung getragen.

Die Bedingungen für die Bilanzierung unter diesen Aspekten sind in den nachfolgenden Kapiteln 5.3.4.2 und 5.3.4.3 weiter ausgeführt. Unterschiedliche Studien befassen sich mit dem Potenzial der C-Speicherung in Gebäuden und definieren mögliche weitere Varianten, Ansätze und Methoden für eine Anrechnung biogener Senken in der Ökobilanzierung (Brandão et al., 2013; Breton et al., 2018; Head et al., 2020; Heräjärvi, 2019; Levasseur et al., 2013; Pittau et al., 2019b, 2019a). Übereinstimmend ist dabei die erwartete positive Wirkung von Senken. Eine Übersicht über unterschiedliche Ansätze und Schwierigkeiten für die Verwendung bietet der Vergleich verschiedener Ansätze von Tellnes et al. (2017). Aufgrund der oben genannten Überlegungen wurde hier die Veränderung der Senken mit einer Input-/Output-Betrachtung gewählt.

5.3.4.2 Bedingung für die Anrechnung der Speicherung bei der Input-/Output-Betrachtung

Ein positiver Beitrag wird mit einer Speicherung nur dann erzielt, wenn die heute vorhandene biogene C-Speichermenge und damit die insgesamt aufgenommene Menge an CO₂ erhöht wird. Diese Speichermenge ist in Abb. 32 als hellrosa gestrichelte Linie beim Handabdruck eingezeichnet. Die Höhe des positiven Effektes ergibt sich nur durch den zusätzlichen C-Speicher, da ein Fluss aus dem heutigen Speicher in Gebäuden beim Abbruch und der Entsorgung zu einer Freisetzung von CO₂ führt, welches in der vergangenen Generation gebunden worden ist.

Für die Erfassung der Veränderung des C-Speichers im Gebäudepark ist eine Input-/Output-Betrachtung notwendig, wie sie auch für das nationale Treibhausgasinventar verwendet wird (vgl. dazu 12.5.2 im Anhang). Aktuell liegt die Menge für verbautes Schweizer Holz (Inflow Sawnwood, dunkelgrüne Linie in Abb. 30) nahe der Grössenordnung des C-Speichers Holz, der rückgebaut wird (Outflow Sawnwood, hellgrüne Linie), wie Abb. 30 der IPCC-Bilanzierung für den Inflow und Outflow an Schweizer Holzprodukten zeigt.

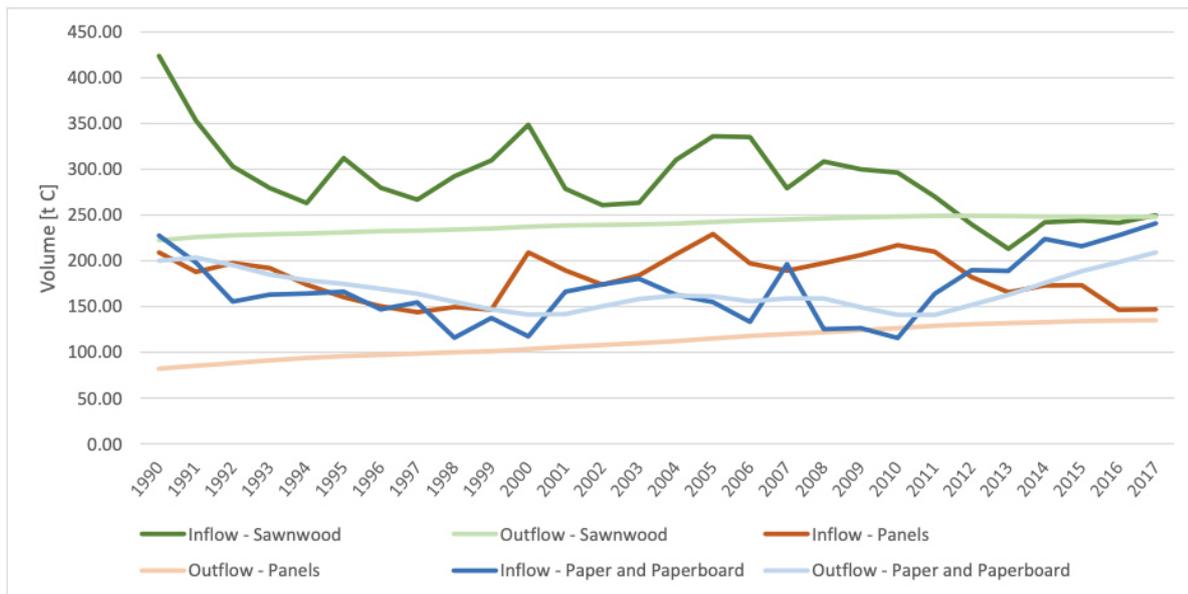


Abb. 30: Grün und braun dargestellt sind die Holzflüsse im Baubereich in der Schweiz (Camin and Rogiers, 2019). Die Bilanz bezieht sich auf den Anteil des verbauten Schweizer Holzes. Zu beachten: Die Einheit auf der y-Achse ist kt C.

Aufgrund dieser Überlegungen mit Input-/Output Betrachtung wird im Zusammenhang mit klimapositivem Bauen eine Speicherung nur dann berücksichtigt, wenn sie über dem Durchschnitt der verbauten Holzmenge der Referenzgebäude liegt.⁵⁷ Die gestrichelte hellrosa Linie in Abb. 32 gibt einen Anhaltspunkt, ab welcher Grösse dies erreicht ist. Ein relevanter Beitrag über diesem Zielband ergibt sich einzig beim Fallbeispiel 3.

Es ergeben sich somit die folgenden Bedingungen, damit eine C-Speicherung einen positiven Effekt auf das Klima hat:

- Es muss mehr Biomasse eingesetzt werden, als rückgebaut wird.
- Es muss gleich viel Biomasse nachwachsen, wie geerntet wird.

Zu beachten ist, dass beide Bedingungen erfüllt sein müssen.

5.3.4.3 Der Wald als C-Speicher, Rahmenbedingung für eine nachhaltige Nutzung

Die zweite Bedingung für einen positiven Effekt einer C-Speicherung in Gebäuden bedeutet, dass durch die Nutzung das Wachstum der Biomasse (Wald, etc.) die damit verbundene C-Speicherung nicht beeinträchtigt werden darf, z. B. durch eine Übernutzung der Wälder. Im Zusammenhang mit Holz ist es daher entscheidend, ob das Holz aus einer nachhaltig bewirtschafteten Forstwirtschaft stammt, bei der genauso viel entnommen wird, wie wieder nachwächst. Dies ist per Gesetz in Ländern wie der Schweiz oder Deutschland seit über 100 Jahren gegeben. Eine Frage, die sich daraus ergibt, lautet, wie gross unter diesen Rahmenbedingungen das ungenutzte Potenzial in Zukunft sein wird. Auch wenn die Beantwortung dieser Fragestellung nicht Thema dieses Projektes ist, so soll im Folgenden kurz darauf eingegangen werden.

Folgende Angaben⁵⁸ der Waldeigentümer zeigen das jährlich nutzbare Holzpotenzial in der Schweiz:

⁵⁷ Dieser Ansatz wurde über das Referenzgebäude hergeleitet und entspricht einer Vereinfachung der Zielsetzung zur Erhöhung des Speichers. Denkbar wäre auch eine vertiefte Betrachtung der aktuellen Stoffflüsse "Input und Output Holz" im Bereich der Mehrfamilienhäuser und darauf basierend eine entsprechende Definition der Mindestanforderung für einen Zuwachs C-Speicherung im Gebäudepark.

⁵⁸ <https://www.waldschweiz.ch/schweizer-wald/wissen/schweizer-wald/zahlen-fakten/> [15.04.2021].

- Rund 1,28 Mio. Hektaren Wald, die Waldfläche nimmt zu – jährlich ca. die Fläche des Thunersees
- Der Gesamtvorrat an Holz, der im Schweizer Wald steht, beträgt ca. 427 Mio. m³.
- Jedes Jahr wachsen in der Schweiz rund 9 Mio. m³ Holz nach, das entspricht 5 bis 6 t pro ha.
- Ohne den Wald zu übernutzen, könnten jährlich 7 bis 8 Mio. m³ Holz geerntet werden. Gemäss der BAFU-Studie zu CO₂-Effekten der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft liegt der Wert mit 9.2 Mio. m³ verwertbarer Biomasse sogar etwas höher, siehe Tab. 16.
- Damit liegt der mittlere Ertrag der nutzbaren Biomasse einer Waldfläche bei 7.2 m³/ha.
- Aus dem Schweizer Wald könnten jährlich rund 2 Mio. m³ Holz zusätzlich genutzt werden. Dies entspricht in etwa der Menge Bauholz, welche pro Jahr importiert wird (BAFU, 2015). Da auch im Ausland eine Förderung der Nutzung der Biomasse zu erwarten ist, wird angenommen, dass sich der Aussenhandel ausgleichen wird. Damit verbleibt ein potenzieller Zuwachs von etwa 1.2 Mio. m³ Holz pro Jahr.

	Ausgangswert 2000 [Mio. m ³]	Zuwachs optimiert [Mio. m ³]		Kyoto optimiert [Mio. m ³]	Baseline [Mio. m ³]	Reduzierte Waldpflege [Mio. m ³]
Nutzung⁵						
Holznutzung Schweiz	5.0 ¹	9.2 ² + 90 %		8.5 ² + 75 %	5.9 ² + 20 %	3.0 ² -40 %
		Bau	Energie			
Verbrauch						
Konstruktion, Ausbau, Holzprodukte	2.5 ³	4.5 + 80 %	2.5 ± 0 %	4.5 + 80 %	3.0 + 20 %	1.9 -25 %
Waldenergieholz	1.3 ⁴	2.8 + 120 %	4.9 + 340 %	2.1 + 65 %	1.5 + 20 %	0.2 -80 %
Aussenhandel⁶		Konstant		Konstant	Konstant	Konstant
Export	1.4	1.4		1.4	1.4	1.4
Import	2.2	2.2		2.2	2.2	2.2

¹ Nach Forststatistik Jahr 2000.

² Verwertbare Holzmassen: Derbholz, Rinde, Reisig, siehe Anhang 4.

³ Hofer 2004.

⁴ BFS/BUWAL 2000.

⁵ Aus dem Verbrauch und dem Aussenhandel kann nicht auf die Nutzungsmenge geschlossen werden, weil noch Restholz anfällt.

⁶ OZD 2001; Ohne Holz- und Zellstoffe sowie Papier und Karton.

Tab. 16: Nachwachsende Biomasse im Schweizer Wald pro Jahr für verschiedene Bewirtschaftungsszenarien gemäss BAFU (2007a).

Für die Schweiz gilt, dass etwas mehr als die Hälfte des Potenzials genutzt wird und eine Verdoppelung der Nutzung möglich wäre, ohne dass dadurch die Nachhaltigkeit der Waldwirtschaft beeinträchtigt würde. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Bauwirtschaft nicht der einzige Sektor ist, welcher Waldholz nutzen oder vermehrt nutzen möchte. Im Zusammenhang mit dem Netto-null-Ziel besteht auch ein Bedarf, fossile Brennstoffe durch CO₂-neutrale zu ersetzen. Während dies für Anwendungen mit Temperaturen unter 100°C z. B. mit Wärmepumpen und einem entsprechenden Strommix möglich ist, benötigen Hochtemperaturanwendungen in der Industrie, wie Stahl-, Glas- oder Klinkerherstellung Brennstoffe wie Holz. Es ist daher zu erwarten, dass der Nutzungsdruck auf Wälder zunehmen wird. Das Szenario „Kyoto optimiert“ in Tab. 16 zeigt eine Kombination gleichzeitiger Massnahmen: Zuwachs Wald, Energieholz und Holzprodukte mit dem Ziel eines optimalen Klimaschutzes. Hier ist eine Steigerung von 80% an Holzprodukten vorgesehen. Auch wenn der Waldbestand dadurch nicht reduziert wird, kann die Nutzung abhängig von der Art der Bewirtschaftung doch zu negativen Auswirkungen z. B. in Bezug auf die Biodiversität führen.

Bei der Berechnung der CO₂-Emissionen macht bei einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung eine dynamische Betrachtung (*Dynamic Life Cycle Assessment, DLCA*) wenig Sinn, welche berücksichtigt, dass durch das Fällen und Nutzen der Bäume der C-Speicher des Waldes reduziert wird und wieder nachwachsen muss. Wie Abb. 31 schematisch für eine ha Wald zeigt, ist bei Betrachtung des gesamten Schweizer Waldes die Reduktion der jährlichen Nutzung in einem Jahr wieder nachgewachsen. Der Grund ist die nachhaltige Waldbewirtschaftung, welche verlangt, dass im Schnitt maximal so viel geerntet wird, wie auf der Fläche natürlicherweise pro Jahr

nachwächst. Dies sind etwa 2% der durchschnittlichen Speichermenge Biomasse im Wald. In Abb. 31 ist der Biomassespeicher pro ha in m^3 schematisch dargestellt, wobei zu beachten ist, dass die Skala bei $300 m^3$ Biomasse Speicher abgeschnitten wurde, um die Grössenordnung der Nutzung von 2% sichtbar zu machen.

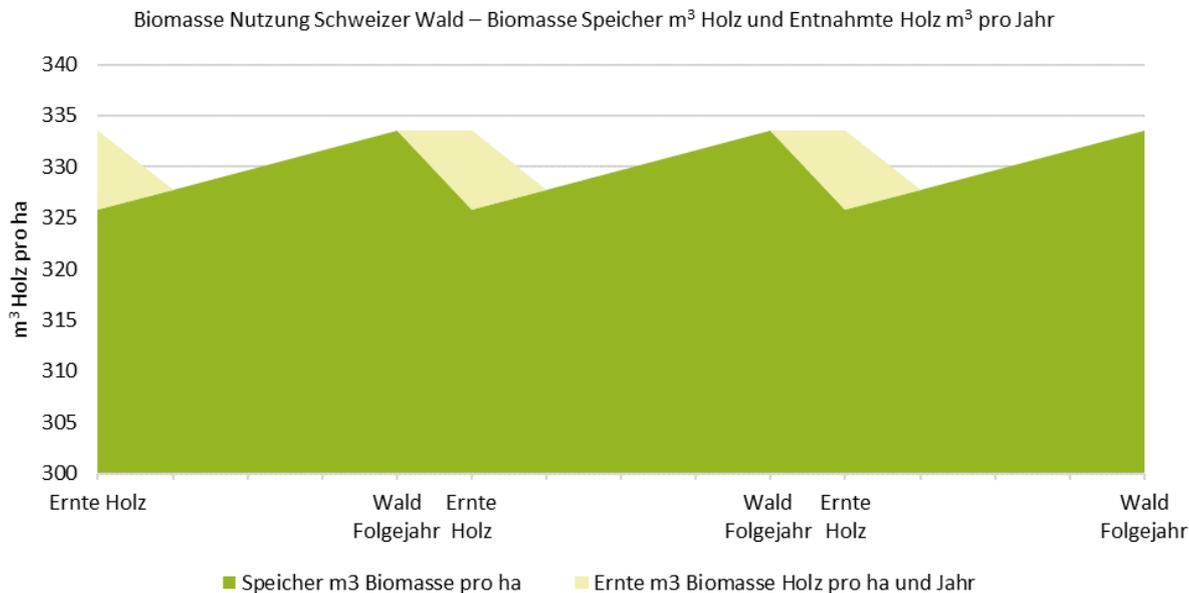


Abb. 31: Schematische Darstellung der Veränderung des Biomassespeichers im Schweizer Wald. Eigene Darstellung

5.3.4.4 Weitere biogene Baumaterialien

Neben der Nutzung von Holz kann auch Biomasse aus landwirtschaftlichem Anbau, wie Stroh und Hanf, für die Produktion von Baustoffen verwendet werden. Beim Stroh besteht in der Landwirtschaft heute eine Unterversorgung, ein Teil des Strohbedarfs wird durch Importe gedeckt. Eine zusätzliche Nutzung für Gebäude geht auf Kosten der aktuellen Nutzung, zurzeit vorwiegend Einstreu. Hanfanbau als weitere Option erfolgt bisher im kleinen Rahmen und wäre in grösserem Rahmen in Konkurrenz zu anderen Kulturen möglich. Das Problem des Flächendrucks und damit verbundene Umweltauswirkungen einer zusätzlichen Landnutzung sind dabei ein Thema (z. B. Einfuhr Soja und Mais für Tierfutter aus kritischen Gebieten Südamerikas). Entsprechend stellt sich bei diesen biogenen Stoffen die Frage, ob dies zu einer unerwünschten zusätzlichen Landnutzung führt. Falls dem nicht so ist, kann mit der C-Speicherung gleich umgegangen werden wie bei der Holznutzung aus nachhaltiger Waldwirtschaft. Für Stroh gilt z. B., dass der jährliche Ertrag an Biomasse pro ha mit rund $6 t^{59}$ in etwa demjenigen von Wald entspricht.

5.3.4.5 Grundsätze für die Bilanzierung der C-Speicherung

In Kapitel 5.3 wurden Grundsätze für die Bilanzierung der C-Speicherung hergeleitet. Diese werden hier nochmals zusammenfassend aufgeführt:

⁵⁹ <https://ilh.hessen.de/unternehmen/unternehmensfuehrung/analyse-strategie-und-finanzen/hinweise-zu-getreidestroh-und-naehrstoffwert/> [15.04.2021].

Bilanzierungsschritte	Bezeichnung	Bedingungen zur Anrechnung des C-Speichers mit den Emissionen	Begründung
1. 	Physikalischer C-Speicher (Handabdruck in kg C. Nicht verrechenbar)	Die C-Speicherung der Baumaterialien (Handabdruck) wird nicht mit den CO ₂ -Emissionen der Herstellung (Fussabdruck) verrechnet, sondern separat ausgewiesen.	Der in Baumaterialien gespeicherte, biogene Kohlenstoff ist nicht dauerhaft gebunden, da er am Lebensende (Verbrennung, Verrottung) wieder in die Atmosphäre gelangt. In biogenen Materialien gespeicherter Kohlenstoff kann daher nicht direkt (1:1) mit den Emissionen verrechnet werden. Mit der getrennten Darstellung wird sichergestellt, dass die unterschiedlichen Beiträge zur Lösung erkennbar bleiben.
2. 	Gewichteter C-Speicher in kg CO ₂ eq	Die Menge an gespeichertem Kohlenstoff wird auf 60% diskontiert.	Die Gewichtung ist gesellschaftlich wertend und nicht rein wissenschaftlich hergeleitet. Bis im Jahr 2050 soll das Netto-null-Ziel des Bundesrates erreicht werden. Spätestens in 100 Jahren (nach 3 Generationen) werden Technologien für negative Emissionen zur Verfügung stehen. Bei einer Gebäudelebensdauer von 60 Jahren gemäss SIA 2032:2020 rechnen wir demnach noch mit Restemissionen bei der Beseitigung von Altholz. Daher wird der in Bauteilen gespeicherte Kohlenstoff auf 60% diskontiert (gewichtet).
3. 	Additionaler gewichteter C-Speicher in kg CO ₂ eq	Die biogenen Kohlenstoffe können nur dann angerechnet werden, wenn der Kohlenstoffspeicher aller Gebäude insgesamt zunimmt. Vom gewichteten C-Speicher (Schritt 2) wird der Durchschnitt (rosa Linie) des gewichteten C-Speichers der heutigen Gebäude (Speicherpool, Stand 2020) abgezogen.	Nur eine gesamthafte Erhöhung des C-Speichers in Gebäuden hat eine positive Wirkung. Durch den Abzug des Speicherdurchschnitts aller heutigen Gebäude wird gewährleistet, dass der Speicherbestand erhalten bleibt und weiterwächst. Dieses Prinzip der „Additionalität“ wird auch bei Kompensationsprojekten des BAFU angewendet.
4. 	Anrechenbarer C-Speicher (Speicherbonus in kg CO ₂ eq)	Nur wenn mind. 40% der Emissionen (Fussabdruck) gegenüber einem heutigen Gebäude (Stand 2020) eingespart werden, kann der zusätzliche gewichtete C-Speicher mit den Emissionen verrechnet werden (siehe 3.). Für Reduktionen unter 40% darf max. ein Viertel der erreichten Reduktion durch den Speicherbonus angerechnet werden.	Das Zwischenziel 2030 gibt eine Reduktion auf 50% CO ₂ eq der heutigen Emissionen und bis 2050 Netto-null vor. Aus Prognosen zur Produktion von Baustoffen und Bauteilen geht jedoch hervor, dass dies mit Reduktionsmassnahmen kaum möglich ist. Es wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 noch 20% (1/5) und im Jahr 2050 noch 10% (1/10) der Emissionen verbleiben werden (vgl. Kap. 5.3.1 oben). Dieser verbleibende Anteil von 10% (1/5) im Jahr 2030 darf mit dem gewichteten C-Speicher abgedeckt werden.
	Klimapositives Gebäude	Ab 50% Emissionsreduktion bestehend aus min. 40% Ersparnis + 10% C-Speicher) ist ein Gebäude klimapositiv.	

Tab. 17: Bilanzierungsschritte zur Anrechnung von biogenen Speicherleistungen. Vorschlag der AutorInnen.

Im folgenden Kapitel wird dargestellt, wie gross der Handabdruck der untersuchten MFH ist. Um den Leser dabei zu unterstützen, die Grössenordnung der C-Speicherung und des CO₂-Fussabdrucks einzuordnen, wird in den folgenden Kapiteln die C-Speicherung in der Einheit CO₂-Äquivalent ausgedrückt, wobei 1 kg C 3.67 kg CO₂ entspricht. Dies erlaubt es auch, die beiden Grössen in einem Diagramm darzustellen.

5.3.4.6 Berücksichtigung der C-Speicherung bei den untersuchten Gebäuden

Ergänzend zum Thema der fossilen Emissionen wurden die Fallbeispiele hinsichtlich ihrer temporären C-Senke analysiert. In Abb. 32 ist neben den CO₂-Fussabdrücken aus Abb. 26 die im Gebäude gespeicherte C-Menge als Handabdruck CO₂ dargestellt. Da diese Speicherung nur temporär ist (Verzögerung) und daher ein anderes

Gewicht hat als die Emissionen des CO₂-Fussabdrucks, wird bewusst keine Verrechnung der „negativen“ Emissionen des Handabdrucks mit denjenigen des Fussabdrucks getätigt.



Abb. 32: CO₂-Fussabdrücke (FA) und Handabdrücke (HA) der untersuchten MFH (1 bis 9) sowie deren Mittelwert. Die rote Linie zeigt den Zielwert der Reduktion für den CO₂-Fussabdruck (50% Reduktion gegenüber dem Mittelwert MFH (resp. Referenzwert Istzustand 2020)). Die hellrosa gestrichelte Linie zeigt den erforderlichen Mindestwert an C-Speicherung, damit der zeitlich gewichtete Speicher (CO₂-Handabdruck) eingerechnet werden darf, siehe auch Kapitel 5.3.4.2.

5.4 Resultate zum Potenzial der Massnahmen, Auswertung Raster

Ausgehend vom Kategorienraster (Kap. 4.3.2) werden ausgewählte Massnahmen unterschiedlicher Strategien quantitativ bewertet. Für 20 ausgewählte repräsentative Beispiele wurde eine Bilanz berechnet, geprüft und mit dem Referenzwert Istzustand verglichen. Referenzgebäude: Fussabdruck MFH von 670 kg CO₂ pro m² EBF (11 kg CO₂ pro m² EBF und Jahr) und Handabdruck MFH von 60 kg CO₂ pro m² EBF, Handabdruck zeitlich gewichtet 30 kg CO₂ (Quotient Lebensdauer/100 Jahre). Die Differenz des Gebäudes mit der betreffenden Massnahme und dem Referenzgebäude ergibt das Reduktionspotenzial der Massnahme.

Die Berechnung erfolgt bottom-up, ausgehend von bestehenden Analysen zu den Fallbeispielen und dem daraus bestimmten Referenzwert 2020, siehe Kapitel 5.3.3. Das Reduktionspotenzial beruht auf einer Einschätzung der Massnahmen in der Bauwirtschaft von Seiten Nova Energie Basel AG zum Umfang der Umsetzung, bezogen auf die analysierten Bauteile und einen damit möglichen Reduktionsfaktor. Dieser wurde hergeleitet aus Fallbeispielen, Literatur- und Erfahrungswerten, aus Ökobilanzstudien zu Biokunststoffen und

Materialrecycling. Die damit berechnete Grössenordnung der Einsparung gilt als Richtwert für das Reduktionspotenzial dieser Art Massnahme. Die Einsparung im konkreten Fall kann situativ abweichen.

5.4.1 Quantifizierte Potenziale für Massnahmen am Bau (bottom-up)

Die Analyse des Reduktionspotenzials im Vergleich zum Referenzwert 2020 ergibt das nachfolgende mit Tabellen und Grafiken dokumentierte Resultat. Im Rahmen der Steckbriefe sind darüber hinaus die Annahmen und Ergebnisse zusammengefasst (siehe Anhang). Bei den in den Kapitel 5.4.1.1 bis 5.4.1.4 aufgeführten Illustrationen wird ein Fazit pro m² EBF MFH für unterschiedliche Strategien und die darunter analysierten Massnahmen dargestellt. Die Emissionen der Baumaterialproduktion und der Einbau des C-Zwischenspeichers fallen im Vorfeld und zum Zeitpunkt der Gebäudeerstellung an, weshalb eine Bilanz pro m² EBF hierzu sinnvoll ist. Die Emissionen aus der Entsorgung sind üblicherweise deutlich geringer. Eine Umrechnung mit der Gebäudelebensdauer von 60 Jahren gemäss SIA (2020) auf einen jährlichen Beitrag wird für den Steckbrief durchgeführt. Die Bilanz pro m² EBF und Jahr ist geeignet für die Vergleichbarkeit mit den Emissionen aus dem Betrieb.

Die Annahmen, welche Bauteile durch welche Massnahmen betroffen sind, werden jeweils mit einem Beschrieb mit Fazit zum Total des Gebäudedefussabdrucks aufgeführt. So kann auch eine Massnahme mit einem sehr hohen Reduktionspotenzial bei einer beschränkten Verwendbarkeit für die Mehrheit des Baumaterials einen insgesamt geringen Effekt für die Gesamtbilanz aufweisen.

5.4.1.1 Temporäre Senken

Strategien: „Holzkonstruktionen verwenden“ und „Biomasse verwenden“

Unter dem Stichwort temporäre Senken werden ausgewählte Massnahmen für den Einsatz natürlicher und lokaler Biomassen analysiert und das Potenzial in dieser Kategorie thematisiert. Limitierend ist hier ev. die Verfügbarkeit, welche in Kapitel 5.3.4 thematisiert ist. Die Wirkung der temporären Speicherung wird in Form des Handabdrucks in den Illustrationen gemäss dem Vorgehen in Kapitel 5.3.4 ausgewiesen.

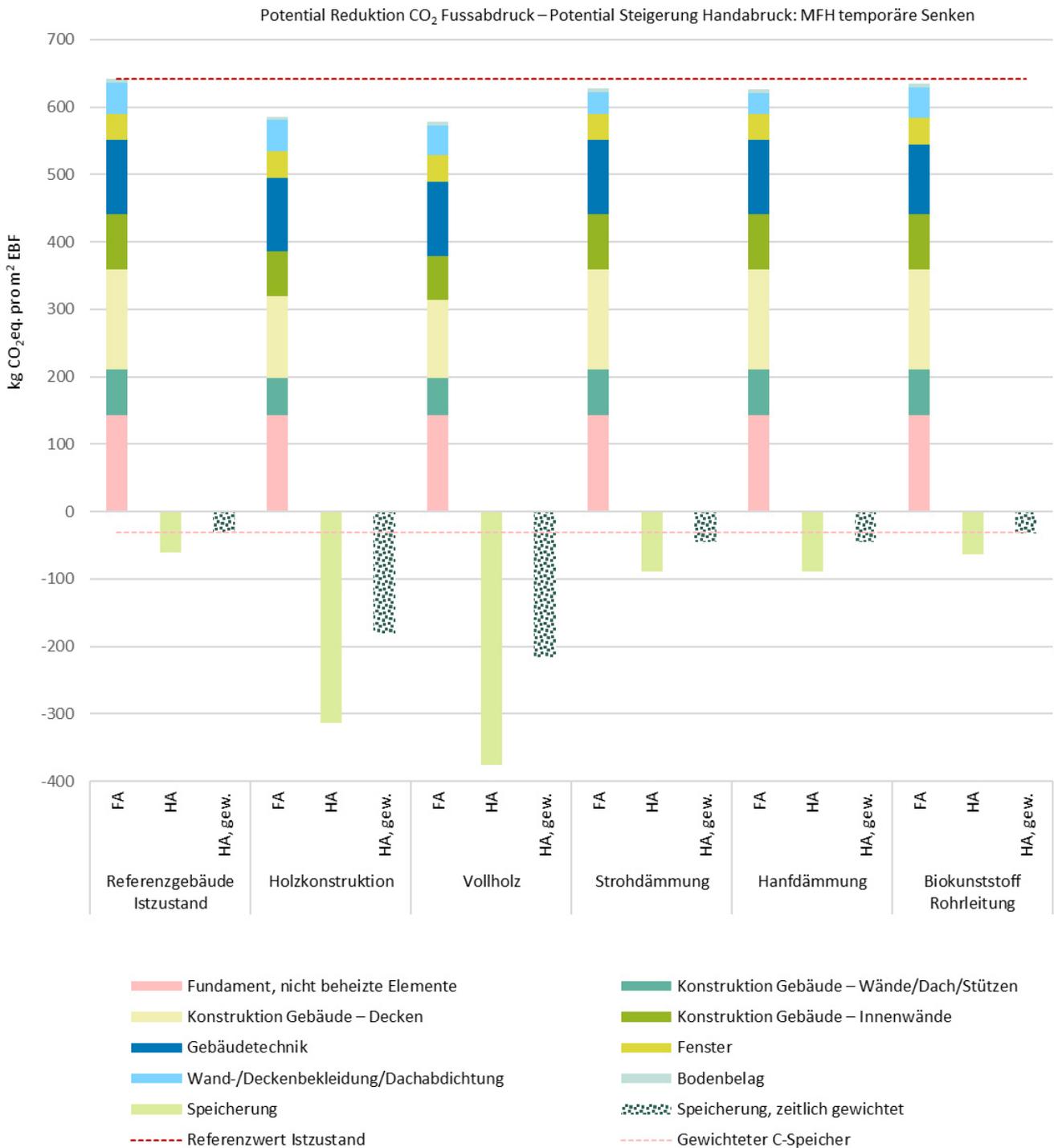


Abb. 33: Ergebnis Reduktionspotenzial der Massnahmen im Vergleich zum MFH-Neubau-Referenzgebäude (linke Säule; rot gestrichelte Linie): Die Holzkonstruktionen zeigen sowohl das grösste Potenzial beim Fussabdruck (FA) wie auch beim Handabdruck (HA). Eigene Berechnung/Darstellung.

In der nachfolgenden Tabelle ist dazu eine Einordnung des Potenzials der Speicherwirkung im Vergleich zu den THG-Emissionen aufgeführt. Dabei werden die in diesem Projekt erarbeiteten Regeln für die Anrechnung verwendet, siehe Kapitel 5.3.4.5.

Bei den biogenen Baustoffen wird neben der temporären C-Speicherung in der Biomasse auch eine Reduktion des CO₂-Fussabdrucks erreicht. Dieser ist abhängig vom Einsatz und der Substitution der anderen Baustoffe. Relevant sind hier die grösseren Materialposten der Tragstruktur mit dem Ersatz von Beton und Stahl.

Massnahme	Bauteile MFH	Anteil am Total Fussabdruck MFH	Reduktion gegenüber Referenzbauteil	Einsparung CO ₂ -Fussabdruck MFH	Zuwachs biogene C Speicherung/gewichteter Anteil
Holzkonstruktionen Brettstapel	Aussen- und Innenwände, Decken, Dach	38%	-23%	-9%	+22%
Holzkonstruktionen Vollholz	Aussen- und Innenwände, Decken, Dach sowie zusätzlich Dämmung	46%	-22%	-10%	+28%
Holz Bodenbelag	Bodenbelag	< 1%	-	< 1%	Nicht relevant
Dämmputz Hanf	Dämmstoffe Wände/Dach	5%	-50%	-2%	+4%
Strohdämmung	Dämmstoffe Aussenwände, teilweise Innenwände	3%	-71%	-2%	+2%
Biokunststoff als Dämmstoff (Beispiel Flexen PE)	Rohrisolationen	3%	-40%	-1%	+0.4%
Weitere biogene Produkte können aufgrund ihrer Eigenschaften und Anwendungsbereiche anhand der Beispiele abgeleitet werden					

Tab. 18: Übersicht Massnahmen und Berechnungen der Reduktionspotenziale. Analysen ausgehend vom Istzustand, Referenzwert 2020. Derzeit nicht berücksichtigt bei Holzprodukten ist deren Optimierung mit erneuerbaren Energieprodukten in der Herstellung. Eigene Berechnung.

5.4.1.2 Zirkuläres Bauen

Strategien: Erhöhung Lebensdauer, Wiederverwendung von Bauteilen und Produkten, Rückgewinnung/Recycling optimieren und Baustoffe aus Abfällen/Nebenprodukten.

Verschiedene Massnahmen zur Erhöhung der Einsatzzeit von Materialien führen zu einer Reduktion der Neuproduktion von Baumaterialien. Es stellt sich somit die Frage, wer sich welchen Nutzen anrechnen darf. Der erste Nutzer, der das Bauteil weitergibt, oder derjenige, der dieses weiterverwendet. Wie in Kapitel 5.2.1.2 beschrieben, wird angenommen, dass das Bauteil in der ersten Nutzung die Amortisationszeit erreicht hat und daher ohne Belastung dem zweiten Nutzer übergeben wird. Der zweite erhält nur die Belastungen durch die Aufbereitung sowie eine Gutschrift dafür, dass das Bauteil nicht neu hergestellt werden musste. Dabei wurde die konservative Annahme getroffen, dass diese Gutschrift 50% der Neuproduktion des Bauteils entspricht (vgl. dazu auch den Kommentar zur Wiederverwendung im Kap. 4.4.2).

Bei den folgenden beiden Massnahmen ist zu beachten:

- Wiederverwendung Tragstruktur: Diese Massnahme ist nur bei Bestandsgebäuden, d. h. bei Gesamtsanierungen/Erneuerungen anwendbar.
- Planung für Demontage, Systemtrennung: Auf Grund der gewählten Allokation weist diese Massnahme keinen Nutzen aus, da dieser erst bei der zweiten Nutzung zum Tragen kommt. Um dennoch den Nutzen dieser Massnahme zu zeigen, wurde der Nutzen, der sich bei der zweiten Nutzung ergeben wird, ausgewiesen.

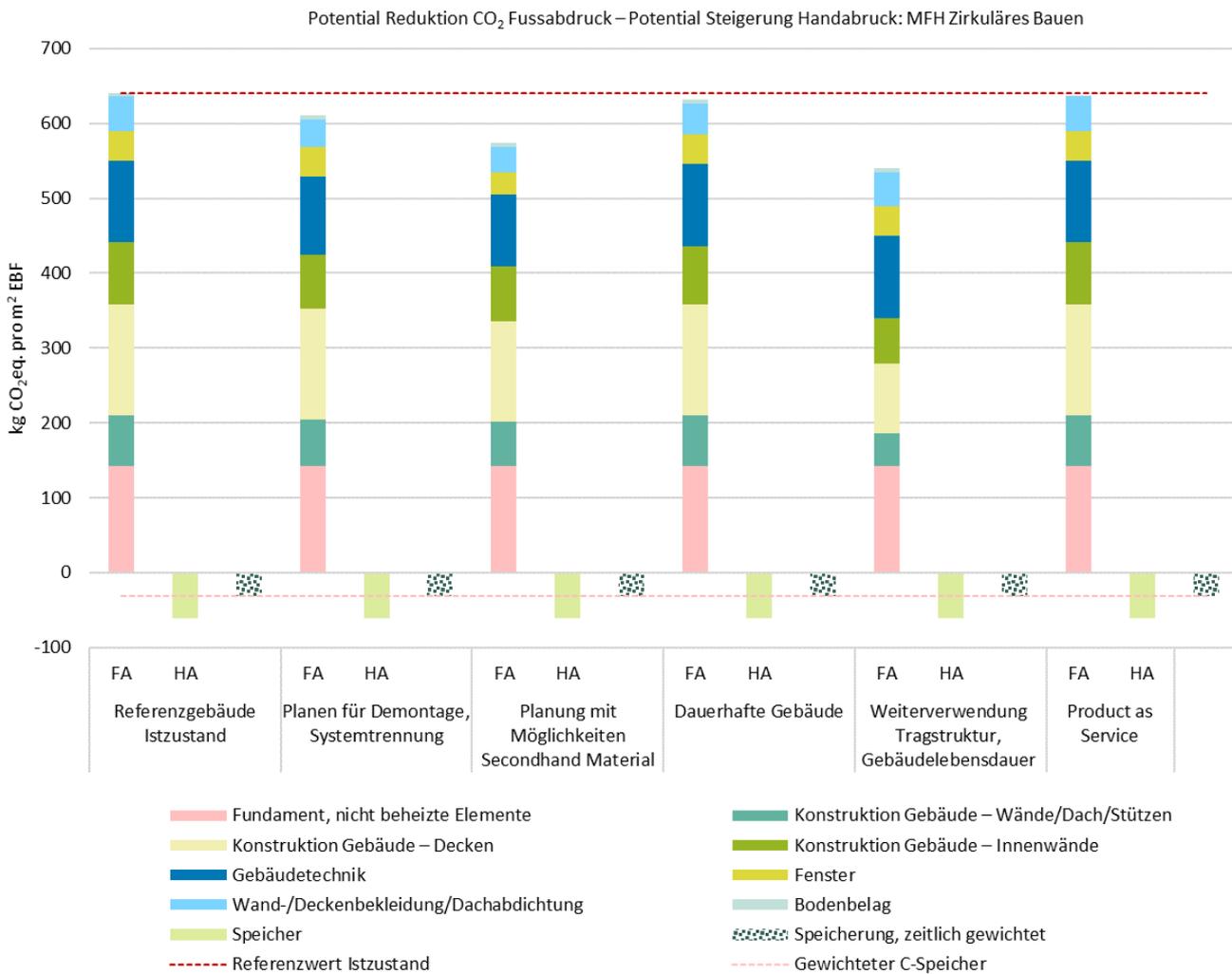


Abb. 34: Ergebnis Reduktionspotenzial der Massnahmen, hergeleitet mit einer Analyse im Vergleich zum Referenzwert Istzustand (Links; rot gestrichelte Linie). Die Wiederverwendung von Materialien und Tragstrukturen führt zu einer relevanten Reduktion des Fussabdrucks (FA). Der Handabdruck (HA) bleibt bei diesen Massnahmen unverändert. Eigene Berechnung/Darstellung.

Abb. 34 illustriert die Berechnung der Einsparungen. Die Annahmen zum Einsatz von wiederverwendeten Baumaterialien wurden konservativ getroffen und können im Einzelfall bei einer Planung mit voller Ausrichtung auf diese entsprechend grösser ausfallen. Das erste Fallbeispiel einer Aufstockung in Winterthur zeigt („Bürogebäude K118“), dass bis zu 70% der Bauteile ersetzt und damit gegenüber neuwertigen Bauteilen eine 60% Einsparung erzielt werden konnte (Zirkular GmbH, 2021). Um einen mehrheitsfähigen Ansatz zu verfolgen, wählten wir als Zahlengrundlage eine konservative Basis von 20% Bauteilen mit einer Reduktion von 50%.

Produkte als Dienstleistung anzubieten ist eine Massnahme, welche zirkuläres Bauen fördert und mit welcher dank dem Service auch eine längere Lebensdauer erreicht werden kann. Das Angebot ist jedoch noch beschränkt. Als Beispiel dient ein Produkt im Bereich Bodenbeläge, weshalb der Nutzen sehr klein zu sein scheint. Falls dies für weitere Produkte realisiert wird, kann der Nutzen entsprechend höher sein.

Beispiele für Recyclingmaterialien sind unter Kapitel 5.4.1.4 aufgeführt.

Die nachfolgende Tabelle fasst die Annahmen und Ergebnisse der Reduktion der THG-Emissionen zusammen. Weitere Details sind im Steckbrief der Massnahmen aufgeführt (siehe Anhang). Der Effekt einer einfachen Wiederverwendung wird hier mit dem Begriff „Modul D – Nutzen ausserhalb des eigenen Systems“ gekennzeichnet.

Massnahme	Bauteile MFH	Anteil am Total MFH	Reduktion	Einsparung CO ₂ -Fussabdruck MFH	Zuwachs bio-gene C Speicherung/gewichtet Anteil
Planen für die Demontage „Wiederverwendung, Folgenutzung“	Einzelne Elemente der Innenwandkonstruktion, Dachkonstruktion, Fassadenbekleidung und Aussenwärmedämmung sowie der Gebäudetechnik und Deckenbekleidung.	9%	-50%	-5% (Modul D)	Kein Effekt
Planen mit Second-hand Bauteilen „Wiederverwendung Produkte“	Elemente der Dachkonstruktion und der Dachhaut, Fassadenelemente und Aussenwärmedämmung, Fenster*, Stützenkonstruktionen sowie der Gebäudetechnik und Innen- und Aussenwände.	21%	-50%	-10%	Kein Effekt
Dauerhafte Gebäude, Schutz Bauteile zur Verlängerung Einsatz	Fassadenelemente, teilweise Innenwände.	5%	-25%	-1%	Kein Effekt
Wiederverwendung Tragstruktur	Decken, Wände, Dach	31%	-50%	-16%	Kein Effekt
Product as a Service	Bodenbeläge	1%	-60%	<1%	Kein Effekt
Recyclingbaustoffe -> siehe Kapitel 5.4.1.4					

Tab. 19: Übersicht Massnahmen und Berechnungen der Reduktionspotenziale: zirkuläres Bauen. Analysen ausgehend von einem Referenzwert Istzustand.

*Soweit diese den U-Wert erfüllen, wird ein beschränkter Anteil verrechnet.

5.4.1.3 THG-Effizienz

Strategie: effiziente Grundrisse, leichte Bauweise (diese ist ebenfalls dem Bereich Ersatz zugeordnet), kompakte Gebäudehülle, Vorfertigung und Optimierung der Fertigung.

In der Planung haben die Bauweise, die Effizienz der Grundrisse (EBF/Nutzer) und die Form der Gebäudehülle (Gebäudehüllzahl) einen entscheidenden Einfluss auf die THG-Emissionen. Durch eine Vorfertigung von Elementen können Bauteile ressourcensparend und günstiger produziert werden. Die Grundsatzentscheide zur Bauweise haben nicht nur einen Einfluss auf den CO₂-Fussabdruck, sondern mit der Wahl der Baustoffe, z. B. Holz für eine Leichtbauweise, auch auf den Handabdruck der Gebäude. Bei der Strategie Effizienz der Grundrisse, welche eine Reduktion der EBF pro Nutzer anstrebt, stellt sich das Problem, dass mit der funktionellen Einheit m² EBF der Nutzen dieser Massnahme nicht ausgewiesen werden kann. Um diesen Nutzen trotzdem auszuweisen, wurden die CO₂-Fuss- und Handabdrücke für diese Massnahme nicht pro m² EBF, sondern um die proportional zur höheren Personenbelegung reduzierte Fläche ausgewiesen.

5 Quantifizierung der Reduktionsmassnahmen

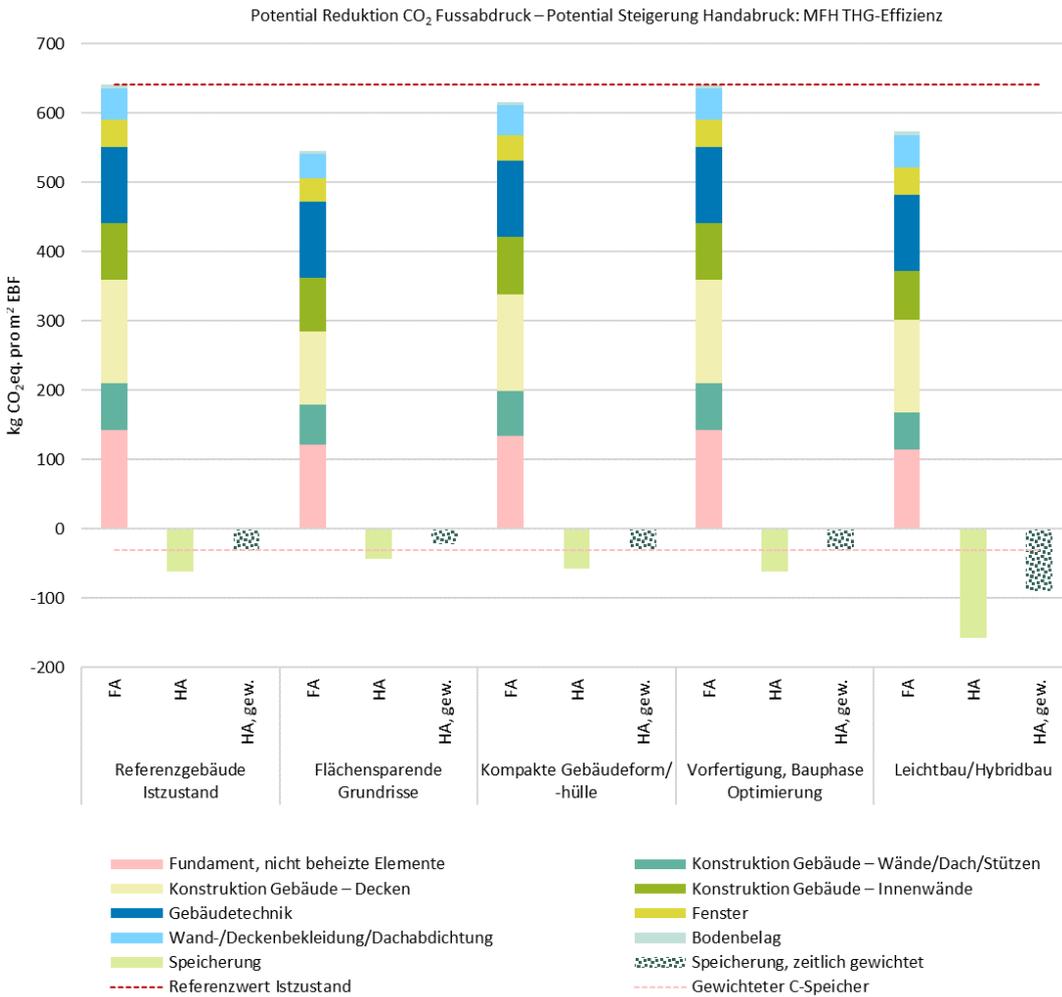


Abb. 35 zeigt für ausgewählte Massnahmen die erzielten Effekte.

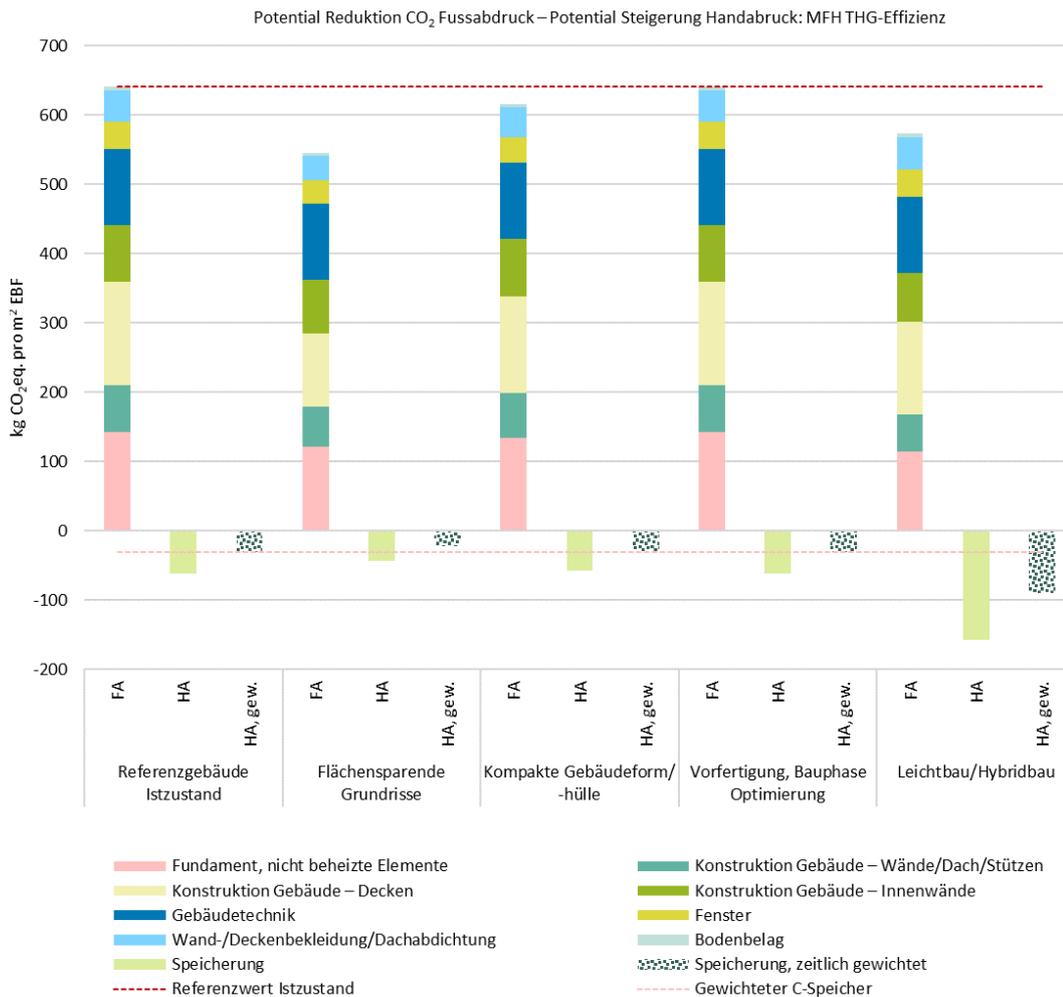


Abb. 35: Ergebnis Reduktionspotenzial der Massnahmen THG-Effizienz, hergeleitet mit einer Analyse im Vergleich zum Referenzwert Istzustand (links; rot gestrichelte Linie): Flächensparende Grundrisse und Leichtbau führen zu einer relevanten Reduktion des Fussabdrucks (FA). Ein reduzierter Materialverbrauch führt umgekehrt bei flächensparenden Grundrissen und kompakten Gebäudeformen zu einem leicht geringeren Handabdruck (HA). Eigene Berechnung/Darstellung.

Die nachfolgende Tabelle fasst die Annahmen und Ergebnisse der Reduktion der THG-Emissionen zusammen. Weitere Details sind im Steckbrief aufgeführt (siehe Anhang).

Massnahme	Bauteile MFH	Anteil am Total Fussabdruck MFH	Reduktion	Einsparung CO-Fussabdruck MFH	Zuwachs biogene C-Speicherung/gewichteter Anteil
Flächensparende Grundrisse, Reduktion EBF von 65 auf 45 m² EBF pro Kopf	Nahezu alle Bauteile. Weniger stark reduziert Aussenwände, Innenwände und Dach gegenüber der direkt proportionalen Einsparung Deckenflächen. Keine Einsparung wird erwartet bei Gebäudetechnik.	53%	-29%	-15% (weniger Material pro Person verbaut, 0.79 m ² EBF statt 1 m ² EBF verrechnet)	-2% (weniger Material pro Person verbaut, 0.79 m ² EBF statt 1 m ² EBF verrechnet)
Kompakte Gebäudeform	Aussenwände, Decken, Dach (Gebäudeform und Grundrisse)	65%	-6%	-4%	Kein Effekt
Vorfertigung, Optimierung Fertigung Bauteile	Aussenwände und Innenwände, Dachkonstruktion	49%	-5%	-2%	Kein Effekt
Leichtbauweise	Reduktion Gewicht und Materialbedarf, unter anderem mit Anteilen an Holzkonstruktion. Tragstruktur und Innenwände	53%	-20%	-11%	+8%

Tab. 20: Übersicht Massnahmen und Berechnungen Reduktionspotenziale. Analysen ausgehend vom MFH-Referenzwert 2020. Eigene Berechnung/Darstellung.

5.4.1.4 Materialeffizienz

Strategien: Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität, neue und innovative Materialien, Reduzieren der THG-Intensität

In den letzten Jahren sind verschiedene neue, innovative Materialien auf den Markt gekommen, welche einen Beitrag zur Verbesserung der Klimabilanz leisten wollen. Es handelt sich dabei zum Beispiel um Abfallfraktionen aus der Metallindustrie als Zementersatz oder um natürliche und wenig verarbeitete Materialien wie Aushub, Ton oder Recyclingprodukte. Die eingesetzten Abfallstoffe aus der Metallindustrie haben, verbunden mit der Karbonisierung, ein CO₂-Absorptionspotenzial. Da es sich dabei um eine dauerhafte Speicherung handelt, wird diese direkt in der CO₂-Bilanz verrechnet.

Die nachfolgende Darstellung illustriert die Berechnung der Einsparung unterschiedlicher Fallbeispiele für den Einsatz innovativer und neuer Baumaterialien.

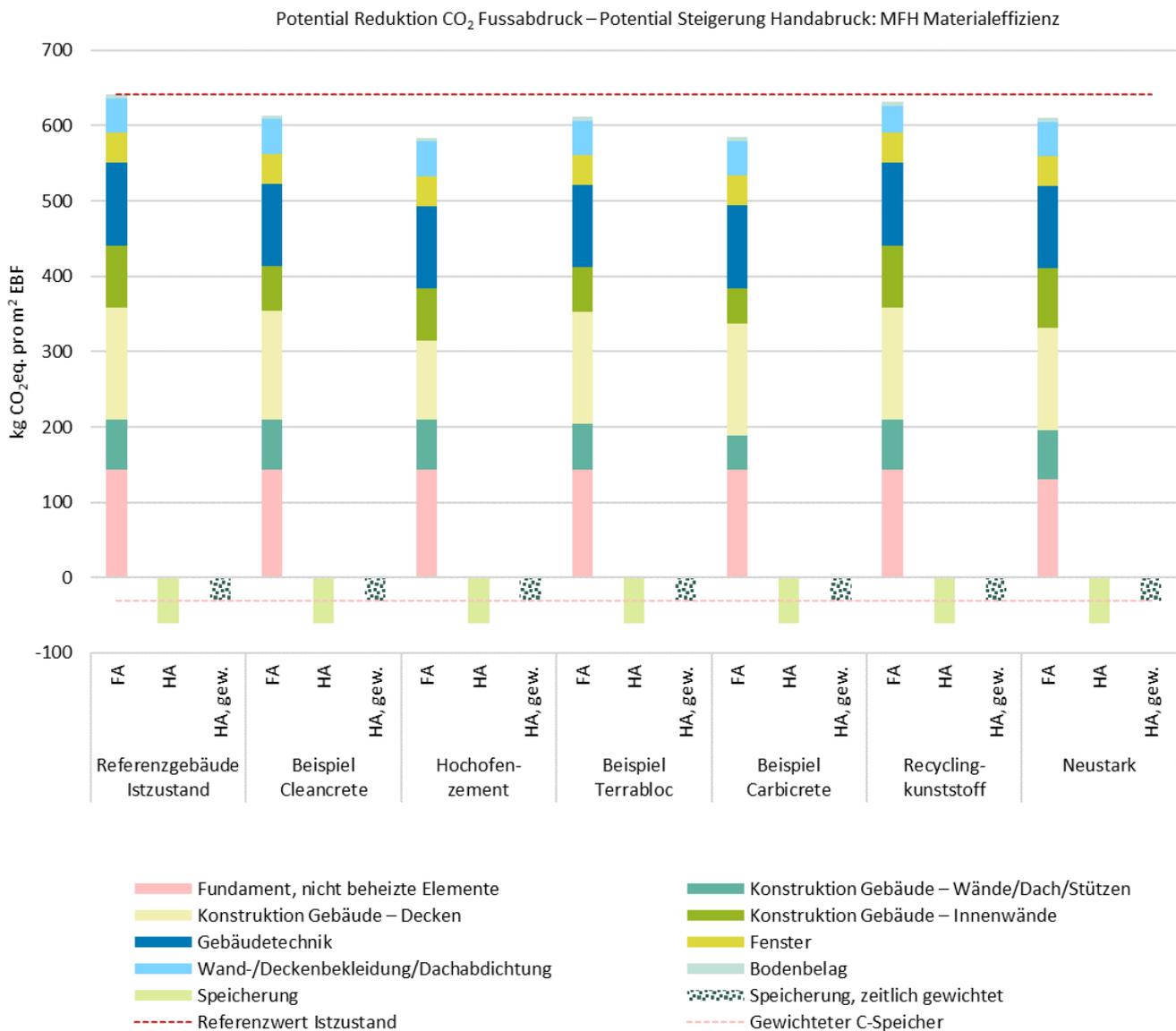


Abb. 36: Ergebnisse der Massnahmen: Materialeffizienz; Analyse Reduktionspotenzial ausgehend von einem Referenzwert Istzustand. Bei den hier dargestellten Massnahmen ergeben sich Reduktionen des Fussabdrucks (FA) von bis zu 10%, jedoch bleibt der Handabdruck (HA) unverändert, kein Beitrag zur Erhöhung. Eigene Berechnung/Darstellung.

Die nachfolgende Tabelle fasst die Annahmen und Ergebnisse der Reduktion THG-Emissionen zusammen. Die verwendeten Grundlagen der Ökobilanzierung basieren auf einem Cut-off-Ansatz für die Abfallprodukte. Somit wird der Schlacke, dem Hüttensand, dem Recyclinggranulat und CO₂ aus der Abluft einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) kein Rucksack für die vorgängigen Prozesse verrechnet. Die insgesamt negative Bilanz von Carbicrete beruht darauf, dass Schlacke und CO₂ ohne Belastung in die Bilanz einfliessen. Abhängig von der Nachfrage und von Preisen können diese als Nebenprodukt und Ressource betrachtet werden. Eine teilweise Anrechnung, basierend auf einer ökonomischen Allokation, könnte unter Umständen Sinn machen.

Massnahme	Bauteile MFH	Anteil am Total MFH	Reduktion	Einsparung CO ₂ -Fussabdruck MFH	Zuwachs biogene C-Speicherung/gewichtet Anteil
Ton/Aushub zementfrei gebunden (Beispiel Cleancrete)	Nicht tragende Wände, etwa 35-40% der Innenwände	6%	-75%	-4%	Kein Effekt
Ton/Aushub mit minimalem Zementeinsatz (Beispiel Terrabloc)	Nicht tragende Wände, etwa 35% der Innenwände	6%	-76%	-5%	Kein Effekt
Hochofenzement als Zementersatz (Beispiel CEMIII/B)	Nicht exponierte tragende Betonkonstruktion, Decken und Innenwände	21%	-42%	-9%	Kein Effekt
Karbonisierte Schlacke als Zementersatz (Beispiel Carbicrete)	Teilersatz Aussenwände und tragende Innenwände	8%	-116%*	-11%	Kein Effekt
Karbonisiertes Beton-Recyclinggranulat (Beispiel Neustark)	Verwendung Decken/Wände/tragende Innenwände/Dach	40%	-12%*	-5%	Kein Effekt
Dämmung aus Recycling-PET	Kunststoffdämmung	3%	-40%	-1%	Kein Effekt
Biogene Materialien siehe Kapitel 5.4.1.1					

Tab. 21: Übersicht Massnahmen und Berechnungen Reduktionspotenziale: innovative Materialien. Analysen ausgehend von einem Referenzwert Istzustand Fussabdruck MFH von 640 kg CO₂ pro m² EBF (11 kg CO₂ pro m² EBF und Jahr) und einem Referenzwert Handabdruck MFH von 60 kg CO₂ pro m² EBF (30 kg CO₂ zeitlich gewichtet, Quotient Lebensdauer/100 Jahre). Eigene Berechnung/Darstellung.

*Karbonisierung und Allokationen gemäss Text, Cut-off-Abfallstoffe und CO₂ aus der ARA und volle Anrechnung.

6.

Bewertung Handlungsmöglichkeiten

Auf Basis der im vorhergehenden Kapitel gewonnenen quantitativen Werte wird im Folgenden unter Berücksichtigung von Ambitionsstufen die konkrete Umsetzung der besprochenen Reduktionsmassnahmen im Bauprojekt bewertet.

6.1 Übersicht Reduktionsstrategien auf Ebene der Massnahmen

Die Bewertung der Reduktionsstrategien wird erneut in einer Übersicht dargestellt. Aufgrund der Berechnung des Einsparpotenzials ergaben sich neue Erkenntnisse, so wurde z. B. die Reduktionsstrategie „Gebäudetechnik reduzieren“ fallengelassen, weil sich zeigte, dass die einzige zugehörige Massnahme „Haus ohne Heizung“ nur Vorteile für die Betriebsphase aufweist, nicht aber für die Erstellungsphase, was nicht Fokus dieser Arbeit ist.⁶⁰ Ansonsten konnte pro Reduktionsstrategie mindestens eine Massnahme quantifiziert werden.

6.1.1 Ambitionsstufen, Verfügbarkeit und Umsetzungsbereitschaft

Von den AutorInnen abgeschätzt wurde weiter für alle quantifizierten Massnahmen die „Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung“ sowie die „kommerzielle Verfügbarkeit“ (vgl. Tab. 24 und Tab. 25). Die Berücksichtigung der „Bereitschaft der Baubranche“ ergab sich aus der Tatsache, dass die Massnahmen, obwohl sie kommerziell verfügbar und den AkteurInnen bekannt sind, trotzdem nicht umgesetzt werden. Einen guten Hinweis dazu liefern Gieseckam et al. (2016, fig. 6).⁶¹ Die Einschätzung wurde aufgrund der Erfahrung der AutorInnen vorgenommen.

Die kommerzielle Verfügbarkeit von Produkten wurde von der Lieferbarkeit auf Schweizer Baustellen abgeleitet. Sind Produkte allenfalls noch in der Forschungsphase oder nur im Ausland erhältlich, erhalten solche Massnahmen eine Bewertung > 1 (schlechte Verfügbarkeit). Weil gewisse Massnahmen der technologischen Entwicklung vorgreifen und nicht alle Fachleute über das notwendige Wissen zu ihrer Umsetzung verfügen, erfolgt eine abgestufte Punktebewertung.

Bei Planungsdienstleistungen fiel die Beurteilung, auch wenn gestützt auf eigene, jahrelange Erfahrung im Bereich nachhaltiges Bauen subjektiver aus, weil keine allgemeingültigen Angaben dazu existieren. Zur Bewertung wurden die Punkte nach folgenden Kriterien vergeben:

Punkte	Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung
1	Vorhanden
2	Mit Vorbehalten
3	Verbreitet Vorurteile vorhanden
4	Höchstens im Rahmen von P&D-Projekten

Tab. 22: Punktevergabe beim Kriterium „Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung“. Diese Bewertung orientiert sich am Artikel von Gieseckam et al. (2016).

Punkte	Kommerzielle Verfügbarkeit
1	In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden
2	Im Ausland erhältlich, Wissen vereinzelt vorhanden
3	Zu Testzwecken erhältlich, kaum Wissen vorhanden (nur wenige ExpertInnen)
4	Im Forschungsstadium, kein Wissen vorhanden

Tab. 23: Punktevergabe beim Kriterium „Kommerzielle Verfügbarkeit“. Eigene Beurteilung, basierend auf eigener jahrelanger Erfahrung in der Baubranche.

Die Kombination dieser beiden Einschätzungen „kommerzielle Verfügbarkeit“ und „Bereitschaft zur Umsetzung“ wird „Ambitionsstufe“ genannt, deren Bewertung von 2 („Bereitschaft vorhanden“ und „kommerzielle Verfügbarkeit gegeben bzw. in der Schweiz erhältlich“) bis 8 („keine Bereitschaft vorhanden bzw. höchstens

⁶⁰ Vgl. dazu auch das entsprechende Kapitel 12.4.1.11.

⁶¹ Siehe auch Kap. 12.3.5.

im Rahmen von P&D-Projekten“ und „nicht kommerziell verfügbar bzw. noch im Forschungsstadium“) reicht. Die berechnete durchschnittliche Ambitionsstufe aller Massnahmen beträgt für Neubauten 4.16 und für Erneuerungen 4.21 (s. unten).

Bei der hypothetischen Betrachtung wird zwischen einem MFH-Neubau und einer MFH-Erneuerung unterschieden.

Die Chancen für die Umsetzung von Reduktionsmassnahmen hängen von der Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung sowie von der kommerziellen Verfügbarkeit der Massnahmen, also den entsprechenden Ambitionsstufen, ab.

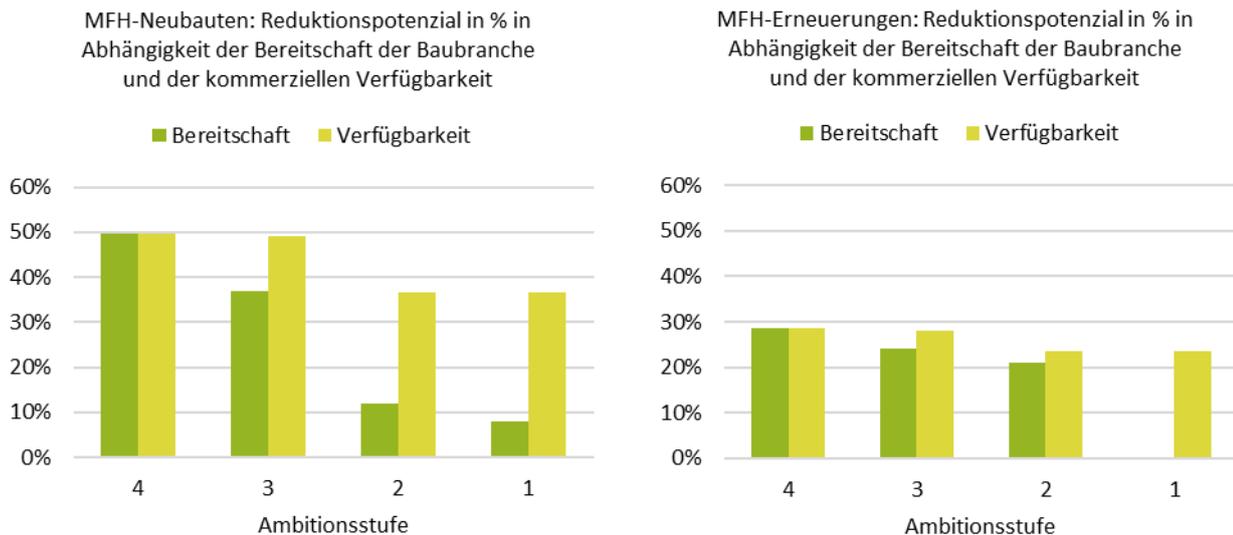


Abb. 37: Reduktionspotenziale für MFH-Neubauten (links) und Erneuerungen (rechts). Mit dem Sinken der Ambitionsstufe fällt die Bereitschaft der Bauwirtschaft zur Umsetzung von Massnahmen unter die Möglichkeiten der kommerziellen Verfügbarkeit. Folglich führt diese Diskrepanz dazu, dass anstelle der technisch möglichen „nur“ wenig ambitionierte Massnahmen umgesetzt werden. Eigene Berechnung/Darstellung.

Abb. 37 zeigt das Verhältnis zwischen den Reduktionspotenzialen in Abhängigkeit der Bereitschaft der Baubranche und der kommerziellen Verfügbarkeit pro Ambitionsstufe. Dabei tut sich insbesondere bei den Neubauten eine bedeutende Lücke auf. Obwohl bei vielen Massnahmen die kommerzielle Verfügbarkeit gegeben ist, ist die Bauwirtschaft nicht bereit, diese umzusetzen. Es handelt sich gleichzeitig um ein klassisches Nachhaltigkeitsproblem, welches in der Wissenschaft innerhalb der sog. „Transition Studies“ oder „Sustainability Transitions“ behandelt wird. Ein Beispiel dazu ist der Artikel von Gibbs und O’Neill (2015).

6.1.2 Neubauten, Reduktionspotenzial von Massnahmen und deren Ambitionsstufen

Die Massnahmen und die Grössenordnung des Reduktionspotenzials entsprechen den Angaben im Kapitel 5. Die Einschätzung der Ambitionsstufen erfolgte aufgrund ihrer kommerziellen Verfügbarkeit und der Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung.

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Grössenordnung Reduktionspotenzial [in % des Referenzgebäudes pro m ² EBF]	Bereitschaft der Baubranche zur Umsetzung	Kommerzielle Verfügbarkeit	Ambitionsstufe
Holzkonstruktionen verwenden	Brettstapel	8%	1	1	2
	Vollholz	10%	3	1	4
Natürliche und lokale (Bio-masse-)Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	5%	2	1	3
	Strohdämmung	2%	3	1	4
	Rohrdämmung Bioethanol	1%	3	1	4
	Dämmputz Hanf	2%	3	1	4
Reduzieren der THG-Intensität	Hochofenzement CEM III/B	9%	3	1	4
	Karbonisierter Kalkstein	11%	4	3	7
	Karbonisierter Beton	5%	2	1	3
Gebäudelebensdauer	Witterungsschutz	1%	2	1	3
Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Bauen mit Sekundärmaterial	10%	4	3	7
Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Planen für Demontage/Modul D	5%	3	2	5
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%	2	4	6
	Product as Service (Tepich)	0.5%	3	1	4
Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	Flächensparende Grundrisse	15%	3	1	4
Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)	Kompakte Gebäudeform	4%	2	1	3
Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5)	Vorfertigung	2%	1	1	2
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbau	11%	2	1	3
Neue, innovative Materialien verwenden	Aushub zementfrei gebunden	4%	4	3	7

Tab. 24: Darstellung aller Reduktionsmassnahmen für MFH-Neubauten mit dem in Kap. 5 berechneten Reduktionpotenzial sowie den auf Einschätzungen der AutorInnen beruhenden Ambitionsstufen (Bereitschaft 1–4; 1 = hohe Bereitschaft, 4 = tiefe Bereitschaft, Verfügbarkeit 1–4, 1 = hohe Verfügbarkeit, 4 geringe Verfügbarkeit; Ambitionsstufen = Summe aus Bereitschaft und Verfügbarkeit; 2 wenig Ambitionen, 8 viel Ambitionen. Eigene Darstellung.

In der Abb. 38 sind die Massnahmen mit ihrem Reduktionspotenzial inkl. – falls vorhanden – dem gewichteten C-Speicher abgebildet. Die Möglichkeit der (teilweisen) Anrechnung des C-Speichers bei einem Neubauprojekt ist abhängig von den anderen umgesetzten Massnahmen. Die Anrechnung des gewichteten Speichers ist nur bis zu einem Viertel der regulären Reduktionen erlaubt. Grundsätzlich wurden die Reduktionspotenziale auf einer konservativen Basis abgeschätzt. Im besten Fall können die einzelnen Massnahmen auch höhere Reduktionspotenziale erreichen.

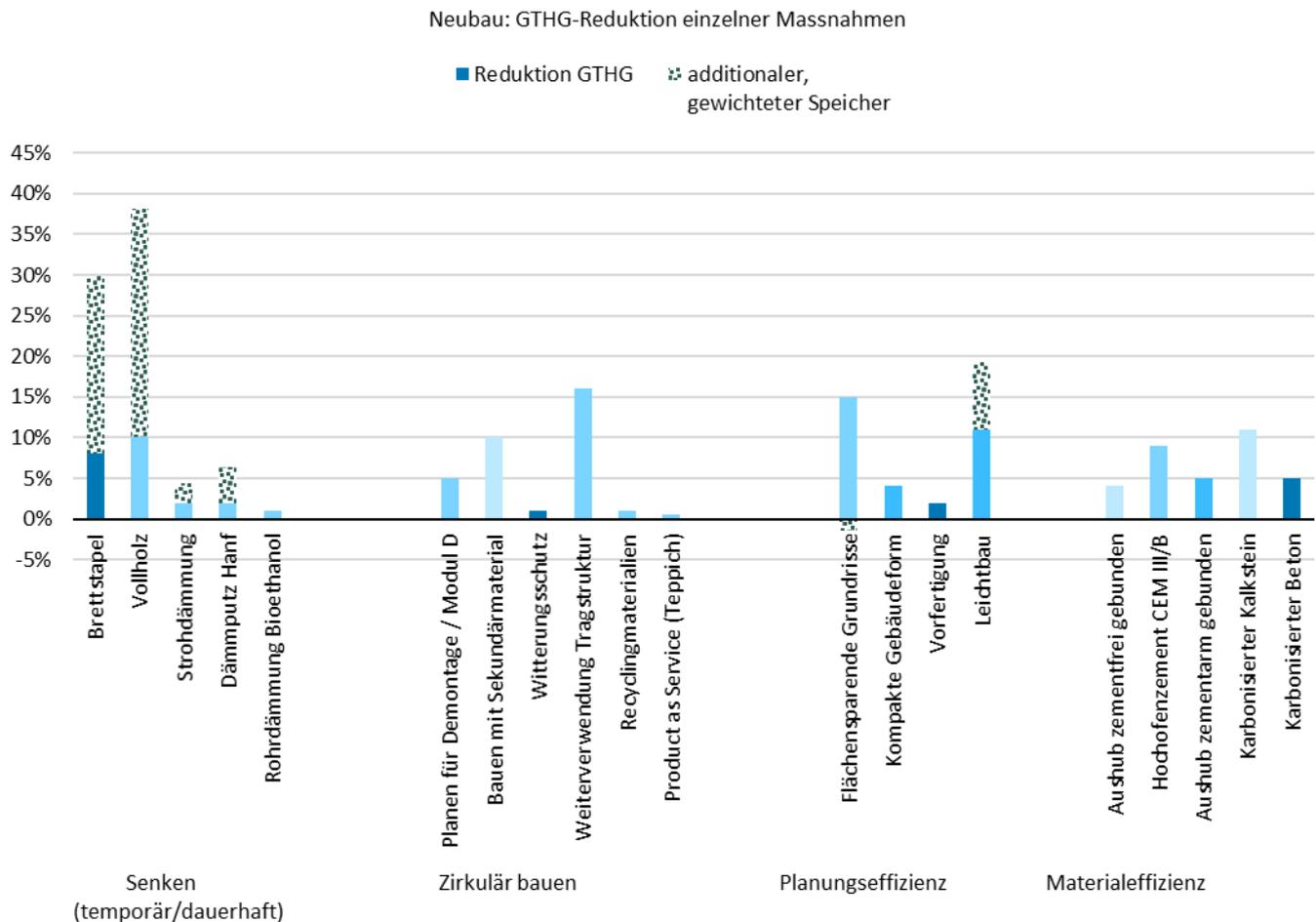


Abb. 38: Reduktionspotenzial und additionaler gewichteter C-Speicher der thematisch gruppierten Reduktionsmassnahmen (vgl. Tab. 11). Reduktionspotenzial als prozentualer Anteil des MFH-Referenzbaus sowie C-Speicher (gepunktet schraffiert), der entsprechend der regulären Reduktion (teilweise) angerechnet werden kann. Dunkle Blautöne zeigen Massnahmen mit einer tiefen Ambitionsstufe, während helle Blautöne auf eine hohe Ambitionsstufe hinweisen. Eigene Berechnung/Darstellung.

6.1.3 Erneuerungen, Reduktionspotenzial von Massnahmen und deren Ambitionsstufen

Bei Erneuerungen ist in erster Linie die Eingriffstiefe für die Menge der THG-Emissionen verantwortlich. Die Erneuerung beinhaltet hier eine umfassende energetische Sanierung, einzelne Grundrissveränderungen sowie neue Oberflächen und Ausbauten im Innern. Es wird angenommen, dass die Erneuerung in diesem Fall wirtschaftlich gesehen ähnlich interessant ist wie ein Ersatzneubau, sodass im Normalfall der Bestandesbau abgebrochen werden würde.

Aufgrund der z. T. grossen Unterschiede zwischen Massnahmen für Neubauten und Erneuerungen wurden für diesen Fall die Reduktionspotenziale der folgenden Massnahmen deutlich gesenkt: Aushub zementarm gebunden, Bauen mit Sekundärmaterial und Leichtbau. Dies wieder im Sinne einer konservativen Schätzung. Im besten Fall können die einzelnen Massnahmen auch höhere Reduktionspotenziale erreichen.

Als Basis für die Berechnung der Reduktionspotenziale dient ebenfalls das MFH-Referenzhaus. Das heisst, dass sich die Prozentzahlen der Einsparung an den gesamten THG-Emissionen des MFH-Referenzgebäudes orientieren. Aus diesen Gründen können die Reduktionspotenziale einzelner identischer Massnahmen aus der Tab. 24 auch nicht direkt übernommen werden. Betroffen sind die Massnahmen Aushub zementarm gebunden, Bauen mit Sekundärmaterial und Leichtbau. Bei einem Umbau werden üblicherweise nicht die gesamte Tragstruktur oder sämtliche Wände ersetzt, weshalb deutlich weniger Bauteile betroffen sind.

Die Massnahmenliste für Erneuerungen sieht wie folgt aus:

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Reduktionspotenzial in % des Neubau-Referenzgebäudes pro m ²	Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	Kommerzielle Verfügbarkeit	Ambitionsstufe
Natürliche und lokale (Bio-masse-)Materialien verwenden	<i>Aushub zementarm gebunden</i>	2%	2	1	3
	Strohdämmung	2%	3	1	4
	Rohrdämmung Bioethanol	1%	3	1	4
	Dämmputz Hanf	2%	3	1	4
Gebäudelebensdauer	Weiterverwendung Tragstruktur	16%	2	1	3
Wiederverwendung von Bauteilen und Bauprodukten	<i>Bauen mit Sekundärmaterial</i>	5%	4	3	7
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%	2	4	6
	Product as Service (Tepich)	0.5%	3	1	4
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	<i>Leichtbau</i>	1%	2	1	3

Tab. 25: Darstellung aller Reduktionsmassnahmen für MFH-Erneuerungen mit dem in 5 berechneten Reduktionpotenzial sowie den auf Einschätzungen der AutorInnen beruhenden Ambitionsstufen. Kursiv dargestellte Reduktionspotenziale bezeichnen Massnahmen, die im Vergleich zu einem Neubauszenario mengenmässig Unterschiede aufweisen. Eigene Berechnung/Darstellung.

In Abb. 38 und Abb. 39 sind die Massnahmen mit ihrem Reduktionspotenzial inkl. – falls vorhanden – dem gewichteten C-Speicher abgebildet. Die Möglichkeit der (teilweisen) Anrechnung des C-Speichers ist abhängig von den anderen umgesetzten Massnahmen. Die Anrechnung des gewichteten Speichers ist nur bis zu einem Viertel der regulären Reduktionen erlaubt. Grundsätzlich wurden die Reduktionspotenziale auf einer konservativen Basis geschätzt. Im besten Fall können die einzelnen Massnahmen auch höhere Reduktionspotenziale erreichen.

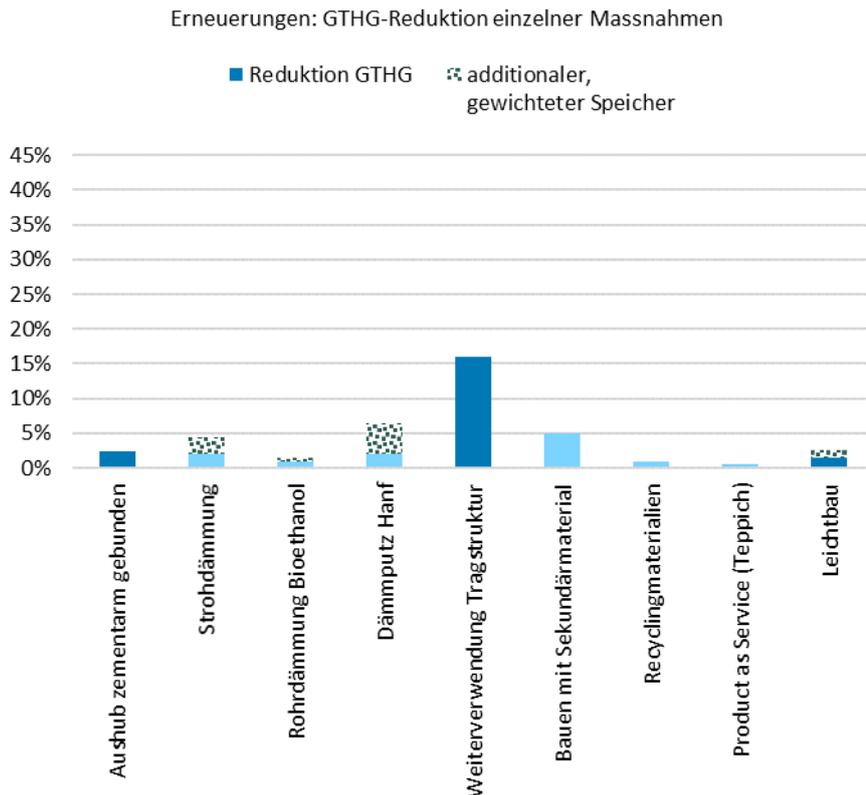


Abb. 39: Reduktionsmassnahmen mit dem dargestellten Reduktionspotenzial als prozentualer Anteil am MFH-Referenzbau sowie dem additionalen gewichteten C-Speicher (gepunktet schraffiert), der in Kombination mit anderen Massnahmen allenfalls (teilweise) beansprucht werden kann. Dunkle Blautöne zeigen Massnahmen mit einer tiefen Ambitionsstufe, während helle Blautöne auf eine hohe Ambitionsstufe hinweisen. Eigene Berechnung/Darstellung.

6.2 Bewertung von Planungsszenarien auf Ebene Gebäude

Hier wird untersucht, wie sich die bewerteten Massnahmen miteinander kombinieren lassen. Zählt man die Reduktionspotenziale aller Neubaumassnahmen zusammen, erhält man ein Potenzial von 106%. Auf den ersten Blick könnte dies so interpretiert werden, dass die Umsetzung aller Massnahmen bei einem MFH-Neubau nicht nur zu keinerlei THG-Emissionen führen, sondern sogar noch eine kleine Menge an THG aus der Atmosphäre entfernen würde. Dies ist nicht möglich, weil vor allem Reduktionsmassnahmen, welche mit alternativen Materialien funktionieren, sich gegenseitig konkurrieren. So können z. B. die Massnahmen Strohdämmung und Dämmputz Hanf nicht beide am gleichen Gebäude umgesetzt werden. Eine Massnahme müsste wegfallen.

Der biogene C-Speicher wird gemäss den in Kapitel 5.3.4 aufgeführten Bilanzierungsregeln dargestellt. Die vereinfachte Darstellung in den Abbildungen im Kap. 6 (Diagramme) bedeutet nicht, dass wir von austauschbaren Einheiten ausgehen. Wir möchten lediglich den positiven Beitrag des C-Speichers würdigen und sichtbar machen.

6.2.1 Neubau

6.2.1.1 Kategorienraster: Analytische Auswertung

Zuerst folgt eine analytische Auswertung. Konkret werden die Massnahmenkombinationen der Zeilen (1–4) und der Spalten (A–D) berechnet. Weiter wird grob dargestellt, welche Zelle welches Potenzial umfasst. Die

meisten Reduktionsstrategien erscheinen zweimal im Raster, weil die Umsetzung der wenigsten Massnahmen auf eine einzige Planungsphase festgelegt werden kann. Dies bedeutet, dass mehrere Phasen für die Umsetzung der Strategie und das insgesamt erzielte Resultat relevant sind. Die Bandbreite der Reduktionspotenziale setzt sich jeweils aus der Massnahme mit dem geringsten Reduktionspotenzial (kleinster Wert) und der Massnahme mit dem grössten Reduktionspotenzial (grösster Wert) zusammen.

In der folgenden Tabelle sind weiter die Reduktionswerte aller planerisch geprüften und aufeinander abgestimmten kombinierten Reduktionspotenziale einer einzelnen Planungsphase (A–D) oder einer einzelnen Strategie (1–4) enthalten. Auch hier gilt wieder, dass im besten Fall die einzelnen Kombinationen auch höhere Reduktionspotenziale erreichen können. Weiter sind in dieser Darstellung keine gewichteten C-Speicher berücksichtigt worden. Deren Anrechnung bei den kombinierten Reduktionspotenzialen ist nur bis zu einem Viertel der regulären Reduktionen erlaubt.

Reduktionsstrategien	Reduktionen nach Planungsphasen				
	A) 11–13 Strategische Planung	B) 21–22 Vorstudien	C) 31–33 Projektierung	D) 41 Ausschreibung	Kombination Bauphasen:
1) Senken (temporär/dauerhaft)	8–10%	8–10%	1–5%	1–11%	24%
2) Zirkuläres Bauen	1–10%	1–10%	5%	0.5–5%	12%
3) Planungseffizienz	15%	2–15%	2–4%		21%
4) Materialeffizienz		11%	1–11%	1–11%	16%
Kombination Strategien:	31%	35%	24%	31%	49%

Tab. 26: Reduktionsbandbreite einzelner Strategien pro Planungsphase (Zelle) sowie Reduktionspotenziale von kombinierten Massnahmen pro Strategie (Zeilen) und Planungsphase (Spalten). Eigene Berechnung/Darstellung.

Aus der Analyse der kombinierten Reduktionspotenziale bei MFH-Neubauten wird klar, dass die grössten Hebel zu GTHG-Einsparungen bei Neubauten in der Planungsphase „Vorstudien“ liegen (35%). Dort werden die wichtigen Weichen für eine effiziente und ressourcenschonende Ausführung gestellt. Gleichzeitig verspricht die Reduktionsstrategie „Senken“ mit dem Einsatz von weniger energieintensiven Materialien die höchsten Reduktionen (24%). Eine geschickte Kombination aller Reduktionsmassnahmen ermöglicht gar eine GTHG-Einsparung von 49%.

6.2.1.2 Auswertung nach Szenarien

Nachfolgend werden die Potenziale der Reduktionsstrategien und -massnahmen anhand typischer Bau- und Planungsszenarien untersucht und miteinander verglichen. Folgende Neubauszenarien werden untersucht: „Massivbau optimieren“, „Leichtbau optimieren“, „Handabdruck maximieren“ und „Zirkuläres Bauen“. Die Unterscheidung zwischen Massivbau und Leichtbau dürfte bekannt sein. Mit „Handabdruck optimieren“ ist gemeint, dass der C-Speicher möglichst maximiert werden soll. Dies bedeutet, dass ein Maximum an biogenen Baustoffen – insbesondere Holz – verbaut werden soll. Das Szenario „Zirkuläres Bauen“ legt den Schwerpunkt auf Massnahmen der Wiederverwendung und dem Verbauen von Recyclingmaterialien und Reststoffen. Dieses Szenario ist etwas benachteiligt, weil einige Massnahmen mit einer hohen Ambitionsstufe bewertet wurden. Die Szenarien werden jeweils mit steigenden Ambitionsstufen beurteilt. Je höher die Ambitionsstufe, desto geringer ist die erwartete Verfügbarkeit der Massnahmen und Bereitschaft der Umsetzung (vgl. Tab. 22 und Tab. 23).

Mit * gekennzeichnete Massnahmen konnten nicht mit ihrem vollen Potenzial berücksichtigt werden, weil sie mit einer oder mehreren anderen Massnahmen konkurrieren. Beispielsweise konkurriert die Massnahme „karbonisierter Beton“ mit „Leichtbau“, weil in einem Leichtbau nur in begrenztem Masse Beton verbaut wird.

6.2.1.3 Ambitionsstufe 3

Folgende Reduktionsmassnahmen konnten bei dieser Ambitionsstufe berücksichtigt werden:

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Reduktionspotenzial in % des Referenzgebäudes pro m ²	Massivbau optimieren	Leichtbau optimieren	Handabdruck optimieren	Zirkuläres Bauen
Holzkonstruktionen verwenden	Brettstapel	8%			X	
	Vollholz	10%				
Natürliche und lokale (Bio-masse-)Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	5%	X			
	Strohdämmung	2%				
	Rohrdämmung Bioethanol	1%				
	Dämmputz Hanf	2%				
Reduzieren der THG-Intensität	Hochofenzement CEM III/B	9%				
	Karbonisierter Kalkstein	11%				
	Karbonisierter Beton	5%	X	X*	X*	X*
Gebäudelebensdauer	Witterungsschutz	1%	X	X	X	X
Wiederverwendung von Bauteilen und Bauprodukten	Bauen mit Sekundärmaterial	10%				
Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Planen für Demontage/Modul D	5%				
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%				
	Product as Service (Tepich)	0.5%				
Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	Flächensparende Grundrisse	15%				
Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)	Kompakte Gebäudeform	4%	X	X	X	X
Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5)	Vorfertigung	2%		X	X	X
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbau	11%		X		
Neue, innovative Materialien verwenden	Aushub zementfrei gebunden	4%				
	Total THG-Reduktion		15%	20%	17%	9%

Tab. 27: Das Reduktionspotenzial bei Neubauten setzt sich aus den mit X gekennzeichneten Massnahmen zusammen. Die mit * bezeichneten Massnahmen konnten nicht mit ihrem gesamten Reduktionspotenzial berücksichtigt werden. Eigene Darstellung.

Die grösste Reduktion bei dieser tiefen Ambitionsstufe erreicht das Szenario „Leichtbau optimiert“ mit 20% THG-Einsparung gegenüber dem Referenzgebäude. Die anderen Szenarien erreichen Reduktionen von 17% (Handabdruck maximieren), 15% (Massivbau optimieren) und 9% (Zirkuläres Bauen), jeweils ohne Berücksichtigung des gewichteten C-Speichers.

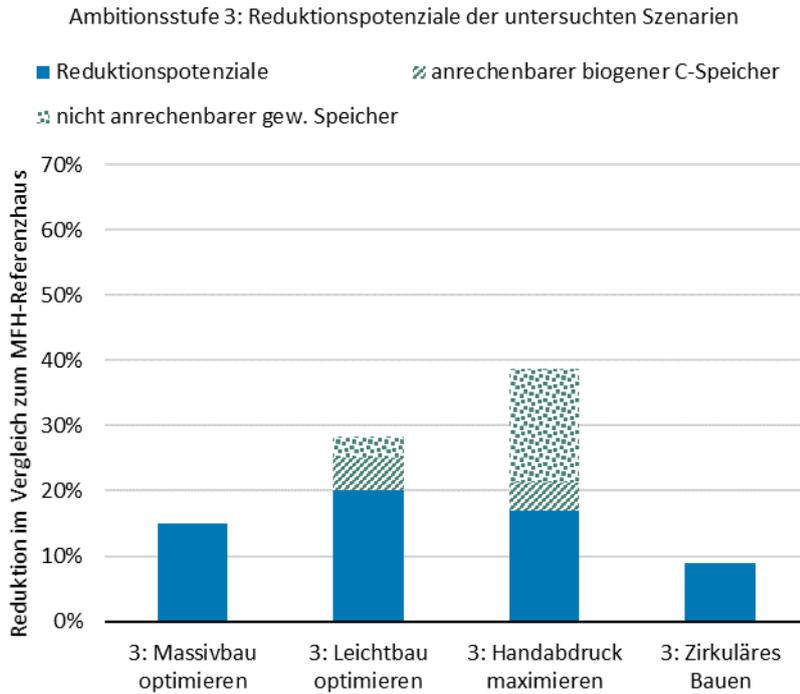


Abb. 40: Reduktionspotenziale bei der Ambitionsstufe 3. Blau: GTHG-Reduktionspotenzial im Vergleich zum MFH-Referenzgebäude, petrolfarben (schraffiert und gepunktet): gewichteter C-Speicher, petrolfarben schraffiert: anrechenbarer Teil des gewichteten biogenen C-Speichers (max. 25% der regulären Reduktion). Eigene Darstellung.

6.2.1.4 Ambitionsstufe 4

Folgende Reduktionsmassnahmen konnten bei dieser Ambitionsstufe berücksichtigt werden:

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Reduktionspotenzial in % des Referenzgebäudes pro m ²	Massivbau optimieren	Leichtbau optimieren	Handabdruck optimieren	Zirkuläres Bauen
Holzkonstruktionen verwenden	Brettstapel	8%				
	Vollholz	10%			X	
Natürliche und lokale (Bio-masse-)Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	5%	X			
	Strohdämmung	2%	X	X	X*	X
	Rohrdämmung Bioethanol	1%	X	X	X	X
Reduzieren der THG-Intensität	Dämmputz Hanf	2%				
	Hochofenzement CEM III/B	9%	X	X*	X*	X*
	Karbonisierter Kalkstein	11%				
	Karbonisierter Beton	5%	X*			
Gebäudelebensdauer	Witterungsschutz	1%	X	X	X	X
Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Bauen mit Sekundärmaterial	10%				
Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Planen für Demontage/Modul D	5%				
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%				
	Product as Service (Tepich)	0.5%	X	X	X	X
Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	Flächensparende Grundrisse	15%	X	X	X	X
Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)	Kompakte Gebäudeform	4%	X	X	X	X
Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5)	Vorfertigung	2%		X	X	X
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbau	11%		X		
Neue, innovative Materialien verwenden	Aushub zementfrei gebunden	4%				
	Total THG-Reduktion		39%	38%	36%	27%

Abb. 41: Das Reduktionspotenzial bei Neubauten setzt sich aus den mit X gekennzeichneten Massnahmen zusammen. Die mit * bezeichneten Massnahmen konnten nicht mit ihrem gesamten Reduktionspotenzial berücksichtigt werden. Eigene Darstellung.

Die grösste Reduktion bei dieser Ambitionsstufe erreicht das Szenario „Massivbau optimieren“ mit 39% THG-Einsparung gegenüber dem Referenzgebäude. Die anderen Szenarien erreichen Reduktionen von 38% (Leichtbau optimieren), 36% (Handabdruck maximieren) und 27% (Zirkuläres Bauen), jeweils ohne Berücksichtigung des gewichteten C-Speichers.

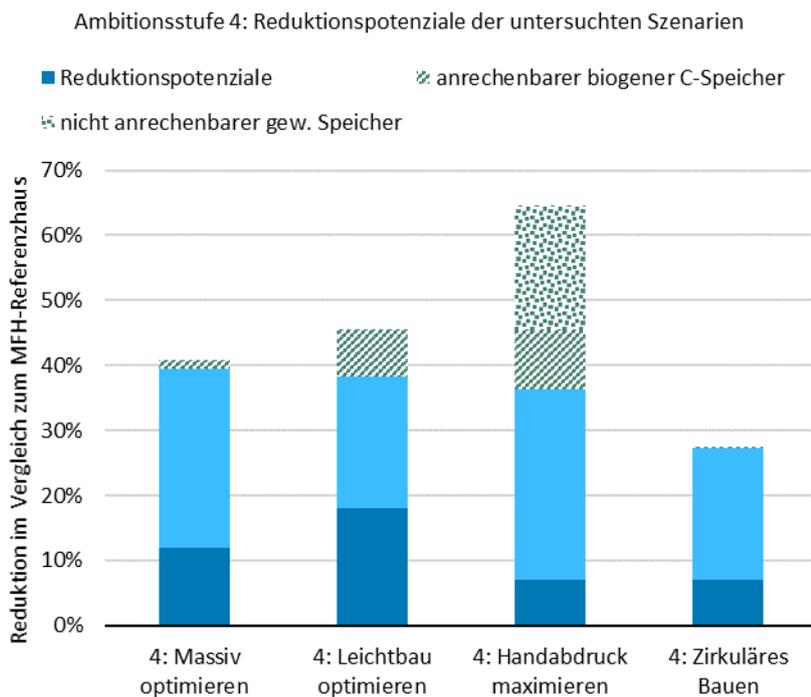


Abb. 42: GTHG-Reduktionspotenziale bei der Ambitionsstufe 4. Blau: GTHG-Reduktionspotenzial im Vergleich zum MFH-Referenzgebäude, petrolfarben (schraffiert und gepunktet): gewichteter C-Speicher, petrolfarben schraffiert: anrechenbarer Teil des gewichteten biogenen C-Speichers (max. 25% der regulären Reduktion). Eigene Darstellung.

6.2.1.5 Ambitionsstufe 6

Folgende Reduktionsmassnahmen konnten bei dieser Ambitionsstufe berücksichtigt werden:

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Reduktionspotenzial in % des Referenzgebäudes pro m ²	Massivbau optimieren	Leichtbau optimieren	Handabdruck optimieren	Zirkuläres Bauen
Holzkonstruktionen verwenden	Brettstapel	8%				
	Vollholz	10%			X	
Natürliche und lokale (Bio-masse-)Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	5%	X			
	Strohdämmung	2%	X	X	X*	X
	Rohrdämmung Bioethanol	1%	X	X	X	X
	Dämmputz Hanf	2%				
Reduzieren der THG-Intensität	Hochofenzement CEM III/B	9%	X	X*	X*	X*
	Karbonisierter Kalkstein	11%				
	Karbonisierter Beton	5%	X*			
Gebäudelebensdauer	Witterungsschutz	1%	X	X	X	X
Wiederverwendung von Bauteilen und Bauprodukten	Bauen mit Sekundärmaterial	10%				
Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Planen für Demontage/Modul D	5%				X
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%	X*	X*	X*	X*
	Product as Service (Tepich)	0.5%	X	X	X	X
Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	Flächensparende Grundrisse	15%	X	X	X	X
Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)	Kompakte Gebäudeform	4%	X	X	X	X
Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5)	Vorfertigung	2%		X	X	X*
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbau	11%		X		
Neue, innovative Materialien verwenden	Aushub zementfrei gebunden	4%				
	Total THG-Reduktion		40%	39%	37%	32%

Abb. 43: Das Reduktionspotenzial bei Neubauten setzt sich aus den mit X gekennzeichneten Massnahmen zusammen. Die mit * bezeichneten Massnahmen konnten nicht mit ihrem gesamten Reduktionspotenzial berücksichtigt werden. Eigene Darstellung.

Die grösste Reduktion bei dieser Ambitionsstufe erreicht das Szenario „Massivbau optimieren“ mit 40% THG-Einsparung gegenüber dem Referenzgebäude. Die anderen Szenarien erreichen Reduktionen von 39% (Leichtbau optimieren), 37% (Handabdruck maximieren) und 32% (Zirkuläres Bauen), jeweils ohne Berücksichtigung des gewichteten C-Speichers.

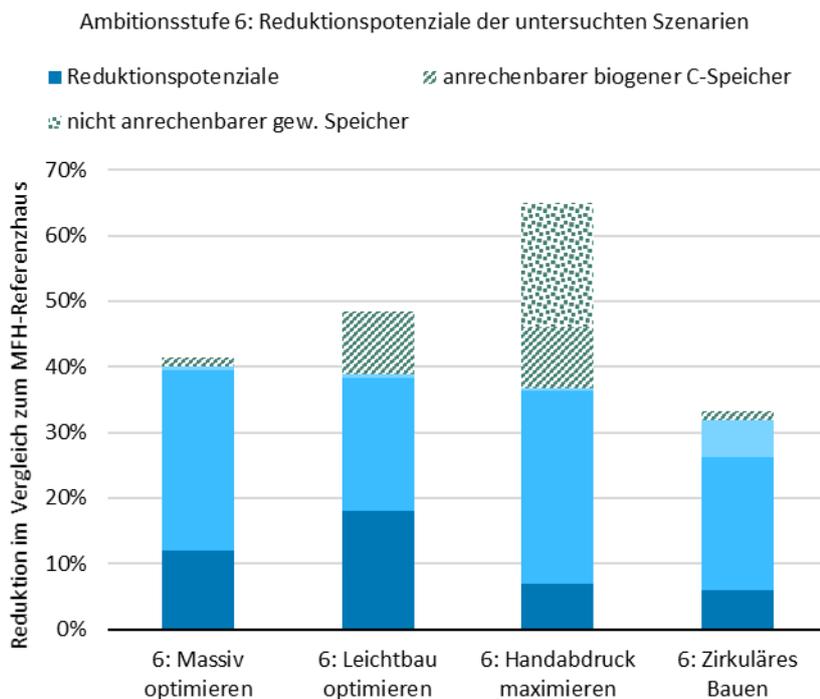


Abb. 44: GTHG-Reduktionspotenziale bei der Ambitionsstufe 6. Blau: GTHG-Reduktionspotenzial im Vergleich zum MFH-Referenzgebäude, petrolfarben (schraffiert und gepunktet): gewichteter C-Speicher, petrolfarben schraffiert: anrechenbarer Teil des gewichteten biogenen C-Speichers (max. 25% der regulären Reduktion). Eigene Darstellung.

6.2.1.6 Ambitionsstufe 7 (Maximum)

Bei der höchsten Ambitionsstufe wurde für alle Szenarien das maximal mögliche Reduktionspotenzial aus den gegebenen Massnahmen berechnet. Die einzige Einschränkung ist dabei, dass mit der Szenariobezeichnung übereinstimmende Reduktionsmassnahmen prioritär umgesetzt werden müssen.⁶² Folgende Reduktionsmassnahmen konnten bei diesem Anspruchsniveau berücksichtigt werden:

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Reduktionspotenzial in % des Referenzgebäudes pro m ²	Massivbau optimieren	Leichtbau optimieren	Handabdruck optimieren	Zirkuläres Bauen
Holzkonstruktionen verwenden	Brettstapel	8%				
	Vollholz	10%			X	
Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	5%	X			
	Strohdämmung	2%	X	X	X*	X
	Rohrdämmung Bioethanol	1%	X	X	X	X
	Dämmputz Hanf	2%				
Reduzieren der THG-Intensität	Hochofenzement CEM III/B	9%	X	X*	X*	X*
	Karbonisierter Kalkstein	11%	X			
	Karbonisierter Beton	5%	X*			
Gebäudelebensdauer	Witterungsschutz	1%	X	X	X	X
Wiederverwendung von Bauteilen und Bauprodukten	Bauen mit Sekundärmaterial	10%	X*	X*	X*	X*
Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren (Modul D)	Planen für Demontage/Modul D	5%		X	X	
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%	X*	X*	X*	X*
	Product as Service (Tepich)	0.5%	X	X	X	X
Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	Flächensparende Grundrisse	15%	X	X	X	X
Kompakte Gebäudeform (Gebäudehüllverhältnis)	Kompakte Gebäudeform	4%	X	X	X	X
Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4–A5)	Vorfertigung	2%		X*	X*	X*
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbau	11%		X		X*
Neue, innovative Materialien verwenden	Aushub zementfrei gebunden	4%				
	Total THG-Reduktion		51%	54%	71%	46%

Tab. 28: Das Reduktionspotenzial bei Neubauten setzt sich aus den mit X gekennzeichneten Massnahmen zusammen. Die mit * bezeichneten Massnahmen konnten nicht mit ihrem gesamten Reduktionspotenzial berücksichtigt werden. Eigene Darstellung.

Bei der höchsten Ambitionsstufe erreichen alle Szenarien eine GTHG-Reduktion von über 40%. Die grösste Einsparung erreicht das Szenario „Handabdruck optimieren“ mit 71%. Es kann als klimapositiv bezeichnet werden. Die anderen klimapositiven Szenarien erreichen Werte von 54% (Leichtbau optimieren) und 51%

⁶² Beispielsweise Beton beim Massivbau-Szenario, Leichtbau beim Leichtbau-Szenario, Holzkonstruktion beim Szenario Handabdruck maximieren oder Bauen mit Sekundärmaterial beim Szenario Zirkulär Bauen.

(Massivbau optimieren). Das Szenario „Zirkuläres Bauen“ erreicht 46%. Berücksichtigt man die inhärenten Unsicherheiten und Ungenauigkeiten, die gerade bei der höchsten Ambitionsstufe am meisten ins Gewicht fallen, bestehen jedoch kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien. Alle Szenarien eignen sich dazu, die THG-Emissionen angemessen zu senken.

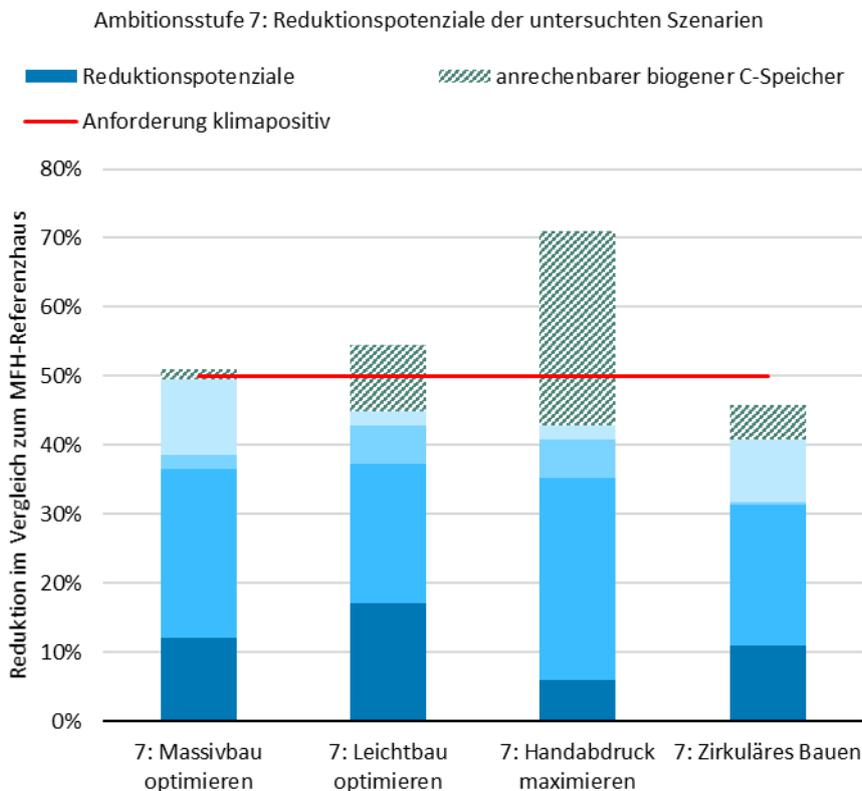


Abb. 45: GTHG-Reduktionspotenziale bei der Ambitionsstufe 7. Blau: GTHG-Reduktionspotenzial im Vergleich zum MFH-Referenzgebäude, petrolfarben (schraffiert und gepunktet): gewichteter C-Speicher, petrolfarben schraffiert: anrechenbarer Teil des gewichteten biogenen C-Speichers (max. 25% der regulären Reduktion). Eigene Darstellung.

Die Höhe der möglichen GTHG-Reduktionen ist erfreulich. Diese hohen Werte können allerdings nur erreicht werden, wenn der Kohlenstoff-Speichereffekt von biogenen Baustoffen gewichtet mitberücksichtigt wird. Die Bilanzierungsregeln für temporäre biogene Speicher wurden gemäss Tab. 17 angewendet.

Realistisch betrachtet, muss berücksichtigt werden, dass nicht bei allen Reduktionsmassnahmen die Bereitschaft der Baubranche und die kommerzielle Verfügbarkeit vorausgesetzt werden kann. Obwohl bis 2030 alle Neubauten dem Absenkpfad des Pariser Klimaabkommens entsprechen müssten, kann nicht erwartet werden, dass die breite Masse von Neubauprojekten klimapositiv ist. Weiter gilt zu beachten, dass auch ein durchschnittliches Anspruchsniveau von 4 Punkten (siehe weiter oben) heute für viele Akteure/Akteurinnen schon ein zu hohes Hindernis darstellt. Kurzfristig in der Breite durchsetzbar wären wahrscheinlich nur Reduktionsmassnahmen im Umfang von rund 10% bis höchstens 20% (vgl. Ambitionsstufe 3, oben, Kap. 6.2.1.3).

Zur Veranschaulichung werden im Folgenden die vier Neubauszzenarien auf der höchsten Ambitionsstufe im Detail beschrieben.

6.2.1.6.1 Szenario Massivbau optimieren

Das Szenario Massivbau ist ein kompaktes MFH mit flächensparenden Grundrissen und Vordächern, welche die Fassade vor Witterungseinflüssen schützen. Ein Teil der tragenden Innen- und Aussenwände ist mit Carbetone-Steinen gemauert. Die restliche oberirdische und nicht exponierten Tragstruktur besteht aus Beton

mit Hochofenzement (CEM III/B). Die erdberührte Betonwanne besteht aus Zirkulit- bzw. Neustark-Beton. Nichttragende Innenwände bestehen aus Terrabloc-Steinen. Die Aussenwärmedämmung besteht aus Stroh, während die Rohrdämmungen der Gebäudetechnik mit Bioethanol hergestellt wurden. Die Fassadenverkleidung inkl. Fenster sowie die Dachdämmung bestehen aus wiederverwendeten Bauteilen. Die erdberührte Dämmung ist aus recyceltem PET hergestellt und die Teppiche bestehen aus Recyclingmaterial und sind vom Hersteller nur gemietet (Product as Service).

Die aufgezählten Massnahmen ergeben eine THG-Einsparung von 50%, während die Strohdämmung und die Rohrdämmung aus Bioethanol zusätzlich Kohlenstoff einspeichern. Insgesamt werden Einsparungen im Umfang von 51% erreicht – ein so konstruiertes Gebäude wäre also klimapositiv.

6.2.1.6.2 Szenario Leichtbau optimieren

Das Szenario Leichtbau ist ein kompaktes MFH mit flächensparenden Grundrissen und Vordächern, welche die Fassade vor Witterungseinflüssen schützen. Die gesamte Tragstruktur ist aus vorgefertigten Holzständerelementen gefertigt. Die Dämmung in den Elementen ist aus Stroh. Teilweise ist der Vorfertigungsgrad weniger hoch, als er sein könnte, denn erste Priorität hat die geordnete Rückbaubarkeit aller Elemente und deren Wiederverwendung nach Ablauf der (ersten) Lebensdauer. Die erdberührte Betonwanne besteht aus Beton mit Hochofenzement (CEM III/B). Die Fassadenverkleidung inkl. der Fenster besteht aus wiederverwendeten Bauteilen. Die erdberührte Dämmung wurde aus recyceltem PET hergestellt und die Teppiche bestehen aus recyceltem Material und sind vom Hersteller nur gemietet (Product as Service). Die Rohrdämmungen der Gebäudetechnik wurden mit Bioethanol hergestellt.

Die aufgezählten Massnahmen ergeben eine THG-Einsparung von 45%, während die Holzkonstruktion, die Strohdämmung und die Rohrdämmung aus Bioethanol zusätzlich Kohlenstoff einspeichern. Insgesamt werden Einsparungen im Umfang von 54% erreicht – ein solches Gebäude wäre also ebenfalls klimapositiv.

6.2.1.6.3 Szenario Handabdruck maximieren

Das Szenario Handabdruck maximieren ist ein kompaktes MFH mit flächensparenden Grundrissen und Vordächern, welche die Fassade vor Witterungseinflüssen schützen. Die gesamte Tragstruktur ist aus Holzelementen vorgefertigt. Die Decken und Dächer sind in Brettstapel-, die Fassade in Vollholzbauweise ausgeführt. Die dünne Aussenwärmedämmung ist aus Stroh, während die Rohrdämmungen der Gebäudetechnik aus Bioethanol hergestellt wurden. Teilweise ist der Vorfertigungsgrad weniger hoch, als er sein könnte, denn erste Priorität hat die geordnete Rückbaubarkeit aller Elemente und deren Wiederverwendung nach Ablauf der Lebensdauer. Die erdberührte Betonwanne besteht aus Beton mit Hochofenzement (CEM III/B). Die Fassadenverkleidung inkl. der Fenster besteht aus wiederverwendeten Bauteilen. Die erdberührte Dämmung wurde aus recyceltem PET hergestellt und die Teppiche bestehen aus recyceltem Material und sind vom Hersteller nur gemietet (Product as Service).

Die aufgezählten Massnahmen ergeben eine THG-Einsparung von 43%, während die Holzkonstruktion, die Strohdämmung und die Rohrdämmung aus Bioethanol zusätzlich viel Kohlenstoff einspeichern. Insgesamt werden Einsparungen im Umfang von 53% erreicht. Ein solches Gebäude wäre klimapositiv.

6.2.1.6.4 Szenario Zirkuläres Bauen

Das Szenario Zirkuläres Bauen ist ein kompaktes MFH mit flächensparenden Grundrissen und Vordächern, welche die Fassade vor Witterungseinflüssen schützen. Elemente der Dachkonstruktion und -haut, Fassadenelemente, Fenster, Stützenkonstruktionen sowie einzelne Elemente der Gebäudetechnik und der Innenwände bestehen aus wiederverwendeten Bauteilen. Die Vorfertigung von Bauelementen ist nur zum Teil möglich, weil die wiederverwendeten Bauteile aus logistischen Gründen häufig direkt auf die Baustelle geliefert

werden. Die Dämmung der Fassadenelemente besteht aus Stroh. Fehlende Wand- und Deckenelemente werden in Holzständerbauweise erstellt. Die erdberührte Betonwanne besteht aus Beton mit Hochofenzement (CEM III/B), während die erdberührte Dämmung aus recyceltem PET hergestellt wurde. Die Teppiche bestehen aus recyceltem Material und sind vom Hersteller nur gemietet (Product as Service). Die Rohrdämmungen der Gebäudetechnik wurden mit Bioethanol hergestellt.

Die aufgezählten Massnahmen ergeben eine GTHG-Einsparung von 41%, während die Holzkonstruktion, die Strohdämmung und die Rohrdämmung aus Bioethanol zusätzlich Kohlenstoff einspeichern. Insgesamt werden Einsparungen im Umfang von 46% erreicht – ein solches Gebäude wäre knapp nicht klimapositiv.

6.2.2 Erneuerung

6.2.2.1 Kategorienraster: Analytische Auswertung

Reduktionsstrategien	Reduktionen nach Planungsphasen				
	A) 11–13 Strategische Planung	B) 21–22 Vorstudien	C) 31–33 Projektierung	D) 41 Ausschreibung	Kombination:
1) Senken (temporär/dauerhaft)			1–2.5%	1–2.5%	3%
2) Zirkuläres Bauen	5–16%	5–16%		0.5–1%	22%
3) Planungseffizienz					1.5%
4) Materialeffizienz		2%	1–2.5%	1–2.5%	7%
Kombination:	21%	22%	7%	7%	29%

Tab. 29: Bandbreiten einzelner Strategien je Planungsphase (Zelle) sowie Reduktionspotenziale von kombinierten Massnahmen pro Strategie (Zeilen) und Planungsphase (Spalten).

Bei Erneuerungen ist der Spielraum für THG-Reduktionen grundsätzlich kleiner, weil nur an den durch die Erneuerung betroffenen Bauteilen Reduktionsmassnahmen umgesetzt werden können. Gemäss der Darstellung in Tab. 29 nimmt das Reduktionspotenzial mit dem Fortschreiten der Planungsphasen ab. Bei den Strategien gibt es mit Zirkulärem Bauen einen eindeutigen Favoriten. Das Stehenlassen der Tragstruktur und somit der Verzicht auf einen Ersatzneubau ist die mit Abstand wirksamste Reduktionsmassnahme bei Erneuerungen und die Prüfung zum Erhalt sollte vorab immer erfolgen. Umgekehrt kann mit einer vorausschauenden Planung der Erneuerung und den zur Wiederverwendung geeigneten Bauteile und Materialien ein weiteres Reduktionspotenzial erschlossen werden.

6.2.2.2 Auswertung nach Szenarien

Bei der Erneuerung wurden keine Szenarien für unterschiedliche Gebäudetypen und deren Optimierung erstellt, da die Grundstruktur besteht und die Wege der Optimierung der Erneuerung weniger Spielraum zulassen. Hier werden jeweils Massnahmen universal mit steigender Ambitionsstufe beurteilt (vgl. oben). Folgende Reduktionsmassnahmen konnten bei der Erneuerung berücksichtigt werden:

Reduktionsstrategien	Massnahmen	Reduktionspotenzial in % des Referenzgebäudes pro m ²	Ambitionsstufe 3	Ambitionsstufe 4	Ambitionsstufe 6	Ambitionsstufe 7
Natürliche und lokale (Bio-masse-)Materialien verwenden	Aushub zementarm gebunden	3%	X	X	X	X

	Strohdämmung	2%				
	Rohrdämmung Bioethanol	1%		X	X	X
	Dämmputz Hanf	2%		X	X	X
Gebäudelebensdauer	Weiterverwendung Tragsstruktur	16%	X	X	X	X
Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten	Bauen mit Sekundärmaterial	5%				X
Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	Recyclingmaterialien	1%			X*	X*
	Product as Service (Tep-pich)	0.5%		X	X	X
Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	Leichtbau	2%	X	X	X	X*
	Total THG-Reduktion		20% (24%)	23% (33%)	24% (34%)	29% (52%)

Tab. 30: Das Reduktionspotenzial Erneuerung setzt sich aus den mit X gekennzeichneten Massnahmen zusammen. Die mit * bezeichneten Massnahmen konnten nicht mit ihrem gesamten Reduktionspotenzial berücksichtigt werden. Eigene Darstellung.

Auf der höchsten Ambitionsstufe (7) erreicht das Szenario Erneuerung 29% THG-Einsparung gegenüber dem Neubau-Referenzgebäude. Die anderen Szenarien erreichen Reduktionen von 24% (Stufe 6), 23% (Stufe 4) und 20% (Stufe 3).

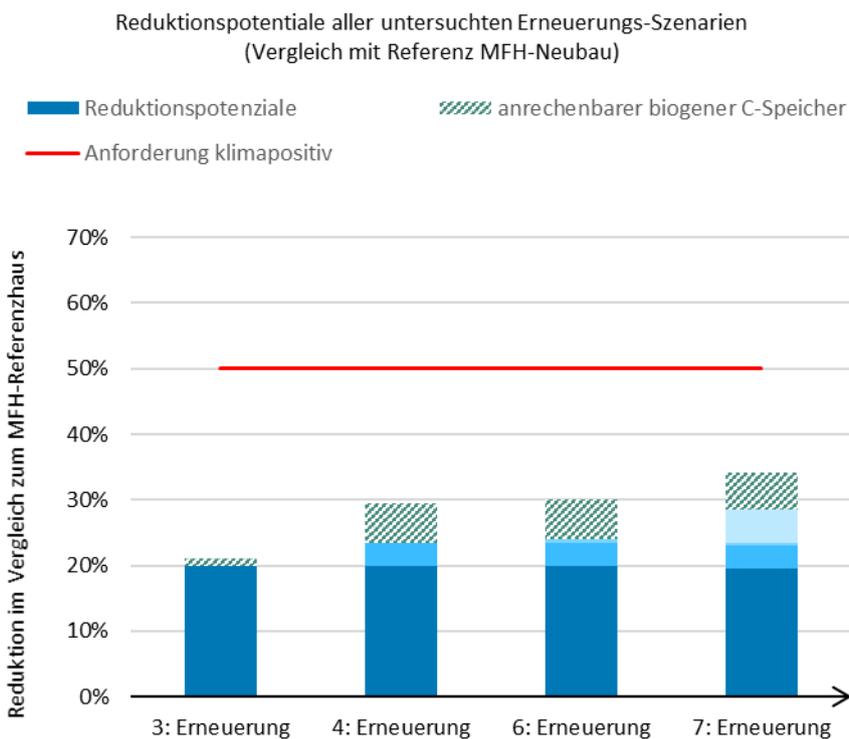


Abb. 46: Reduktionspotentiale bei Erneuerung bezogen auf die Ambitionsstufen (Referenz MFH-Neubau). Blau: GTHG-Reduktionspotenzial im Vergleich zum MFH-Referenzgebäude. Petrolfarben schraffiert: anrechenbarer Teil des gewichteten biogenen C-Speichers (max. 25% der regulären Reduktion). Eigene Darstellung.

Erfreulicherweise erreicht das Szenario Erneuerung bereits mit wenig anspruchsvollen Reduktionsmassnahmen Einsparungen, die mit den anderen Szenarien vergleichbar sind. Dies ist vor allem der Massnahme „Wiederverwenden der Tragstruktur“ geschuldet, welche allein 16% zum Ergebnis beiträgt.

6.2.2.2.1 Bezug zu Referenz Erneuerung

Da man verglichen mit Neubauten bei Erneuerungen grundsätzlich von deutlich geringeren THG-Emissionen bei der Umsetzung ausgehen kann, müsste man die Einsparungen eigentlich an einem Erneuerungs-Referenzfall messen. Ausgehend von einem durchschnittlichen Umbau mit rund 4.5 kgCO₂eq/m²a (Martin Jakob et al., 2016) wären die prozentualen anteilmässigen Reduktionen viel höher (vgl. Abb. 47). Alle Reduktionsmassnahmen ausser „Weiterverwendung Tragstruktur“, die nur als Alternative zu einem Neubau bewertet werden kann, erhalten ein höheres Gewicht. Diese Massnahme wird deshalb in beiden Fällen gleich berücksichtigt bzw. mit dem Neubau-Referenzfall gleichgesetzt. Eine weitere Ausnahme bildet der gewichtete C-Speicher, welcher aus physikalischen Gründen gleichbleibt.

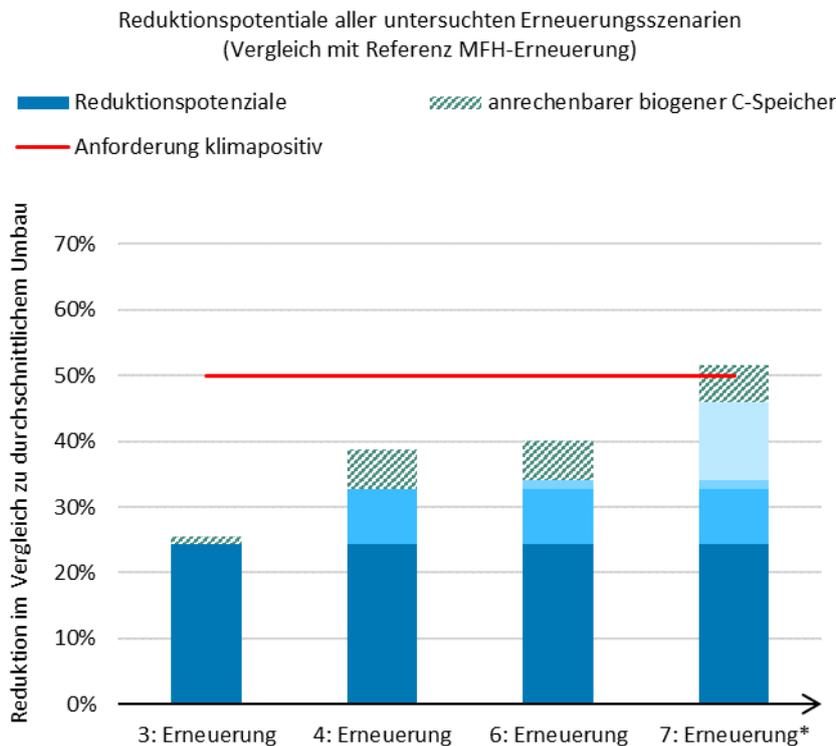


Abb. 47: Reduktionspotentiale bei Erneuerung bezogen auf die Ambitionsstufen (Referenz MFH-Erneuerung). Blau: GTHG-Reduktionspotenzial im Vergleich zur MFH-Erneuerung. Petrolfarben schraffiert: anrechenbarer Teil des gewichteten biogenen C-Speichers (max. 25% der regulären Reduktion). Eigene Darstellung.

Auf Ambitionsstufe 7 kann mit der Berücksichtigung des gewichteten C-Speichers die 50%-Schwelle erreicht und damit klimapositiv erneuert werden.

6.2.2.2.2 Szenario Ambitionsstufe 7 (Erneuerung)

Das Szenario Erneuerung repräsentiert ein MFH-Bestandesgebäude. Obwohl wirtschaftlich interessant, wird bewusst auf einen Ersatzneubau verzichtet und die bestehende Tragstruktur wiederverwendet. Grundrissänderungen an der Tragstruktur werden mit Leichtbauelementen umgesetzt. Zu ergänzende nicht tragende Wände werden mit Terrabloc-Steinen gemauert oder, wenn möglich, mit wiederverwendeten Bauteilen erstellt. Die erdberührte Dämmung wurde aus recyceltem PET hergestellt, während die Dämmung über dem Terrain aus Hanf besteht. Die Rohrdämmungen der Gebäudetechnik wurden mit Bioethanol hergestellt, während die Teppiche aus recyceltem Material bestehen und vom Hersteller nur gemietet sind (Product as Service).

6.3 Anbindung empfohlener Massnahmen an Labels, Standards

6.3.1 Bezug Grenzwerte und Kennzahlen

Die heutigen Grenzwerte für THG-Emissionen sind bei allen Schweizer Standards und Labels zu wenig streng bzw. zu hoch angesetzt und nicht mit dem Pariser Klimaabkommen konform. Wir empfehlen die Anwendung der Zielwerte für THG als Richtwert für den Bereich Erstellung, sobald die revidierte SIA 2040 „SIA-Effizienzpfad Energie“ publiziert wird. Wir schlagen vor, ähnlich der nachfolgenden Tab. die Ziele bis 2050 aufzuzeichnen. Dabei geht die hier vorgestellte Variante klimapositiv Bauen mit einer früheren Absenkung mit dem Ziel einer Auszeichnung der Gebäudebewertung und einer entsprechenden Labelvergabe einen Schritt voraus.

	Referenzwert 2020 MFH	Ziel aktuell MFH	Ziel 2030	Ziel 2040	Ziel 2050
CH Ziele Absenkpfad 1.5°	Mittelwert analysierter Beispiele	Jährliche Reduktion bis 2030 -5% pro Jahr	-50% 5.5 kg	-75% 2.7 kg	Netto-null
SIA	11 kg CO ₂ eq/m ² EBF (Min. 6.5 kg/Max. 18 kg)	9 kg CO ₂	Keine Angabe (SIA 2040 in Revision: zu definieren)		
Klimapositiv bauen		-50% 5.5 kg	-75% 2.7 kg	Netto-null	Netto-null

Tab. 31: Zielwerte unterschiedlicher Standards und Vorschlag der AutorInnen für angemessene neue Zielwerte.

Der aktuelle Richtwert SIA 2040 für den Bereich Erstellung von 9 kg CO₂eq/m² EBF und Jahr (Gebäudekategorie Wohnen) entspricht dem Stand der Technik, der mit einfachen Mitteln erreicht und bereits gesetzlich eingefordert werden könnte. Es wird vorgeschlagen, in der nächsten Überarbeitung die Zielsetzung im Sinne des notwendigen Absenkpades für das Pariser Klimaabkommen zu verschärfen und die Etappen bis 2050 aufzuzeichnen. Den hier gezeigten Vorschlag „klimapositiv bauen“ mit einer höheren Ambitionsstufe schlagen wir für eine vorbildliche Ausführung und Auszeichnung für überdurchschnittliche Leistung im Rahmen von Labels vor.

6.3.1.1 Neuer Zielwert Handabdruck

Ab dem Jahr 2021 sind bei der Berechnung der THG-Emissionen die Daten zum gespeicherten biogenen Kohlenstoff verfügbar. Wie weiter oben dargestellt, ermöglicht die temporäre Speicherung von atmosphärischem Kohlenstoff einen Zeitgewinn bei der Bekämpfung der Klimakrise. Um einen Anreiz zum Einsatz von biogenen Baustoffen zu schaffen, kann ein (minimaler) Zielwert für den Handabdruck in kg C/m² EBF festgelegt werden. Selbstverständlich muss dieser, wie oben erwähnt, einen Ausbau der Senke in Gebäuden sicherstellen (Input Neubau/Erneuerung > Output Abbruch). Um dies sicherzustellen, wird vorgeschlagen, nur den Anteil über dem durchschnittlich verbauten Wert von 17 kg C/m² EBF als Zuwachs zu betrachten. Ein Beitrag zu einem Ausbau des Speichers soll anerkannt werden. Dieser könnte bei einer Labelvergabe als Bonus zur Zielerreichung der Mindestanforderungen zur Reduktion des fossilen CO₂-Fussbdrucks zusätzlich angerechnet werden.

	Referenzwert Istzustand 2020	Ziel und Bedingungen für den Zeitraum bis 2050 „Erhöhung C-Speicher“
Klimapositiv Bauen	17 kg C/m ²	Einbau Holzmenge grösser als Referenzwert, Zuwachs Senke Reduktion CO ₂ -Emissionen, Mindestanforderungen erfüllt Holz aus nachhaltiger Waldnutzung und kurzer Transportdistanz
SIA	Keine Angabe	

Tab. 32: Vorschlag der AutorInnen für den Zielwert des Handabdrucks.

7.

Fazit

Der Grundlagenbericht «Klimapositives Bauen» untersucht die Machbarkeit der Senkung der GTHG beim Bauen und skizziert Handlungsmöglichkeiten für Bauherrschaften, PlanerInnen und ArchitektInnen.

7.1 Erkenntnisse

Aus der Studie gehen folgende Erkenntnisse hervor:

- Ermutigend ist, dass schon heute mit einfachsten und heute verfügbaren Mitteln bedeutsame THG-Einsparungen erreicht werden können: Bauteile vorfertigen, Massivholzkonstruktionen verwenden, Witterungsschutz, keine Abbrüche, kompakte Gebäudeform, Leicht bauen, natürliche und zementfreie Materialien verwenden, wenn Beton notwendig ist, Karbonisierten einsetzen.
- Heute können die Anforderungen an klimapositives Bauen nur mit den grössten Anstrengungen und dem Einbezug aller heute möglichen Massnahmen (höchste Ambitionsstufe) die Anforderungen an den Absenkpfad des Pariser Klimaabkommens bis 2030 erreicht werden.
- Die Anforderungen können mit unterschiedlichen Methoden und Bauweisen (Massiv- und Leichtbau, Holzbau usw., vgl. Kap. 8) und einer Vielfalt an Reduktionsmassnahmen erreicht werden.
- Auf freiwilliger Basis und ohne behördliche Regulierung kann sofort mit der Reduktion begonnen werden, anstelle zuzuwarten und später mit teuren Technologien das heute ausgestossenen CO₂ aus der Luft zu absorbieren.
- Mit der C-Speicherung gewinnen wir Zeit (und Freiheitsgrade) zum Entwickeln von effizienteren, günstigeren Technologien zur Sequestrierung von CO₂.
- Um die Ziele der Emissionswende zu erreichen, darf nicht zugewartet werden. Es ist zentral, dass bei allen laufenden Projekten umgehend mit der Umsetzung aller zumutbaren Massnahmen für die THG-reduzierte Bauweise begonnen wird.

7.2 Stellungnahme zu den Hypothesen

Die Hypothesen aus dem Kapitel 2.4 können wie folgt beantwortet werden:

- a. Mit geeigneten Gebäudekonzepten, Bauteilen sowie Baustoffen und Bauprodukten kann tatsächlich ein grosser Teil, nämlich bis 50%, der THG-Emissionen eingespart werden.
- b. Mit den Reduktionspotenzialen auf Ambitionsstufe 7 können bis 2030 die Ziele des CO₂-Gesetzes erreicht werden (vgl. Kap. 6.2.1.6).
- c. Mit der geplanten Darstellung des biogenen C-Speichers in der KBOB-Liste der Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich – KBOB" ist ein erster Schritt zur Integration der Anerkennung temporärer biogener C-Speicher getan. Aufgrund der laufenden Aktivitäten zur Wiederverwendung und zur Biogenen Zwischenspeicherung (vgl. Kap. 3.4.1.5 und 4.4.2) gehen wir davon aus, dass der Aspekt der Wiederverwendung mittelfristig im Rahmen des SIA-Merkblatts 2032 berücksichtigt wird.

7.3 Beantwortung der Forschungsfragen

- 1) Die Tab. 24 zeigt, welche Gebäudekonzepte, Bauteile und Baustoffe/Bauprodukte in welchem Ausmass dazu beitragen können, weniger THG zu emittieren. Am besten schneiden Weiterverwendung Tragstruktur, flächensparende Grundrisse und karbonisierter Kalkstein sowie Leichtbau ab.
- 2) Nur mit den durch grösste Anstrengungen (Ambitionsstufe 7) eingesparten GTHG können die Ziele des CO₂-Gesetzes bis 2030 erreicht werden (vgl. Kap. 6.2.1.6).
- 3) Gemäss den Ausführungen in Kap. 5.3.4 schlagen wir vor, temporäre biogene C-Speicher in gewichteter Form bis zu einem gewissen Grad zu berücksichtigen. Auf diese Weise wird Zeit gewonnen für die Entwicklung von Technologien für die Sequestrierung von CO₂ aus der Atmosphäre und ein Anreiz für die Verwendung biogener Baustoffe geschaffen. Grundsätzlich ist das auf den Absenkpfad bezogene Speicherpotenzial

gross, wird jedoch, weil es basierend auf einer Gewichtung und dem Prinzip der Additionalität⁶³ nur zu einem Teil angerechnet werden soll, begrenzt (vgl. Kap. 5.3.4).

- 4) Wie die Berechnungen zur Reduktionsstrategie „Zirkuläres Bauen“ zeigen (Kap. 6.2.1.6), ist das Potenzial der Wiederverwendung gross. Einer Berücksichtigung im SIA-Merkblatt 2032 steht grundsätzlich nichts im Wege (vgl. 4.4.2).

7.4 Kommentar der AutorInnen

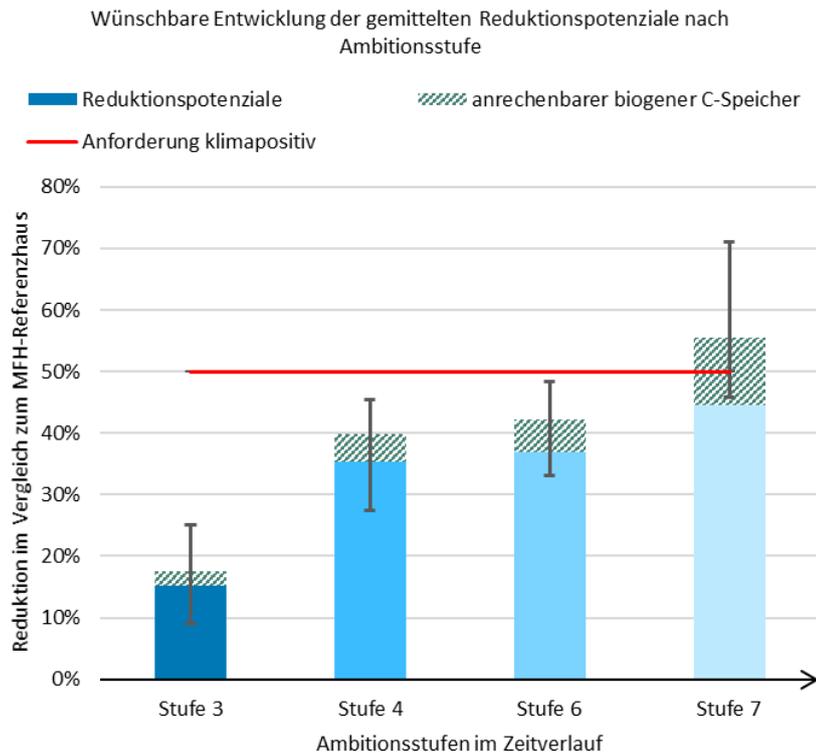


Abb. 48: Die gemittelten Reduktionspotenziale von MFH-Neubauten mit gewichtetem C-Speicher nach Ambitionsstufe. Bei der Stufe 7 wird die Anforderung des klimapositiven Bauens erreicht. Eigene Darstellung.

Die Resultate der THG-Reduktion der Szenarienauswertung im Unterkapitel 6.2 stimmen gleichzeitig zuversichtlich und pessimistisch. Es wurde aufgezeigt, dass theoretisch die Anforderungen des Absenkpads des Pariser Abkommens für das Jahr 2030 bereits heute erfüllt werden könnten, jedoch die Hindernisse für deren Umsetzung in der Branche noch zu hoch sind. Geht man von einem realistischeren Umsetzungsgrad mit kleineren Anforderungen aus (z. B. Ambitionsstufen 3 und 4), so werden weniger Reduktionsmassnahmen umgesetzt, sodass die gesamten Reduktionen pro Szenario unter 40% fallen (vgl. Kap. 6.2.1.3), womit das 50%-Ziel nicht erreicht wird. Bei den Erneuerungen werden die Anforderungen für klimapositives Bauen auch erst bei der höchsten Ambitionsstufe 7 erreicht.

Die Analyse der bei den Neubauszenarien eingesetzten Reduktionsmassnahmen zeigt, dass etwa ein Drittel der Massnahmen praktisch immer zum Zug kommt. Diese sind zentral, für bis maximal 33% der THG-Reduktionen verantwortlich und wann immer möglich umzusetzen. Es sind dies: flächensparende Grundrisse und kompakte Gebäudeform, biogene Dämmstoffe (Strohdämmung, Rohrdämmung Bioethanol)⁶⁴, Hochofenzement (CEM III/B), Witterungsschutz, Product as Service (Teppich). Glücklicherweise können all diese Massnahmen

⁶³ Siehe Glossar.

⁶⁴ Hier ist der mögliche Zielkonflikt mit der Verfügbarkeit von biogenen Materialien zu beachten (Konkurrenz um Agrarflächen).

einer tiefen Ambitionsstufe zugeordnet werden, sodass deren Umsetzung schon heute realistisch ist. Erschwerend ist der Umstand, dass sich diese Massnahmen über alle Planungsphasen hinweg erstrecken. Es reicht deshalb nicht, wenn z. B. nur die ArchitektInnen bereit sind, solche Massnahmen umzusetzen. Von Beginn weg braucht es auch die Überzeugung der Bauherrschaft (strategische Phase), sonst werden z. B. keine flächensparenden Grundrisse nachgefragt. Weiter müssen auch die Beteiligten während der Ausschreibungs- und Umsetzungsphase die Massnahmen mittragen, sonst wäre deren Umsetzung gefährdet, obwohl die Beteiligten vorher darauf hingewirkt haben. Um mögliche Zielkonflikte zu vermeiden, müssen in der Summe alle Szenarien umgesetzt werden, also die Szenarien „Massivbau optimieren“ (lokal), „Leichtbau optimieren“ (ressourceneffizient), „Handabdruck maximieren“ (biogen) und „Zirkuläres Bauen“ (Kreislaufwirtschaft).

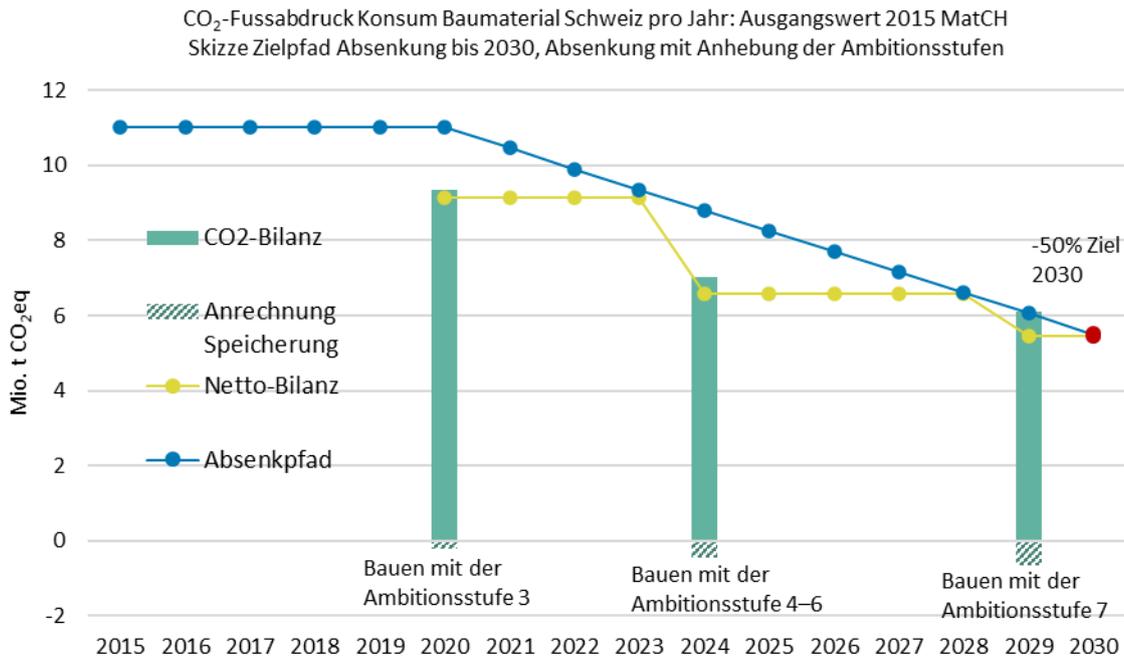


Abb. 49: Mögliche Konkretisierung des Absenkpfads gemäss dem Pariser Klimaabkommen. Die Ambitionsstufen werden dabei so verstanden, dass diese mit fortlaufender Zeit nach und nach für alle Bauprojekte erreichbar sind. Eigene Darstellung.

Die Wahrscheinlichkeit, dass der in Abb. 49 gezeigte Absenkpfad eingehalten werden kann, ist derzeit gering (vgl. Kap. 10.2). Wird er von der Schweiz nicht umgesetzt, ist die Einhaltung der innerhalb der Klimarahmenkonvention gegenüber der Weltgemeinschaft gemachten Versprechung nicht mehr vertretbar. Schleiniger (2021) legt dar, dass der Schweiz trotz bereits umgesetzter klimapolitischer Massnahmen zur Erreichung des 1.5-Grad-Ziels bis 2050 derzeit 277 Mio. Tonnen CO_{2eq} fehlen. Mit umgehend eingesetzten und der oben gezeigten Reduktion beim Bauen (Absenkpfad) könnten bis 2030 27.5 Mio. Tonnen und bis 2050 insgesamt 182.5 Tonnen CO_{2eq}⁶⁵ eingespart werden. Ohne diesen Beitrag der Bauwirtschaft wird die Schweiz ihr Ziel verfehlen. Dass ausgerechnet eines der reichsten Länder der Welt sein selbst gestecktes Klimaziel verfehlt, hätte für ärmere Länder eine negative Signalwirkung. In der Folge würde es schwieriger (oder unrealistisch) werden, ärmere und gleichzeitig viel grössere Länder von einer wirksamen Klimapolitik zu überzeugen und sie zum Mitmachen zu motivieren. Folglich ist die Bauwirtschaft aufgefordert, Verantwortung zu übernehmen und sich den Herausforderungen zur Milderung des Klimawandels und des klimapositiven Bauens zu stellen und ab jetzt Reduktionsmassnahmen umzusetzen.

⁶⁵ 2020 bis 2030 27.5 Mio. Tonnen CO_{2eq} und 2030 bis 2050 45 + 110 Mio. Tonnen CO_{2eq}. Darin enthalten sind auch Einsparungen bei importierten Baustoffen und -produkten in unbekannter Höhe. Schätzungsweise kann man davon ausgehen, dass die Hälfte der GTHG-Emissionen nicht in der Schweiz, sondern im Ausland anfallen.

8.

Handlungsempfehlungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Handlungsmöglichkeiten zum klimapositiven Bauen genannt und mögliche Wege für die Einbindung und Förderung durch Label und Normen aufgezeigt. Die Reihenfolge richtet sich nach ihrer Wichtigkeit und Effektivität.

8.1 Vorurteile hinter sich lassen, konkrete Ziele setzen

Die „Bewertung der Handlungsmöglichkeiten“ (vgl. oben Kap. 6) hat gezeigt, dass das vielleicht grösste Hindernis für klimapositives Bauen die Bauwirtschaft (Planer, Bauherrschaften, Investoren, Baustoffindustrie, Regulierer usw.) selbst ist. Man erhält den Eindruck, dass die Verantwortung für klimapositives Bauen jeweils anderen AkteurInnen der Bauwirtschaft zugeschoben wird, sodass niemand einen Anfang wagt. Gerade wenn die Ambitionsstufe hoch ist, braucht es den Mut aller Beteiligten, Ziele festzulegen, mit Handeln zu beginnen und Verantwortung gegenüber der Umwelt übernehmen. Ausgehend von den vorhandenen Analysen kann ein Weg zur Absenkung skizziert und können Handlungsschritte definiert werden.

8.2 Früh entscheiden und einfordern

Am meisten Mut brauchen Besteller von Baudienstleistungen und Entscheidungsträger selbst. Einige der effektivsten Reduktionsstrategien müssen bereits während der strategischen Planungsphase von der Bauherrschaft bestellt werden: „Effiziente, gut durchdachte Grundrisse und möglichst wenig EBF pro Bewohner“, „Holzkonstruktionen mit CO₂-Speicherung verwenden“, „Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten“ usw. Das Problem ist nicht, dass Technologien und Wissen nicht vorhanden sind, sondern es fehlt an deren Einforderung und Anwendung. Nicht nur die Kostenermittlung und die Berechnung der Rendite sollten in der frühesten Planungsphase thematisiert werden, sondern auch die GTHG, auch wenn anfangs noch keine Planer am Tisch sitzen. Aus den Interviews und weiteren Textstellen wird schnell klar: Je schneller Akteure/Akteurinnen (Bauherrschaften, ArchitektInnen, PlanerInnen, aber auch PolitikerInnen und Behörden) Entscheide fällen, die vorgeschlagenen Reduktionsmassnahmen umsetzen, desto weniger kostet uns dies (resp. unsere Kinder) in der langen Frist. Warten vergrössert ungebremst die ausgestossene THG-Menge, das beste Projekt, um mit der Reduktion zu beginnen, ist ein jetzt bearbeitetes Projekt.

8.3 Suffizienz und effiziente Gestaltung

Die Domäne der Planung bietet viele verschiedene Möglichkeiten, die Nutzung von Gebäuden zu verbessern und die Effizienz zu steigern: „Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Person“, „Kompakte Gebäudeform“, „Bau- und Konstruktionsphase optimieren“ usw. Der Suffizienzgedanke mag unbeliebt sein und es ist verständlich, dass nicht jedermann, der sich eine grosse Wohnung leisten kann, auf weniger Fläche leben möchte. Doch die Herausforderung, auf begrenztem Raum eine hohe Wohnqualität zu schaffen, ist der Inbegriff der Planungskunst. Auch gibt es immer mehr Menschen, die aus unterschiedlichsten Gründen gerne eine kleine Wohnung beziehen und sich über die günstigere Miete freuen. Ein gut funktionierender Grundriss mit einem zusätzlichen Zimmer wird einer flächenmässig gleich grossen Wohnung vorgezogen, da diese mehr Freiheitsgrade bietet. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob es in einer Dreizimmerwohnung wirklich 2 Nasszellen und ein 40 m² grosses Wohnzimmer braucht. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit wird klar, dass flächensparende Grundrisse eine der wirkungsvollsten, naheliegendsten und günstigsten Massnahmen sind, GTHG einzusparen. Abgesehen davon, dass dies auch ein Beitrag zur Verdichtung ist, sollten sich Bauherrschaften über die Möglichkeit, durch flächensparende Grundrisse GTHG zu reduzieren, ernsthaft Gedanken machen.

8.4 Leicht bauen

Mit dem Prinzip „Leichtbau“ kann man klimapositiv bauen (vgl. Abb. 45). Vereinfacht gesagt, spart jedes eingesparte kg Baumaterial auch THG. Die Fortschritte betreffend Komfort, Schall- und Brandschutz bei den Leichtbau- und insbesondere mit Holzbaumethoden waren in den vergangenen Jahren gross. Die Strategie

„Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität“ ergibt sich beim Holzbau fast von selbst, am meisten kann jedoch die Massivbauweise davon gewinnen. Es gilt, bequeme, jedoch verschwenderische Lösungen sowie Komfortansprüche zu hinterfragen: Müssen Zwischendecken wirklich überdimensioniert werden, damit die Lüftungsrohre darin Platz finden? Müssen Mehrfamilienhäuser unbedingt die höchsten Schallanforderungen nach SIA 181 erfüllen? Beton sollte nicht mehr als blosses Füllmaterial, sondern wieder mehr als wertvolles Baumaterial begriffen werden, das dort eingesetzt wird, wo seine statischen Eigenschaften zum Tragen kommen.

8.5 Bauteile wiederverwenden

Was früher beim Bauen üblich war, findet heute kaum noch Anwendung. Wir leben in einer Wegwerfgesellschaft. Verwendet man noch intakte Bauteile über die übliche bzw. erwartete Lebensdauer hinaus, können THG-Emissionen eingespart werden. Die Produktion neuer Bauteile fällt damit weg und der Aufwand für eine Auffrischung verursacht meist nur einen Bruchteil der Emissionen einer Neuproduktion. Die Reduktionsstrategien „Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten“ und „Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial optimieren“ beschreiben zwei Seiten der gleichen Medaille. Damit ein geordneter und zerstörungsfreier Rückbau möglich wird und Bauteile für die Wiederverwendung extrahiert werden können, müssen diese mechanisch befestigt sein und von anderen Bauteilen einfach und zerstörungsfrei getrennt werden können. Geht man von einem Bestandesbau aus, gilt es wiederum den Aspekt der Gebäudelebensdauer zu berücksichtigen: Wird die Tragstruktur, die betreffend THG die aufwändigsten Bauteile enthält, weiterverwendet anstatt abgebrochen, können viele THG eingespart werden.

8.6 Biogene und wenig verarbeitete Baustoffe einsetzen

Mit der Speicherung von Kohlenstoff in biogenen Materialien wird atmosphärischer Kohlenstoff temporär der Luft entzogen. Nimmt so die Menge an gebundenem Kohlenstoff in Bauten zu und die Wälder werden nachhaltig bewirtschaftet (die Holzmenge bleibt gleich oder wächst), so wächst die CO₂-Speichermasse. Diese Zwischenspeicherung von Kohlenstoff/CO₂ stellt einen Zeitgewinn für den Klimaschutz dar und ist klimapolitisch wichtig. Ausserdem verfügen biogene Baustoffe meistens über einen geringeren CO₂-Fussabdruck, da sie in der Regel weniger stark verarbeitet sind. Zu den bekannten natürlichen Baustoffen wie Lehmputz oder Strohdämmung kommen laufend neue Produkte dazu, doch deren Akzeptanz und Erfahrung ist noch klein und sie bedürfen einer grösseren Verbreitung.

8.7 Materialien recyclingfähig verbauen

Trotz Inkraftsetzung der „Technischen Verordnung über Abfälle“ (2016) haben sich die Abfallmengen, die entweder auf der Deponie oder in der Verbrennung landen, nicht stark verändert.⁶⁶ Auf diese Weise gehen viele Ressourcen verloren und es werden THG emittiert. Um die THG-Emissionen zu senken und die Kreislaufwirtschaft fördern zu können, müssen die Materialkreisläufe geschlossen werden. Planer sollen sich zum Abbruch, zur Umnutzung und zur Weiternutzung ihrer Gebäude Gedanken machen. Dies mag ungewohnt oder gar unbeliebt sein, aber ohne diese Überlegung werden weiterhin Produkte verschwendet, die weder sortenrein trennbar noch recyclingfähig sind. Nicht recyclingfähige Materialien und Produkte sollten konsequent vermieden werden.

⁶⁶ Siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/zustand/daten.html#accordion1621421617328> [19.05.2021].

8.8 THG-Intensität der Baustoffe und Bauteile reduzieren

Die heutige Bauweise ist geprägt von THG-intensiven Herstellungsprozessen: Zementklinker muss bei hohen Temperaturen gebrannt werden und stösst dabei zusätzlich geogenes CO₂ aus, Backsteine müssen ebenfalls gebrannt werden, Glas muss verflüssigt und Metalle müssen verhüttet werden, Kunststoffe werden extrudiert und geschäumt. All diese Prozesse verbrauchen viel Energie und verursachen THG-Emissionen. Die verschiedenen Branchen sind hier bereits aktiv. Es zeichnet sich mit den hier beschriebenen neuen Produkten aus der Zement- und Betonforschung ab, dass bald effizientere Produkte auf den Markt kommen. Eine Prognose zur Entwicklung der THG-Emissionen industrieller Baustoffe vorwiegend durch den Ersatz mit erneuerbarer Energie gibt die Studie von Alig et al. (2020). Diese beschreibt für den Zeitraum bis 2050 eine Reduktion von 77% für Beton, 80% für Glas, rund 50% für verschiedene Holzwerkstoffe, 85% für Backsteine usw.-THG-intensive Baustoffe sollten seltener verwendet und wenn doch, dann sollten optimierte Produkte mit weniger THG-emittierenden Produktionsprozessen bevorzugt werden. Möglichst viele Reduktionsmassnahmen sollen umgesetzt werden, um den Zielwert des Absenkpades (Effizienzpfad Energie) erreichen zu können.

8.9 Kontext

Die zahlreichen Empfehlungen aus der wissenschaftlichen Literatur konnten im Rahmen dieses Projekts weder vertieft noch geprüft werden. Wir schlagen vor, diese zumindest zur Kenntnis zu nehmen und nach Möglichkeit in den politischen Prozess einzubringen (siehe dazu auch Kap. 12.3.4 „Kontext“). Im Folgenden nehmen wir dennoch zu einzelnen Aspekten Stellung.

8.9.1 Regulierung

Nachdem jahrzehntelang die Betriebsenergie reguliert und dabei gute Fortschritte erzielt wurden (z. B. Einführung MuKE 2014, erneuerbare Energieträger), ist es an der Zeit, bei Neubauten die mittlerweile viel höheren THG-Emissionen der Erstellungs- und Entsorgungsphase anzugehen. Mithilfe einer einfachen Lebenszyklusbeurteilung der Gebäude, wie in der SIA 2040, erhalten die Anwender grundsätzlich viel Handlungsspielraum, weil theoretisch auch nur das Gesamtergebn (THG-Emissionen pro EBF und Jahr) ausschlaggebend sein kann. Die Werkzeuge sind vorhanden und erprobt. Bis 2025 sollten mindestens auf Bundesebene Regulierungen zu lebenszyklusbezogenen THG-Emissionen eingeführt werden. Für öffentliche Bauten sollten möglichst rasch Vorgaben geschaffen und nach der Publikation der revidierten SIA 2040 diese Zielwerte in Kraft gesetzt werden (z. B. im Gebäudestandard Energie/Umwelt von EnergieSchweiz/Energiestadt).

Wir schliessen uns den AutorInnen der „Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich“ (Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019) an, worin die Forderung nach einem durch den Gesetzgeber definierten Grenzwert für THG-Emissionen besonders heraussticht. Gesetzliche Vorgaben sind wünschbar, weil sie für alle Beteiligten gleichermaßen gelten, ohne einzelne Akteure/Akteurinnen zu bevorzugen oder zu benachteiligen. Mit dem SIA-Merkblatt 2040 „SIA-Effizienzpfad Energie“ ist die formelle Grundlage für eine Regulierung bereits gegeben und mit dem neuen Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft (EnergieSchweiz und BFE 2020b) wurde auch der Absenkpfad gemäss dem Pariser Klimaabkommen skizziert.

8.9.2 Bildung

Obwohl die technischen Voraussetzungen für klimapositives Bauen grösstenteils vorhanden sind, ist die Bereitschaft, alle möglichen Massnahmen für klimapositives Bauen anzuwenden, heute nicht gross (vgl. Kap. 6.1.1 zu den Ambitionsstufen). Die Widerstände in der Baubranche müssen deshalb gebrochen werden,

ansonsten wird sich klimapositives Bauen auch in Zukunft nicht durchsetzen. Wir empfehlen dazu eine sofortige, breit angelegte Bildungsoffensive. Für junge, angehende Fachleute wie auch für gestandene Planer muss klimapositives Bauen selbstverständlich und im Studium, in der Berufslehre sowie auch in der Weiterbildung thematisiert werden. Anstrengungen im Forschungsbereich zum klimapositiven Bauen müssen rasch verstärkt werden.

8.9.3 Umsetzung

Die heute geringe Bereitschaft der Bauwirtschaft, klimapositiv zu handeln, nährt den Verdacht, dass baukulturelle Aspekte inkl. dem Investitionsverhalten schwieriger zu verändern sind als Produktionsprozesse (vgl. Kap. 12.3.5.1). Neue Baumaterialien und -produkte, bei deren Erstellung wenig THG emittiert werden, sind ganzheitlich betrachtet vielleicht noch nicht nachhaltig (vgl. Zielkonflikte und Versorgungslage bei biogenen Baustoffen), aber haben das Potenzial, relativ rasch den CO₂-Fussabdruck von Gebäuden zu reduzieren. Solche Chancen müssen genutzt werden.

8.9.4 Labels und Standards

Die oben unter Kap. 4.4 genannten Vorschläge sollten so weit wie möglich in bestehende Kriterien von Standards und Labels eingebunden oder neu geschaffen werden. Dies erleichtert den Nutzern der Labels und Standards, die neuen Zielwerte für THG-Emissionen zu erreichen. So könnte z. B. neben einem Gebäudetechnik- auch ein „THG-Emissionskonzept“ gefordert werden. Eine Wertung könnte anhand der erreichten Ambitionsstufe erfolgen.

9.

Diskussion

In diesem Kapitel werden Aussagen gegenübergestellt, Zielkonflikte beleuchtet sowie Aspekte angesprochen, die in der Planung laut den AutorInnen noch nicht zufriedenstellend gelöst sind.

9.1 Gesetzmässigkeiten der Wiederverwendung

Das Bauen mit Wiederverwendung von Bauteilen folgt anderen Gesetzmässigkeiten als jenes mit neuen Bauteilen. Als Erstes sei der Umgang mit der Gestaltung erwähnt. Diese muss sich den zur Verfügung stehenden resp. ausgewählten Bauelementen unterordnen, ähnlich wie beim Umbauen. Das Bauen mit Wiederverwendung unterscheidet sich also grundsätzlich vom „Bauen auf der grünen Wiese“.

Die Bauteile und Baumaterialien müssen zu einem frühen Zeitpunkt ausfindig gemacht, angekauft und zwischengelagert werden.⁶⁷ Dies kann zu logistischen Herausforderungen führen. Ein weiterer heikler Punkt ist der Abgleich der Qualität des Bauteils und dessen Anforderung (u. a. aus Normen und Stand der Technik) sowie das Fehlen einer Herstellergarantie. Um Risiken zu minimieren, ist eine sorgfältige Planung erforderlich, welche alle Massnahmen prüft und in einem zweiten Schritt die kostenneutrale Massnahme identifiziert.

Dies spart auf der einen Seite Kosten, da die Produkte günstiger (jedoch nicht kostenfrei) erhältlich sind. Doch durch die Bearbeitung (Ausbau, Identifizierung, Übertrag in CAD, Lagerung, Aufbesserung, Transport, Einbau) entstehen neue Kosten, sodass diese bei einem montierten Zweithandbauteil schlussendlich gleich hoch oder gar höher sein können als bei einer Neuanschaffung. Die Bearbeitung der Zweithandbauteile muss aus Kostengründen also auf das Minimum beschränkt werden. Die Planung wird aufwändiger und langwieriger, da viele Aspekte (Gestaltung, Logistik etc.) zusammengeführt werden müssen. Auf der anderen Seite wird der Ausstoss an CO₂ verringert. Bauteilen, welche ein zweites Leben erhalten, wird keine CO₂-Belastung angerechnet (vgl. Kap. 4.4.2).

9.2 Kosten der THG-Reduktion

(Globale) Ressourcenengpässe verlangen ein langfristiges Planen. Beispielsweise sind die Kosten des Holzbaus aufgrund von Lieferengpässen während der Corona-Pandemie gestiegen. Speziell gefertigte Bauprodukte wie Strohballen können nicht im Baumarkt bestellt werden, sondern müssen direkt auf dem Hof reserviert werden.

Produkte, welche nicht in grossen Mengen hergestellt werden können, sind oft teurer als Standardprodukte. Andererseits sind Produkte, welche keine lange und komplizierte Gewinnung und Verarbeitung benötigen billiger auf dem Markt erhältlich als hochindustriell hergestellte. Einige erfordern beim Einbau möglicherweise mehr Hand- und Anpassarbeit, andere können Standardprodukte 1:1 ersetzen. Eine generelle Aussage zum Preis kann nicht gemacht werden.

Bei der Internalisierung externer Kosten von THG-Emissionen geht es um Lernprozesse, die Berücksichtigung neuer Aspekte und die Findung neuer Vorgehensweisen, Konstruktionen und Produkte. Doch wer soll diesen Aufwand bezahlen? Nicht alle in dieser Studie vorgeschlagenen Massnahmen sind kostenneutral. Die Wiederverwendung von bestehenden Bauteilen birgt – wie oben beschrieben – Unsicherheiten. Weshalb sollte ein Bauherr sich freiwillig auf diesen neuen Pfad begeben und dafür Risiken und Kosten in Kauf nehmen? Mögliche Antworten:

- Bauherrschaften möchten auf dem Weg in die Zukunft Verantwortung übernehmen und nicht lediglich die Gewinne resp. Renditen maximieren.
- Zu erwarten wäre hier, dass die öffentliche Hand erste Schritte gehen und helfen kann, Erfahrungen zu sammeln, und für Private die Hürden senkt. Doch auch institutionelle Bauherrschaften können sich angesprochen fühlen, beispielsweise jene, die unsere Pensionskassengelder in Immobilien anlegen.

⁶⁷ Firmen wie Madaster, Salza, Bauteilbörse und Zirkular bieten sich in diesem Feld an.

- Die Bestrebungen mutiger Bauherrschaften und Planungsteams sollten belohnt werden. Sei dies durch das Setzen von Anreizen, durch die Vergabe von Wettbewerbspreisen oder durch Subventionen.

Die Nachfrage nach klimapositivem Bauen wird das Angebot an Lösungen wachsen lassen, denn Produzenten reagieren, wenn sich ihnen neue Marktchancen auftun. Es lohnt sich also, erste Schritte zu gehen.

9.3 Bedeutung der Erneuerung vs. Verdichtung

Bestehende Gebäude können umgenutzt, energetisch ertüchtigt, angebaut oder aufgestockt werden. Eine optimale Ausnutzung und Verdichtung auf der Parzelle ist jedoch meist nur durch einen Ersatzneubau möglich. Dieser Zielkonflikt mit der positiv zu wertenden „Verdichtung nach innen“ des Raumplanungsgesetzes führt deshalb häufig zu zusätzlichen Abbrüchen. Hier gilt es im Einzelfall abzuwägen und ggf. nur dort zu verdichten, wo aufgestockt werden kann.

Weiterbauen am Bestand ist meist mit einem höheren planerischen Schwierigkeitsgrad verbunden. Doch durch das Weiterschreiben an der Geschichte dieser Gebäude entstehen individuelle, charakteristische (ja manchmal auch eigenwillige) Architekturen, was als Mehrwert gewertet werden kann. Hingegen wird der räumliche Charakter der Ausgangslage bei einem Ersatzneubau durch den Abbruch neutralisiert, grosszügigere Lösungen werden möglich. Bei der Abwägung zum Entscheid in die eine oder andere Richtung empfehlen wir die Ressourcenfrage einzubeziehen. In den schlecht gedämmten Bestandesgebäuden stecken grosse Mengen an abgeschriebenen THG, welche es möglichst rasch zu sanieren und weiter zu nutzen gilt. Aufgrund der Vielgestaltigkeit von solchen Bauaufgaben ist es sehr anspruchsvoll, griffige Zielsetzungen zum klimapositiven Bauen zu formulieren. Es gibt zudem Lücken in den Datengrundlagen, weil z. B. die Materialflüsse für Erneuerungen nicht vorliegen. Die Subventionen für Ersatzneubauten (Harmonisiertes Fördermodell 2015, HFM-Nr.: M-16 und M-17) wirken dabei kontraproduktiv.

9.4 Digitalisierung und traditionelle Bautechniken

Building Information Modeling (BIM) wird es in Zukunft ermöglichen, Gebäude als Rohstofflager zu verwalten und direkt mit öffentlichen Datenbanken zu verknüpfen. Diese zeigen an, wann und in welcher Menge bestimmte Stoffe zur Wiederverwendung auf den Markt kommen. Erste Pilotprojekte dazu sind im Gange (Maddaster, Salza etc.).

Lehmbau, Strohdämmung, Wiederverwendung von Bauholz sind alte Techniken, welche in Zeiten von Rohstoffknappheit gang und gäbe waren. Während der Industrialisierung gerieten diese Techniken in Vergessenheit, weil industriell produzierte Bauprodukte in grosser Menge auf den Markt kamen.

Durch die Kombination der Digitalisierung und dieser traditionellen Bautechniken ergeben sich neue Möglichkeiten. Wiederverwendung könnte in Zukunft besser planbar und realisierbar sein, weil Daten verfügbar sind.

Die Digitalisierung ermöglicht uns, Datenblätter über Produkte und Materialien, welche früher durch schriftliche Anfragen einzuholen waren, mit ein paar Klicks aus dem Internet runterzuladen. Dennoch fehlen teilweise objektive und vergleichbare Daten, vorwiegend zu neueren Produkten. Die Digitalisierung wird uns in Zukunft neue Möglichkeiten eröffnen und den Markt möglicherweise transparenter machen.

Doch es werden auch neue Fragen aufgeworfen. Da Bauten in langen Phasen als „Lager“ interpretiert werden können, die besser zwischen 60 und 100 Jahren als weniger als 60 Jahre ruhen, fragt sich, wen die Informationen in 60 Jahren noch interessieren. Es wird die nächste oder übernächste Generation (unsere Kinder oder Enkel) sein, die von einem fein säuberlich verwalteten Materialarchiv profitieren könnten. Wer kennt sich dann noch mit den heutigen Hilfsstoffen aus, die für die Verarbeitung verwendet wurden? Sind die Daten

dann noch lesbar? (Versetzen wir uns zurück in die 1960er Jahre – dann gab es noch nicht einmal Computer.) Wer kümmert sich darum? Wäre es nicht eine Aufgabe der öffentlichen Verwaltung, sich um das Materiallager der Bauten zu kümmern?

9.5 Baumaterialien, Konstruktionen im ökologischen Wettbewerb

Verschiedene Materialien sollten nicht auf der subjektiven Ebene gegeneinander ausgespielt werden, sondern faktenbasiert mit vergleichbaren Datensätzen gegeneinander in Konkurrenz treten. Dafür braucht es transparente Dokumentationen und Daten.

Es existieren zahlreiche Berechnungstools zur schnellen Abschätzung in frühen Planungsphasen. Darunter z. B. digitale Werkzeuge zur Berechnung der GTHG nach SIA 2032 oder zum Effizienzpfad nach SIA 2040. Der Vorteil der Einfachheit ist einerseits begrüßenswert, kann sich aber andererseits aufgrund erzwungener unpräziser Eingaben schnell zu einem Nachteil verkehren. Aufgrund von teilweise intransparent gestalteten Werkzeugen, können verschiedene Konstruktionen nicht adäquat verglichen werden. Die StudienautorInnen fordern deshalb, dass Intransparenzen beseitigt und Werkzeuge so gestaltet werden, dass der Wettbewerb in angemessener Weise stattfinden kann.

9.6 Freiwillige Verpflichtung vs. Regulierung

Durch private Initiativen wie „Countdown 2030“ und Berichten in Zeitschriften wie Tec21 und Hochparterre gewinnen die GTHG beim Bauen an Bedeutung. Deren Berücksichtigung durch Berechnung, Analyse und Reduktionsbestrebungen steckt jedoch noch in den Kinderschuhen. Bauherrschaften setzen einzelne Aspekte des nachhaltigen Bauens sowie Gebäudelabels als freiwillige Verpflichtung um. Die breite Masse der Akteure/Akteurinnen in der Baubranche richtet die Projekte jedoch an ökonomischen (Gewinnmaximierung) und ästhetischen Zielen aus. Die Schwierigkeit von freiwilligen Verpflichtungen, wie sie uns in der Praxis oft begegnet ist, wird fallengelassen, sobald die selbst auferlegten Ziele sich als anspruchsvoll zeigen, anecken und zu Zielkonflikten führen.

Labels und Standards wie Minergie-Eco, SNBS und Effizienzpfad Energie bewerten die GTHG von Gebäuden, doch die Grenzwerte wurden bewusst bescheiden gewählt, damit die „Einstiegshürde“ gering ist. Auf der anderen Seite machen die GTHG von Wohngebäuden einen relevanten Anteil (über 10%) am gesamten THG-Ausstoß (in der Schweiz) aus. Die Interviewpartner erwähnten es und diverse wissenschaftliche Studien wurden zur Notwendigkeit einer Regulierung geschrieben. Da die komplexe Zulieferungskette vom Rohmaterial bis zum fertigen Gebäude aufgrund der Fragmentierung der Produktionsprozesse von vielen einzelnen AkteurInnen abhängt, lässt sich das Problem nicht wie jenes der Betriebsenergie von einem Ingenieur lösen. Der Architekt ist gefordert, Konstruktion und Materialwahl so zu treffen, dass die THG-Grenzwerte eingehalten werden. Die Grundlagen für eine solche Regulierung der GTHG sind in der Schweiz vorhanden:

Die SIA-Kommission 2040 legte im Effizienzpfad Energie im Jahr 2017 Ziel- und Richtwerte fest, welche auf den damaligen Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft beruhen. Es ist damit zu rechnen, dass diese in den nächsten (2) Jahren verschärft werden, da der Bund (2019) entschieden hat, die THG bis 2050 auf null (statt auf 2) t CO₂ pro Person zu senken. Diese aktualisierten Grenz- und Zielwerte könnten im Rahmen von Baubegehren als Vorgabe gesetzt werden. Jedes Baubegehren hätte also eine GTHG-Berechnung vorzulegen, welche den Grenzwert unterschreitet. Die Werkzeuge zu solchen Berechnungen existieren bereits seit über 10 Jahren; praktisch alle Berechnungstools, welche für Energienachweise (SIA 180/1) eingesetzt werden können, sind in der Lage, auch die GTHG sowie die GE zu berechnen.

Als Zusatz könnte die eingespeicherte Menge an Kohlenstoff (C-Speicher) der Gebäude mit in die Betrachtung einbezogen werden. Die Speicherwirkung in Gebäuden hilft, Zeit zu gewinnen, bis bessere und günstigere Technologien zum Einfangen von CO₂ aus der Luft verbessert werden. Schon allein das Ausweisen dieses Wertes in den Ergebnissen der GTHG-Berechnungen (in Bezug zu Benchmarks) würde der C-Speicherung eine Sichtbarkeit und Relevanz verschaffen.

Ob die Speicherung (gewichtet) mit in die Bewilligungsverfahren einbezogen werden kann, wie hier in Kap. 5 und 6 beschrieben, wäre weiter zu untersuchen. Zumindest würde damit ein Anreiz geschaffen, die Baustoffe bezogen auf ihre Umweltwirkung und ihr Reduktionspotenzial genauer unter die Lupe zu nehmen und Gebäude als C-Speicher zu nutzen.

Die THG-Reduktion beim Bauen gehört dringend auf die politische Agenda: Sensibilisierung, Sichtbarkeit, aktualisierte Benchmarks, Anreize zur Reduktion und eine Regulierung. Allein durch freiwillige Verpflichtungen wird der Zielpfad nicht eingehalten werden können. Es ist dringend notwendig, wirksame Anreize zu setzen und/oder die GTHG-Emissionen bei der Gebäudeerstellung (inkl. Sanierung) zu regulieren!

9.7 Diskontsätze für GTHG und Lebensdauer nach SIA

In den Berechnungen nach SIA 2032:2020 liegt der Diskontsatz immer bei eins. Das heisst, dass THG-Emissionen heute und in der Zukunft exakt gleich gewichtet werden. Wenn ein Bauteil in 40 Jahren (also nach 2050: Netto-null) ersetzt werden muss, werden in den Berechnungen für diesen Ersatz die gleich hohen THG-Emissionen angenommen, wie sie heute vorherrschen. Ein solches Vorgehen verlagert einen Teil der THG-Emissionen in eine Zukunft, die gar nicht eintreffen dürfte. Ein Diskontsatz, der über 1 liegt, würde solche irrationalen Annahmen verhindern. Weiter würden entsprechend angepasste Grenz- und Richtwerte dafür sorgen, dass THG-Emissionen, welche in der Jetztzeit anfallen und für zukünftige Generationen eine beträchtliche Gefahr darstellen, strenger bewertet würden. Eine breit abgestützte Debatte zu einem adäquat gestalteten Diskontsatz würde auch helfen, das Problembewusstsein in der Bauwirtschaft weiter zu stärken.

Ein anderes Mittel, irrationale Zuschreibungen von THG-Emissionen in eine Netto-null-Welt zu verhindern, wäre, die Abschreibungsdauer (Bauteil-Lebensdauer) aller Bauteile bzw. des Gebäudes sukzessive zu verkürzen. Die Abschreibungsdauer von im Jahr 2025 verbauten Materialien würde sinnigerweise nur noch 25 und nicht 60 Jahre betragen, nämlich die Restdauer bis 2050 (2050–2025). Dies würde den Werten pro Jahr eine neue (grössere) Bedeutung verleihen und die Dringlichkeit der Klimakrise vor Augen führen. Ein kleines Rechenbeispiel verdeutlicht dies (vgl. dazu Tab. 2 oben).

Neues MFH-Referenzgebäude	GTHG in kgCO ₂ eq/m ² a	THG-Emissionen Betrieb in kgCO ₂ eq/m ² a	Lebenszyklus kgCO ₂ eq/m ² a
Eigene Berechnung (vgl. Tab. 15)	10.7 kg	7.4 kg	18.1 kg
Eigene Berechnung (Netto-null 2050)	25.7 kg	17.8 kg	43.5 kg
Richtwerte SIA 2040:2017	9.0 kg	3.0 kg	12.0 kg

Tab. 33: THG-Emissionen pro Jahr neuer Wohnbauten in einer Netto-null-Welt ab 2050. Eigene Berechnung.

Ausgehend vom Netto-null-Ziel 2050 belaufen sich die realen GTHG im Lebenszyklus eines im Jahr 2025 erstellten Wohngebäudes auf 25.7 kgCO₂eq/m²a. Dies entspricht dem 2.4-Fachen im Vergleich zur Annahme einer 60-jährigen Amortisationszeit. Dies zeigt, dass auch klimapositives Bauen mit einer 50%-Reduktion der Klimakrise noch nicht gerecht wird. So gesehen besteht kein Bedarf zur Setzung strengerer Richt-, Ziel- oder Grenzwerte, sondern es muss einfach die real vorhandene Abschreibungsdauer vorausgesetzt werden.

9.8 End of Life von Bauprodukten

Der Wert von Bauprodukten am Lebensende (auch EoL) wird heute von PlanerInnen noch wenig verstanden, obwohl viel dazu geforscht wird und Baustoffproduzenten versuchen, Lösungen zu finden. Es gehört bei vielen PlanerInnen immer noch zum allgemeinen Verständnis, dass Bauprodukte am Ende ihres Lebenszyklus entweder verbrannt oder deponiert/entsorgt werden. Weil Bauprodukte jahrzehntelang verbaut sind und ein grosser Teil erst weit nach 2030 wieder bearbeitet wird, sollten diese schon jetzt über Eigenschaften verfügen, welche es erlauben, dass dazumal günstigere EoL-Strategien umgesetzt werden können, so z. B.: Wiederverwendung, Recycling, Rückführung in den natürlichen Kreislauf usw. Datenbanken wie Madaster⁶⁸ sind dazu entwickelte Ansätze.

Die Betrachtung des Lebensendes von Bauprodukten kann sich in den nächsten Jahren ändern. Sofern Wiederverwendung nicht ein kurzfristiger Trend ist und in Zukunft tatsächlich im grossen Masse umgesetzt wird, wird sich das Lebensende hinauszögern und die 60 Jahre Lebensdauer der SIA wird nicht mehr zutreffen.

9.9 Nachhaltigkeitsdimension der Klimakrise

Beim Bund sind die THG-Emissionen Bestandteil des MONET-Indikatorensystems, mit welchem die Umsetzung der Schweizer Nachhaltigkeitsziele gemessen werden. Der Indikator „THG-Emissionen“ wiederholt jedoch die Zahlen, welche im Rahmen des Kyoto-Vertrags auch den Vereinten Nationen übermittelt werden. Es sind dies wiederum nur die inländisch emittierten Kyoto-Gase, ohne die importierten. Dabei umfasste das erste THG-Inventar der Schweiz auch importierte THG-Emissionen (vgl. Biedermann et al., 1992). Entwickelte Wirtschaften wie die Schweiz mit wenig energieintensiver Schwerindustrie und vielen Importen erhalten dadurch einen unverdienten Vorteil.

Auf Länderebene macht es einen Unterschied, ob der Ausgangspunkt hohe THG-Emissionen oder tiefe Emissionen pro Kopf sind. Zu dieser Betrachtung kommen noch die historischen THG-Emissionen dazu. Solche Überlegungen würden der aktuellen Budgetbetrachtung am nächsten kommen. Dasselbe gilt für die wirtschaftlichen Voraussetzungen. Länder mit hohem Einkommen und relativ grossem Handlungsspielraum sollten bei der Entwicklung Richtung Netto-null vorangehen und so den Tatbeweis erbringen, dass industrialisierte und einkommensstarke Nationen die Möglichkeiten und den Willen haben, THG-Emissionen zu senken, ohne andere Nachhaltigkeitsziele zu gefährden. Ohne diesen Tatbeweis ist von weniger entwickelten Ländern kaum eine Verpflichtung zu Netto-null zu erwarten, weil eine solche zunächst mit erheblichen Anstrengungen und Wachstumsrisiken verbunden ist.

⁶⁸ <https://www.madaster.ch/> [15.04.2021].

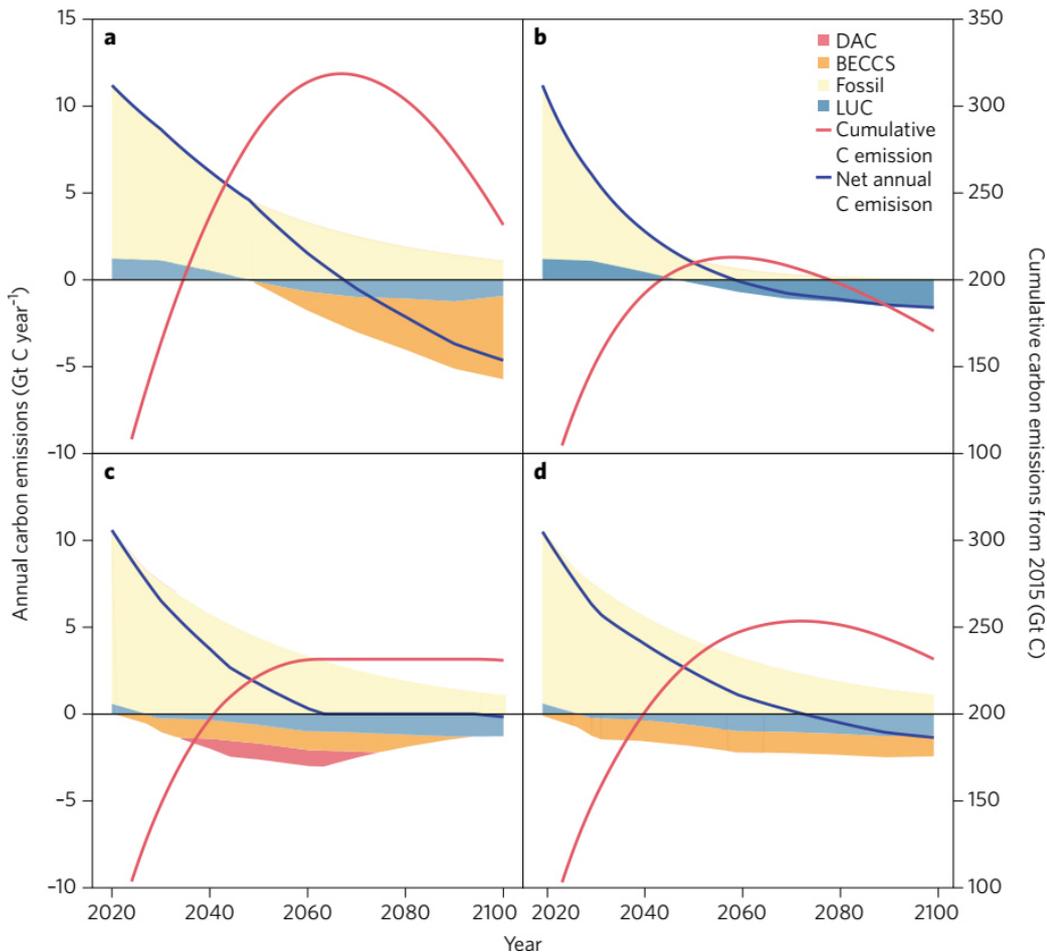


Abb. 50: Vier Archetypen von Emissionspfaden, welche den globalen 2°C-Erwärmungsgrenzwert einhalten, mit den höchsten jährlichen Emissionen im Jahr 2020 (vgl. auch Abb. 9 oben).

Der Schweiz würde eine Entwicklung zwischen Fall b und c gut anstehen. Erstens sinken die fossilen Emissionen besonders schnell (b) und die Schweiz beginnt schon heute im grossen Stil CO₂ aus den Abgasen grosser Holzheizkraftwerke zu filtern und sicher zu speichern (aus Obersteiner u. a. 2018 b, Abb. 1).

In diesem Zusammenhang sollte man auch die in Abb. 50 gezeigten Archetypen der Emissionspfade sehen. Kaum ein Land wird den gleichen Absenkpfad wie ein anderes beschreiten können. Insbesondere bei den heute noch teuren negativen Emissionen müssen wirtschaftlich starke Länder und Institutionen vorangehen (vgl. Figur c in Abb. 50). Zahlreiche Firmen haben sich dazu bekannt, in den nächsten Jahren eine bestimmte Zahl negativer Emissionen zu leisten.⁶⁹ Längerfristig müsste das Ziel der hiesigen Bauwirtschaft sein, THG-negativ zu werden, indem Gebäude als Plattform für negative Emissionstechnologien dienen.

⁶⁹ Vgl. u. a. hier: <https://www.swissre.com/institute/research/sonar/sonar2020/sonar2020-carbon-removal-insurance.html> [1.06.2021],

<https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2021/01/28/sustainability-year-progress-decade-action/> [1.06.2021],

<https://coalitionfornegativeemissions.org/> [1.06.2021].

10.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Folgenden wird anhand einer idealen Entwicklung und entlang von drei Etappen prognostiziert, wie die Entwicklung bis zum Jahr 2030 ablaufen könnte. Wir wünschen uns, dass die Bauwirtschaft für alle MFH-Neubauprojekte bis zum Jahr 2030 Schritt für Schritt Reduktionsmassnahmen mit höheren Ambitionsstufen umsetzen kann.

10.1 Prognose zur Entwicklung bis 2030

Ein detaillierter Beschrieb zu den notwendigen Entwicklungen im Bereich der Neubauten und Erneuerungen findet sich im Kap 12.7 im Anhang. Der folgende Text stellt eine Prognose dar, welche aus AutorInnensicht eine positiv verlaufende Entwicklung in der Schweiz betreffend GTHG bis 2030 vorwegnimmt. Wir gehen in keiner Weise davon aus, dass die tatsächliche Entwicklung zwingend so ablaufen wird (vgl. dazu auch Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

10.1.1 Prognose kurzfristige Entwicklung

Aufgrund der heute geringen Verfügbarkeit gewisser Reduktionsmassnahmen und der noch geringen Bereitschaft der Bauwirtschaft zur Umsetzung von Massnahmen sind heute kaum klimapositive Neubauten zu erwarten. Realistisch sind Neubauten, welche 10% bis höchstens 20% weniger GTHG aufweisen (gem. Anspruchsniveau 3).

Um Vorurteile abzubauen, neue Planungs- und Baumethoden sowie -materialien zu erproben, sind klimapositive Neubauten oder Leuchtturmprojekte notwendig, welche im Rahmen von P&D-Projekten (auf Ambitionsstufe 7) umgesetzt werden können. Mit klaren Zielsetzungen und Anreizen können die Rahmenbedingungen verbessert und die Branche für die tatsächliche Umsetzung klimapositiver Gebäude ertüchtigt werden. Die Zeit bis 2030 wird vor allem grosse Lernanstrengungen aller beteiligten Akteure/Akteurinnen benötigen. Labels und ambitionierte Standards sollten sich jedoch bereits jetzt das Ziel setzen, klimapositiv zu bauen. Der von Minergie und der MuKEN vorgeführte *Push-and-Pull*-Effekt sollte ebenso für den Bereich der GTHG-Emissionen genutzt werden.

10.1.2 Prognose mittelfristige Entwicklung (ca. 2024)

Auch mittelfristig ist nicht davon auszugehen, dass flächendeckend klimapositive Neubauten erstellt werden. Zu erwarten sind bei den übrigen Neubauten, dass sie THG-Ersparnisse bei der Erstellung bis rund 30% erreichen (Anspruchsniveau 4). Im Rahmen von P&D-Projekten könnten z. B. vereinzelt klimapositive Areale geplant und erstellt werden. Öffentliche Bauherrschaften können in P&D-Projekten die Wirtschaftlichkeit klimapositiver Gebäude nachweisen. Die Behörden beginnen bei der Regulierung von Gebäuden, flächendeckend auf Lebenszyklusnachweise zu setzen (vgl. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019). Das bringt grosse Freiheiten, denn es bleibt den Bauherrschaften freigestellt, ob die zulässigen THG-Emissionen eher bei der Erstellung oder während dem Betrieb emittiert werden.

10.1.3 Prognose Entwicklungsstand kurz vor 2030

Um den Absenkpfad zu erreichen, muss kurz vor 2030 die Entwicklung so weit sein, dass klimapositives Bauen der Normalfall wird. Aufgrund von planerischen Einschränkungen bedeutet dies, dass vor allem die verwendeten Materialien deutlich weniger GTHG enthalten dürfen. Viele Gebäude erreichen weiterhin nur mit dem anrechenbaren C-Speicher die 50%-Marke der Reduktion. Es werden viel mehr biogene Baustoffe verbaut als früher. Notwendig sind dafür verbindliche Regelungen, Behörden haben griffige Grenzwerte erlassen und die freiwilligen Labels haben sich längst höhere Ziele gesetzt (z. B. -75%).

10.2 Schritte zur Umsetzung

Die kurzen Prognosetexte in den vorhergehenden Abschnitten sowie die Empfehlungen im Kap. 8 oben zeigen, wie mögliche Schritte auf dem Weg zum klimapositiven Bauen aussehen könnten. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Meilensteine zusammengefasst, welche herausfordernd und hindernisreich sind. Regelungen welche als verbindlich gelten sollen, sind fett hervorgehoben:

Meilensteine (engerer Radius) auf dem Weg zu Netto Null	Akteur
a) Sensibilisierung der breiten Bevölkerung, Bildungs- und Weiterbildungsoffensive für eine nachhaltige Planungs- und Baukultur	Öffentliche Hand, Wissenschaft/Forschung, Bauwirtschaft
b) Bereitschaft der Bauwirtschaft für klimapositives Bauen erhöhen, indem z.B. das Problembewusstsein gefördert wird (vgl. a)	Bauwirtschaft
c) Dialog mit allen wichtigen Akteuren im Bauwesen zum Thema Suffizienz	Öffentliche Hand, Wissenschaft/Forschung, Bauwirtschaft
d) Übergang ("transition") von einer THG-intensiven zu einer nachhaltigen Bauwirtschaft erforschen, bzw. gestalten anhand von P&D-Gebäude und Areale (Leuchtturmprojekte) erstellen unter Beteiligung der öffentlichen Hand, um: > Sammeln von Erfahrungen klimapositiver Gebäude von der Konzeption über die Planung bis zur Realisierung > Nachweis der technischen Machbarkeit > Nachweis der Wirtschaftlichkeit	Bauwirtschaft, Öffentliche Hand, Wissenschaft/Forschung
e) Strategie zur Absenkung der THG-Emissionen aus der Erstellung in der Schweiz	Öffentliche Hand
f) Rahmenbedingungen Kreislaufwirtschaft, Zulassungsverfahren Produkte, Wiederverwendung, Rückbau/Abbruch, Recycling, Transparenz usw. verbessern	Öffentliche Hand, Bauwirtschaft
g) Infrastruktur für massentaugliche Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten aufbauen (Datenbanken zur Registrierung wiederverwendbarer Bauteile)	Bauwirtschaft
h) Neue Vermarktungspraktiken einführen zur Schliessung der Stoffkreisläufe (Product as Service)	Bauwirtschaft
i) Erforschung von THG-negativen Baustoffen und -produkten und deren grossmasstäbliche Produktion	Wissenschaft/Forschung, Bauwirtschaft
j) Deutlich bessere Baustoffe und -produkte betreffend THG-Emissionen und C-Speicher (inkl. C-Sequestrierung)	Wissenschaft/Forschung, Bauwirtschaft, Öffentliche Hand
k) Festlegen von auf den Absenkpfad abgestimmten (strengen) Ziel- und Grenzwerten (Fuss- und Handabdruck).	Verbände der Bauwirtschaft (wie bspw. SIA)
l) Übernahme dieser Zielwerte in Standards und Labels wie Minergie, SNBS, 2000-Watt etc. als ersten Schritt	Labels und Standards
m) Wecken des Problembewusstseins und der Dringlichkeit durch angemessene (regulatorische) Rahmenbedingungen	Gesetzgeber mit Verwaltung
n) Schweizweite Gesetzesanpassung hin zu einer Regulierung der THG auf Basis einer Lebenszyklusbetrachtung. > standardmässige Berechnung der GTHG bei Baueingaben (inkl. Wiederverwendung) > Einbezug der C-Speicherung in der Standardberechnung > Einbezug gewichteter, anrechenbarer zusätzlicher Speicher > Einhaltung der Grenz- und der Zielwerte	Gesetzgeber mit Verwaltung
o) Leistungsfähige und nachhaltige Agrarwirtschaft (für biogene Baustoffe)	Agrarwirtschaft, Bauwirtschaft, Öffentliche Hand
p) Leistungsfähige und nachhaltige Forst- und Holzwirtschaft (für Holzprodukte)	Forst- und Holzwirtschaft, Bauwirtschaft, Öffentliche Hand
q) Nachhaltige Raumplanung, deren Entwicklungsziele nicht zwangsläufig zu Ersatzneubauten und Abbrüchen führt	Öffentliche Hand, Wissenschaft/Forschung

Tab. 34: Meilensteine für die Bauwirtschaft, die öffentliche Hand, Wissenschaft/Forschung und sonstige Sektoren, die es zu überwinden gilt, um bis im Jahr 2030 flächendeckend klimapositiv bauen und den Absenkpfad des Pariser Abkommen einhalten zu können. Fett hervorgehoben die wichtigsten Voraussetzungen.

Die Herausforderungen sind zahlreich und anspruchsvoll, sodass zu bezweifeln ist, ob 2030 Schweizer MFH-Neubauten (im Durchschnitt) klimapositiv sein werden. Gleichzeitig stellt man fest, dass in allen Bereichen in Ansätzen bereits erste Bemühungen unternommen werden. Auch im handfesten Bereich der Baustoffe und Bauteile stehen erst vereinzelt klimapositive Produkte zur Verfügung. Unter Experten und Wissenschaftlern ist das Problembewusstsein vorhanden, wie die eingangs dokumentierten Interviews zeigen. Diese machen aber auch klar, dass die Thematik noch längst nicht in der Breite angekommen ist.

10.3 Ausblick

Wie eingangs erwähnt, beschäftigt sich dieses Projekt bewusst unabhängig vom Kontext nur mit den THG bei der Gebäudeerstellung. Dieses Schlusskapitel möchte kurz auf einige Entwicklungen hinweisen, welche das Ziel des klimapositiven Bauens in einen geeigneten Kontext einbetten helfen.

10.3.1 Empfehlung zur Ergänzung des SIA Merkblatts 2032

Gemäss ursprünglichem Projekt hatten wir vor, eine Empfehlung zum Merkblatt 2032 zu verfassen zu den Themen biogener Speicher und Wiederverwendung. Das Gespräch mit der Kommission hat jedoch ergeben, dass hier bereits entsprechende Neuerungen geplant sind, so dass sich eine solche Empfehlung erübrigt (vgl. Kap. 4.4). Die Angabe der biogenen Speicherwerte in der KBOB-Liste begrüßen wir sehr. Mit dieser Ergänzung wird dem gebundenen biogenen Kohlenstoff – unabhängig vom Baumaterial – grössere Aufmerksamkeit zuteil, ebenso wird auf die Bedeutung und die positiven Eigenschaften solcher Baustoffe hingewiesen. Die vorteilhafte Wirkung des Ausbaus von CO₂-Senken ist unbestritten, allerdings ist der Effekt der Maximierung der Senken ab einem gewissen Zeitpunkt ausgeschöpft und für die nächste Generation möglicherweise nicht mehr von Bedeutung (siehe dazu auch Kapitel 5.3.4).

Wir sehen das Ausweisen des Handabdrucks bei GTHG-Berechnungen als einen zentralen Zwischenschritt, um dem Klimaeffekt des temporären biogenen Kohlenstoffspeichers mehr Gewicht zu verleihen. Solange etwas keinen Namen hat, kann es nicht verändert werden. Das Ausweisen dieses Wertes könnte zu einem Indikator für das nachhaltige Bauen werden.

Es liegt nun an anderen AkteurInnen (SIA, Labelvertreter, Behörden etc.), Ziele und Mindestanforderungen für den Handabdruck bei Bauprojekten zu definieren. Ein wichtiger Schwellenwert scheint dann erreicht, wenn der Zuwachs des Speichers grösser ist als die Rückbaumenge. Aktuell gehen die AutorInnen von einem Wert von 17 kg C/m² EBF aus. Insgesamt soll der Zielwert dazu beitragen, sicherzustellen, dass der gesamte biogene Speicher (ähnlich dem nationalen Kohlenstoffpool von Holzprodukten) zur Erreichung des Kyoto-Abkommens stetig zunimmt.

Wichtig ist, dass die Bauwirtschaft ermutigt wird und Anreize geschaffen werden, nicht nur mit natürlichen biogenen Materialien Kohlenstoff einzuspeichern, sondern auch mit industriell hergestellten Baustoffen und -produkten (z. B. beschleunigte Betonkarbonisierung). Diese Speicherleistung würde dann allerdings aufgrund der Dauerhaftigkeit der Speicherung schon beim CO₂-Fussabdruck berücksichtigt werden.

10.3.1.1 Potenzial zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling (Modul D)

In der europäischen Ökobilanz-Norm EN 15804:2012+A2:2019 bezeichnet das Modul D "Vorteile und Belastungen ausserhalb der Systemgrenzen". Weil solche Potenziale für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling ausserhalb der Systemgrenzen liegen, ist eine Verrechnung mit den restlichen Modulen (A–C; Wiege bis Grab) nicht vorgesehen.

Mit der Massnahme "Planen für Demontage/Modul D" weist diese Studie eine (verrechenbare) Reduktion von 5% aus (vgl. Kap. 5.4.1.2), welche ausserhalb der Systemgrenze liegt. Üblicherweise wird eine solche Gutschrift (bzw. Nicht-Belastung) erst bei einer nachfolgenden Nutzung rund 30 bis 60 Jahre in der Zukunft anrechenbar. In Kap. 4.4.2 wird daher argumentiert, dass eine solche Gutschrift zum Zeitpunkt der Realisierung in 30 bis 60 Jahren zwingend mit einer ebenso hohen Belastung ausgeglichen werden müsste, damit eine doppelte Berücksichtigung vermieden wird. Jedoch ist aus heutiger Sicht davon auszugehen, dass in 30 Jahren ein Netto-null-Szenario vorherrscht, in welchem keine Belastungen durch THG mehr vorhanden sind. In diesem Sinne wäre eine heute gewährte Gutschrift für die Massnahme "Planen für Demontage/Modul D" gleich doppelt ungerechtfertigt: Zum einen, weil die Gutschrift in einer Netto-null-Welt in 30 und mehr Jahren nicht eingelöst werden kann, zum anderen, weil sie entsprechend der Normung in 30 und mehr Jahren mit einer hypothetischen Belastung neutralisiert werden müsste. Rein rechnerisch würde also eine heute gewährte Gutschrift zu einer ebenso hohen Netto-Belastung in der Zukunft führen.

Dagegen kann argumentiert werden, dass das SIA-Merkblatt 2032:2020 in keiner Weise von einer Netto-null-Welt ab dem Jahr 2050 ausgeht, denn die THG-Emissionen werden wie bisher über 60 Jahre abgeschrieben (bis 2080) und der Diskontsatz bleibt bei 1 (vgl. dazu Kap. 9.7). Für Bauteile mit einer Lebensdauer unter 60 Jahren bleibt die Ausgangslage deshalb die gleiche, wie heute: Die Gutschrift kann von einem Zweitnutzer eingelöst werden, weil die THG-Belastung ohne Gutschrift dannzumal die gleiche ist wie heute. Dies bedeutet, dass der Zweitnutzer mit Sicherheit keine Belastung tragen muss, wenn heute eine Gutschrift vergeben würde.

Somit ist die Netto-Belastung vom Tisch. Die oben erwähnte Reduktion von 5% für die Massnahme "Planen für Demontage/Modul D" möchten wir als Anreiz für die Bauwirtschaft verstanden sehen, nicht als wissenschaftlich verrechenbare Massnahme. Wir fordern oben, dass sich die Bauwirtschaft in den kommenden 10 Jahren sehr rasch zu einem klimapositiven Gewerbe entwickeln muss. Zur Umsetzung einer heute einsetzenden Emissionswende braucht es jede denkbare Unterstützung. Wir argumentieren deshalb, dass diese besonderen Umstände ausserordentliche Massnahmen rechtfertigen, denn ohne Anreize ist die Bauwirtschaft kaum bereit, ihre traditionellen Vorgehensweisen zu ändern. Aus diesem Grund finden wir es sinnvoll, wenn das Modul D im SIA-Merkblatt 2032 mindestens teilweise berücksichtigt werden könnte. Nur so können in der Baubranche Anreize für die Umsetzung solcher Massnahmen geschaffen werden.

10.3.2 Ausblick zur Wiederverwendung

Das Hinarbeiten auf eine Lösung und baldige Berücksichtigung der Wiederverwendung in den KBOB-Empfehlungen wird von den AutorInnen sehr begrüsst. Insbesondere braucht es Daten zu den Belastungen, die dem Zweitnutzer aufgrund von Auffrischungsarbeiten zufallen. Wie weiter oben dargestellt, kann man davon ausgehen, dass mit solchen Massnahmen grosse Einsparungen zu erreichen sind.

Eine mit der Amortisationszeit verbundene Anrechnung eines Anteils der Neuproduktion an den zweiten Einsatz und damit der geringeren Belastung und Anrechnung für die Erstanwendung hat sich als wenig praxistauglich erwiesen. Anders als die Handhabung KBOB wird bei einer Bilanzierung nach EN 15804 das Potenzial für die Gutschrift einer Wiederverwendung mit einer ergänzenden Bilanzierung für Gutschriften ausserhalb

der Systemgrenze separat ausgewertet. Eine solche Bewertung ist im Rahmen der KBOB-Empfehlungen nicht vorgesehen.

Damit diese Massnahme in der Praxis breit angewendet wird, braucht es zudem deutliche Veränderungen bei den Rahmenbedingungen (vgl. Tab. 34).

10.3.3 Schlusswort

Während dem Betrieb oder im Bereich der Mobilität ausgestossene THG sind selbstverständlich für das Klima genauso schädlich wie die THG bei der Erstellung und Modernisierung von Gebäuden. Die revidierte SIA 2040 „SIA-Effizienzpfad Energie“ wird in den kommenden Jahren entsprechende Richt- und Zielwerte festlegen, welche den Anforderungen des Pariser Klimaabkommens entsprechen. In der Forschung arbeitet man darauf hin, die grundsätzlichen Definitionen festzulegen, welche es braucht, um irgendwann tatsächlich Netto-null-Gebäude im Betrieb und bei der Erstellung zu realisieren. Mit Blick auf die aggregierte Ebene des Gebäudeparks sind schnelle Fortschritte bei der Verringerung der THG-Emissionen aus dem Betrieb vordringlich. Dies gilt vor allem für den Bestand, bei Neubauten mit geringerem Energieverbrauch und höheren Anteilen erneuerbarer Energie rücken heute die Emissionen der Erstellung in den Fokus. Im gleichen Zug dürfen bei Modernisierungen Aspekte der THG der Gebäudeerstellung nicht ausser Acht gelassen werden, weil sonst die während der Nutzung einzusparenden THG aus dem Betrieb in Form von GTHG bereits heute emittiert werden (vgl. Göswein et al., 2021). In Bezug auf das nachhaltige Bauen sind selbstverständlich noch weitere Kriterien zu beachten als nur THG-Emissionen. Eine ganzheitliche Betrachtung leisten z. B. die Werkzeuge des Netzwerks Nachhaltiges Bauen Schweiz (NNBS).⁷⁰

Was fehlt aufseiten der Technik? Die KBOB-Liste und das SIA 2040-Tool müssen immer aktuell sein. Veraltete Datenquellen in der KBOB-Liste verzerren die Auswertungen zu GTHG und führen womöglich zu Fehlentscheidungen. Die Werkzeuge sollten jährlich aktualisiert werden. Bei sich schnell entwickelnden Produkten, wie beispielsweise bei Photovoltaikanlagen, sollten die Anpassungen schneller erfolgen.

Was braucht es in Zukunft? Es braucht Anreize, die die Berücksichtigung der GTHG fördern. Weiter braucht es Anreize zur längeren Nutzung von Gebäuden, zum zirkulären Bauen und zur Zwischenspeicherung von biogenem Kohlenstoff (vgl. auch Tab. 34).

Es bleibt zu hoffen, dass das Problembewusstsein im Umgang mit den GTHG wächst und damit in immer mehr Köpfen auch Potenziale für Lösungen geweckt werden.

⁷⁰ Siehe <https://www.nnbs.ch> [15.03.2021].

11.

Quellen, Literaturverzeichnis

- Acquaye, A., Duffy, A., Basu, B., 2011. Embodied emissions abatement—A policy assessment using stochastic analysis. *Energy Policy* 39, 429–441. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.022>
- Acquaye, A.A., Duffy, A.P., 2010. Input–output analysis of Irish construction sector greenhouse gas emissions. *Building and Environment* 45, 784–791. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.022>
- Akbarnezhad, A., Ong, K.C.G., Chandra, L.R., 2014. Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling. *Automation in Construction* 37, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.017>
- Alig, M., Frischknecht, R., Krebs, L., Ramseier, L., Stolz, P., 2020. LCA of climate friendly construction materials 187.
- Alshamrani, O.S., Galal, K., Alkass, S., 2014. Integrated LCA–LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. *Building and Environment* 80, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.021>
- Andreas Herzog, 2020. Ausgepufft. Hochparterre.
- Asdrubali, F., D’Alessandro, F., Schiavoni, S., 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies* 4, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Atmaca, A., Atmaca, N., 2015. Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO2A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. *Energy and Buildings* 102, 417–431. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.008>
- BAFU, 2021. Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland 85.
- BAFU, 2020. Projekte und Programme zur -Emissionsverminderung im Inland 99.
- BAFU, 2019. Switzerland’s Greenhouse Gas Inventory 1990–2017 632.
- BAFU, 2007a. Graue TreibhausgasEmissionen der Schweiz 1990–2004. Erweiterte und aktualisierte Bilanz.
- BAFU, 2007b. CO2-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz.
- BAFU, B. für U., 2015. Wald und Holz in der Schweiz. Bern.
- Bailey, W.G., 2005. Microclimatology, in: Oliver, J.E. (Ed.), *Encyclopedia of World Climatology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 486–500. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_137
- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., Fischer, M., 2013. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment* 60, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>
- Beuttler-et al., 2019. The Role of Atmospheric Carbon Dioxide Removal in Swiss Climate Policy – Fundamentals and Recommended Actions.
- BFS, 2018. Taschenstatistik der Schweiz 2018.

- Biedermann et al., 1992. Treibhausgasbilanz Schweiz : Quellen, Senken, Reduktionsziele.
- Birgisdóttir et al., 2016. Evaluation of embodied energy and CO₂eq for building construction (Annex 57), Sub-task 4: – Case Studies Demonstrating Embodied Energy and Embodied Greenhouse Gas Emissions in Buildings, Institute for Building environment and Energy Conservation.
- Blengini, G.A., Di Carlo, T., 2010. Energy-saving policies and low-energy residential buildings: an LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy). *Int J Life Cycle Assess* 15, 652–665. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0190-5>
- Boardman, B., 2007. Examining the carbon agenda via the 40% House scenario. *Building Research & Information* 35, 363–378. <https://doi.org/10.1080/09613210701238276>
- Brandão, M., Lefasseur, A., Kirschbaum, M.U.F., Weidema, B.P., Cowie, A.L., Jørgensen, S.V., Hauschild, M.Z., Pennington, D.W., Chomkamsri, K., 2013. Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. *Int J Life Cycle Assess* 18, 230–240. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0451-6>
- Breton, C., Blanchet, P., Amor, B., Beauregard, R., Chang, W.-S., 2018. Assessing the Climate Change Impacts of Biogenic Carbon in Buildings: A Critical Review of Two Main Dynamic Approaches. *Sustainability* 10, 2020. <https://doi.org/10.3390/su10062020>
- Camin, P., Rogiers, N., 2019. Harvested wood products (HWP) in the Swiss Greenhouse Gas Inventory Description of time series, modelling methodology and results used for accounting HWP under the Kyoto Protocol.
- Chang, Y., Ries, R.J., Wang, Y., 2011. The quantification of the embodied impacts of construction projects on energy, environment, and society based on I–O LCA. *Energy Policy* 39, 6321–6330. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.033>
- Chau, C.K., Hui, W.K., Ng, W.Y., Powell, G., 2012. Assessment of CO₂ emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. *Resources, Conservation and Recycling* 61, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.001>
- Chou, J.-S., Yeh, K.-C., 2015. Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction. *Journal of Cleaner Production* 101, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.001>
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K., Graedel, T.E., Schellnhuber, H.J., 2020. Buildings as a global carbon sink. *Nat Sustain*. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- Creutzig, F., Fernandez, B., Haberl, H., Khosla, R., Mulugetta, Y., Seto, K.C., 2016. Beyond Technology: Demand-Side Solutions for Climate Change Mitigation. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 41, 173–198. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085428>
- Crishna, N., Banfill, P.F.G., Goodsir, S., 2011. Embodied energy and CO₂ in UK dimension stone. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 1265–1273. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.014>
- Cuéllar-Franca, R.M., Azapagic, A., 2012. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. *Building and Environment* 54, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.005>
- Cui et al., 2011. APPRAISAL OF ALTERNATIVE BUILDING MATERIALS FOR REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS BY CASE MODELING. *Int. J. Environ. Res.* 8.
- Dakwale, V.A., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S., 2011. Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review. *Sustainable Cities and Society* 1, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.007>
- Dalene, F., 2012. Technology and information management for low-carbon building. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, 041402. <https://doi.org/10.1063/1.3694120>
- De Wolf, C., Pomponi, F., Moncaster, A., 2017. Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice. *Energy and Buildings* 140, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.075>
- Dhakal, S., 2010. GHG emissions from urbanization and opportunities for urban carbon mitigation. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.007>
- DIN/EN, 2019. EN 15804:2012+A2:2019. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

- Dubois, M., Allacker, K., 2015. Energy savings from housing: Ineffective renovation subsidies vs efficient demolition and reconstruction incentives. *Energy Policy* 86, 697–704. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.029>
- Eberhardt, L.C.M., Birgisdottir, H., Birkved, M., 2019. Potential of Circular Economy in Sustainable Buildings. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 471, 092051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/9/092051>
- Energie Schweiz, SVKI, 2020. BFE_SVKA_energiestadt_2020.pdf.
- EnergieSchweiz, BFE, 2020. Kurzfassung - Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz.
- Eva Stricker et al., 2021. Bauteile wiederverwenden. Ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Park Books, Zürich.
- Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft, 2014. Bilanzierungskonzept 2000-Watt-Gesellschaft (Konzeptpapier). Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft.
- Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft, BFE, 2020. Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz.
- Foraboschi, P., Mercanzin, M., Trabucco, D., 2014. Sustainable structural design of tall buildings based on embodied energy. *Energy and Buildings* 68, 254–269. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.003>
- Francart, N., Larsson, M., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Florell, J., 2019. Requirements set by Swedish municipalities to promote construction with low climate change impact. *Journal of Cleaner Production* 208, 117–131. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.053>
- Frischknecht, R., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Aumann, A., Birgisdottir, H., Ruse, E.G., Hollberg, A., Kuittinen, M., Lavagna, M., Lupišek, A., Passer, A., Peuportier, B., Ramseier, L., Röck, M., Trigaux, D., Vancso, D., 2019. Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions—71st LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019. *Int J Life Cycle Assess* 24, 2272–2280. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01690-y>
- Frischknecht, W., 2018. Technische Grundlagen zur Prüfung eines Wechsels auf die europäischen EPD Normen für die ökologische Bewertung von Baustoffen und Gebäuden.
- García-Segura, T., Yepes, V., Alcalá, J., 2014. Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. *Int J Life Cycle Assess* 19, 3–12. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0614-0>
- Gaspar, P.L., Santos, A.L., 2015. Embodied energy on refurbishment vs. demolition: A southern Europe case study. *Energy and Buildings* 87, 386–394. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.040>
- Gauch et al., 2016. Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz.
- Gauch, M., Matasci, C., Hincapie, I., Hörler, R., Böni, H., 2016. MatCH - Bau: Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz.
- GEO Partner AG, 2019. Verifizierungsbericht: Anrechnung der Senkenleistung von Schweizer Holz als CO₂-Kompensationsmassnahme.
- Gibbs, D., O'Neill, K., 2015. Building a green economy? Sustainability transitions in the UK building sector. *Geoforum* 59, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.12.004>
- Giesekam, J., Barrett, J., Taylor, P., Owen, A., 2014. The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in UK construction. *Energy and Buildings* 78, 202–214. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.035>
- Giesekam, J., Barrett, J.R., Taylor, P., 2016. Construction sector views on low carbon building materials. *Building Research & Information* 44, 423–444. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1086872>
- Göswein, V., Silvestre, J.D., Sousa Monteiro, C., Habert, G., Freire, F., Pittau, F., 2021. Influence of material choice, renovation rate, and electricity grid to achieve a Paris Agreement-compatible building stock: A Portuguese case study. *Building and Environment* 195, 107773. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107773>
- Gustavsson, L., Joelsson, A., Sathre, R., 2010. Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. *Energy and Buildings* 42, 230–242. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.018>

- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre, R., 2006a. Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 11, 667–691. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-7207-1>
- Gustavsson, L., Sathre, R., 2006b. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41, 940–951. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.008>
- Habert, G., Scrivener, K., 2017. *Habert-etal2017_AB_SP_Decarbonisation_report.pdf*.
- Hafner et al., 2017. Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden - Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren.
- Hagemann, N., Hilber, I., Bucheli, T., 2018. Pflanzenkohle für fruchtbare Böden 8.
- Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., Jung, N., 2015. Reducing embodied carbon during the design process of buildings. *Journal of Building Engineering* 4, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.06.005>
- Head, M., Levasseur, A., Beauregard, R., Margni, M., 2020. Dynamic greenhouse gas life cycle inventory and impact profiles of wood used in Canadian buildings. *Building and Environment* 173, 106751. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106751>
- Heinonen, J., Säynäjoki, A., Junnila, S., 2011. A Longitudinal Study on the Carbon Emissions of a New Residential Development. *Sustainability* 3, 1170–1189. <https://doi.org/10.3390/su3081170>
- Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E.A., Fuss, S., Mac Dowell, N., Minx, J.C., Smith, P., Williams, C.K., 2019. The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. *Nature* 575, 87–97. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6>
- Heräjärvi, H., 2019. Wooden buildings as carbon storages – Mitigation or oration? *Wood Material Science & Engineering* 14, 291–297. <https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1635205>
- Hermann, M., 2013. BESCHREIBUNG FÜR PROJEKTE ZUR EMISSIONSVERMINDERUNG. Anrechnung der Senkenleistung von Schweizer Holz als CO₂-Kompensationsmassnahme.
- Hönger, Christian et al., 2013. Das Klima als Entwurfaktor, Architektur und Energie.
- Huberman, N., Pearlmutter, D., 2008. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. *Energy and Buildings* 40, 837–848. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.06.002>
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., Acquaye, A., 2013. Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings* 66, 232–245. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>
- Intini, F., Kühtz, S., 2011. Recycling in buildings: an LCA case study of a thermal insulation panel made of polyester fiber, recycled from post-consumer PET bottles. *Int J Life Cycle Assess* 16, 306–315. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0267-9>
- IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C.
- IPCC, 2014a. Annex II. Glossary. In: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC, 2014b. *Climate change 2013 physical science basis working group i contribution fifth assessment report intergovernmental panel climate [WWW Document]*. Cambridge University Press. URL <https://www.cambridge.org/ch/academic/subjects/earth-and-environmental-science/climatology-and-climate-change/climate-change-2013-physical-science-basis-working-group-i-contribution-fifth-assessment-report-intergovernmental-panel-climate-change>, <https://www.cambridge.org/ch/academic/subjects/earth-and-environmental-science/climatology-and-climate-change> (accessed 12.16.19).
- IPCC, 2014c. 2013 revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 12 Harvested Wood Products.
- IPCC-DDC, 2019. IPCC DDC Glossary [WWW Document]. URL https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html (accessed 12.17.19).
- ISO, 2018. ISO 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification.
- Jiang, P., Keith Tovey, N., 2009. Opportunities for low carbon sustainability in large commercial buildings in China. *Energy Policy* 37, 4949–4958. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.059>
- Junnila, S., 2004. The environmental impact of an office building throughout its life cycle. Helsinki University of Technology, Espoo.

- Kaiser et al., 2019. Marktübersicht. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.
- KBOB, eco-bau, IPB, 2018. KBOB-Ökobilanzdatenbestand 2016 und UVEK-Ökobilanzdatenbestand 2018.
- KBOB/IPB/eco-bau, 2016. Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich.
- KBOB/IPB/eco-bau, 2015. Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz 17.
- Kellenberger, D., Althaus, H.-J., 2009. Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment* 44, 818–825. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.002>
- Kennedy, S., Sgouridis, S., 2011. Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities. *Energy Policy* 39, 5259–5268. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.038>
- Kommission SIA 2040, 2017. SIA Merkblatt 2040 SIA-Effizienzpfad Energie.
- Kools, Ramses, 2018. CO2 sequestration and utilization in cementbased materials. An analysis on economic feasibility and environmental impact.
- Kuittinen, Matti, Le Roux, Simon, 2018. Procurement criteria for low-carbon building.
- Lee, B., Trcka, M., Hensen, J.L.M., 2011. Embodied energy of building materials and green building rating systems—A case study for industrial halls. *Sustainable Cities and Society* 1, 67–71. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.02.002>
- Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Samson, R., 2013. Biogenic Carbon and Temporary Storage Addressed with Dynamic Life Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology* 17, 117–128. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00503.x>
- Li, J., Colombier, M., 2009. Managing carbon emissions in China through building energy efficiency. *Journal of Environmental Management* 90, 2436–2447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.015>
- López-Mesa, B., Pitarch, Á., Tomás, A., Gallego, T., 2009. Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors. *Building and Environment* 44, 699–712. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.017>
- Lotteau, M., Loubet, P., Sonnemann, G., 2017. An analysis to understand how the shape of a concrete residential building influences its embodied energy and embodied carbon. *Energy and Buildings* 154, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.048>
- Ludwig et al., 2017. Bauen mit Holz – Förderoptionen im Interesse des Klima- und Ressourcenschutzes.
- Lützkendorf, T., Foliente, G., Balouktsi, M., Wiberg, A.H., 2015. Net-zero buildings: incorporating embodied impacts. *Building Research & Information* 43, 62–81. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.935575>
- Malmqvist, T., Nehasilova, M., Moncaster, A., Birgisdottir, H., Nygaard Rasmussen, F., Houlihan Wiberg, A., Potting, J., 2018. Design and construction strategies for reducing embodied impacts from buildings – Case study analysis. *Energy and Buildings* 166, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.033>
- Martin Jakob et al., 2016. Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie. (Schlussbericht). BFE.
- Matthias Sulzer, Kristina Orehounig, 2020. Konzepte für die nächste Generation von technischen Regulierungen im Bereich Gebäude und Energie.pdf.
- Melià, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., Dotelli, G., 2014. Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. *Journal of Cleaner Production* 80, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.073>
- Miller, D., Doh, J.-H., 2015. Incorporating sustainable development principles into building design: a review from a structural perspective including case study: SUSTAINABLE DEVELOPMENT PRINCIPLES INTO BUILDING DESIGN. *Struct. Design Tall Spec. Build.* 24, 421–439. <https://doi.org/10.1002/tal.1172>
- Minas, C., Carpenter, J., Freitag, J., Landrou, G., Tervoort, E., Habert, G., Studart, A.R., 2019. Foaming of Recyclable Clays into Energy-Efficient Low-Cost Thermal Insulators. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 7, 15597–15606. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b03617>
- Minergie Schweiz, 2021. 210331_berechnung_graue_energie_2021_v1-3.pdf.
- Monahan, J., Powell, J.C., 2011. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings* 43, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.005>
- Moncaster, A.M., Birgisdottir, H., Malmqvist, T., Nygaard Rasmussen, F., Houlihan Wiberg, A., Soutti, E., 2018. Embodied Carbon Measurement, Mitigation and Management Within Europe, Drawing on a Cross-Case Analysis of 60 Building Case Studies, in: Pomponi, F., De Wolf, C., Moncaster, A. (Eds.), *Embodied*

- Carbon in Buildings: Measurement, Management, and Mitigation. Springer International Publishing, Cham, pp. 443–462. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72796-7_20
- Moynihan, M.C., Allwood, J.M., 2014. Utilization of structural steel in buildings. *Proc. R. Soc. A* 470, 20140170. <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0170>
- Müller, C., Severins, K., 2011. „Ökologisch und technisch optimierte Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen“. *Die Aktuelle-Wochenschau* 4.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Zhang, H., Aamaas, B., Boucher, O., Dalsøren, S.B., Daniel, J.S., Forster, P., Granier, C., Haigh, J., Hodnebrog, Ø., Kaplan, J.O., Marston, G., Nielsen, C.J., O’Neill, B.C., Peters, G.P., Pongratz, J., Ramaswamy, V., Roth, R., Rotstayn, L., Smith, S.J., Stevenson, D., Vernier, J.-P., Wild, O., Young, P., Jacob, D., Ravishankara, A.R., Shine, K., 2014. 8 Anthropogenic and Natural Radiative Forcing 82.
- Napolano, L., Menna, C., Asprone, D., Prota, A., Manfredi, G., 2015. LCA-based study on structural retrofit options for masonry buildings. *Int J Life Cycle Assess* 20, 23–35. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0807-1>
- NNBS, 2021. Kriterienbeschrieb SNBS Hochbau 2.1.
- Obersteiner, M., Bednar, J., Wagner, F., Gasser, T., Ciais, P., Forsell, N., Frank, S., Havlik, P., Valin, H., Janssens, I.A., Peñuelas, J., Schmidt-Traub, G., 2018a. How to spend a dwindling greenhouse gas budget. *Nature Clim Change* 8, 7–10. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0045-1>
- Obersteiner, M., Bednar, J., Wagner, F., Gasser, T., Ciais, P., Forsell, N., Frank, S., Havlik, P., Valin, H., Janssens, I.A., Peñuelas, J., Schmidt-Traub, G., 2018b. How to spend a dwindling greenhouse gas budget. *Nature Clim Change* 8, 7–10. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0045-1>
- Obersteiner, M., Bednar, J., Wagner, F., Gasser, T., Ciais, P., Forsell, N., Frank, S., Havlik, P., Valin, H., Janssens, I.A., Peñuelas, J., Schmidt-Traub, G., 2018c. How to spend a dwindling greenhouse gas budget. *Nature Clim Change* 8, 7–10. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0045-1>
- OcCC, 2019. Klimaziele und Emissionsreduktion: eine Analyse und politische Vision für die Schweiz. OcCC, Bern.
- Orr, J., Drewniok, M.P., Walker, I., Ibell, T., Copping, A., Emmitt, S., 2019. Minimising energy in construction: Practitioners’ views on material efficiency. *Resources, Conservation and Recycling* 140, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.015>
- Pittau, F., Habert, G., Iannaccone, G., 2019a. The renovation of the building stock in Europe: an essential opportunity to store carbon in buildings. *TEMA* 5, 11.
- Pittau, F., Krause, F., Lumia, G., Habert, G., 2018. Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. *Building and Environment* 129, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.006>
- Pittau, F., Lumia, G., Heeren, N., Iannaccone, G., Habert, G., 2019b. Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal of Cleaner Production* 214, 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.304>
- Pomponi, F., Moncaster, A., 2016. Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment – What does the evidence say? *Journal of Environmental Management* 181, 687–700. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.036>
- Pomponi, F., Moncaster, A., De Wolf, C., 2018. Furthering embodied carbon assessment in practice: Results of an industry-academia collaborative research project. *Energy and Buildings* 167, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.052>
- Power, A., 2008. Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? *Energy Policy* 36, 4487–4501. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.022>
- Quale, J., Eckelman, M.J., Williams, K.W., Sloditskie, G., Zimmerman, J.B., 2012. Construction Matters: Comparing Environmental Impacts of Building Modular and Conventional Homes in the United States. *Journal of Industrial Ecology* 16, 243–253. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00424.x>
- Rasmussen, F.N., Birkved, M., Birgisdóttir, H., 2020. Low- carbon design strategies for new residential buildings – lessons from architectural practice. *Architectural Engineering and Design Management* 1–17. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1747385>

- Renger, B.C., Birkeland, J.L., Midmore, D.J., 2015. Net-positive building carbon sequestration. *Building Research & Information* 43, 11–24. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.961001>
- Reto Schleiniger, 2021. Klimaziele der Schweiz: Reicht das CO₂-Budget? Die Volkswirtschaft.
- Röck, M., Saade, M.R.M., Balouktsi, M., Rasmussen, F.N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., Passer, A., 2020. Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy* 258, 114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Rovers, R., 2014. Zero-Energy and Beyond: A Paradigm Shift in Assessment. *Buildings* 5, 1–13. <https://doi.org/10.3390/buildings5010001>
- Ruzicka, J., Havlik, F., Richter, J., Stanek, K., 2015. Advanced prefabricated rammed earth structures—mechanical, building physical and environmental properties, in: Ciancio, D., Beckett, C. (Eds.), *Rammed Earth Construction*. CRC Press, pp. 139–143. <https://doi.org/10.1201/b18046-29>
- Salazar, J., Meil, J., 2009. Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence. *Journal of Cleaner Production* 17, 1563–1571. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.06.006>
- Salza, 2020. Wiederverwendung Bauen. BAFU.
- Sandanayake, M., Zhang, G., Setunge, S., 2016. Environmental emissions at foundation construction stage of buildings – Two case studies. *Building and Environment* 95, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.002>
- Satola, D., M, B., T, L., A, H.W., A, G., 2021. How to define (net) zero greenhouse gas emissions buildings: The results of an international survey as part of IEA EBC annex 72. *Building and Environment* 17.
- Schweizer Bundesversammlung, 2011. CO₂-Gesetz.
- SCNAT, 2018. SCNAT2018_FactsheetGeoengineering_D_web.pdf.
- Sheppard et al. - 2020 - Reprocessing Postconsumer Polyurethane Foam Using .pdf, n.d.
- SIA, 2020. Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden.
- SIA 2032. Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden., 2020.
- SIA Zürich, 2020. SIA 2032. Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden.
- SIA Zürich, 2018. SIA Dokumentation D 0258 SIA. Effizienzpfad Energie - Ergänzungen und Fallbeispiele zum Merkblatt SIA 2040:2017.
- Sodagar, B., Rai, D., Jones, B., Wihan, J., Fieldson, R., 2011. The carbon-reduction potential of straw-bale housing. *Building Research & Information* 39, 51–65. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.528187>
- Suárez, A., 2017. Wie grau ist die Gebäudetechnik? *Haustech* 6, 5.
- Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019. Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich.
- Tellnes, L., Ganne-Chedeville, C., Dias, A., Dolezal, F., Hill, C., Zea Escamilla, E., 2017. Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: a review study for construction materials based on forest products. *iForest* 10, 815–823. <https://doi.org/10.3832/ifor2386-010>
- Tingley, D.D., Davison, B., 2011. Design for deconstruction and material reuse. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy* 164, 195–204. <https://doi.org/10.1680/ener.2011.164.4.195>
- Tyrer, M., Cheeseman, C.R., Greaves, R., Claisse, P.A., Ganjian, E., Kay, M., Churchman-Davies, J., 2010. Potential for carbon dioxide reduction from cement industry through increased use of industrial pozzolans. *Advances in Applied Ceramics* 109, 275–279. <https://doi.org/10.1179/174367509X12595778633282>
- Tywniak et al., 2014. New Generation of Curtain Walls.
- UNEP, 2019. The emissions gap report 2019.
- UNFCCC, CDM, 2019. Glossary. CDM terms.
- Unfccc, U.F.C. on C.C., 2009. Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount (Working Papers). eSocialSciences.
- UNFCCC/CMP, 2012. Implications of the implementation of decisions 2/CMP.7 to 5/CMP.7 on the previous decisions on methodological issues related to the Kyoto Protocol, including those relating to Articles 5, 7 and 8 of the Kyoto Protocol.
- Upton, B., Miner, R., Spinney, M., Heath, L.S., 2008. The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. *Biomass and Bioenergy* 32, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.07.001>

- Werner, F., 2017. Indikatorwerte von Hanf-Kalk-Ziegel aus Hanf und Kalk des Schönthaler Betonsteinwerks für die KBOB-Liste bzw. als Projektbericht gemäss EN 15804 28.
- Wyss, F., Frischknecht, R., Pfäffli, K., John, V., 2014. Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude. BFE, BAFU, AHB.
- Zea, 2018. Vorstudie: Immobilienwirtschaftliche Lösungsansätze zur Ausschöpfung des Holzbaupotenzials 35.
- Zea, E., Universität Zürich, 2019. Immobilienwirtschaftliche Lösungsansätze zur Ausschöpfung des Potenzials des Holzbaus – Entwicklung von DCF- und 28.
- Zirkular GmbH, 2021. Zirkular2021_wiederverwendung_lagerplatz.pdf.

12. Anhang

Im reichhaltigen Anhang sind umfangreiche Kapitelinhalte ausgelagert sowie ergänzende Details zu den Kapiteln zu finden.

12.1 Nebeneffekte Systemgrenzen

Hier folgen Nebeneffekte, welche einen indirekten Einfluss auf die Klimaerwärmung haben und wir nicht in die Betrachtung einbeziehen.

12.1.1.1 Albedo

Die Albedo (von lat. albedo = weisse Farbe) ist ein physikalischer Effekt, welcher das Rückstrahlungsvermögen beschreibt. Je höher die Rückstrahlung (z. B. bei Schnee oder Wolken), desto geringer die Erwärmung der Oberfläche und umgekehrt. Dunkle Körper erwärmen sich an der Sonne, während Helle einen grossen Teil der auftreffenden Strahlung zurückwerfen bzw. abstrahlen und sich daher weniger stark erwärmen. In diesem Bericht ist nur von der sogenannten Oberflächen-Albedo die Rede (*Surface Albedo*), während die Albedo der Wolken und der Atmosphäre (Aerosole) usw. nicht berücksichtigt wird. Würde man grossflächig die Albedo von ganzen Landstrichen verändern, hätte dies einen Einfluss auf das Klima bzw. die Lufttemperatur am Boden. Das IPCC nennt denn auch die Albedo als Faktor beim Strahlungsantrieb (vgl. Glossar). Siedlungsflächen haben in der Regel eine um 0.01 bis 0.02 kleinere Albedo (dunkler) als angrenzende Agrarflächen. Mit hellen Dach- oder Strassenflächen könnte die Albedo stark erhöht werden, was sich insbesondere mässigend auf den Hitzeinseleffekt sowie sehr begrenzt auf den Kühl- oder Heizbedarf von Gebäuden auswirken würde. Global gesehen wären solche Effekte aber vernachlässigbar. Weil Veränderungen der Oberflächen oft auch mit Veränderungen beim Wasserhaushalt (Abholzung, Bodenversiegelung usw.), welche nicht mit dem Strahlungsantrieb erfasst werden können, einhergehen, kann der Effekt auf das Weltklima nur ungenau geschätzt werden (IPCC, 2014b).

Aufgrund dieser Tatsache wird der Albedo-Effekt im vorliegenden Bericht ausgeklammert.

12.1.1.2 Mikroklima, Hitzeinseleffekt

Im Kontext von Gebäuden und grösseren Siedlungsflächen ist oftmals vom Mikroklima die Rede. Ein Mikroklima beschreibt ein lokales Klima zwischen der Erdoberfläche und einem bestimmten Punkt darüber, welcher nicht mehr von der Oberfläche beeinflusst wird (Bailey, 2005). Ein Mikroklima steht unter dem Einfluss des umgebenden lokalen Klimas. Es kann auf natürliche Weise, z. B. entlang eines Flusses oder über einem Berghang, entstehen und muss nicht zwingend mit dem menschengemachten Klimawandel oder auch THG im Zusammenhang stehen.

Der Hitzeinseleffekt beschreibt den Spezialfall eines Mikroklimas in und über einem überbauten Gebiet. Besonders in Städten wird die Temperatur durch Aspekte wie Bodenversiegelung, wärmespeichernden Materialien, Albedo, Durchlüftung usw. beeinflusst. Gesamthaft führen diese Eigenschaften verglichen mit dem Umland zu deutlich höheren Temperaturen sowie zu betrieblichen Auswirkungen auf den Heiz- und Kühlbedarf bei Gebäuden. Global gesehen hat dies jedoch einen geringen Effekt betreffend die THG-Problematik, daher lassen wir ihn ausserhalb des Betrachtungsperimeters.

12.2 Experteninterviews

Damit wir uns einen Überblick über die Thematik verschaffen konnten, wurden einleitend zur Arbeit mit folgenden Personen Leitfadeninterviews durchgeführt:

- Rolf Frischknecht, Ökobilanzierung, treeze GmbH

- Cornelia Stettler, Ökobilanzierung, Carbotech AG
- Dietrich Schwarz, Architekt ETH/SIA, Professor für Nachhaltiges Bauen Universität Liechtenstein
- Peter Richner, Stellvertretender Direktor und Leiter Forschungsschwerpunkt Energie an der Empa
- Guillaume Habert, ETH-Professor und Leiter des Instituts für Bau- & Infrastrukturmanagement, Chair of Sustainable Construction

Die Interviews wurden transkribiert und nach Begriffen ausgewertet. Wir geben die verschiedenen (teilweise widersprüchlichen) Aussagen thematisch gegliedert, zur besseren Lesbarkeit leicht bearbeitet und zusammengefasst wieder. Die Aussagen wurden anonymisiert, die Zuordnung der Aussagen ist den AutorInnen bekannt.

12.2.1 Stand der Dinge, Erreichtes

In den letzten 20 Jahren haben wir die Betriebsenergie um den Faktor 10 reduzieren können, doch wir bauen noch immer mit derselben Menge GE (pro EBF).

Minergie war das Paradebeispiel, die waren immer 4, 5 Jahre vor den MuKEn und haben damit auch den Betriebsenergieverbrauch reduziert. Das war eine super Leistung! (E3) Heute ist die Energieeffizienz von Gebäuden weit fortgeschritten (E2). Wir sind jetzt daran, die verschiedenen Null-Emissions-Ansätze zu charakterisieren. Diese gehen vom Bilanzierungstrick „Emissionsgutschriften dank Recycling und durch am Gebäude erzeugte, exportierte Energie“ bis hin zu wirklich null Emissionen, inklusive der Supply Chain (Lieferkette) und ohne Anrechnen von Emissionszertifikaten (E5)! Die Schweiz ist in der glücklichen Lage, dass sie schon seit Jahrzehnten selbst Ökobilanzierungen rechnet (KBOB-Liste). Man hat seit mehr als 10 Jahren Erfahrung mit den Umweltkennwerten für Gebäude. Es gibt klare und für alle Baustoffe einheitliche methodische Vorgaben für die Bilanzierung. Dazu gehören: keine Gutschriften für in Zukunft eventuell recycelte oder energetisch verwertete Baumaterialien (KBOB-Bilanzierungsregeln, SIA 2032:2020) und keine Gutschriften für exportierte Energie (SIA 2040:2017). Die Daten werden in grösseren oder kleineren Abständen aktualisiert, nicht immer so schnell, wie man es sich gerne wünscht, aber es ist eigentlich alles da (E5). Die Ziel- und Richtwerte der SIA 2040 sind die einzigen Benchmarks, die mir bekannt sind in der Schweiz, die in die Richtung Netto-null zielen. Deren Bauvolumen ist aber noch relativ klein (E5).

Als weiteren Indikator gibt es die UBP. Neben Primärenergie und THG-Emissionen wird auch die gesamte Umweltbelastung angeschaut und damit sicherstellt, dass man sich mit dem Wechsel auf ein Produkt mit vielleicht günstigeren THG-Emissionen nicht mehr Umweltbelastungen an anderen Orten einhandelt, siehe auch Treibstoff-Ökobilanzverordnung für Treibstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe (E5).

Bezogen auf das Bauen ist 2050 heute! Aber wir haben keine pfannenfertigen Lösungen, die von der Industrie akzeptiert sind (E3). Wir sind schon länger an diesem Thema dran, doch lange hat es keinen interessiert, wir waren ziemlich einsame Rufer in der Wüste (E3). Heute sprechen wir über klimaneutrale Gebäude, vor 5 Jahre bestand dieses Thema noch nicht. Die Betonindustrie hat jetzt einen klimaneutralen Zement entwickelt. Die verschiedenen Industrien haben verstanden, dass sie die ökologischen Themen nicht mehr ignorieren können (E2) und die Techniken rund um die Bauwirtschaft werden grad enorm dynamisiert (E4).

Wir haben für die European Climate Foundation einen Bericht⁷¹ verfasst, in dem wir zeigen, dass wir mit den gleichen Standards und Konstruktionsstrategien von heute schon 50% graue Emission sparen können (E2).

⁷¹ Vgl. Habert/Scrivener (2017).

Für un- oder schwierig vermeidbare CO₂-Emissionen braucht es negative Emissionstechnologien (Filtern von CO₂ aus der Atmosphäre), Stichwort Climeworks⁷², CCS⁷³ im Zusammenhang mit Biomasse-Kraft- und Heizwerken. CCS sollte zur Emissionsreduktion eingesetzt werden, beispielsweise in Zementwerken. (E5)

12.2.1.1 Relevanz von klimaneutralem Bauen

Wir fragten nach dem Stellenwert der Klimaneutralität heute beim Bauen:

Das klimaneutrale Bauen nimmt in der Realität einen kleinen Stellenwert ein. Ich glaube, es wird nicht gross diskutiert, man spricht sicher von Betriebsenergie, aber CO₂ ist nicht wirklich präsent in der Baupraxis (E3). Wenn wir sagen 2050 klimaneutral, dann müssen wir 2050 auf Netto-null sein, kein graues CO₂ mehr. Das würde heissen, alles was heute gebaut wird, muss schon so gebaut werden, dass es CO₂-neutral betrieben und in 30 Jahren rückgebaut und in einen geschlossenen Kreislauf eingespeist werden kann (E3). Es stellt sich die Frage, wie man diese Entwicklung schneller vorantreibt, denn das Klimaproblem ist wirklich ein Notfall und die Baubranche ist träge (E2). Für alles, was heute produziert wird, fallen die Emissionen heute an und belasten die nächsten (50/100?) Jahre. Was man heute also vermeiden kann, ist ein Muss (E1)! Bei Verdichtungen stellt sich die Frage, ob Erneuerung oder Ersatzneubau besser ist. Die historische Bausubstanz ist ein Gut für sich, die sich in der Ökobilanzierung nicht darstellen lässt. Doch es braucht eine saubere ökologische Betrachtung, in der die GE und die GTHG berücksichtigt werden. Wie viel GE/GTHG wird bei einem Ersatzneubau vernichtet? Kann das Material wiederverwendet werden oder nicht? Das alles spielt eine Rolle. Bei einem geschlossenen Kreislauf wäre die Ausgangslage eine andere (E3).

12.2.1.2 Erkenntnisse, Sachverhalte

Grundsätzlich verursacht heute jede Handlung, jede Investition CO₂-Emissionen (E3). Wichtig ist, dass wir aktiv werden! Wir müssen auch unterscheiden, denn das Energieproblem ist nicht das Klimaproblem. Verursacher des Klimaproblems ist CO₂ resp. sind die THG. Wenn ich nur erneuerbare Energien nutze, ist es nicht so dramatisch, es entsteht kein Klimaproblem (E2). Doch auch die erneuerbare Energie ist limitiert, die Stadt Zürich beispielsweise kennt einen „Dichtestress“ bezüglich Erdsondenplatzierung (E5).

Materialien gilt es differenziert zu betrachten: die nicht erneuerbare Energie in Bitumen ist zwar hoch, aber für das Klima unproblematisch, da das Erdöl im Bitumen eingebunden ist und keine Emissionen verursacht, solange nichts verbrannt wird (E2). Photovoltaik hat heute noch einen beachtlichen CO₂-Footprint, welcher im Wesentlichen durch den CO₂-Gehalt des chinesischen Energiesystems bestimmt wird. Sinkt dieser, wird auch der CO₂-Footprint von PV sinken (E3). Dann gibt es (direkte) THG-Emissionen, die nicht über die Energie erfasst werden können (beispielsweise, wenn CO₂ bei einem chemischen Umwandlungsprozess freigesetzt wird). Dringend reduzieren müssen wir die fossilen grauen Emissionen (E2).

12.2.1.3 Erstellung vs. Betrieb

Eine Frage thematisierte den Einfluss der Erstellung gegenüber dem Betrieb eines Gebäudes. Hierzu waren sich die ExpertInnen einig: die Betriebsenergie (vorwiegend bei Neubauten) wurde in den letzten Jahren durch technische Lösungen stark reduziert und damit auch die damit verbundenen THG-Emissionen. Dass die Erstellung hintennachhinkt, hat einen Grund: Für die Optimierung des Betriebs kann die Aufgabe an (wenige) ExpertInnen (Gebäudetechniker, Bauphysiker für die Gebäudehülle) delegiert werden. Doch die Zulieferungskette von Baumaterialien ist komplex, da sie von vielen einzelnen AkteurInnen abhängt, was die Optimierung der

⁷² Siehe www.climeworks.com [6.10.2020].

⁷³ Siehe Glossar.

GE resp. der GTHG enorm erschwert (E2). Bei Neubauten sollte jetzt auf die GE sowie die GTHG fokussiert werden. Als riesiges Problem wurde das Betreiben des Gebäudebestandes identifiziert. Wir haben noch sehr viele Gebäude, die einen Verbrauch von 100 kWh/m²a und mehr aufweisen (E3).

12.2.1.4 Entwicklungstrends und Innovationen

Wir fragten nach den aktuellen Entwicklungen und Innovationen im Baubereich:

Wir sprechen heute über klimaneutrale Gebäude, vor 5 Jahren war dies noch kein Thema (E2) und das Volk hat sich in den letzten 7 Jahren bei allen wichtigen Volksabstimmungen für die Nachhaltigkeit entschieden (E4). Vielleicht ist dies optimistisch, aber ich sehe einen Wechsel bei den ProfessorInnen in den Architekturdepartementen an den Hochschulen. Der grosse Teil der HolzbauerInnen in der Schweiz ist gut aufgestellt und auch die anderen Industrien bemühen sich (E3). Es gibt Verbände, die Publikationen machen und Roadmaps zur Rolle ihres Baustoffs zum Pariser Klimaziel (E5). Firmen können ihre individuelle Ökobilanz bei der KBOB einreichen, beispielsweise weil sie besser ist als das berechnete Durchschnittsprodukt (E3). Es gibt Pilotanlagen in den Bereichen Zement und Stahl, wo neue Konzepte entwickelt werden (E5). Das hat schon vor 20 Jahren begonnen, Recyclingbeton ist heute ein Standardprodukt. Eine schöne Leistung, die da erbracht wurde (E3)! Die Asphaltindustrie hat heute das Problem, dass mehr Asphalt aus dem Rückbau kommt, als sie verbauen kann (E3). Es gab Versuche mit alternativen Energieträgern und Gebäudetechniksystemen (E5), wie Gebäude ohne Heizung (E1). Es werden Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie bspw. Hanf oder Stroh angeboten (E2). In nordischen Ländern und Teilen von Deutschland wird die Speicherung von CO₂ bewusst gefördert, verschiedene Länder berechnen auch die Kosten der Umweltwirkungen (E1).

Es läuft schon einiges, aber so richtig losgehen wird es, wenn man muss (E5). Doch für eine Regulierung fehlt es noch an Grundlagen (E1). An der ETHZ wird noch an der Definition von Klimaneutralität⁷⁴ und einer einheitlichen Berechnung von CO₂ gefeilt (E2).

12.2.1.5 Wissenslücken

Die Wissenslücken können nicht direkt erfragt werden. Die Auflistung basiert auf „Ich-weiss-nicht“-Aussagen.

- Welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, dass biogene Kohlenstoffspeicherung in Bauten als Senke angerechnet werden kann, gilt es noch zu klären: „Ich habe mit Leuten des BAFU darüber gesprochen. Es ist eher eine politische als eine wissenschaftliche Frage: Können 100 Jahre Speicherung als Senkenwirkung angerechnet werden oder eher 500 Jahre (E5)?“
- Die Ausrichtung der Forschung selbst scheint Unsicherheiten mit sich zu bringen: „Wenn wir in einer sehr frühen Phase in der Forschung versuchen, neue Wege zu beschreiten, fehlt uns ein Instrument, um Varianten gegeneinander abwägen zu können. Wir möchten ja nicht in eine neue Technologie investieren und nach 10 Jahren merken, dass das überhaupt nicht aufgeht. Solange wir noch im Labor sind, habe ich kein Fabrikat, keine Produktion, gar nichts. Ich habe meist nicht mal eine Ahnung, wie das Produkt später aussehen könnte ...“ (E3)
- Die Genauigkeit der Materialbilanzierungen weist Unsicherheiten auf: „Zement in der Schweiz hat einen ganz anderen CO₂-Footprint wie in Italien oder Griechenland. Die Zementwerke untereinander in der Schweiz sind sich wahrscheinlich relativ ähnlich, aber sicher nicht gleich. Für eine genaue Berechnung müsste ich ja dann wissen, wo der Zement herkommt.“ (E3)

⁷⁴ Klimaneutralität kann mittels Negativemissionen durch CO₂-Speicher in Gebäuden erzeugt werden (E1).

- Es fehlt an verlässlichen Konsumenteninformationen: „Es gibt riesige Unterschiede, doch der Konsument hat heute keine guten Möglichkeiten, die Guten zu wählen, wenn er klimaneutral bauen möchte. Er könnte selektiv Produkte wählen, wenn er genau wüsste, welche Firma wie produziert. Doch diese Markttransparenz fehlt.“ (E3)
- Die Abwägung von Umweltschäden gegeneinander ist keine genaue Wissenschaft und bietet Spielraum, da auch ethische Aspekte hineinspielen: „Schwierig zu kommunizieren ist, wie die ‚Wechselkurse‘ ausgebildet sein sollen, also wie rechne ich Stickoxide gegen CO₂, gegen Feinpartikel, gegen Landverbrauch und Pestizide?“ (E3)
- Unklar ist, ob eine Einschränkung auf klimaneutrale Materialien aus politischen Gründen möglich wäre. Und was wir mit all den erdölbasierten Baumaterialien (EPS und Co.) in 20 Jahren tun, wenn sie zum Rückbau anfallen (E2).

12.2.2 Rollen der Akteure/Akteurinnen

Um eine Aussensicht für die Rollen der verschiedenen Akteure/Akteurinnen und ExponentInnen zu bekommen, stellten wir auch hierzu Fragen. Welche ExponentInnen spielen welche Rollen? Gibt es Gewinner oder Verlierer? Gibt es Förderer oder Verhinderer? Welche Rolle spielen die Forschung, die Lehre, die Wirtschaft, die Politik. Die Rollen der Akteure/Akteurinnen werden hier nicht alle wiedergegeben, auszugsweise sind Aussagen dazu in den vorangehenden Texten zu finden.

12.2.2.1 Normen, Regulierung, Behörden

Welche Rolle spielen die Normen, welche die Behörden?

Die Interviewten waren sich einig: Die Behörden müssen rasch, innert weniger Jahre (weitere) regulatorische Schritte unternehmen, ansonsten kann der mit den Pariser Klimazielen kompatible Absenkpfad nicht erreicht werden. Es braucht eine kantonale Regulierung, weil ja die Bauhoheit bei den Kantonen liegt, welche die THG-Emissionsgrenzwerte für Bau und Betrieb von Gebäuden mit dem Absenkpfad, der das angestrebte Netto-null-Ziel unterstützt, festlegt (E5). Es wird stark bezweifelt, dass auf Basis der Freiwilligkeit die breite Umsetzung gelingt. Mit der Regulierung kann gebaut werden wie bisher. Nebst der Bauhöhe und dem Grenzabstand müssen einfach zusätzlich die THG-Emissionsgrenzwerte pro Quadratmeter eingehalten werden (E5).

Die CO₂-Emissionen in der Gebäudeerstellung mittels Grenzwerten zu regulieren (E1/E2/E5), wird als eleganter Weg gesehen, weil damit alle Baustoffzulieferer eingeschlossen sind und nicht einzelne Industrien reguliert werden müssen (E5). Analog zur Biotreibstoff-Verordnung bräuchte es eine Ökobilanz-Verordnung, die festlegt, wie die Baustoffe zu bilanzieren sind und ein korrekter Vergleich sichergestellt wird. Mit den KBOB-Bilanzierungsregeln und den SIA-Merkblättern 2032 und 2040 hat die Schweiz dazu etablierte Grundlagen (E5).

Neben den THG-Emissionen sollte nach wie vor die Energieeffizienz betrachtet werden, weil es schade ist, Energie zu verschwenden, auch wenn sie erneuerbar ist, da deren Erzeugung auch Ressourcen verbraucht resp. Emissionen erzeugt (E1).

Die Normen, die es braucht, um Gebäude zu bilanzieren, sind vorhanden, doch die Zielwerte der SIA-Norm 2040 müssten dem Netto-null-Ziel nachgefahren und die Benchmarks und die Zielwerte ins Gesetz übergeführt werden (E5). Entsprechend der Grazer Deklaration (Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019) müssten bis spätestens 2025 die GTHG reguliert sein. (E5) Den Forschenden müsste dringend mehr Gehör geschenkt werden (E5). Denn Leute, die nicht nahe an den Umweltthemen daran sind, verlassen sich gerne auf die Normen, welche als Stand der Technik gelten, nach dem Motto: „Wenn ich nach Norm baue,

mache ich nichts falsch.“ Doch die Normen entsprechen eben nicht dem fortgeschrittenen Stand der Technik, sondern dem gebräuchlichen Stand der Technik und hinken hinterher (E3).

12.2.2.2 Benchmarks, Labels, Standards

Dass Standards mit gut angesetzten Benchmarks bei der Erreichung des Netto-null-Ziels hilfreich sein könnten, darüber ist man sich einig. Gleichzeitig kann die Anforderung als Hürde empfunden werden und hemmend wirken: Gute Benchmarks, Ziel- resp. Grenzwerte zu kennen, um den eigenen Projektwert einordnen zu können, würde helfen (E1). Die Ziel- und Grenzwerte der SIA 2040 wurden als einzige Benchmarks genannt, die in die Richtung Netto-null zielen. Das Volumen der Gebäude, die sich danach ausrichten, wurde als recht überschaubar eingeschätzt und half in der breiten Umsetzung leider zu wenig, da die Anforderungen als sehr anspruchsvoll eingeschätzt werden (E5).

Die Labels gingen zu vorsichtig in Richtung Absenkpfad, die Grenzwerte werden als zu hoch und zu einfach zu erreichen beurteilt, der Grenzwert der GE wird von praktisch allen Bauten unterschritten und sollte strenger sein (E2). In der Umsetzung sind sie aber aufgrund der vielen Kriterien sehr aufwändig (E3).

SNBS beispielsweise wird als sehr komplexes System gesehen, das schwierig zu kommunizieren ist. Einzig Minergie hat es bisher geschafft, herüberzubringen, was ein gutes Gebäude ist (jeder hat davon eine Qualitätsvorstellung), was eine fantastische Leistung ist (E3), auch wenn die lieben ArchitektenkollegInnen am liebsten über Minergie schimpfen (E4).

Wenn ein griffiger THG-Grenzwert für die Gebäudeerstellung da wäre, müssten gar nicht so viele Kriterien aufgeführt werden, es wäre selbsterklärend. 5 Bereiche, maximal 15 Indikatoren müssten reichen, dann würde auch die Bevölkerung verstehen, was das Label will (E4). Schlussendlich wird erwähnt, dass Labels auch eine in Bezug auf den Klimaschutz kontraproduktive Rolle spielen können, wenn sie aufgrund von gutem Marketing und laschen Anforderungen eine überdurchschnittliche Attraktivität erzeugen (LEED oder BREEAM) (E5).

12.2.2.3 Bildung

Welche Rolle spielt die Lehre (ETH, Uni, FH)?

An der Hochschule in Luzern gibt es einige Leute, die sich sehr für die Energieeffizienz engagieren, weniger bei den ArchitektInnen, mehr bei den Haustechnikern, ähnlich an der FHNW in Muttenz. (E4). Die ArchitektInnen sind im technischen Bereich schlecht ausgebildet. Der Architekturunterricht hat sich in den letzten zwei Generationen verändert. Ausgehend von der 68er-Bewegung hat er sich in den 70er Jahren weg vom Ingenieurdenken mehr in Richtung soziale Themen entwickelt. Im Moment ist vielerorts die Ästhetik des Sichtbaren stärker gewichtet als die Wertigkeit der unsichtbaren Substanz (E4). Wenn man die Lehre darauf auslegt, dass Studierende zu diesen Umweltthemen Stellung beziehen können, dann ist die grosse Mehrheit (nicht alle) sehr wissbegierig und betroffen (E4). Ja, die Universität bewegt sich, aber wahrscheinlich gleichzeitig mit den anderen AkteurInnen der Gesellschaft. Doch wir sollten 10 Jahre im Vorsprung sein (E2)!

12.2.2.4 Hindernisse

Hindernisse wurden auf verschiedenen Ebenen identifiziert.

12.2.2.4.1 Akteure

Den BestellerInnen (Bauherrschaften) fehlt zum Teil das Wissen, wie er nachhaltiges oder THG-armes Bauen bestellen soll, welche Möglichkeiten er hat. Er ist aber die treibende Grösse. Bauherren würden gerne mehr tun, wenn ihnen das Know-how und das richtige Produkt angeboten würde. Bei den PlanerInnen muss man

unterscheiden zwischen den FachplanerInnen und den ArchitektInnen. Die FachplanerInnen sind im Allgemeinen, wenn sie überleben wollen, sehr innovativ. Sie sind aber auch opportunistisch und machen, was man verlangt (E4). Auch die Generalunternehmer sind opportunistisch: Wenn die Nachfrage da ist und sie damit Geld verdienen können, bauen sie auch gerne ökologisch (E4). In der Schweiz gilt die ETH als unbestrittene Schmiede der akademischen Architektenschaft. Die ArchitektInnen sind im umwelttechnischen Bereich schlecht ausgebildet (vgl. Kap. 12.2.2.3) und das aktuelle Wettbewerbswesen ist leider kein Garant für umweltfreundliche Architektur. Die Wettbewerbe werden nach anderen Kriterien entschieden, auch wenn in praktisch jeder Ausschreibung Minergie-P oder andere umweltfreundliche Ziele formuliert werden. Die prämierten Resultate sind diesbezüglich oft unterdurchschnittlich. Die fachlichen Vorprüfer dürfen zwar ihren Bericht verfassen, sind aber in der Jurierung nur Beisitzer ohne Stimmrecht (E4).

12.2.2.4.2 Allokation der Emissionen

CO₂-Emissionen werden pro Land bilanziert, sprich, man könnte heute also ein CO₂-neutrales Gebäude bauen, indem man alle Baustoffe importiert. Dann gibt es ein Problem, wenn Aufwand und Nutzen nicht in derselben Generation anfallen: Ich investiere, damit jemand in 30 Jahren einen Vorteil hat, das ist mit wirtschaftlichen Kennzahlen heute nicht vernünftig abzubilden, müsste es aber. (Den Wert von) Aufwand und Profit zwischen Generationen hin und her zu schieben, das ist sehr schwierig (E3).

12.2.2.4.3 Wirtschaft, Politik

Die Wirtschaft will wachsen mit 1–2% pro Jahr und die CO₂-Emissionen sollen innert 30 Jahren runter auf null. Da gibt es eine gigantische Lücke. Zum Glück ist die Bauwirtschaft nicht der einzige Wirtschaftszweig, aber sie ist mit 40–50% Verursacheranteil und mit 60% Wertschöpfungsanteil zentral (E4)! Natürlich gibt es Leuchtturmprojekte, aber all diese Renditeprojekte, die in den letzten Jahren ebenfalls gebaut wurden, berücksichtigten die Nachhaltigkeit kaum (E4). Man hört oftmals ökonomische Argumente, weshalb eine klimafreundlichere Variante nicht möglich sei. Die volkswirtschaftlichen Kosten des Nichthandelns sind aber deutlich höher (E5)! Ausserdem wirkt die Fragmentierung der Prozesse hemmend (E3). Ein weiteres Hindernis ist der fehlende Preis für gewisse Arten von CO₂-Emissionen (z. B. Kerosin) (E3). Die Verhinderung passiert eigentlich im Parlament, welches zielführende Gesetze nicht einführt und bestehende nicht verschärft (E5).

12.2.2.4.4 Risiken, Unsicherheiten, Garantie

Bei neuen Produkten gibt es viele Unsicherheiten: Wir haben keine vollständigen, verlässlichen und vergleichbaren Informationen, der Markt ist nicht transparent (E3). Das technische Know-how und die langfristige Erfahrung der Anwender fehlt, das Materialverhalten, die Dauerhaftigkeit, die Herstellergarantie. Dies verunsichert Bauherrschaften, denn sie wollen keine Risiken eingehen (E2). Daraus folgt das typische Schwarzpeterspiel, jeder wartet ab und sagt, der andere solle beginnen (E3). Es gibt keine Nachfrage und deshalb keine Produktion, doch ohne Angebot kann es keine Nachfrage geben (E2). Warum sollte die Baubranche mehr biobasierte Dämmstoffe herstellen? Besteller sagen, nein, das ist zu teuer oder zu heikel. Wer soll anfangen? Schlussendlich muss die Politik eine Lösung finden, eine Regulierung (E2).

12.2.2.5 Chancen

Welche Chancen bietet die Herausforderung des klimaneutralen Bauens?

Die Digitalisierung (u. a. Building Information Modeling, BIM) wird als Chance gesehen, da bei der Planung alle Materialeigenschaften (inkl. der GTHG) dokumentiert werden (E3). So wird die Bilanzierung einfach. Die Digitalisierung begünstigt die Vorfabrikation, wofür Holz bestens geeignet ist (E2). Vorfabrikation, Modulbauweise, industrielle Fertigung können durch Optimierung der Produktionsabläufe Emissionen einsparen (E3).

Die Kreislaufwirtschaft wird als zukunftssträchtiges Businessmodell genannt. Bauteile werden nur genutzt (gemietet), nicht mehr gekauft, und am Lebensende vom Anbieter zurückgenommen und neu verarbeitet. Bei Spannteppichen der Umar Unit (Nest EMPA) werden Fasern vom Trägermaterial getrennt und wiederverwendet. In Hotels, wo Teppiche in einem schnellen Rhythmus ausgewechselt werden, ist dies ein interessantes Model (E3).

12.2.3 Zentrale Fragen zur Ökobilanzierung: Anrechnung von Senken und Gutschriften im Modul D

Zum Spezialthema der Ökobilanzierung wurden zahlreiche (teilweise auch widersprüchliche) Aussagen gemacht, von denen wir hier die relevanten zusammenfassen. Mit unserer zentralen Frage, ob es eine Möglichkeit gibt, die Zwischenspeicherung von CO₂ in Gebäuden auszuweisen, tauchten wir in Ökobilanzierungsfragen ein, die zugleich eine hohe politische Relevanz haben. Hinter dieser Frage steht die Absicht, durch das Ausweisen einer Senkenwirkung von biogenen Materialien bei den PlanerInnen einen Anreiz zur Verwendung solcher Materialien zu schaffen.

12.2.3.1 Benchmarks

Bezüglich CO₂-Benchmarks für Gebäude muss man überlegen, welche Gebäudetypen man wie fein unterscheiden soll. Sobald wir mit der Erstellung bei null angelangt sind, ist die Differenzierung nicht mehr notwendig, da es keine Rolle mehr spielt, wie viel Quadratmeter man baut, solange keine anderen massiven Umweltbelastungen verursacht werden (E5).

12.2.3.2 Anfallen von Emissionen in Erstellung und Betrieb (Amortisation)

Die „Amortisation“ der THG ist ein Denkmodell und hat nichts mit der Physik oder der Atmosphäre zu tun. Zum Zeitpunkt null baue ich das Gebäude, dann fällt der Grossteil der Erstellungsemissionen an. An einer heute (2020) gebauten Tragstruktur sind bis 2080 keine emissionsmindernden Massnahmen mehr möglich, ab dem zweiten Jahr ruft die Tragstruktur keine neuen THG-Emissionen mehr hervor. Nach 20 Jahren, wenn die Heizung zum Ersatz fällig wird, werden weitere Emissionen verursacht, nach 30 Jahren werden die Fenster, die Kompaktfassaden fällig, nach 40 Jahren die hinterlüfteten Fassaden. So habe ich einen Zeitplan (gemäss den SIA 2032 Amortisationsdauern), wann welche Ersatzinvestitionen erforderlich sind innerhalb der Lebensdauer von 60 Jahren. Das Denkmodell ist der Buchhaltung entliehen, gemäss welcher ich eine Investition jährlich über einen bestimmten Zeitraum abzahle. Am Schluss der 60 Jahre habe ich alle CO₂-Emissionen rapportiert.

Wichtig ist, dass man die Erstellungsemissionen, die (physikalisch betrachtet) im Jahr 0 anfallen, von den Betriebsemissionen (welche jährlich anfallen) trennt. Beispielsweise fallen im Jahr null 50 t CO₂-Emissionen durch die Erstellung an, dann später die Ersatzbauteile für den Unterhalt, wenn sie fällig sind. Für den Betrieb kommen jährlich vielleicht 0.5 t dazu. So entsteht grafisch gesehen eine Treppenkurve über die 60 Jahre. Bau und Betrieb werden separat dargestellt. Bei der SIA 2032 berechnet man nur die Erstellung inkl. Erneuerung, in der SIA 2040 haben wir zwei Richtwerte, einen für Erstellung und Entsorgung und einen für den Betrieb (E5).

Ein Problem ist, dass die CO₂eq der Bauten gemäss SIA 2032 über 60 Jahre amortisiert werden. In der Realität emittiert das CO₂ im ersten Jahr! Es sieht viel besser aus, wenn über 60 Jahre amortisiert wird. Bis 2050 sollten wir auf null sein. Also sollte in den nächsten 20 bis 30 Jahren alles amortisiert sein und nicht erst in 60 Jahren. Das ist ein methodisches Problem (E2).

12.2.3.3 Biogene und fossile THG

Von der europäischen Norm EN 15804+A2 ist gefordert, dass die biogenen von den fossilen THG getrennt dargestellt werden. Die biogenen CO₂ darzustellen macht die Bilanz unnötig kompliziert, da am Schluss die biogene CO₂-Bilanz ausgeglichen sein muss, d. h. die biogenen Materialien am Gebäude haben keine THG verursacht (Ausnahme biogenes Methan!). Da die Bilanz des biogenen CO₂ am Schluss ausgeglichen (netto null) ist, hat man bisher auf diese Bilanzierung der biogenen CO₂-Emissionen in der KBOB-Empfehlung 2009/1 verzichtet. Vermutlich wird man sich aber an die europäische Norm annähern und diese Plusminusrechnung einführen (E5).

12.2.3.4 Anrechenbarkeit der Zwischenspeicherung in Gebäuden

Die Anrechnung der CO₂-Speicherung (in Gebäuden) ist sicher das schwierigste Kapitel. Wie viel hilft die Zwischenspeicherung heute? Welches Gewicht hat diese Speicherung im Vergleich zur einfachen Reduktion von Emissionen? Oder speichert man CO₂ besser im Wald als im Bau (E1)?

Ich bin der Meinung, dass die Methode heute nicht klar ist. In der KBOB-Liste sind die (im Material gebundenen) biogenen THG nicht dargestellt, es gibt nur die fossilen. Das heisst, wir können am Gebäude keine Senkenwirkung ausweisen. Auf der anderen Seite gibt es die Holzindustrie, die propagiert, dass das CO₂ im Gebäude zwischengespeichert wird, also eine negative Emission darstellt. Doch wir sollten auch die Zeitdauer des Baumwachstums mitberücksichtigen. Das Gebäude ist höchstens ein temporärer Speicher, da es am Ende seines Lebens das CO₂ wieder emittiert. Die Art, wie mit den temporäreren CO₂-Speichern umgegangen werden soll, ist für mich nicht klar, wir brauchen dazu mehr Forschung (E2). Die Idee ist, dass wir die Lebensdauer der Gebäude mit der Rotationsperiode (der Lebensdauer der Pflanzen) vergleichen. Wenn beide etwa dieselbe Lebensdauer haben, dann ergibt sich keine negative Emission, sondern null. Wenn die Pflanzen eine kürzere Lebensdauer haben als die Gebäude, dann ergibt sich eine negative Emission. Wenn ich hingegen einen 200 Jahre alten Baum als Parkettholz verwende und dann nach 2 Jahren verbrenne, dann habe ich eine positive Emission (eine Belastung) (E2)!

Wenn man die neusten IPCC-Publikationen liest, geht es nicht mehr so sehr darum, wann THG emittiert werden, sondern es geht um Budgets von CO₂-Emissionen, welche die Welt noch emittieren darf. Durch die Zwischenspeicherung von biogenem Kohlenstoff (auf Basis nachwachsender Rohstoffe) über 60 oder 100 Jahre gewinnen wir ein bisschen Zeit. Doch am Lebensende der Produkte, wenn diese entsorgt (verbrannt, deponiert) werden, wird der biogene Kohlenstoff wieder freigesetzt und die Bilanz ist ausgeglichen (netto null). Es ist mehr eine politische als eine wissenschaftliche Frage, ob 60 oder 100 Jahre Zwischenspeicherung (im Gebäude) eine anrechenbare Senkenwirkung erzeugen oder ob es 500 Jahre sein müssen. In der Norm hat man sich so geeinigt, dass man den gespeicherten Kohlenstoff angeben kann, diesen aber nicht in CO₂eq umrechnen und in die THG-Bilanz einbeziehen darf. Die gerade publizierte Version der europäischen Umweltproduktdeklaration (EN 15804:2020) beschreibt, dass man den Gehalt von biogenen Kohlenstoffen in einem Produkt als kg C angeben muss (E5).

12.2.3.5 Anrechenbarkeit recycelter Baustoffe (Wiederverwendung)

Für die Wiederverwendung faire Lösungen zu finden, ist nicht einfach. Derjenige, der wiederverwendet, möchte den ganzen Nutzen bei sich (keine Belastung). Bisher hat man die volle Belastung der Herstellung der ersten Nutzungsphase zugeschrieben. Das wiederverwendete Produkt erhält keine Belastung angerechnet. Sobald Wiederverwendung Stand der Technik ist, könnte ein Split, basierend auf einem linearen Abschreiben, eingeführt werden ... Und was, wenn die zweite Phase nicht kommt, dann haben wir dem Ersten zu wenig angerechnet. (E1)

Der Umgang mit recycelten Baustoffen wird in der SIA 2032 berücksichtigt. Wiederverwendete Baustoffen werden die Umweltbelastungen angerechnet, die verursacht werden, um einen Baustoff wieder einsetzen zu können, nicht jene von neuen Materialien. Das heisst, wenn ich Baustoffe wiederverwende, habe ich in der Regel (deutlich) tiefere THG-Emissionen. Werden beispielsweise abgebrochene Fenster oder Fassadenteile bei einem Neubau wiederverwendet, sieht man, dass der Fussabdruck des Neubaus deutlich tiefer ist. Gutschriften für zukünftiges Recycling sind gemäss SIA 2032 und gemäss der Bilanzierungsregeln der KBOB-Empfehlung 2009/1 ausgeschlossen. Würden diese erteilt, müsste der Einsatz von Recyclaten in heutigen Bauten mit den Umweltbelastungen von Neumaterial bilanziert werden (E5).

12.2.3.6 Verschieben von Emissionen zwischen den Generationen

Wenn der wirtschaftliche Aufwand und der Nutzen in unterschiedlichen Generationen anfallen, gibt es Probleme. Darauf ist unser Wirtschaftssystem nicht gut vorbereitet. Auf der einen Seite haben wir ein Quartalsdenken, auf der anderen Seite (Emissionen) sprechen wir von Jahrzehnten. Die Rechnungslegungen, das Rating, alles beruht auf der Sichtweise per Quartal. Ich investiere nicht, damit jemand in 30 Jahren einen Profit hat. Das kann man mit heute gebräuchlichen wirtschaftlichen Kennzahlen nicht vernünftig abbilden, müsste man aber (E3).

Gutschriften für recycelte Materialien anzurechnen ist ein Modellierungstrick und eigentlich ein Darlehen, das wir uns nehmen (resp. eine Belastung), ohne die zukünftigen Generationen gefragt zu haben. Die Emissionen des Stahlwerkes beispielsweise sind erfolgt, das CO₂ ist draussen, es bleibt nur die Hoffnung, dass Emissionen nach 60 Jahren durch Recyclieren vermieden werden. Diese spätere Generation sagt sich dann, ich nehme ein bereits hergestelltes Material und verwende es wieder, da werde ich mir nicht noch die Emissionen (der Erstellung) anrechnen. Somit bleiben die Emissionen nur als Emissionsminderung (Gutschrift) heute berücksichtigt und nicht als in die Zukunft verlagerte Emission. Kommt dazu, dass wir hoffen, dass in 60 Jahren die Baumaterialienherstellung CO₂-frei erfolgt und dann die Gutschrift deutlich kleiner ist, wenn es überhaupt noch eine gibt. Das hat mit klimaneutralem Bauen wenig zu tun. Eine Gutschrift verlangt immer ein Gegengeschäft: Ich mach mir eine Gutschrift, also muss ein anderer die Last tragen (E5).

12.2.3.7 Was heisst klimapositiv, was heisst Nullemissionsgebäude

Was heisst klimapositiv? Heute so wenig CO₂ wie möglich ausstossen? Den Ausstoss möglichst früh reduzieren? 100% reduzieren liegt heute noch nicht drin (E1)!

Wir haben 4 Stufen zur Typologisierung von Nullemissionsgebäuden definiert. Die Aufzählung ist geordnet nach dem Grad, wie sie das 1.5°C-Ziel unterstützen:

- Gebäude mit null Emissionen erstellt: Wirklich null Emissionen in der Lieferkette, da ist man noch weit davon entfernt.
- Investieren in Reduktionstechnologien: Man nimmt CO₂ aus der Atmosphäre in der Menge, in der es emittiert wurde beim Bau und Betrieb vom Gebäude und übernimmt damit Verantwortung. Zu Reduktionstechnologien gehören das Entnehmen von CO₂ aus der Atmosphäre (Climeworks) und das permanente Einlagern in geeignetem Gestein, aber auch Carbon Capture and Storage (CCS) und Aufforstungen. Gemäss dem Verursacherprinzip müssen die BaumaterialherstellerInnen für das Reduzieren und Entfernen der von ihnen verursachten CO₂-Emissionen aufkommen (analog zur Pflicht der Abluft- und Abwasserreinigung der Industrie).
- Ökonomisch kompensieren: CO₂-Zertifikate repräsentieren nicht zwingend eine Emissionsreduktion, sondern vielleicht eher das Verhindern eines weiteren Anstiegs der CO₂-Emissionen, je nachdem, aus was für

Projekten diese Zertifikate stammen und was als Referenztechnologie definiert wurde, um die Reduktion und damit die Menge der CO₂-Zertifikate zu bestimmen. Mit Emissionszertifikaten können höchstens 50% der Emissionen reduziert werden, weil pro t, für die man Emissionszertifikate kauft, weiterhin eine t emittiert wird.

- Ökobilanz-Gutschriften: Im Zusammenhang mit dem Anrechnen eingespeicherter, erneuerbarer Energien für an anderen Orten vermiedene Emissionen wird von Gutschriften gesprochen. Analoges gilt beim eventuellen Vermeiden zukünftiger Emissionen durch das Recyclieren von Baustoffen am Ende der Lebensdauer der Gebäude. Diese Option ist eine Bilanzkosmetik, da die Emissionen zwar nicht mehr dem Gebäude angerechnet sind, dafür aber beim Energieversorger bzw. beim zukünftigen Nutzer von Recyclaten verbucht werden müssen.

Gebäude, welche im Jahr 2050 gebaut werden, müssen in der Erstellung Netto-null erreichen. In Gebäuden, die heute gebaut werden, kann man sich bei der Erstellung noch Emissionen „erlauben“, je näher bei 2050 desto weniger. (E5)

12.2.4 Ausblick

12.2.4.1 Der Königsweg

Wie sieht der Königsweg zur Lösung der Baustoffproblematik aus?

Eine einfache Lösung konnte keiner der Interviewpartner bieten, doch es kamen klare Hinweise, wobei die Regulierung einen hohen Stellenwert einnahm (s. auch Regulierung, Kap. ????):

Es braucht die CO₂-Abgabe, das ist klar (E3)! Für die breite Umsetzung wird Freiwilligkeit nicht reichen, es müssten rasch politische Schritte zur Regulierung (Grenzwert für lebenswegbezogene THG-Emissionen pro m² und Jahr für Gebäude, analog zum Zielwert CO₂-Emissionen pro km Flottendurchschnitt der Neuwagenzulassungen) unternommen werden (E5). Ein Ziel (ein Grenzwert) zu haben wäre hilfreich (E1). Es ist eine Grundsatzfrage: Wenn wir die Baubranche wirklich klimaneutral machen wollen, dann geben wir einen Benchmark (in Form eines Zielwertes) heraus und es wird Lösungen geben (E2). Wir sollten über Innovationen nachdenken und sicher braucht es auch Leuchtturmprojekte, an denen man zeigt, was möglich ist (E2).

Eine zentrale Aussage war, dass man an *allen möglichen* Schrauben drehen muss, um auf den Absenkpfad zu kommen: sparsame Konzepte mit durchdachtem Materialeinsatz, CO₂-Speicherung wo möglich (E1). Wir sollten anders bauen, weniger Beton einsetzen oder nur dort, wo er wirklich notwendig ist und mehr bio- anstelle von erdölbasierten Materialien (bspw. Dämmstoffe) verwenden (E2). Ab sofort dürfte das verwendete Material keine fossile Energie mehr enthalten und der Strom sollte erneuerbar sein (E1). Wenn KonsumentInnen für jeden Bedarf die klimaschonenden Produkte einfach finden könnten und diese so einen Marktvorteil erhielten, wäre schon viel getan (E3). Suffizienz jedoch wird als schönes Konzept gesehen, das mangels Mehrheitsfähigkeit wohl nicht in der Breite zur Umsetzung kommt. Klimaneutralität sollte ohne Verzicht umsetzbar sein (E3).

12.2.4.2 Weiterer Handlungsbedarf

Sehen Sie bezüglich dem Bauen weiteren Handlungsbedarf?

- Wir brauchen auch CO₂-negative Technologien, weil wir immer Herstellungsverfahren haben werden, die CO₂-positiv sind (E3).

- CO₂-Emissionen müssen immer denselben Preis haben, unabhängig davon, aus welchem Prozess ein CO₂-Molekül emittiert wird. Es kann nicht sein, dass CO₂ aus Heizöl, Diesel, Kerosin und Stahlproduktion nicht gleich viel kostet. Und es sollte rückverteilt werden, damit es einen Anreiz gibt, weniger zu emittieren (E3).
- Das Gebäude als „Baukonstrukt“ müsste neu gedacht werden. Durch eine nachhaltige Konstruktion entsteht eine wertige Ästhetik, die sich auch aus dem Material und nicht nur aus der Form herleitet (E4).
- Die Kreisläufe müssen geschlossen werden, wir müssen die Natur vor dem Menschen schützen. Das ist leider so bei 8 Milliarden Menschen weltweit, die 1.5 Planeten brauchen (wir 3 und Amerika 6). Wir müssen technische Lösungen finden, um unsere Überproduktion in den Kreislauf einzubinden (E4).
- Die THG-Belastung von im Ausland produzierten, importierten Materialien sieht man nicht im Schweizer Treibhausgasinventar (E1).
- Dieses Importproblem müssen wir in den Griff bekommen! Die Schweiz steht mit dem CO₂ nicht so schlecht da, weil sie vor allem sehr viel energieintensive Prozesse nach China ausgelagert hat. Aber Aber für das Klima spielt das überhaupt keine Rolle (E3).
- Die Wirtschaft muss begreifen, dass sie sich von der fossilen Energie entkoppeln muss. Wir brauchen Wertschöpfung unabhängig vom Verbrauch (Verbrennen) von Öl und Kohle (E4).
- Wirtschaftliche Auswirkungen, Tragbarkeit

Bei der Frage zu den wirtschaftlichen Auswirkungen von Massnahmen zur Milderung der Klimaauswirkungen waren sich die ExpertInnen einig: Die Kosten sind tragbar und der Einbezug von Milderungsmassnahmen ist eine Chance für die Bauwirtschaft und ein Treiber zur Verbesserung und Neupositionierung. Die Bauwirtschaft will gute, hochwertige Produkte, denn teuer ist gut für die Wirtschaft (E4). Mehrkosten sind eher durch den Einbezug von Know-how in Form von Planungs- und Arbeitsstunden, nicht durch teurere Materialien zu erwarten (E2). Ein Experte erwähnte ein eigenes Beispiel eines Minergie-P-Hochhausprojektes, das gegenüber einem Minergie-Basis-Standardprojekt gleich viel gekostet hat (E4).

12.3 Wissenschaftliche Literatur

Einführung siehe Kap. 3.3 weiter vorne

12.3.1 Baukonzepte und Planung

12.3.1.1 Besteller (Nachfrageseite)

Creutzig et al. (2016) betonen, dass neben der Angebotsseite auch die Nachfrageseite (*Demand-Side*) beachtet werden muss. Folglich müssen z. B. nicht nur AnbieterInnen von Bauprodukten Anstrengungen hin zum klimapositiven Bauen unternehmen, sondern auch die Besteller von Baudienstleistungen, wie z. B. InvestorInnen, Bauherrschaften usw. (vgl. Planungsphase „Strategische Definition“ in Abb. 51 unten). Ungeachtet dieser Forderung entsteht infolge der langen Lebensdauer von Gebäuden das Risiko eines langfristigen THG-*Lock-in*. Beispielsweise bleiben Aspekte wie die Form eines Gebäudes und mit ihr die Indikatoren EBF/Person und Gebäudehüllzahl bestehen. Klimapositives Bauen ist daher nicht nur ein Thema für Bauherrschaften und ArchitektInnen, sondern auch für die Raum- und Ortsplanung.

12.3.1.2 Bessere Planung

Mit besserer Planung (*Better Design*) ist gemeint, dass Planungsteams in der Vorprojekt- und Projektphase vorausschauend entwerfen, die Reduktion der THG-Emissionen antizipieren und damit einen einfachen Ersatz von Bauteilen sowie einen geordneten Rückbau ermöglichen. Weiter braucht es ein Bewusstsein für die langfristige Natur von Bau- und Planungsentscheiden über den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg (Cuéllar-Franca and Azapagic, 2012). Ein systematisches Berücksichtigen dieser Aspekte über alle Planungsphasen kann helfen, die Emissionen gering zu halten (Häkkinen et al., 2015). Mit besserer Planung bzw. der bewussteren Wahl von Baustoffen und Materialien könnten gemäss Acquaye und Duffy (2010) in der Folge direkte und indirekte Emissionen von bis zu 20% vermieden werden. Bei Sanierungen und Umbauten können mit dem Stehenlassen der bestehenden Tragstruktur und nicht tragenden Elementen bis zu 17% eingespart werden (Chau et al., 2012).

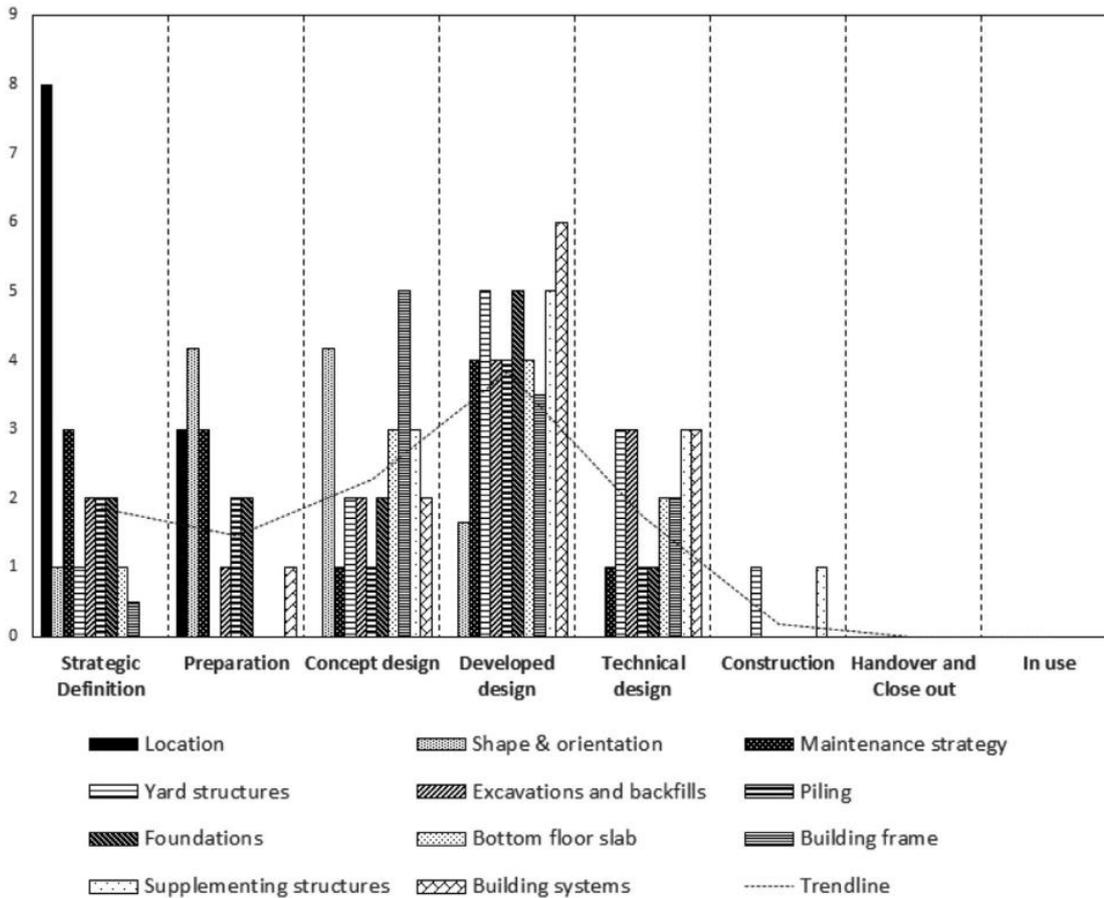


Abb. 51: Relevanz bezüglich der Beeinflussung der GTHG in jeder Planungsphase und jedem Planungsgegenstand. Die vertikale Skala zeigt die Gewichtung, horizontal sind die verschiedenen Planungsgegenstände aufgelistet (nach SIA-Phasen: strategische Planung (Strategic Definition); Projektdefinition/Machbarkeitsstudie (Preparation); Vorprojekt (Concept Design); Bauprojekt (Developed Design); Ausführungsprojekt (Technical Design); Ausführung (Construction); Inbetriebnahme/Abschluss (Handover and Close out); Bewirtschaftung (In Use)). Anhand der Trendlinie ist ersichtlich, dass für die Reduktion der Emissionen die Projektphase (Developed Design) die entscheidendste Phase ist (Aus Häkkinen u. a. 2015, Abb. 1).

12.3.1.3 Erneuerung von Bestandesbauten/Wiederverwendung von Tragwerken

Die Sanierung von Gebäuden bzw. ganzen Gebäudeparks z. B. auf Länderebene spielt eine grosse Rolle. Dass eine Sanierung eines Bestandesgebäudes in der Erstellung weniger THG verursacht als ein Ersatzneubau, liegt auf der Hand, da die übernommenen Teile des Bestandesgebäudes keine weiteren THG-Emissionen ausstossen und somit der „Neubauanteil“ kleiner ist. Gaspar und Santos (2015) zeigen, dass bei einem einfachen Einfamilienhaus von einer Einsparung von 22% auszugehen ist. Power (2008) geht bei grösseren Gebäuden sogar

von rund 33% Ersparnis aus. Malmqvist et al. (2018) zeigen anhand von Berechnungen des „Annex 57-Projekts“, welches aus der IEA hervorgeht, dass im Durchschnitt von noch grösseren Ersparnissen ausgegangen werden muss.⁷⁵ Die Unterschiede zwischen Sanierung und Neubau in der Herstellungsphase (Module A1–A3) liegen zwischen 41% und 59%, wobei selbstredend die Neubauten mehr Emissionen verursachen, da die Gebäudestruktur und auch weitere Bauteile bei Sanierungen stehen bleiben und dadurch keine weiteren Emissionen verursacht werden.⁷⁶ Beim SIA-Effizienzpfad Energie liegt das Verhältnis zwischen dem Richtwert Erstellung von Umbau und Neubau bei 50%.

12.3.1.4 Gebäudelebensdauer

Es wurde untersucht, wie sich die Verlängerung der Gebäudelebensdauer auf die THG-Belastung (pro Jahr) auswirkt. Mit der Erdbebenertüchtigung und Verstärkung der Tragstruktur konnte die Lebensdauer eines japanischen Gebäudes um 40 auf 100 Jahre verlängert werden, was zu einer THG-Emissionseinsparung von 20–35% führt. In anderen Fällen wurden z. B. die Holzfenster mit Vordächern vor der Witterung geschützt und tragende sowie nicht tragende Bauteile mit dauerhafteren Konstruktionen ersetzt (Module B4–5, Abb. 22), was insgesamt zu einer Verlängerung der Gebäudelebensdauer um 30 Jahre und einer geschätzten THG-Ersparnis von 50% führte (Malmqvist et al., 2018).

12.3.1.5 Gebäudehüllzahl, Gebäudeform und Grundriss

Bei der Optimierung der Gebäudehüllzahl, der Gebäudeform und der Grundrisse geht es darum, die Wärmeverluste über die Gebäudehülle zu minimieren und die Materialeffizienz zu verbessern, um damit indirekt den Ausstoss an THG zu vermindern. Abb. 52 vermittelt einen Eindruck, wie verschiedene Gebäudeformen, deren Ausrichtung und allenfalls vorgelagerte Raumschichten mit Balkonen die GE (und damit gleichermassen die THG-Emissionen) beeinflussen. Malmqvist et al. (2018) nennt ein Beispiel, bei dem mit einer kompakteren Gebäudeform 6% GTHG eingespart werden konnten. Weiter wies er nach, dass mit einem besser nutzbaren Grundriss der Bedarf an THG pro Person sowie pro m² EBF geringer ausfiel.

⁷⁵ Weitere Informationen: <http://www.annex57.org/> [23.04.2020].

⁷⁶ Eigene Berechnung. Quelltext aus (Malmqvist et al., 2018, p. 41)⁴¹: «[...] the product stage EG between 65–380 kg CO₂-eq/m² (compared with 160–640 kg CO₂-eq/m² for Annex 57 new builds).»

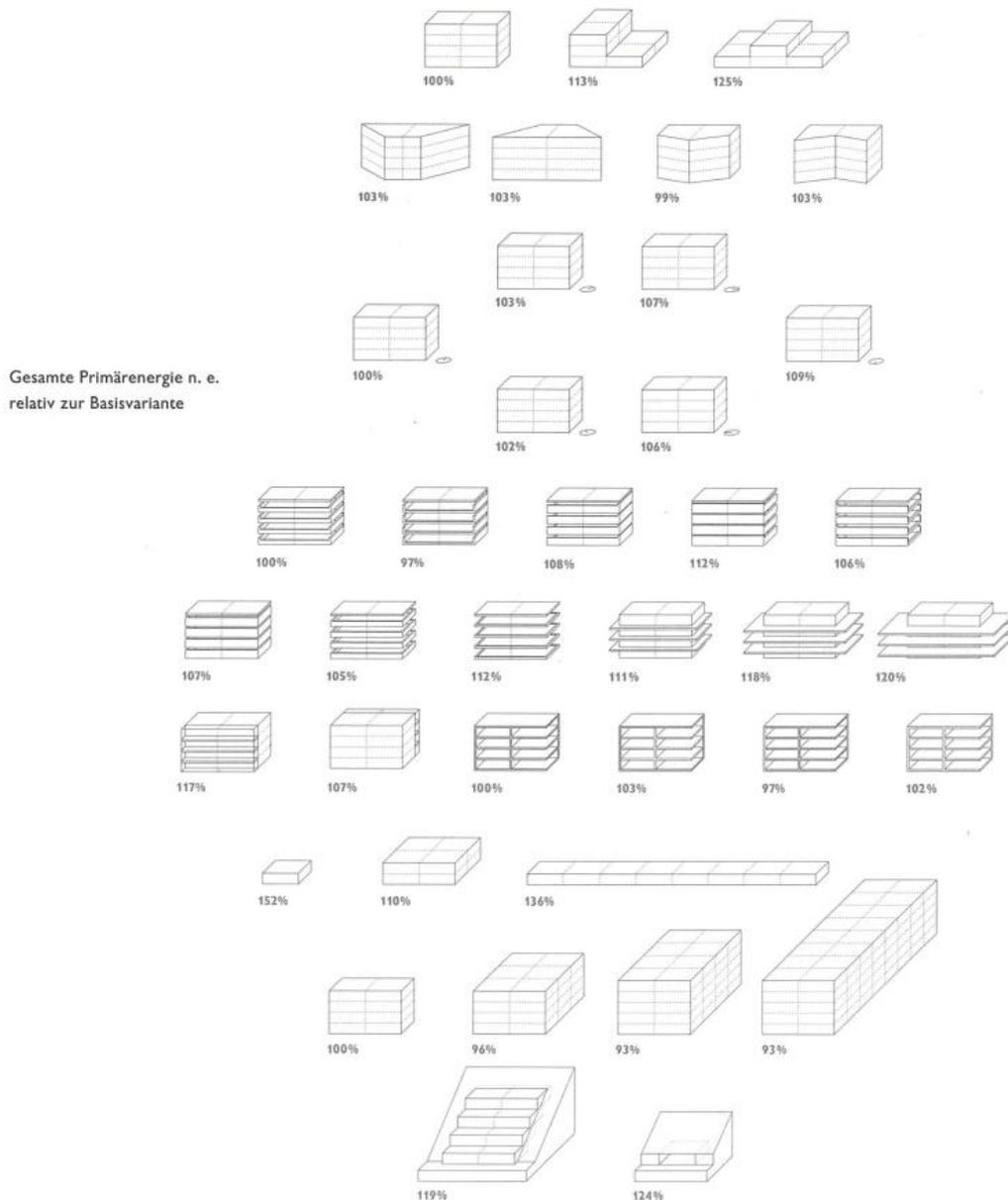


Abb. 52: „Gebäudezoo“ mit unterschiedlich ausgeformten MFH und deren Veränderung der Graue Energie gegenüber dem Referenzgebäude (100% oben links) (aus Hönger, Christian et al., 2013, p. 79).

12.3.1.6 Flexible und anpassbare Grundrisse

Ein wichtiger Weg, um die Nutzungsdauer eines Gebäudes zu verlängern (siehe Kap. 12.3.1.4), sind flexible und anpassbare Grundrisse, welche Nutzungsänderungen einfach ermöglichen und unterschiedliche Nutzerpräferenzen antizipieren. Solche Ansätze müssen von Beginn weg (Vorstudie, Vorprojekt) in die Planung integriert werden. Laut Malmqvist et al. (2018) können Sanierungen und Bauteilersatz über die Zeit von 50 Jahren zu Einsparungen von bis zu 50% der THG-Emissionen betragen. Bei einem Fallbeispiel aus Dänemark führte die Lage der Räume und die Konzeption der Aussen- und Innenwände, welche einfach wiederverwendet oder verschoben werden konnten dazu, dass im Vergleich zu einem Referenzgebäude die Emissionen um 50% reduziert werden konnten (Malmqvist et al., 2018).

Eng verbunden mit dieser Reduktionsstrategie ist der „verbesserte Rückbau und Wiederaufbau“ von Bauteilen sowie das „Planen für Demontage“ (siehe 12.3.1.6). Die eingesparten THG-Emissionen können allerdings erst

einem zukünftigen Gebäude in Form von wiederverwendeten und recycelten Materialien und Produkten zugeteilt werden (Malmqvist et al., 2018).

12.3.1.7 Planen für Demontage

Die Vorteile einer vorausschauenden Planung für Nutzungsflexibilität kommen erst dem nachfolgenden Gebäude bzw. Zweck zugute und werden im Modul „D“ (EN 15804) abgehandelt. Im Detail wird in Malmqvist et al. (2018) das Beispiel von einfach demontierbaren Stadionsitzen (Olympiastadion London) erwähnt. Nach den Olympischen Spielen im Jahr 2012 konnten die überzähligen Sitze abmontiert und an einem anderen Ort eingebaut werden. Mit dieser vorausschauend geplanten Massnahme konnten am neuen Ort (ausserhalb der ursprünglichen Systemgrenze) 30'000 t CO₂eq eingespart werden.

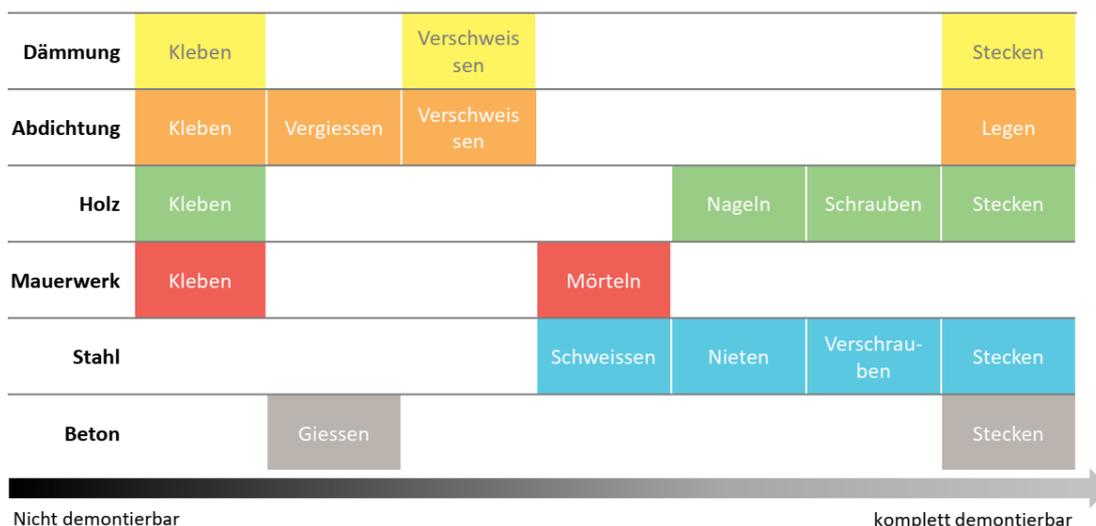


Abb. 53: Vergleich verschiedener Verbindungstechniken und ihre Folgen für die Demontierbarkeit. Materialien und Verbindungstechniken auf der rechten Seite sind zu bevorzugen. Quelle: ZPF Ingenieure (Nico Ros), Basel.

12.3.1.8 Dauerhafte Gebäude

Dauerhafte Gebäude sind robuste Bauten, bei denen im Vergleich zu normalen Referenzbauten Bauteile weniger oft ersetzt werden müssen (Modul B4). Es kommen dauerhafte Detaillösungen zum Einsatz und robuste, langlebige, schwer verwüstbare Materialien. Mit dieser Strategie können anhand einer dänischen Fallstudie THG-Einsparungen von 26% bis 30% erreicht werden. Die Hypothese dabei ist, dass einzelne Bauteile, wie z. B. die Dämmungen, die Dacheindeckung sowie die Fenstergläser im Verlauf des Lebenszyklus weniger oft oder gar nicht ausgewechselt werden müssen. Diese Annahmen werden auf der Grundlage von planerischen Modifikationen getroffen: Steildach mit grossem, vor Witterung schützendem Dachvorsprung; wartungsarmes und homogenes Einsteinmauerwerk; Verkleidung der Fassade mit Einscheibensicherheitsglas (ESG) (Rasmussen, Birkved und Birgisdóttir 2020).

12.3.1.9 Gebäudetechnik reduzieren

Die Gebäudetechnik steht an der Schnittstelle zwischen der Erstellungs- und der Nutzungsphase (Betrieb). Weil die Erstellung der Gebäudetechnik nach Suárez (2017) durchschnittlich mit rund 46% fast die Hälfte zu den THG beiträgt, muss sie im Rahmen dieser Arbeit angesprochen werden. Beim Bürogebäude „2226“ in Lustenau (Österreich) reduzierten sich beim Einsatz einer minimierten Gebäudetechnik die THG anteilmässig von 46% auf 31%. Dies entspricht einer auf die Gebäudetechnik allein bezogenen Reduktion von rund 33% (Suárez, 2017).

12.3.2 Bauteile und Konstruktionsweise

Wie viel die verschiedenen Bauteile bei einem einfachen Gebäudeblock aus Beton zum GWP pro m² und Jahr beitragen, zeigt Lotteau et al. (2017):

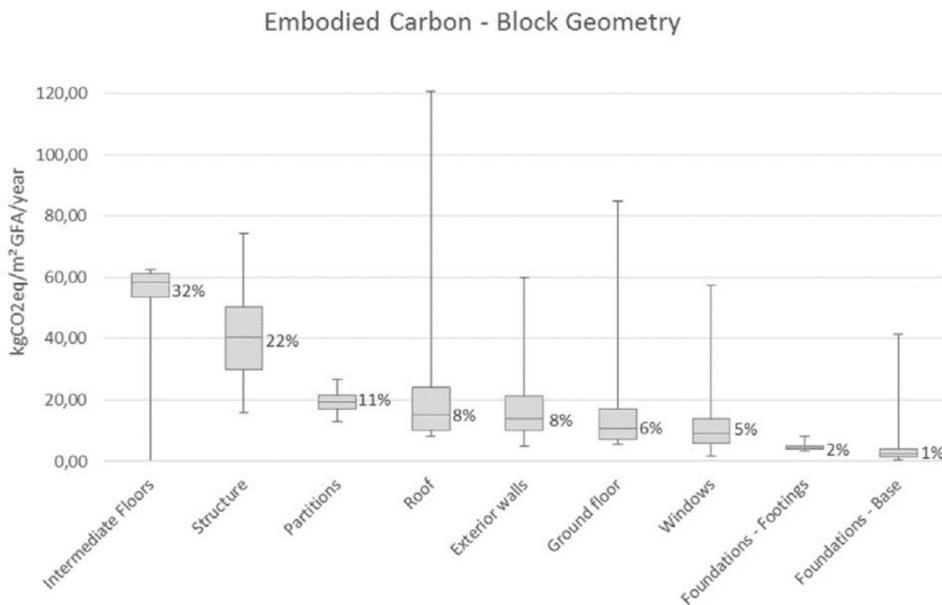


Abb. 54: Prozentuale Anteile und absolute Mengen der THG der typischen Bauteile eines einfachen Gebäudeblocks aus Beton, inkl. Sensitivitätsanalyse. Vertikale Achse: THG-Emissionen, horizontale Achse: die Bauteile (Zwischendecken; (statische) Gebäudestruktur; Trennwände; Dach; Aussenwände; Kellerdecke; Fenster; Streifenfundamente; Fundamentplatten).

Bei dem von Lotteau et al. (2017) untersuchten einfachen Gebäudemodell (siehe Abb. 54 oben) stellen die Zwischendecken mit fast einem Drittel, vor der Tragstruktur mit einem Fünftel des Treibhauspotenzials des Gebäudes, die mit Abstand wichtigsten Bauteile dar. Zu den Beiträgen der verschiedenen Bauteile der in dieser Studie zugrundegelegten MFH, siehe Abb. 7.

12.3.2.1 Vorfertigung

Mao et al. zeigten, dass die Verwendung von halb-vorgefertigten Bauteilen eine THG-Ersparnis von 3.2% brachte. Eine andere Studie stellte fest, dass eine konsequente Vorfertigung in Kombination mit Leichtbau (siehe unten) mit einer Reduktion von 34% bedeutende Vorteile gegenüber konventionellen Baumethoden aufweist (Monahan and Powell, 2011).

12.3.2.2 Leichtbaukonstruktion

Leichtbaukonstruktionen brauchen weniger Material und ermöglichen kleinere Unterkonstruktionen oder Fundamente, da weniger Masse verbaut wird. Beispielsweise können anstelle von massiven Betonteilen hohle Betonsteine als Tragstruktur verwendet werden, was laut Malmqvist et al. (2018) fallweise zu einer Einsparung von 12% bzw. 20% bei der Tragstruktur führt. Huberman und Pearlmutter (2008) gehen beim Wechsel von einer Stahlbetonwand zu einer Konstruktion mit Hohlsteinen von einer Einsparung von 26% aus. Ähnliches haben López-Mesa (2009) festgestellt.

Ein Fallbeispiel aus Norwegen demonstriert, wie eine Leichtbaukonstruktion zu kleineren Fundamenten (in Beton) und daher zu weniger THG-Emissionen führt. Ein Streifen- gegenüber einem Plattenfundament sowie das Weglassen von Pfeilerfundamenten führte zu einer Einsparung von 50% der THG. Ein anderes Beispiel führte vor Augen, wie eine alternative Holz-Leichtbaukonstruktion zusammen mit einer dünneren

Fundamentplatte gegenüber einer vorher geplanten Beton- und Stahlkonstruktion eine Ersparnis von 50% THG brachte. (Malmqvist et al., 2018)

Alternative Fundamente ohne jeglichen Beton können aus Ton- und Geotextillagen (Lasagna-Fundament) sowie Holzrahmenfundamenten bestehen.⁷⁷ Ob MFH mit solchen Fundamenten ausgeführt werden können, ist nicht klar.

12.3.2.3 Holz und andere natürliche Materialien

Die Substitution von mineralischen Baustoffen mit Holz wurde sehr häufig untersucht. Im Fokus standen nicht-tragende und tragende Konstruktionen sowie Fundamente. Wenn Holz- mit Betonstrukturen verglichen wurden, lagen die THG-Einsparungen zwischen 27% und über 65%. Moderate Einsparungen resultierten, wenn nur die Fassade betrachtet wurde (15%–34%). Ähnliche Werte wurden auch von Salazar und Meil (2009) sowie Upton et al. (2008) festgestellt (Malmqvist et al., 2018).

Es gilt jedoch zu beachten, dass diese Arbeiten nur die Ökobilanzen „Wiege bis Werkstor“ (Module A1–A3) bzw. „Wiege bis Übergabe“ (Module A1–A5) betrachteten. Potenzielle Differenzen betreffend den Ersatz (Modul B4), die Sanierung (Modul B5), EoL (Lebensende, Module C1–C4 sowie Modul D) usw. wurden nicht untersucht (Malmqvist et al., 2018).

Weiter gibt es Studien zu anderen natürlichen Materialien, wie z. B. Stampflehm und Strohballen als tragende und nicht-tragende Bauteile. Bei tragenden vorgefertigten Stampflehmwänden gehen Ruzicka et al. (2015) von einer um 20% besseren THG-Bilanz gegenüber Beton oder Mauerwerk aus (Wiege bis Werkstor). Bei einer Strohballenkonstruktion ist von einem um knapp 20% geringeren CO₂-Fussabdruck gegenüber einem verputzten Mauerwerk auszugehen. Wird die Sequestrierung von biogenem Kohlenstoff vollständig berücksichtigt, liegt der Fussabdruck um ein Dreifaches tiefer (Sodagar et al., 2011, p. 63).

12.3.2.4 Kohlenstoffsequestrierung

Bauten können auch als Zwischenspeicher für Kohlenstoff genutzt werden. In Pomponi und Moncaster (2016) wird mit Sodagar et al. (2011) argumentiert, dass im genannten Fallbeispiel (Strohballenhaus) das Kohlenstoffspeicher-Potenzial (*Carbon Lock-up Potential*) der Holz- und Strohballenkonstruktion die THG-Emissionen über eine 60-jährige Nutzungsdauer um 61% reduzieren kann. Weiter wird auf Gustavsson et al. (Gustavsson, Pingoud und Sathre 2006a; Gustavsson und Sathre 2006b) und Dhakal (2010) verwiesen, bei denen der Aspekt der Kohlenstoffzwischenspeicherung ebenfalls thematisiert wird.

Pittau et al. (2018) konnten nachweisen, dass es mit dem Verbauen von schnellwachsenden Pflanzen (z. B. Erntereststroh oder Hanf) möglich ist, negative Emissionen zu schaffen. Diese Erkenntnis basiert auf dem Ansatz der dynamischen Ökobilanzierung (*DLCA*) und berücksichtigt vorwiegend schnell wachsende Materialien (vgl. Levasseur et al., 2013).

Im Kapitel „Bilanzierung des biogenen CO₂“ (siehe Kap. 5.3.4) wird auf die Kohlenstoffspeicherung in biogenen Baustoffen weiter eingegangen.

12.3.2.5 Effizientere Konstruktionsprozesse (Vorfertigung)

Einige Studien gehen davon aus, dass effizientere Bauprozesse (Module A1–A5) eine Chance für THG-ärmere Bauweisen sein könnten (Upton u. a. 2008; Monahan und Powell 2011; Sandanayake, Zhang und Setunge 2016). Konkret ist damit die effizientere Produktion von Baumaterialien, eine innovativere und abfallärmere

⁷⁷ Siehe: <http://www.sustainablebuilding.info/districtoftomorrow/> [28.04.2020].

Bauphase oder die Kombination von beidem gemeint. Diese Strategie berücksichtigt auch die Reduktion von Verzögerungen, den Einfluss der Baustellenbedingungen und den Einsatz effizienterer Baumaschinen (Pomponi and Moncaster, 2016).

12.3.2.6 Bauphase A4–A5 verbessern

Die Bauphase bzw. der Transport (A4) und die Errichtung/Einbau (A5) wird im Merkblatt SIA 2032 teilweise vernachlässigt (vgl. Kap. 12.3.3 und Abb. 8) und es wird angenommen, dass diese Phasen im Vergleich zur Produktphase (A1–A3) relativ wenig zu den THG beitragen. Fallstudien im Rahmen der Annex-57-Studie der IEA⁷⁸ kamen zum Ergebnis, dass auf die Bauphase normalerweise 14% der Errichtungsemissionen (Module A4 und A5) entfallen. Die Fallstudien, welche die Errichtungsphase berücksichtigten, stellten fest, dass 6–38% der gesamten GE darauf entfielen. Die wichtigsten Aspekte betreffen den Baustrom, anfallenden Abfall und Transporte (Distanzen) zur Baustelle. Eine britische Studie, beziehungsweise auf mehrere Wohnüberbauungen stellte fest, dass die Unterschiede bei den Baustellenemissionen vom Energietyp abhängen und ob während der Heizperiode gebaut wurde oder nicht (Malmqvist et al., 2018).

Vor allem Langstreckentransporte von vorgefertigten (schweren) Bauteilen können bei den Emissionen ins Gewicht fallen (Kellenberger and Althaus, 2009; Quale et al., 2012; Ruzicka et al., 2015). Trotzdem sind z. B. vorgefertigte Holzbauteile (mit relativ geringem Gewicht) gegenüber konventioneller Bauweise immer noch im Vorteil (Malmqvist et al., 2018).

Eine weitere britische Studie zeigt, dass Bauabfälle bis zu 14% zu den gesamten THG beitragen können, wobei davon auszugehen ist, dass dies ein konservativer Wert ist, denn die Fallstudie beleuchtet ein Gebäude mit vorgefertigten Bauteilen, bei welchem relativ wenig Abfälle auf der Baustelle entstehen, da diese *just in time* geliefert und gleich zusammengebaut werden.⁷⁹ Quale et al. (2012) haben bei ihren Untersuchungen festgestellt, dass eine modulare Bauweise (mit vorgefertigten Bauteilen) zu geringen Einsparungen beim Energieverbrauch über alle Phasen führen kann. Diese seien jedoch davon abhängig, wie viel und welche Energien (inkl. Heizenergie) in den Fabriken verbraucht werden.

12.3.3 Baustoffe und -produkte

Bei Baustoffen und Bauprodukten richtet sich der Fokus auf die Entwicklung von neuen umwelt- bzw. klimafreundlichen Baustoffen, welche nach den Regeln der Ökobilanzierung bewertet werden, um sie vergleichbar zu machen. Einige Baustoffe sind als klimapositive Alternative neu auf dem Markt, wie z. B. Hanfsteine, Dämmungen aus Naturfasern, Terrabloc usw. Viele andere wiederum befinden sich noch im Entwicklungsstadium und vor der Markteinführung, wie z. B. Cleancrete, Made of Air usw.

Die Arbeit von Alig et al. (2020) beleuchtet für den Zeithorizont nach 2030 die zu erwartende Entwicklung der Dekarbonisierung von wichtigen Massenbaustoffen wie z. B. Stahl, Holz, Beton, Glas usw. Im Durchschnitt liegen die Einsparpotenziale über alle beurteilten Baustoffe bei rund 65%. Aufgrund des abweichenden Zeithorizontes sind diese Daten in unserem Bericht nicht berücksichtigt worden.

12.3.3.1 Reduktion, Wiederverwendung und Rückgewinnung von THG-intensiven Baustoffen

Aufgrund einer sparsameren Dimensionierung von Pfählen und Fundamenten sowie von Innen- und Aussenwänden lassen sich gemäss Basbagill et al. (2013) Reduktionen der THG-Emissionen von 63% bis 75%

⁷⁸ Weitere Informationen: <http://www.annex57.org/> [23.04.2020].

⁷⁹ Anmerkung der AutorInnen: Die Bauabfälle können dann allenfalls nicht auf der Baustelle, sondern im Werk (Phase A3) anfallen.

erreichen. Bereits verbreitet ist die Verwendung von Zementen mit Anteilen aus Flugasche und Hochofenschlacke. Dies kann zu einer THG-Reduktion von 7–20% führen (García-Segura, Yepes und Alcalá 2014). Ähnliches wird erreicht, wenn Zement selbst sparsamer eingesetzt wird (Atmaca and Atmaca, 2015; Miller and Doh, 2015). Bei der Verwendung von Tragwerksstahl empfehlen Moynihan and Allwood (2014), dass die Konstruktion und insbesondere Beton- und Stahltragwerke auf tiefe THG-Werte hin optimiert werden. In einer Umfrage befragten sie praktizierende TragwerksingenieurInnen, wie sie das Kriterium THG gewichten.

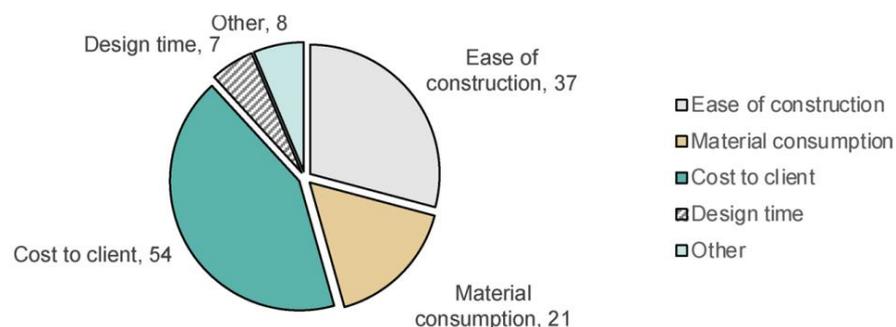


Abb. 55: Einfluss von verschiedenen Planungsaspekten auf die Planung einer Deckenkonstruktion (aus Orr et al., 2019, p. 132).⁸⁰

Wie Abb. 55 zeigt, spielt der Materialverbrauch verglichen mit den Kosten oder der Einfachheit der Konstruktion und Erstellung keine grosse Rolle. Weiter wurde festgestellt, dass die Planungskultur Kriterien wie die Gebrauchstauglichkeit (Vibrationen, Durchbiegung und Rissbildung) viel höher gewichtet als die einfache Erfüllung statischer Funktionen, also das sichere Tragen der Nutzlast. Bereits früher stellten Moynihan und Allwood (2014) fest, dass bei Stahltragwerken mehr als die Hälfte des Stahls weggelassen werden könnte, ohne die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu gefährden (Orr et al., 2019).

12.3.3.2 Gebrauchte und Recyclingmaterialien und -komponenten (zirkuläres Bauen)

Die Verwendung von gebrauchten und recycelten Materialien und Komponenten gewinnt im Zuge des „Zirkulären Bauens“ immer mehr an Bedeutung. Für Stahl oder Beton ist es bereits heute üblich, Anteile an Recyclingmaterial zu verwenden. Der positive Effekt des Einsatzes von Flugasche und Hochofenschlacke konnte bereits weiter oben gezeigt werden („Reduktion, Wiederverwendung und Rückgewinnung von THG-intensiven Baustoffen“, Kap. 12.3.3.1) und noch deutlicher in Huberman und Pearlmutter (2008). Es wurde wiederholt demonstriert, dass die Zementsubstitution ein grosses Reduktionspotenzial zeigt (Tyrer u. a. 2010; García-Segura, Yepes und Alcalá 2014).

Die Wiederverwendung von gebrauchten Backsteinen zeigt eine klare THG-Reduktion, weil statt einer Neuproduktion die Lebensdauer des Bauprodukts verlängert wird. Eine Fallstudie untersuchte in Dänemark ein sogenanntes „Upcycle“-Haus, bei welchem zum höchstmöglichen Grad gebrauchte und recycelte Materialien verwendet wurden. Auf diese Weise konnte, verglichen mit einem Referenzgebäude, eine THG-Reduktion von 70–80% nachgewiesen werden. In diesem Fall wurde eine ökonomische Allokationsmethode verwendet und so ausgehend vom Preis ein Teil der THG-Emissionen der Herstellung und der Entsorgung der zweiten Nutzung angerechnet (vgl. Glossar: Allokation). Abhängig von den benutzten Allokationsfaktoren lag die Reduktion leicht tiefer oder höher (Malmqvist et al., 2018).

Eine überschlagsmässige Berechnung eines Wohnhochhauses in Hongkong ergab eine mögliche Einsparung von 35% der THG bei der teilweisen Verwendung von Recyclingstahl und Hochofenzement (Cui et al., 2011).

⁸⁰ Die Frage lautete wie folgt: „You are asked to design the floor plate in a multi-storey building. Which one of the following has the biggest influence on your final design? [Ease of construction, Material consumption, Cost to client, Design time, Other]“.

12.3.3.3 Integration von Abfällen, Nebenprodukten und gebrauchten Produkten in Baumaterialien

Die Verwendung von Abfällen, Nebenprodukten und gebrauchten Materialien ist im Hinblick auf das neue Paradigma der Kreislaufwirtschaft sehr zu begrüßen (Lee et al., 2011; Napolano et al., 2015; Pomponi and Moncaster, 2016). Eine italienische Studie untersuchte die Wiederaufbereitung von PET-Abfällen zu Dämmstoffen und kam zum Schluss, dass sich damit 46% der THG einsparen liessen (Intini and Kühtz, 2011). Gewisse ForscherInnen weisen zusätzlich darauf hin, dass die dabei erforderlichen Lieferketten zu beachten sind (Tingley and Davison, 2011).

12.3.3.4 Lokale Materialien

Die Verwendung von lokalen Materialien, welche Transportemissionen vermeiden, nutzen der Einsparung von THG (Gustavsson, Joelsson und Sathre 2010; Asdrubali, D’Alessandro und Schiavoni 2015; Chou und Yeh 2015). Britische WissenschaftlerInnen ermittelten, dass abhängig vom Steintyp und dem Ursprungsland die Verwendung von lokal vorhandenen Steinen gegenüber der Einfuhr aus dem Ausland zu Einsparungen von 2–84% führen kann (Crishna, Banfill und Goodsir 2011).

12.3.3.5 Natürliche (Biomasse-)Materialien

„Natürliche“ Materialien weisen mit einer geringeren Verarbeitung ein Reduktionspotenzial auf, z. B. in der Form von holzbasierten *Curtain Walls*, welche gegenüber Aluminiumkonstruktionen um 96% besser betreffend THG abschneiden. Gegenüber einer gemauerten Verkleidung beträgt die THG-Einsparung rund 93% (Tywoniak et al., 2014). Der Einsatz von Holzfaser- anstelle von Steinwollendämmungen ist ebenfalls vorteilhaft (Birgisdóttir et al., 2016). Ersetzt man Zement- mit Lehmputzen, erreicht man THG-Einsparungen von rund 83% (Melià et al., 2014). Kommerzielle Beispiele sind im Kapitel „Praxisbezogene Reduktionsstrategien“ ersichtlich.

12.3.3.6 Neue, innovative Materialien verwenden

Als Beispiele für neue und innovative Materialien in der Literatur können z. B. Holz-/Beton-Hybridkonstruktionen, hochfester und dauerhafter Beton (*High Performance Concrete*) oder integrierte Photovoltaik-Bauteile bezeichnet werden (Malmqvist et al., 2018).

Hajek et al. (2014) verglichen zwei Hybridkonstruktionen aus Holz und Beton mit üblichen Beton- und Holzbalkendecken. Die Holzbalkendecke schnitt bei den THG wenig überraschend am besten ab. Weniger gut wurden aber die Steifigkeit, die Schall- und Brandeigenschaften für eine mehrgeschossige Anwendung beurteilt. Die Hybridkonstruktion wies ebenfalls geringere THG-Emissionen, aber gleichzeitig gleich hohe GE-Werte wie die normale Betondecke auf. Beim Einsatz eines sehr leistungsfähigen Zements verbesserten sich die THG- und GE-Werte deutlich⁸¹ (zitiert in Malmqvist et al., 2018).

Aufgrund von Materialeinsparungen konnte bei einem tschechischen Fallbeispiel festgestellt werden, dass Ultra-Hochleistungsbeton (*Ultra-high Performance Concrete*) in den Decken und Stützenkonstruktionen die THG-Emissionen im Vergleich zu normalen stahlarmierten Konstruktionen im Umfang von 20% senken kann (Malmqvist et al., 2018).

⁸¹ Siehe: https://starfos.tacr.cz/cs/project/GAP104%2F10%2F2153?query_code=whdaacihiaa [7.10.2020].

12.3.3.7 Entsorgungsphase (C1–C4, D) verbessern

Zu dieser Phase gemäss SN EN 15804 existieren keine Studien mit Reduktionsvorschlägen. Verbesserungen wurden im Bereich der Materialrückgewinnung identifiziert. Solche Verbesserungen fallen jedoch – sofern sie das Modul D betreffen – ausserhalb der Systemgrenze beim Abnehmer der Ware an und können daher nicht für das betreffende Gebäude im Rückbau angerechnet werden (Malmqvist et al., 2018). Die sog. *End-of-Life-Phase* (EoL, Lebensende, Phase C) ist von grosser Bedeutung. So ist es ein Unterschied, ob ein Bauteil oder ein Bauprodukt nach der (bis zu 60-jährigen) Nutzungsphase deponiert (a), verbrannt (b) oder recycelt (c) wird (Pittau et al., 2018).

Junnila (2004) untersuchte den Lebenszyklus von 15 Gebäuden mit 5 unterschiedlichen EoL-Szenarien. Dabei wurde festgestellt, dass beim Szenario mit kleinen Recyclingquoten keine THG-Einsparung, sondern aufgrund der Transporte gegenüber dem Szenario ohne Recycling sogar etwas höhere Emissionen resultierten. Mit dem Ansteigen der Recyclingquote nahmen auch die Emissionen signifikant ab, weil Emissionen durch Verbrennung und Deponie entfielen.

Weiter kann man davon ausgehen, dass das Reduktionspotenzial bei der Materialrückgewinnung bei Holz sehr gross ist. Bei Stahl z. B. ist es aufgrund der hohen Umweltauswirkungen der Aufbereitung eher beschränkt, aber immer noch besser als Deponieren (Malmqvist et al., 2018).

Sheppard et al. (n.d.) zeigen, dass in der Forschung mittlerweile auch das Recycling anspruchsvoller Materialien, wie z. B. PU-Schäume, möglich ist. Im genannten Fall handelt es sich um ein Downcycling eines PU-Schaumes zu einer PU-Folie. Dementsprechend ist mit zunehmenden Anteilen von Recyclingmaterial zu rechnen. Bei der praktischen Umsetzung gibt es jedoch noch viele Probleme. Bei Dämmungen ist z. B. die Sortenreinheit schwierig einzuhalten (Stichwort WDVS, Kleber und Kaschierungen).⁸² Alig et al. (2020) gehen davon aus, dass längerfristig bzw. ab 2030 Verbesserungen im Kunststoffbereich vor allem mithilfe von CCS-Verfahren erreicht werden.

12.3.4 Kontext

In der Literatur werden zur Senkung der THG-Emissionen der Erstellung auch Vorschläge zur Verbesserung der Rahmenbedingungen gemacht. Diese Vorschläge beinhalten vor allem Aspekte der politischen Vorgaben und Regulierungen, organisatorische Vorgaben von Branchenverbänden, die Gestaltung der Energienetze sowie die Lehre an Hochschulen (Francart et al., 2019; Matthias Sulzer and Kristina Orehounig, 2020; Pomponi and Moncaster, 2016; Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019).

Im Rahmen dieser Arbeit werden die bereits erwähnten (Kap. 3.3.2) und nachfolgend noch einmal kurz aufgezählten Themen eingeführt, aber nicht weiter kommentiert.

12.3.4.1 Politik und Regulierung (Regierung)

Wenig überraschend sind (umgesetzte und von den AutorInnen als notwendig betrachtete) Massnahmen des Gesetzgebers und der Behörden zur Durchsetzung und Revision von Regulierungen schon an verschiedenen Stellen angemerkt worden (Blengini und Di Carlo 2010; Dakwale, Ralegaonkar und Mandavgane 2011; Foraboschi, Mercanzin und Trabucco 2014). Häufig dienen diese Vorschläge der Ergänzung anderer Vermeidungsstrategien, wie z. B. einer breiteren Verwendung von THG-armen Baustoffen (Giesekam et al., 2014), wobei andere AutorInnen der Regulierung mehr Gewicht beimessen.

⁸² <http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/> [11.06.2020].

Eine schwedische Studie eruierte mit einer landesweiten Umfrage bei Gemeinden, welche Strategien zur Senkung der GTHG am ehesten geeignet sind (Francart et al., 2019). Ein typisches Vorgehen einer Gemeindebehörde wird anhand eines Flussdiagramms illustriert:

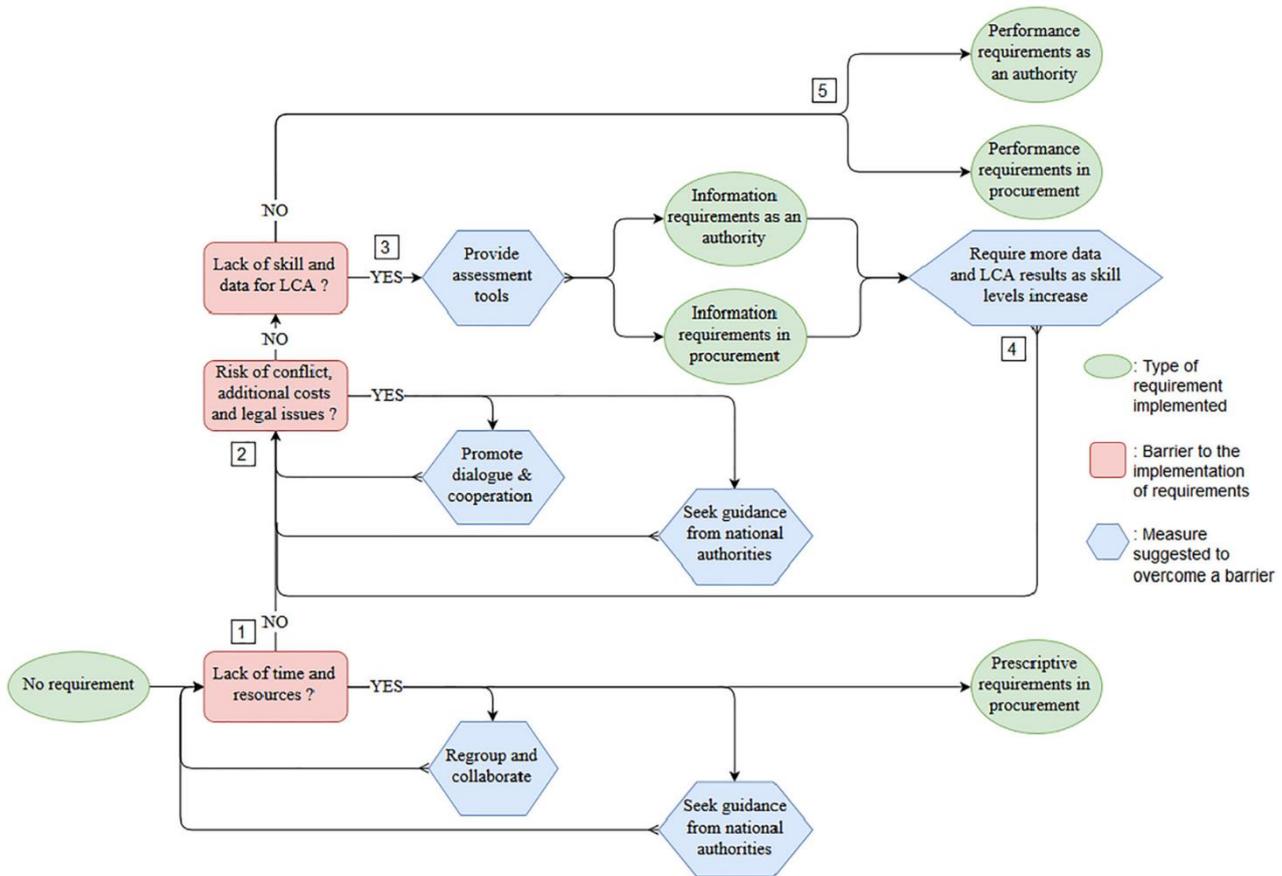


Abb. 56: Flussdiagramm einer Implementierungsstrategie für Umweltbelange im Baubereich für Städte und Gemeinden (Beschaffung). Die Zahlen zeigen den idealen Verlauf der Implementierung (aus Francart et al., 2019, fig. 7).

Francart et al. (2019) machen konkrete Vorschläge betreffend Beschaffung für eigene Bauten sowie Anforderungen als Baubehörde. Das Risiko von zusätzlichen Kosten beim Bauen soll transparent abgeschätzt und ggf. mit Anreizen vermindert werden. Bei der Beschaffung sollen Umweltkriterien bewertet werden. Von grosser Wichtigkeit sind verlässliche Instrumente und Methoden, welche vergleichbare Ergebnisse liefern. Mit wachsendem Wissen in der Baubranche sollen die Anforderungen verschärft werden. So kann beispielsweise nach einer gewissen Zeit von der Betrachtung der THG der Erstellungsphase auf eine Lebenszyklusbetrachtung gewechselt werden. Ab einem gewissen Punkt können die Behörden von der Einforderung von Informationen zur Formulierung von Bedingungen wechseln. Das Handeln einer Behörde hat grossen Einfluss auf die Baubranche. Am einfachsten können sich Gemeindebehörden bei Beschaffungen mit neuen Anforderungen vertraut machen, ohne gleich das Risiko einer flächendeckenden Einführung von neuen Anforderungen einzugehen (vgl. dazu Kuittinen und Le Roux 2018).

Die Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich macht für die D-A-CH-Region⁸³ etwas genauere Vorschläge betreffend Regulierung (Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019, siehe Anhang). Konkret fordern die WissenschaftlerInnen „eine Transformation der gebauten Umwelt Richtung Treibhausgasneutralität (Netto-null THG-Emissionen) [...] mit dem Ziel einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1.5°C“. Dazu „müssen verbindliche Anforderungen bis 2025 eingeführt werden“. Neben der Betriebsenergie müssen

⁸³ Deutschland, Österreich, Schweiz.

deshalb „sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die THG-Emissionen [...] über den gesamten Lebenszyklus begrenzt werden“. Die THG müssen auf Basis der „Erstellung, Errichtung, Nutzung, Instandhaltung, des Ersatzes sowie der Modernisierung und des Rückbaus, der Entsorgung und des Recyclings der Gebäude“ beurteilt werden. Allfällige Förderprogramme sollen sich zudem am Umfang vermiedener THG-Emissionen orientieren.

12.3.4.2 Politik und Regulierung (Branchenverbände)

Einige AutorInnen sind der Meinung, dass Regulierungen nicht unbedingt von Regierungen ausgehen sollten, sondern auch von anderen Akteuren der Bauwirtschaft, insbesondere Branchen- und Berufsverbänden (Acquaye et al., 2011; Akbarnezhad et al., 2014). Alshamrani et al. (2014) entwickelten ein integriertes Ökobilanzmodell für LEED⁸⁴ und glauben, dass es positive Folgen haben würde, wenn die Baubranche Vorgehensweisen zur Einsparung von THG freiwillig aufnehmen und anwenden würde.

12.3.4.3 Abbruch und Neubau des Gebäudeparks

Dubois and Allacker (2015) argumentieren, dass dem Klima viel eher gedient wäre, wenn anstelle der ineffizienten bestehenden Gebäude neue energiesparende erstellt würden. Die GTHG seien vernachlässigbar im Vergleich zu den eingesparten Emissionen aus dem Betrieb. Mit den Argumenten für oder gegen den vermehrten Ersatz von Bestandesgebäuden hat sich auch Boardman (2007) befasst.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der vorherigen Sichtweise keine Bedeutung beigemessen, weil erstens in Bestandesgebäuden jederzeit auf erneuerbare Energien umgestellt werden kann und zweitens mit dieser Umstellung oder einer energetischen Sanierung die möglichst lange Nutzung der THG-Emissionen bestehender Bauten ermöglicht wird.

12.3.4.4 Kompensation, Emissionshandel und THG-Steuer

Einige WissenschaftlerInnen sehen die Lösung des GTHG-Problems in Kompensationsprojekten und Emissionshandel und etwas weniger bei CO₂-Steuern. Dalene (2012) berichtet von einem Projekt, bei dem alle „THG-Emissionen mit Kompensationsprojekten und gekauften Emissionszertifikaten“ kompensiert wurden. In einem grösseren Massstab entwickelten Kennedy und Sgouridis (2011) eine Richtlinie zur Kategorisierung und Auswahl von Emissionsstrategien für Städte, bei der sie die oben erwähnten Instrumente gezielt einsetzen wollen (Pomponi and Moncaster, 2016).

12.3.4.5 Dekarbonisierung der Energienetze und der Energieversorgung in der Produktion

Ähnlich wie gewisse AutorInnen einen Weg zum klimaneutralen Betrieb in einem dekarbonisierten Energiemix sehen (Rovers, 2014), argumentieren andere im Hinblick auf tiefere GTHG für einen solchen (Jiang und Keith Tovey 2009; Chang, Ries und Wang 2011; Heinonen, Säynäjoki und Junnila 2011). Heinonen et al. (2011) zeigen, dass die THG der Bauphase (A4–A5) mit einem „grüneren“ Energiemix um 6% gesenkt werden könnten. In den Analysen dieser Studie ist die Optimierung der aktuellen Produktionsbedingungen mit einer Dekarbonisierung der Energieversorgung zur Produktion von Baumaterialien nicht eingeschlossen. Aufgrund der Investitionszyklen ist dies zeitnah nicht realisierbar (vgl. Alig et al., 2020).

⁸⁴ LEED steht für «Leadership in Energy and Environmental Design», einem Nachhaltigkeitslabel aus den USA.

12.3.4.6 Akteurbedingter Wandel

Unter dieser Überschrift werden alle „sozialen“ Aspekte zusammengefasst, welche mit tieferen GTHG-Emissionen in Verbindung gebracht werden können, wie z. B. Nachhaltigkeitslabels (Monahan and Powell, 2011) oder mit menschlichen Fähigkeiten, wie Ressourcenplanung, Managementfähigkeiten und Professionalität (Sandanayake, Zhang und Setunge 2016). Gleichzeitig wurden soziale Aspekte identifiziert, welche Hürden zum THG-armen Bauen darstellen, wie z. B. die Schwerfälligkeit gegenüber umweltfreundlichen Regulierungen in China (Li and Colombier, 2009). Siehe dazu das nachfolgende Kapitel 1.3.5 zu den Erfahrungen aus der Baupraxis.

12.3.5 Erkenntnisse aus der Baupraxis

In Grossbritannien wurde von WissenschaftlerInnen mehrmals untersucht, wie in der Baupraxis mit den Umweltthemen und insbesondere mit der Thematik der THG-Emissionen umgegangen wird (Pomponi, Moncaster und De Wolf 2018; Orr u. a. 2019; Giesekam, Barrett und Taylor 2016; Giesekam u. a. 2014; De Wolf, Pomponi und Moncaster 2017). Erkenntnisse daraus werden nachfolgend erläutert.

12.3.5.1 Die Sicht der Bauakteure/-akteurinnen

Ausgehend von der Erkenntnis, dass die GTHG im Baubereich ein Nischendasein fristen, führten Giesekam et al. (2016) in Grossbritannien eine Umfrage mit Beratern und ExpertInnen für nachhaltiges Bauen sowie ArchitektInnen durch. Die gestellten Fragen betrafen alle den Einsatz von „alternativen“ Materialien, wie z. B. Recyclingbeton und -stahl, Brettstapel, Stampflehm usw., die mit einem geringeren THG-Gehalt verbunden sind. Einer der Hauptgründe, welcher gegen den Einsatz von alternativen Materialien sprach, war die „Wahrnehmung“ („Perception“), dass sie hohe Kosten verursachen. Dieser Erkenntnis steht entgegen, dass gleichzeitig die hohen Kosten als unerheblichen Grund beim Ausschluss von solchen Materialien sahen (vgl. Abb. 58). Weitere Gründe waren institutionelle und etablierte bauliche Praxismethoden, ungenügende (technische) Informationen zur Qualität, Konstruktion und Gestaltung, fehlende Fachkenntnisse (Konstruktion/Gestaltung), konservative Natur der Kunden usw.

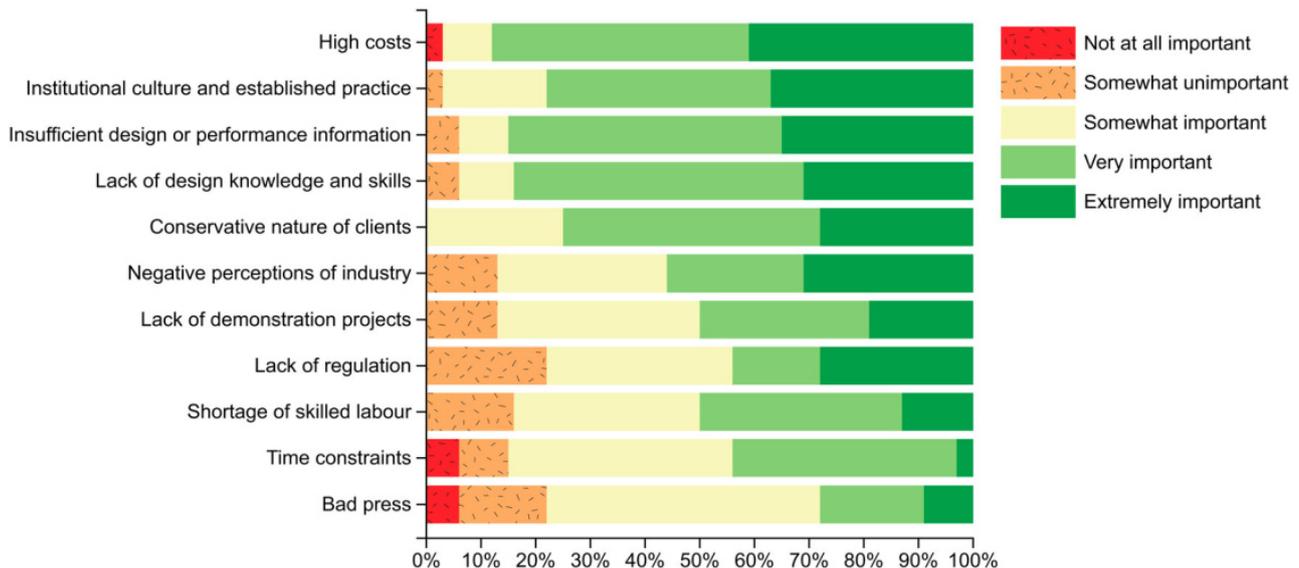


Abb. 57: Umfrageergebnisse zur Frage nach „allgemeinen Hürden, alternative Materialien zu nutzen“ (aus Giesekam, Barrett und Taylor 2016, 433).

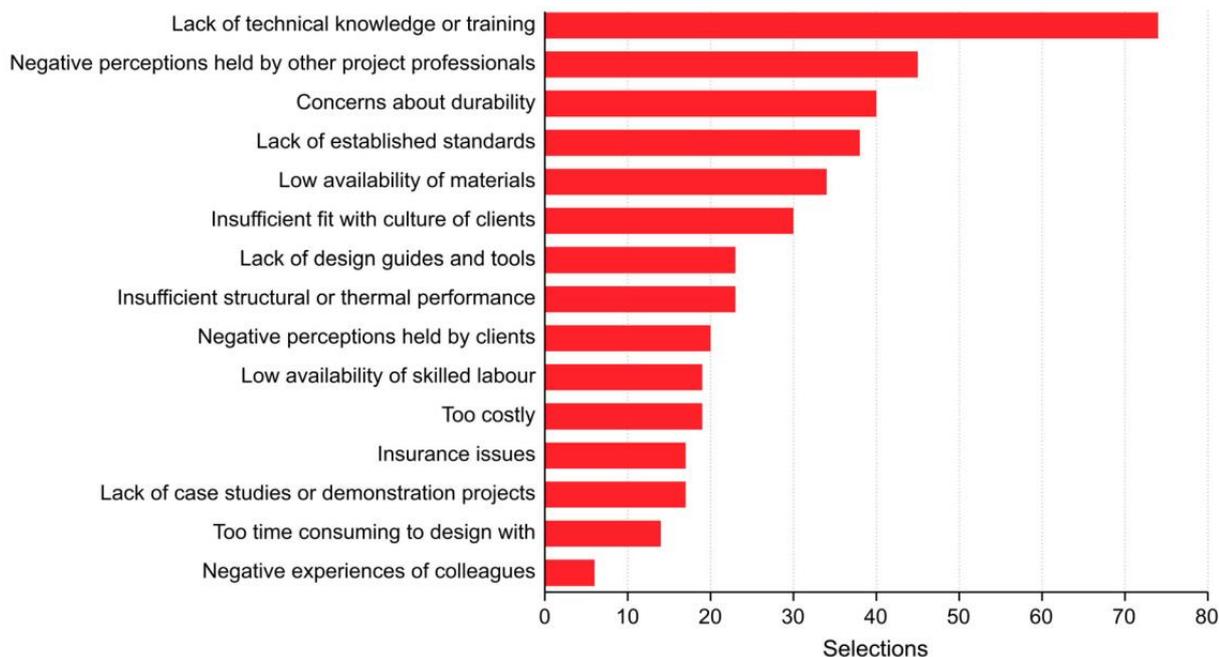


Abb. 58: Umfrageergebnisse zur Frage, wieso bestimmte Materialien nicht genutzt wurden (aus Giesekam, Barrett und Taylor 2016, 432).

Typischerweise profitieren erfolgreiche Projekte von einer hochmotivierten Bauherrschaft, welche klare und anspruchsvolle Anforderungen in den Pflichtenheften und Ausschreibungsunterlagen platziert und Anreize schafft. Berufsverbände sollten den Wissenstransfer erleichtern und eine eigentliche „THG-Gemeinschaft“ fördern. Regierungen sollten radikalere Regulierungen auf den Weg bringen, so z. B. die Integration der THG-Emissionen in die obligatorische Berichterstattung von betroffenen Firmen, welche in Branchenvereinbarungen eingebunden sind. Regionalregierungen sollten in ihren Planungsprozessen obligatorische Verpflichtungen vorsehen und allenfalls finanzielle (oder andere) Anreize schaffen (Giesekam, Barrett und Taylor 2016).

Gefragt nach zukünftigen Treibern der Nutzung alternativer Materialien, gaben die meisten eine Regulierung der THG an (vgl. Abb. 59 unten).

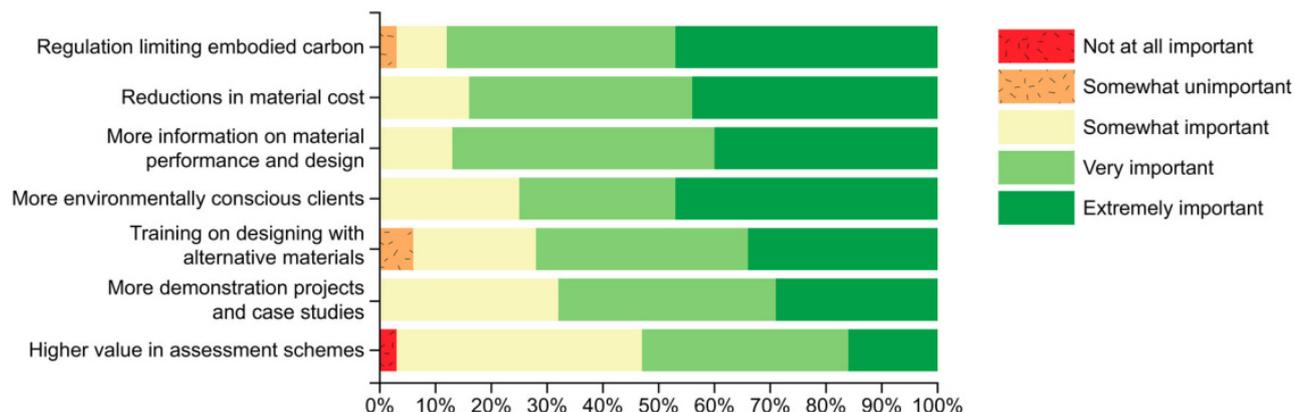


Abb. 59: Umfrageergebnisse zur Frage, was dazu beitragen könnte, dass in Zukunft mehr alternative Materialien zum Einsatz kommen (aus Giesekam, Barrett und Taylor 2016, 434).

Weiter fällt auf, dass Nachhaltigkeitslabels nur selten als Treiber für alternative Materialien genannt wurden. Dagegen sprechen die Resultate einer anderen Frage, nämlich warum in vergangenen Projekten bestimmte alternative Materialien verwendet wurden (vgl. Abb. 60, dritthäufigste Antwort). Die häufigsten Nennungen sind die moralische Verpflichtung, die Nachfrage der KundInnen, die Punktevergabe im Bewertungstool (Label), die Vorgabe von ArchitektInnen, IngenieurInnen oder UnternehmerInnen usw.

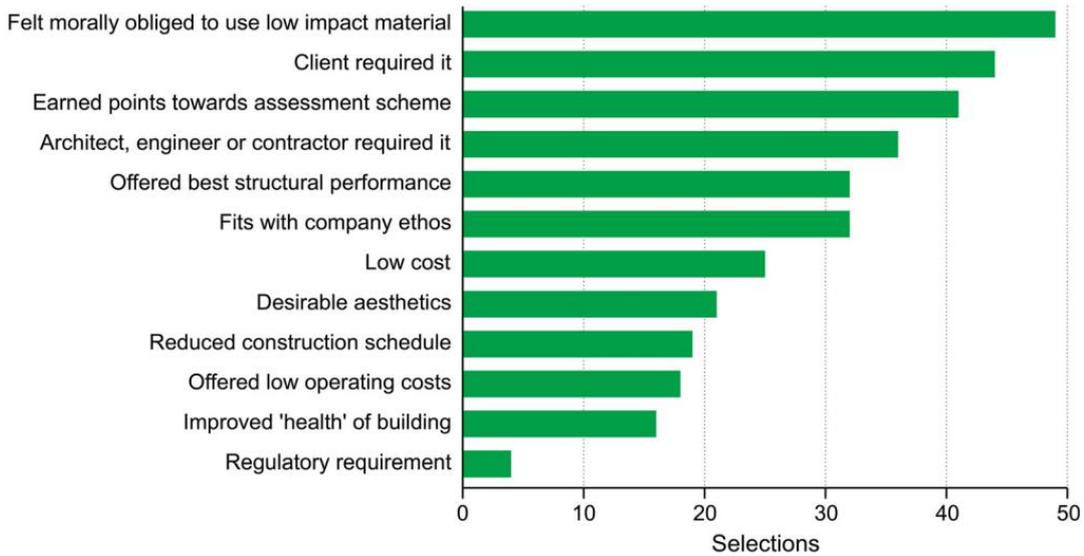


Abb. 60: Umfrageergebnisse zur Frage, weshalb bestimmte alternative Materialien bereits verwendet wurden (aus Giesekam, Barrett und Taylor 2016, 433).

12.3.5.2 Normierung und Standardisierung

De Wolf et al. (2017) untersuchten in Grossbritannien, wie Baufachleute Werkzeuge und Normen zur Erfassung von GTHG einsetzen. Die Studie basiert auf der Erkenntnis, dass die Vielzahl von Instrumenten und die ungenügend standardisierte Methodik zu erheblichen Streuungen bei den Ergebnissen führen. Ein Jahr später liessen die gleichen AutorInnen (Pomponi, Moncaster und De Wolf 2018) mittels 5 Fallstudien von 3 unterschiedlichen ExpertInnen aus der Baubranche die THG-Emissionen von gezielt ausgewählten Objekten ermitteln. Die Aufgabe für die ExpertInnen bestand darin, für 5 verschiedene Bauwerke die THG-Emissionen über den Lebenszyklus ohne Nutzung und Unterhalt zu ermitteln. Die Gebäudelebensdauer und der Zeitpunkt für die grosszyklische Erneuerung wurden vorgängig festgelegt.

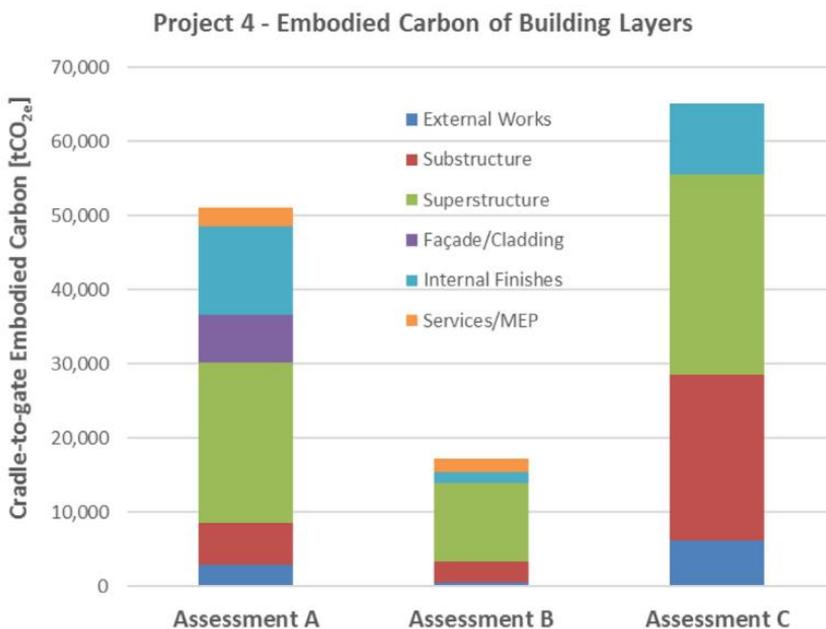


Abb. 61: THG in der Phase von der Wiege bis zum Werkstor (Phase A, Herstellung) eines Wohnkomplexes in London mit über 300 Wohnungen auf rund 30'000 m² Nettogröße (aus Pomponi, Moncaster und De Wolf 2018, 181).

Wie Abb. 61 zeigt, sind die Abweichungen zwischen den 3 Ergebnissen sehr gross. Dies, obwohl alle ExpertInnen über dieselben Grundlagen zu den bereits erstellten Gebäuden verfügten (Massenauszüge und technische Zeichnungen). De Wolf et al. (2017) rufen aus diesen Gründen alle beteiligten Akteure/Akteurinnen und insbesondere die Regierung auf, vereinheitlichte Grundlagen zu schaffen. Die grössten Schwächen der vorhandenen Werkzeuge sind die unpräzise verlaufende Systemgrenze, berücksichtigte Ökobilanzphasen und Zeiträume sowie berücksichtigte Bauteilschichten (De Wolf et al., 2017; Pomponi et al., 2018).

Auf europäischer Ebene gibt es zwischen verschiedenen Ländern grosse Unterschiede, wie methodisch bei der Ökobilanzierung von Gebäuden vorgegangen wird. Frischknecht et al. (2019) zeigen, dass die Unterschiede vor allem folgende Parameter betreffen: Datenqualität und -verfügbarkeit, Gebäudelebensdauer, Nutzungsszenarien, Referenzszenarien, Zielwerte usw.

12.4 Praxisbezogene Reduktionsstrategien und -massnahmen

12.4.1 Baukonzepte und Planung

12.4.1.1 Vollholzkonstruktion

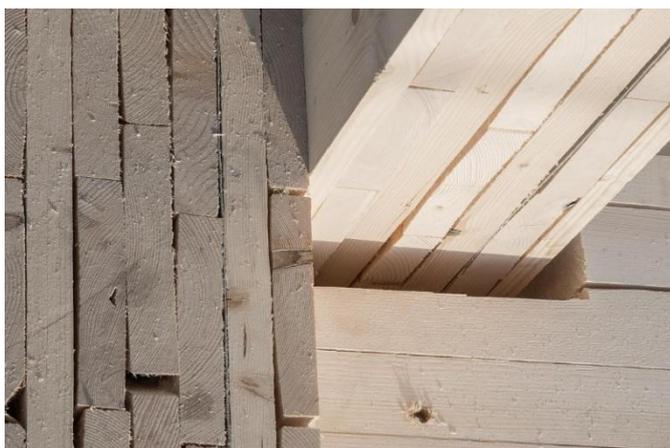


Abb. 62: Beispielbild. © Nägeli AG

Vollholzkonstruktionen sind besonders stark dimensionierte – wenn nicht sogar überdimensionierte – Massivholz- bzw. Nurholzbauteile⁸⁵. Solche Bauteile übernehmen nicht nur statische, sondern aufgrund der Bauteildicke auch wärmedämmende Aufgaben. Selbstredend kann mit solchen Konstruktionen die Menge an biogen zwischengespeichertem Kohlenstoff maximiert werden. Die Konstruktionen werden derzeit von verschiedenen Anbietern im In- und Ausland und derzeit vor allem im Wohnungsbau angewendet.

⁸⁵ Holzkonstruktionen, die aufgrund von Holzverbindungsmiteln keine fremden Materialien aufweisen.

12.4.1.2 Wiederverwendung von bestehenden Tragwerken



Abb. 63: In ein Wohngebäude umgenutztes Industriegebäude (Musikerwohnhaus Basel von Buol & Zünd Architekten). © Espazium AG, Foto: Michael Fritschi

Eine erprobte Reduktionsstrategie ist die Wiederverwendung bestehender Tragwerke. Dies gilt nicht nur für Erneuerungen bei gleichbleibender Nutzung, sondern auch für Umnutzungen.

12.4.1.3 Flexible und anpassbare Grundrisse



Abb. 64: Beispiel für flexible Grundrisse (Grundrisse: Roedig Schop Architekten). © DETAIL Business Information GmbH

Flexible und anpassbare Grundrisse sind eine Vorinvestition für eine besonders lange Lebens- und Nutzungsdauer eines Gebäudes und müssen von Beginn an in die Planung integriert werden. Insbesondere sollen Trennwände aus nicht tragenden Konstruktionen errichtet werden, damit später andere Nutzungsformen und Raumaufteilungen möglich sind. Weiter ist die Fassade so zu gliedern, dass später Zwischenwände erstellt werden können (Lochfassade, Fensterbänder mit Pfosten, die Wandanschlüsse ermöglichen).

12.4.1.4 Vorfertigung

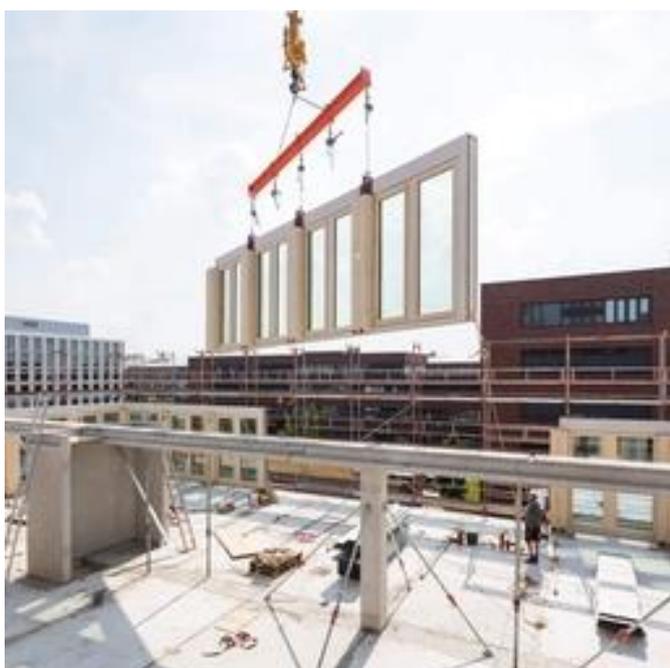


Abb. 65: Vorfertigung von Systembauteilen führt zu Zeit- und Effizienzgewinnen. © CREE GmbH

Vorfertigung kann insbesondere in Kombination mit Leichtbaukonstruktionen (vgl. 12.4.3.3) grosse THG-Einsparungen mit sich bringen. Zugleich ergeben sich Vorteile beim Konstruktionsprozess (vgl. 12.4.2.2) und bei der Bauphase (vgl. 12.4.1.5). Wenn der Konstruktionsprozess im Rahmen einer industriellen Vorfertigung ablaufen kann, verbessert sich die Effizienz, weil die Bearbeitung effizienter verläuft und weniger Abfälle entstehen. Für eine optimale Umsetzung und Planung muss die Vorfertigung allerdings möglichst früh im Planungsablauf berücksichtigt werden.

12.4.1.5 Bauphase verbessern



Abb. 66: Transporte und Baustrom gehören zu den grössten Emittenten der Bauphase. © Elektrizitäts-Genossenschaft Siggental. Foto: Peter Burkhardt

Die Bauphase (Module A4–A5 gemäss EN 15804) umfasst viele verschiedene Aspekte und steht selten im Fokus der beteiligten Akteure/Akteurinnen. Diese Phasen sind gegenüber der Herstellung energieintensiver Materialien (Module A1–A3) meistens weniger relevant, individuell vom Standort der Gebäude abhängig und werden in der Ökobilanzierung häufig nur grob abgeschätzt oder ganz vernachlässigt. Meistens stehen die Schnelligkeit und die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Massgebende Aspekte betreffend die THG-

Emissionen sind u. a. die Baustellenheizung (Vermeidung/Energiemix), der Baustrom (Energiemix), Transporte (Verminderung/Energiemix, Modal Split), anfallende Abfälle (Vermeiden, Sammeln, Entsorgung, Recycling) usw. Hierzu gibt es keine einfachen Lösungen, sondern es braucht eine vorausschauende stringente Planung und Organisation sowie das Mitwirken aller Beteiligten.

12.4.1.6 Flächensparende Grundrisse

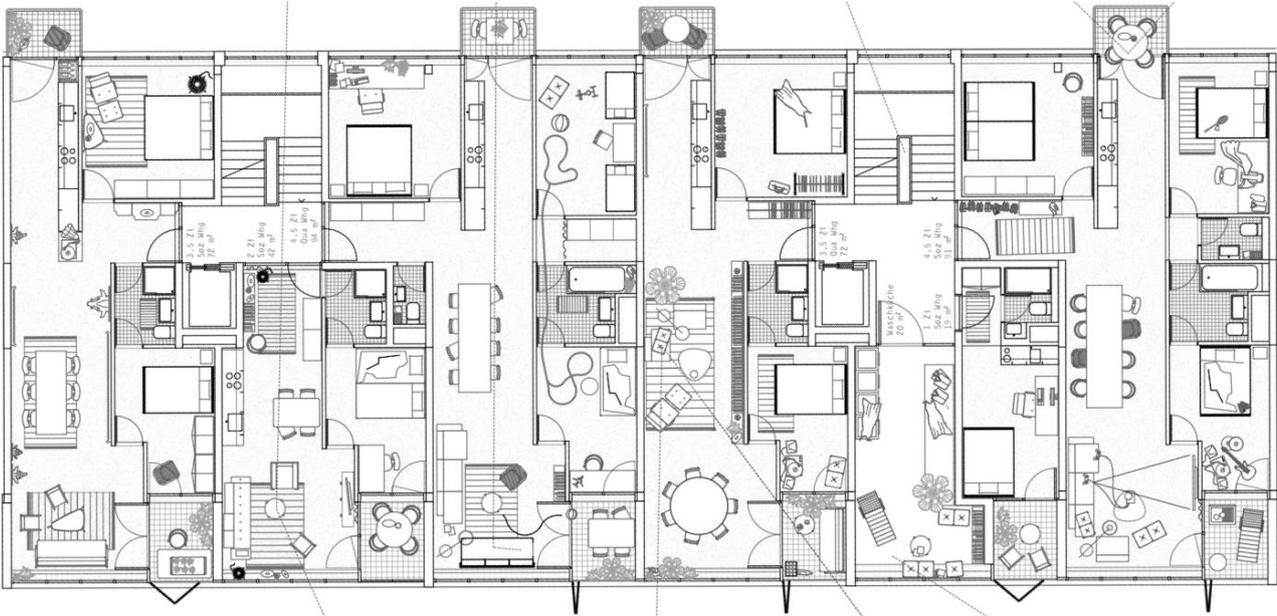


Abb. 67: Beispiel für flächensparende Wohnungsgrundrisse. © Immobilien Basel Stadt. Architektur: ARGE Trachsler & Hoffmann

Die geschickte Anordnung von Räumen und Erschliessungsflächen ev. mittels Überlagerung von Flächen ermöglicht flächensparende Grundrisse mit Potenzial für eine hohe Personenbelegung. In Wohn- oder Bürobauten führt dies zu kleineren Bauvolumen, was die THG reduziert. Ungünstig angeordnete, schlecht nutzbare Flächen können eine hohe Belegung verunmöglichen und führen ausserdem zur Verschwendung von Boden und im Weiteren zur Zersiedelung der Landschaft.

12.4.1.7 Möglichst geringe EBF pro Kopf

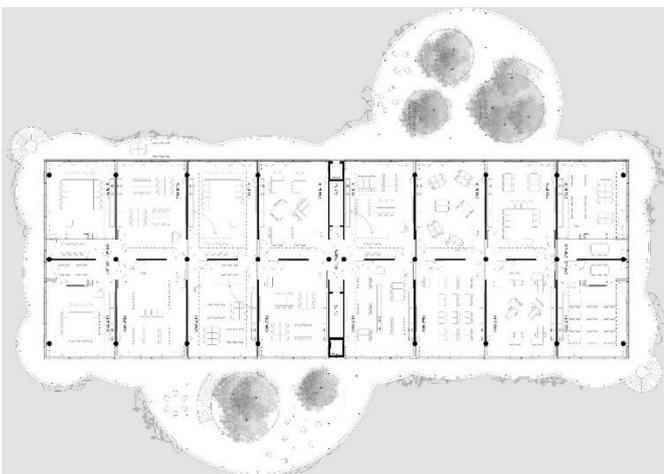


Abb. 68: Schulhausgrundriss ohne beheizte Verkehrsflächen. © SIA, Sektion Winterthur. Architektur: Schneider Studer Primas

Ein Gebäude mit geringer EBF pro Nutzenden zieht auch eine kleinere thermische Gebäudehülle mit entsprechenden Vorteilen nach sich.

12.4.1.8 Kompakte Gebäudeform

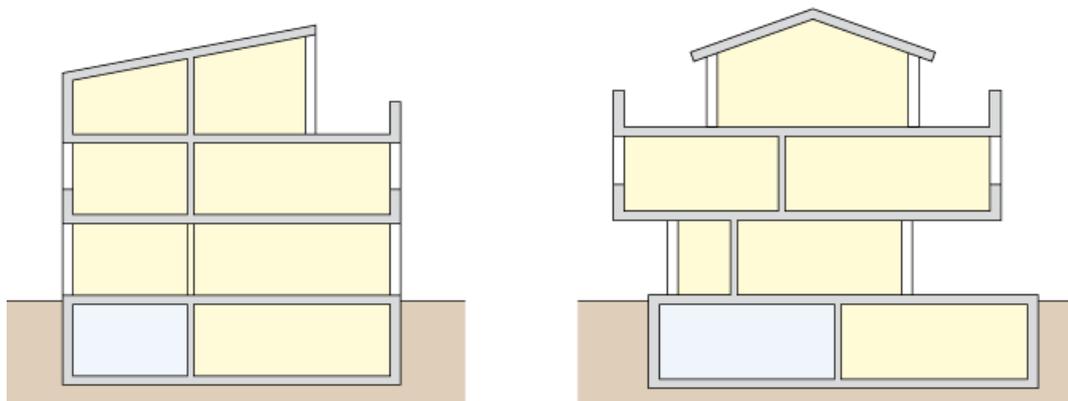


Abb. 69: Beispielhafte Gebäudeschnitte: Eine kompakte thermische Gebäudehülle (links) verringert den Materialaufwand, während eine Gebäudehülle mit Vor- und Rücksprüngen (nicht kompakt, rechts) zu einem erhöhten Materialaufwand führt. © Trägerschaft Energie Schweiz

Eine kompakte Gebäudeform führt zu einer kleineren thermischen Gebäudehülle und folglich zu einer Verringerung des Materialaufwands (Kompaktheitszahl, SIA 380:2015) und der GTHG. Besonders aufwändig in der Erstellung sind erdüberdeckte auskragende Untergeschosse (z. B. von Tiefgaragen). Typischerweise führt eine kompakte Gebäudeform auch zu geringeren Wärmeverlusten, zu einem kleineren Energiebedarf und weniger Unterhalt über die ganze Betriebsdauer des Gebäudes. Unabhängig von den Zonenvorschriften ist jeweils eine optimale, d. h. möglichst geringe Gebäudehüllzahl anzustreben (A_{th}/A_E).

12.4.1.9 Holzkonstruktion



Abb. 70: Dachkonstruktion Torhaus Keukenhof, Holland © Mecanoo Architecten

Der Ersatz von mineralischen Tragwerken durch Holztragwerke führt in der Regel zu tieferen GTHG-Emissionen.

12.4.1.10 Holzkeller



Abb. 71: Kellergeschoss in Bau in Thun. © Foto: timbatec.com

Die Speichermasse von biogenem Kohlenstoff kann mit der Erstellung eines Kellers in Holz deutlich erhöht werden. Etwas weniger deutlich ist die Einsparung an THG. Abhängig von den verwendeten Materialien der Dämmung, Abdichtungen und Sperrschichten, der konkreten Holzprodukte, des Bodenaufbaus und der Bodenbeläge usw. liegen die THG leicht über oder knapp unter einer vergleichbaren Konstruktion in Beton. Die Abb. zeigt den ersten in der Schweiz erstellten Holzkeller in Thun. Um das Holz vor Feuchtigkeit zu schützen, wird das gesamte Untergeschoss mit einer Feuchtigkeitssperre abgedichtet.⁸⁶

12.4.1.11 Gebäudetechnik reduzieren



Abb. 72: Bürohaus 2226 in Lustenau AT. © Foto: baumschlager-eberle.com

Das Konzept des „Hauses ohne Heizung“ wurde ursprünglich für Verwaltungsgebäude entwickelt. Der erste von Baumschlager Eberle Architekten geplante Prototyp steht in Lustenau (AT) und ist ein reines Bürogebäude. Herausragende konstruktive Merkmale sind die dicke Aussenwand (76 cm verputzter Leichtbackstein ohne aufgesetzte Wärmedämmung mit einem U-Wert < 0.1 W/m²K), die gleichmässig verteilten Festverglasungen ohne aktive Verschattung und eine Grundrisstypologie mit grossen Räumen in den Gebäudeecken. Die Glasflächen wurden optimal berechnet und die bedarfsgerechte (CO₂-gesteuerte) automatische Lüftung geschieht über mechanische Lüftungsflügel. Das Gebäude steht praktisch frei und unverschattet in der

⁸⁶ Weitere Informationen finden Sie in Dach und Holzbau 10-11.2017: https://www.ccm-europe.com/wp-content/uploads/2017/11/dach_holzbau_2017_10_11_EDM_Dachabdichtungen.pdf [8.12.2020].

Landschaft. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die interne Wärmeabgabe durch Personen, Geräte und Beleuchtung.

Ausgehend von unserem Referenzgebäude (vgl. Kapitel 5), sind die eingesparten THG-Emissionen der fehlenden Heizungsinstallationen jedoch geringer als der zusätzliche Aufwand durch die dickere Aussenwand, sodass keine THG-Reduktion resultiert. Geht man von aufwändigeren Heizungsinstallationen mit Erdsonden/Grundwasserbrunnen oder Lagerräumen für Holzschnitzel aus, ergibt sich eine geringe THG-Einsparung in der Erstellungsphase. Auch dann bezieht sich die THG-Reduktion jedoch hauptsächlich auf die Betriebs- und nicht die Erstellungsphase.

12.4.2 Bauteile und Konstruktionsweise

12.4.2.1 Dauerhafte Gebäude



Abb. 73: Kapuzinerhaus in Ernen VS mit Baujahr 1511. © fotogalerien.ch

In der Schweiz sind (Holz-)Häuser mit einem Alter von 500 Jahren keine Seltenheit. Das als ältestes Haus der Schweiz bezeichnete Exemplar hat heute ein Alter von 733 Jahren (Baudatum 1287)⁸⁷. Es ist Teil einer Gruppe von 12 ähnlich alten Häusern und steht im Kanton Schwyz. Einige der alten Häuser wurden abgebaut und an einem anderen Ort wieder aufgebaut, andere wurden vor Ort renoviert. Einige solche Häuser werden heute als Ausstellungsort und für die Bildung genutzt (Freilichtmuseum Ballenberg), andere sind noch immer dauerhaft bewohnt oder werden für Ferien im Denkmal genutzt, wie das Holzblockhaus aus dem Jahr 1341⁸⁸ in Morschach.

Gemäss dem SIA-Merkblatt 2032 wird Gebäuden eine Lebensdauer von 60 Jahren zugewiesen und der Planungshorizont reicht bei Baurechten üblicherweise bis 100 Jahre. Dass die Lebensdauer verlängert werden kann, zeigen zahllose Beispiele. Je länger ein Gebäude genutzt werden kann, ohne im grossen Stil modernisiert zu werden, desto weniger zusätzliche THG fallen an. Die THG werden mehrheitlich bei der Herstellung der Baumaterialien ausgestossen. Dauerhaftigkeit kann teilweise geplant werden, doch es braucht auch etwas Glück bei den Rahmenbedingungen⁸⁹. Zudem sind Weitsicht und ein sorgfältiger Umgang notwendig, damit

⁸⁷ <https://denkmalpflege-schweiz.ch/2014/01/17/haus-bethlehem-in-schwyz-das-aelteste-holzhaus-in-europa/> [17.11.2020].

⁸⁸ <https://ferienimbaudenkmal.ch/baudenkmaeler/> [17.11.2020].

⁸⁹ Im Sinne von heute nicht beeinflussbaren Änderungen bei der Zonierung, dem Verhalten der Erben/KäuferInnen, den Umweltbedingungen usw.

ein Gebäude lange überlebt. Beispielsweise spielen der Standort (Stichwort: Orts- und Raumplanung), das Bevölkerungswachstum, der Wohlstand der BesitzerInnen, aktuelle Wertvorstellungen usw. eine Rolle. Ein dauerhaftes Gebäude soll einen geringen Wartungsaufwand verursachen, beispielsweise mit einer vor der Witterung geschützten Fassade und dem Einsatz dauerhaften Bauteile (z. B. Einsteinmauerwerk), welche nicht im Rahmen von grosszyklischen Sanierungen ersetzt werden müssen (Modul B4: Ersatz von Produktkomponenten).

12.4.2.2 Effizientere Konstruktionsprozesse

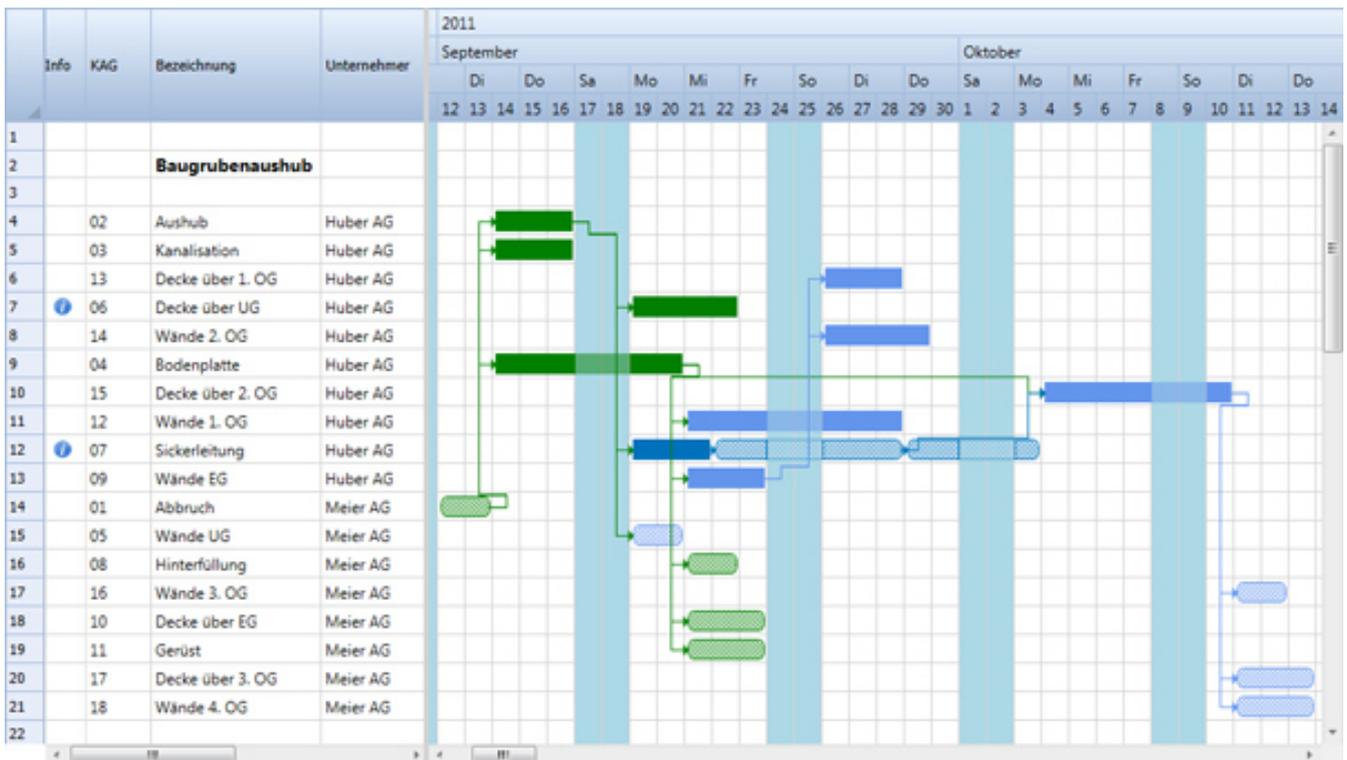


Abb. 74: Beispielbild eines Terminprogramms. © b-2.ch

Mit effizienten Konstruktionsprozessen sind u. a. zeit-, material- und energiesparende innovative Konstruktionsverfahren gemeint. So hat sich z. B. in den letzten Jahrzehnten die Schalungstechnik für Betondecken erheblich verbessert und den Bauprozess beschleunigt, zudem können die Schaltafeln lange wiederverwendet werden. Konstruktionsprozesse mit wenig Verschnitt (Abfall) sind ebenfalls effizienter und klimaschonender.

12.4.2.3 Leichtbaukonstruktionen

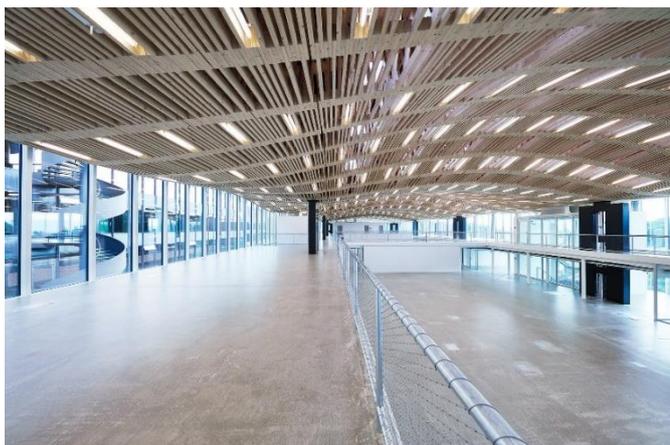


Abb. 75: Leichtbaudecke in Holz des Arch Tec Lab der ETH Zürich. © Foto: Andrea Diglas

Leichtbaukonstruktionen sind per se weniger CO₂-intensiv, da sie weniger Material (Ressourcen) verbrauchen, die Traglasten verringern und in der Folge kleinere (Beton-)Fundamente mit geringeren THG-Emissionen benötigen. Demgegenüber stehen ev. Einbussen bei der Schalldämmung oder der Wärmespeicherkapazität.

12.4.2.4 Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten



Abb. 76: Gebrauchte Fassadenteile werden für die Wiederverwendung beim Gebäude 118 am Lagerplatz Winterthur rückgebaut. © Martin Zeller

Wiederverwendete Bauteile weisen in der Regel sehr vorteilhafte Ökobilanzwerte auf, sofern sie nicht über grosse Distanzen transportiert und aufwändig renoviert werden müssen. Diese guten Werte kommen zustande, weil Bauteilen eine bestimmte Lebensdauer zugeordnet wird und die THG am (theoretischen) Ende ihrer Lebensdauer als „abgeschrieben“ gelten. Wenn danach die Bauteile und Produkte (ohne grossen Aufwand) instandgesetzt werden, sodass sie erneut eingesetzt werden können, bleibt die THG-Belastung sehr gering, da die THG-Emissionen der Erzeugung des Bauteils/Produktes dem ersten Einsatz angerechnet wird und durch die längere Lebensdauer weitere Vorteile entstehen. Diese sind der geringe Ressourcenverbrauch und der Beitrag zum zirkulären Bauen.

12.4.2.5 Planen für Demontage



Abb. 77: Geschraubte statt geschweisste Verbindung im Stahlbau. © Foto: [bauforumstahl](#) / G. Machura

Mechanisch lösbare Verbindungen sind eine Grundvoraussetzung für das zirkuläre Bauen (Kreislaufwirtschaft) und sind nicht lösbaren Verbindungen vorzuziehen. Damit werden der zerstörungsfreie Rückbau, die Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten sowie das sortenreine Recycling erleichtert. Schlecht trennbare Verbundwerkstoffe (z. B. Holzzement) oder Verbundsysteme (WDVS) sowie beispielsweise mineralische Baustoffe mit organischen Additiven sind zu vermeiden.

12.4.3 Baustoffe und -produkte

12.4.3.1 Strohdämmung



Abb. 78: Strohdämmplatte als WDVS. © Franken Maxit Mauermörtel GmbH & Co

Strohdämmungen sind kommerziell verfügbar und können wie ein normales Wärmedämmverbundsystem (WDVS) eingesetzt sowie als Schütt- oder Einblasdämmung eingebracht werden. Strohdämmplatten werden mit einem biologischen Proteinbindemittel gebunden, sodass sie am Lebensende bedenkenlos kompostiert werden können. Der Lehrstuhl Nachhaltiges Bauen der ETH Zürich hat ein Modell zur Beurteilung der positiven Wirkung erstellt, welches berücksichtigt, dass langlebige Strohdämmungen eine THG-Senke darstellen (vgl. Pittau et al., 2018).

12.4.3.2 Weitere biogene Materialien

Ähnlich wie bei der Strohdämmung (vgl. 12.4.3.1) und beim Holz können aus anderen Pflanzen dauerhafte bzw. dauerhaft verbaubare Materialien geschaffen werden. Eine Übersicht zu kommerziell erhältlichen,

nachwachsenden Dämmstoffen findet man bei Kaiser et al. (2019). Zu temporär gespeicherten biogenen Kohlenstoffen äussern wir uns im Kap. 5.3.4 „Bilanzierung des biogenen CO₂ – Berücksichtigung der C-Speicherung“.

12.4.3.3 Hanfstein



Abb. 79: Aussenwand aus Hanfsteinen. © Schönthaler OHG

Hanfsteine sind schon länger kommerziell erhältlich. Die Berechnung von Werner (2017) (ohne Anrechnung der Zwischenspeicherung von CO₂ in der Biomasse) ergibt, dass das Produkt nach KBOB-Standards eine positive Sachbilanz von 0.356 kgCO₂eq/kg und gemäss SN EN 15804 (Module A–C) und abhängig vom EoL-Szenario einen Wert von mindestens 0.289 kgCO₂eq/kg aufweist. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass „[...]im Hanf-Kalk-Ziegel [...] rund 90% mehr CO₂-gespeichert [ist], als während der Herstellung [Module A1–A3] des Ziegels freigesetzt wird“ (Werner, 2017, p. 22). Wenn der Baustoff am Lebensende umweltfreundlich kompostiert und entsorgt werden kann (Hanf und Kalk zur Verbesserung der Bodenqualität), führt dies wiederum zu THG-Emissionen. Zur Thematik von temporär gespeicherten biogenen Kohlenstoffen äussern wir uns im Kap. 5.3.4.

12.4.3.4 Made of Air Polymer

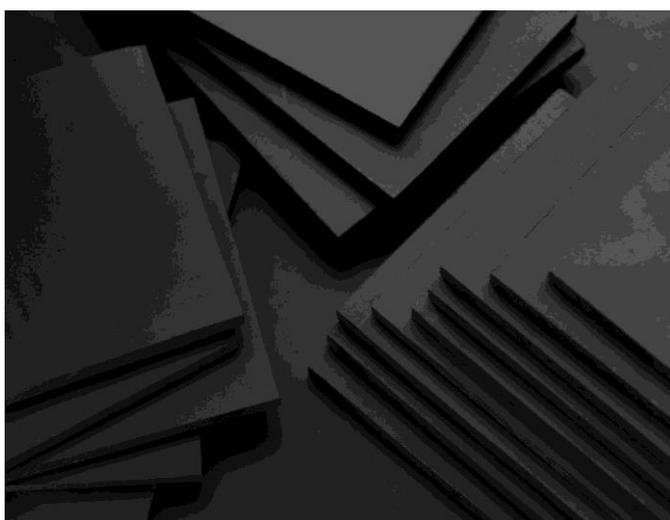


Abb. 80: Bild des schwarzen Polymer-Materials. © Made of Air GmbH

Made of Air ist ein neu entwickeltes thermoplastisches Material, das nach Aussage der Hersteller pro kg Material 1.95 kg CO₂ bindet und zu 90% aus atmosphärischem Kohlenstoff besteht. Die Speicherung von CO₂ im

Trägermaterial wird vollständig als negative Emission angerechnet. Für das Material sind 2 unterschiedliche EoL-Szenarien bekannt, es kann entweder recycelt oder zerkleinert, in den Boden eingebracht und kompostiert werden. Die Grundstoffe stammen aus einem wärmeproduzierenden Pyrolyseprozess von Pflanzenresten aus der Forst- und Landwirtschaft. Der Kohle (englisch: *Biochar*) wird der Kohlenstoff entnommen und das Polymer daraus synthetisiert. Mit dem biologischen Abbau wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt, es wird mit einem langsamen Abbauprozess und damit einer längeren Speicherung im Boden gerechnet, der Verbleib des Kohlenstoffes im Boden über rund 100 Jahre ist noch umstritten.

Erste Produkte auf dem Markt sind Wandpaneele und -verkleidungen, Tischplatten, Materialverbindungen, Ummantelungen. Doch die Einsatzgebiete sind vielfältig und noch nicht abschliessend entwickelt. Das Material hat das Potenzial, THG-ausstossende Materialien in der Bauindustrie (wie bspw. Thermoplaste) zu ersetzen, kann im Spritzgussverfahren verarbeitet oder als Additiv in bestehenden Produkten als Füllstoff verwendet werden (bspw. in Gipskartonplatten).

12.4.3.5 Flexen® PE



Abb. 81: PE-Rohrdämmung mit Polyethylen aus Zuckerrohr. © Würth AG

Die Rohrinsolierung besteht mehrheitlich aus nachwachsenden Rohstoffen (Zuckerrohrethanol aus Brasilien). Dadurch ist biogener Kohlenstoff enthalten und wirkt als temporärer C-Speicher. Verglichen mit einem extrudierten Polystyrol (EPS) wird bei den GTHG eine Einsparung von 99% erreicht (ohne Speichereffekt). Der Speichereffekt ist vernachlässigbar, weil die Rohrinsolationen in einem durchschnittlichen Gebäude nur spärlich verwendet werden.

12.4.3.6 Carbicrete



Abb. 82: In Nordamerika übliche Betonblöcke, aber aus Carbicrete. © Carbicrete Inc.

Die Entwickler von Carbicrete versprechen einen zementfreien Beton, welcher „Carbon-negative“ ist, also eine negative Emission schafft. Ein 17 kg schwerer Stein absorbiert rund 230 g CO₂ netto (Kools, Ramses, 2018). Das Rohmaterial für den Zementersatz besteht aus Hochofenschlacke (Calciumsilicat). Beim Nässen bzw. Mischen der Bestandteile wird CO₂-Gas injiziert⁹⁰, woraus dann Calciumkarbonat, sprich Kalkstein entsteht.⁹¹ Der Stein ist auch in Nordamerika noch nicht kommerziell verfügbar. Solche Hohlsteine werden insbesondere in Nordamerika als tragende (und nicht tragende) Mauersteine verwendet, deren Hohlräume – wenn gewünscht – am Ende verfüllt werden können.

12.4.3.7 Recyclingstoffe und -produkte verwenden



Abb. 83: Armierungsstahl wird in der Schweiz häufig aus Stahlschrott gewonnen. © Stahl Gerlafingen AG

Bei einzelnen Baustoffen ist Recycling mittlerweile üblich, wie z. B. bei Armierungsstahl. Bei vielen anderen Baustoffen landet beim Rückbau noch immer ein grosser Anteil in der Deponie oder in Verbrennungsanlagen. Die Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien und Produkte sollte deshalb schon früh in der Planung berücksichtigt werden. Nicht recyclingfähige Materialien und Produkte sollten, wenn sie eine schlechte THG-Bilanz aufweisen, möglichst vermieden und durch besser geeignete Materialien ersetzt werden. Der Einsatz von Materialien mit Recyclatanteil (wie bspw. RC-Beton) muss ebenso bereits in der Planung (Vordimensionierung) eingeplant, jedoch spätestens in der Ausschreibung klar definiert werden. Recyclatbestandteile können auch Zemente mit Anteilen aus Flugasche und Hochofenschlacke sein (vgl. dazu auch Kap. 12.4.3.14).

⁹⁰ Herkunft/Quelle des Kohlendioxids nicht deklariert.

⁹¹ Mehr unter: <http://carbicarete.com/> [18.05.2020].

12.4.3.8 Integration von Abfällen, Nebenprodukten, bereits verwendeten Materialien



Abb. 84: Zellulosefasern können aus Altpapier hergestellt werden. © ARCHmatic - Alfons Oebbeke / Isocell

Die Verwendung von Materialien und Baustoffen, die bereits einen Lebenszyklus „durchschritten“ haben, weisen bei einer weiteren Verwendung meistens tiefere Ökobilanzwerte auf, da die Herstellung dem ersten Verwendungszweck und nur die Aufbereitung dem zweiten Einsatz angerechnet wird. Die Einsparung gegenüber dem Primärmaterial hängt also vom Aufwand der Sammlung und Aufbereitung gegenüber der Produktion des Primärmaterials ab. In einer perfekten Kreislaufwirtschaft, wo die Stoffströme in geschlossenen Kreisläufen zirkulieren, würden die Herstellungswerte der THG idealerweise geringer als mit Primärmaterial ausfallen. Aus diesem Grund sollten, wenn immer möglich, Recyclingmaterialien oder mindestens recyclingfähige Materialien verwendet werden. Es gibt jedoch Fälle, bei denen die Integration von Sekundärmaterial zu höheren Emissionen führen kann (z. B. falls in Recyclingbeton ein höherer Zementanteil verwendet wird).

12.4.3.9 Schaumglasschotter



Abb. 85: Schaumglasschotter auf einem Geotextil. © Misapor.ch

Schaumglasschotter kann lastabtragend als Perimeterdämmung oder unter Bodenplatten verwendet werden. Er besteht zu 98% aus aufbereitetem Altglas und weist laut der KBOB-Liste sehr vorteilhafte THG-Werte auf (KBOB/IPB/eco-bau, 2016). Sie liegen mit $0.155 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg}$ rund 10-mal tiefer als bei Glaswolle und rund 90-mal tiefer als bei extrudiertem Polystyrol (XPS, ein direktes Konkurrenzprodukt für Perimeterdämmungen). Produkte: Misapor, Glapor usw.

12.4.3.10 FenX



Abb. 86: Mineralischer Dämmstoff aus Industrieabfällen. © FenX AG

Das Produkt FenX ist ein typisches Beispiel für Upcycling. Der mineralische Schaumstoff wird aus der Asche von Industrieabfällen produziert. Der Schaum kann zu Platten und Steinen verarbeitet oder mit additiven Verfahren (3D-Druck) produziert werden. Laut Angaben der Produzenten können die Schaumstoffe von FenX bei Umgebungstemperatur ohne CO₂-Emissionen hergestellt werden und sind zu 100% recycelbar, Ökobilanzdaten sind allerdings erst in Arbeit. Der Lambda-Wert liegt bei etwa 0.04 W/mK.

12.4.3.11 Scrimber/GRASSBuilt



Abb. 87: Scrimber-Balken in der Produktion. © TimTek, LLC

Scrimber ist ein Holzwerkstoff, auch für tragende Bauteile, der aus verleimtem Verschnittholz hergestellt wird. Ursprünglich wurde dieses Produkt zur besseren Nutzung von Bambusholz entwickelt. In Europa und Nordamerika können mit dieser Technologie Abschnitte, Äste, Schwartenbretter usw., welche längs zur Faser in Streifen gebrochen werden, anstelle von kurzlebigeren Holzprodukten (Holzwerkstoffplatten, MDF oder Papier) zu langlebigeren, tragenden Holzbauteilen verarbeitet werden. Ökobilanzdaten liegen noch nicht vor.

12.4.3.12 Terrabloc



Abb. 88: Pressen eines Steines. © Terrabloc SA

Die Bausteine von Terrabloc bestehen zum grössten Teil aus Aushubmaterial, das im Idealfall vor Ort gewonnen wird. Der Stein wird mit einem minimalsten Zementanteil gebunden und weist im Vergleich zu einem normalen Backstein über 4-mal geringere THG-Emissionen auf (KBOB/IPB/eco-bau, 2016).⁹² Gleichzeitig vermeidet die Nutzung des Aushubmaterials vor Ort dessen Transport in Deponien. Bausteine von Terrabloc sind bereits kommerziell verfügbar.

12.4.3.13 Cleancrete



Abb. 89: Cleancrete-Teststeine. © Oxara AG

Cleancrete ist ein zementfreies betonähnliches Produkt, welches aus Aushubmaterial und einem speziellen mineralischen Zusatz hergestellt wird. Das nicht-toxische, mineralische Additiv wurde durch die Oxara AG entwickelt. Cleancrete kann in konventioneller Betoninfrastruktur verarbeitet werden. Aus demselben Material können auch Bausteine (Cleanbrick) hergestellt werden. Laut eigenen Angaben weisen die Produkte 90% weniger THG-Emissionen auf und sind rund 60% günstiger als normaler Beton. Produkte von Oxara sind zu Testzwecken erhältlich.

⁹² Terrabloc = 0.062 kgCO₂eq/kg; Backstein = 0.258 kgCO₂eq/kg.

12.4.3.14 Hochofenzement (CEM III/B) und andere



Abb. 90: Betonoberfläche. © SCHWENK Zement KG

Bereits heute sind alternative Zemente für verschiedene Betonarten verfügbar. Derzeit weist der Hochofenzement gemäss dem Schweizer Betonsortenrechner die besten Eigenschaften betreffend THG auf.⁹³ Grundlage für diesen Zement bildet immer noch der THG-intensive Portlandklinker, aber in geringeren Mengen. Es werden vermehrt Anteile von alternativen Stoffen beigemischt, so z. B. Neben- resp. Abfallprodukte wie Hochofenschlacke (Hüttensand), Flugasche, gebrannter Schiefer, Kalksteinmehl usw. (vgl. auch Kap. 12.4.3.7). Die Nutzung solcher Betone ist teilweise aufgrund anderer physikalischer Eigenschaften in der Anwendung eingeschränkt. In den letzten Jahren kamen „alte“ Zementsorten, wie z. B. der Trasszement, infolge der THG-Problematik wieder etwas in Mode.

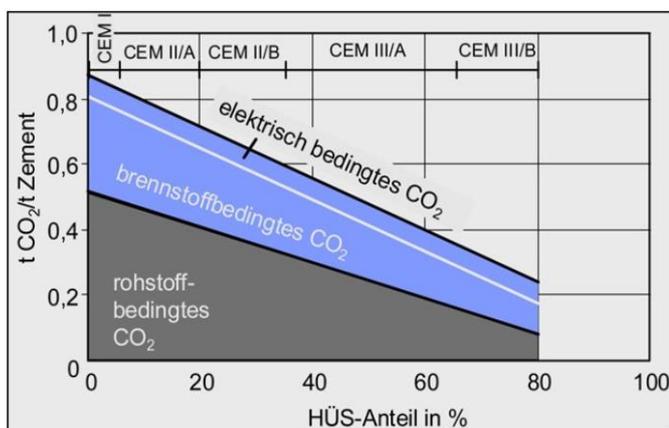


Abb. 91: Darstellung verschiedener Zementsorten mit entsprechendem Hüttensandanteil im Verhältnis zu den CO₂-Emissionen (Müller and Severins, 2011, fig. 1).

⁹³ <https://treeze.ch/de/rechner> [19.05.2020].

12.4.3.15 Parnatur®



Abb. 92: Aufbringen von PARNATUR-Dämmputz. © Sika AG

Parnatur® ist ein von der französischen Firma Parex entwickelter zementöser Dämmputz mit einem hohen Anteil an Hanffasern. Das Material ist nach Angaben des Herstellers zu 100% recycelbar, speichert mit der verbauten Biomasse Hanf CO_2 und weist einen Lambda-Wert von 0.066 W/mK auf. Der Hanffaser-Dämmputz ist Teil des Sortimentes der Sika AG.

12.4.3.16 Karbonisier-Technologien



Abb. 93: Betonskelettbau in Atlanta, USA. © CarbonCure™

Eine wachsende Anzahl an Unternehmen versucht mit den Karbonisier-Technologien (vgl. Glossar) den Beton dauerhaft mit CO_2 anzureichern oder alternative Binder herzustellen, um so indirekt die THG-Bilanz zu verbessern. Die Liste der unten aufgeführten Unternehmen ist nicht abschliessend, zeigt aber, dass intensiv an Alternativen zu Portlandzement-Beton geforscht wird und solche Produkte entwickelt werden. Beispiele für Produkte und Firmen: Neustark, Zirkulit, Carbon8, MCI carbonates, Fortera, Solidia, Carbon Cure usw.

12.4.3.17 Wenig verarbeitete, natürliche (Biomasse-)Materialien



Abb. 94: Baustelle „Haus Rauch“ im Jahr 2006 in Schlins AT. © Foto: Martin Rauch / Lehm Ton Erde Baukunst

Natürliche (Biomasse-)Materialien weisen einen geringen Verarbeitungsgrad auf. Dadurch entfällt ein wichtiger Anteil an THG-Emissionen. Ungebrannter Ton, Lehm und wenig verarbeitetes Holz, aber auch Schilfrohr, Stroh, Schafwolle usw. sind Vertreter dieser Baustoffkategorie.

12.4.3.18 Lehmschaum

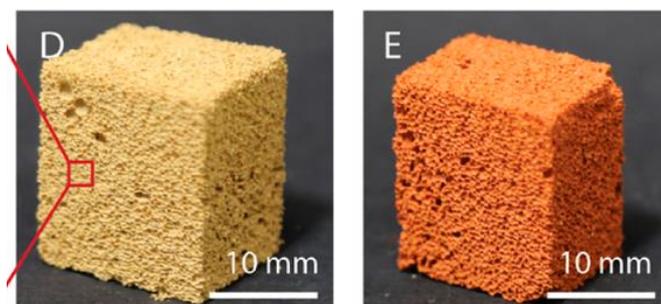


Abb. 95: Getrockneter (D) und gebrannter Tonschaum (E) (Minas et al., 2019, p. 15598).

Für die Herstellung der Tonschäume dient eine kaolinbasierte Lehmmischung. Der Schaum wird auf mechanische Weise oder mittels einer gasproduzierenden Reaktion generiert. Die entstandene Oberfläche wird mit einem speziellen Molekül modifiziert, sodass während dem Trocknungsvorgang die poröse Struktur erhalten bleibt. Das Ergebnis ist ein 90% poröser und robuster Schaum mit einem Lambdawert von 0.13 W/mK. Das Material ist 100% recycelbar, indem es zerdrückt und zermahlen ins Wasser gegeben und anschliessend wieder geschäumt wird. Es kann jederzeit wieder dem natürlichen Kreislauf zugeführt werden und weist sehr tiefe GE-Werte auf. Das Produkt ist noch nicht kommerziell erhältlich und es existieren auch keine Ökobilanzdaten (Minas et al., 2019). Dieser Schaum könnte in seiner gebrannten Form grundsätzlich andere Dämmstoffe im Perimeterbereich (ähnlich wie Schaumglasschotter) ersetzen.

12.4.3.19 Entsorgungsphase verbessern

Durch eine saubere Materialtriage und den Fokus auf den Verkauf wiederverwendbarer Baustoffe lassen sich grosse GTHG-Einsparungen erzielen. Mit der Wiederverwendung und dem Recycling können Entsorgungsmengen reduziert und für die kommende Nutzung ein relevanter Beitrag zur THG-Reduktion geleistet werden.

Ähnlich wie bei „Planen für Demontage“ (vgl. Kap. 12.4.2.5) gilt es zu verwendende Baustoffe nicht zu verunreinigen und bei einem geordneten Rückbau sortenrein zu sammeln und in Aufbereitungsbetriebe zu geben. Ziel ist, dass Materialien und Baustoffe nicht „linear“ entsorgt werden, sondern nach dem Rückbau bzw. der Abfallbehandlung „zirkulär“ zur Wiederaufbereitung und -verwendung gelangen. Im letzteren Fall können die nachfolgenden Nutzer der Materialien und Baustoffe in den meisten Fällen von einem Produkt mit einem deutlich geringeren Fussabdruck profitieren. Zur Wiederverwendung und für das Recycling ist eine frühzeitige Planung und Organisation des fachgerechten Rückbaus notwendig.

12.5 Normgebung und Standardisierung

12.5.1 Ökobilanzierung basierend auf der Normgebung (Bottom-up-Sicht, Lebenszyklus Produkte)

12.5.1.1 EN 15804:2012+A2:2019, Regelungen zur Bilanzierung der Bauprodukte und technischen Anlagen

Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.	CEN/TC 350/WG 3 (European Committee for Standardization, Sustainability of construction works, Working Group: Products Level)	30.10.2019	Voluntary horizontal standardised methods for the assessment of the sustainability aspects of new and existing construction works and for standards for the environmental product declaration of construction products.
---	--	------------	---

Internationale Grundlage für die Norm EN 15804:ISO 21930:2017 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Grundregeln für die Umweltdeklaration von in Bauwerken verwendeten Bauprodukten und technischen Anlagen“. Die Norm ist Bestandteil von Regelungen zur Ökobilanzierung im Kontext der Gebäudewertung und gibt das Vorgehen für Bauprodukte und technische Anlagen vor. Das Konzept für eine Gesamtökobilanz von Gebäuden ist ein modularer Aufbau. Er beruht auf Analysen mit einer klaren und einheitlichen Unterteilung der einzelnen Lebenszyklusphasen, sodass eine Bewertung ganzer Gebäude ausgehend von Ökobilanzen einzelner Bauprodukte und technischen Anlagen über eine Summierung einzelner Beiträge möglich ist. Die Norm gibt sowohl den Umfang der Module für unterschiedliche Phasen des Gebäude-Lebenszyklus, als auch die erforderlichen Indikatoren und Methoden für eine Bewertung unterschiedlicher Umweltwirkungen vor.

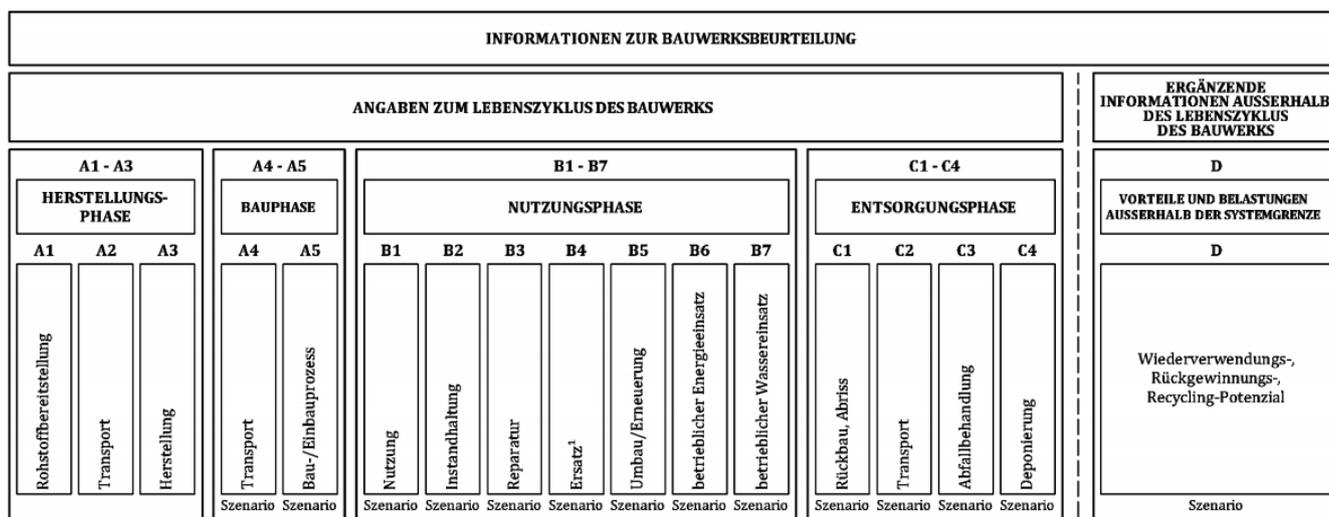


Abb. 96: Struktur der Module/Phasen und Elemente des Lebenszyklus eines Gebäudes (aus DIN/EN, 2019, p. 17).

Ergänzende Informationen zu Vorteilen und Belastungen ausserhalb der Systemgrenzen, wie zum Beispiel Gutschriften für energetische Nutzung, Wiederverwendung und Recycling-Baumaterialien, werden separat erfasst und als Zusatzmodul D ausgewiesen.

Bei den Indikatoren wird neu eine durchgehende biogene Kohlenstoffbilanz verlangt. Die Bilanzierung erfolgt getrennt vom fossilen CO₂. Es wird keine Empfehlung zum Umgang mit der Bewertung der temporären biogenen Senken, der C-Speicherung im Gebäude, gemacht.

12.5.1.2 ISO 14067:2018, Produktregelungen zum Thema CO₂-Fussabdruck

Originalname	Publikationsorgan	Publikationsdatum	Geltungsbereich
Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification	ISO/TC 207/SC 7 (International Organization for Standardization, Greenhouse gas management and related activities)	August 2018	Specifies principles, requirements and guidelines for the quantification and reporting of the carbon footprint of a product (CFP), in a manner consistent with International Standards on life cycle assessment (LCA) (ISO 14040 and ISO 14044).

Die Norm „*Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification*“ ist 2018 erschienen. Sie liegt auch als deutsche Übersetzung vor.⁹⁴

Die Norm hat in ihrer Struktur grosse Ähnlichkeit mit der EN 15804. Sie beschränkt sich jedoch auf den Aspekt der CO₂-Bilanzierung und ist stärker auf Konsumgüter ausgerichtet. Abhängig vom Produkt, unterscheiden sich die Phasen für die Analyse des Lebenszyklus. Im Vergleich zu Konsumgütern ist ein herausragendes Merkmal von Bauprodukten und technischen Anlagen in Gebäuden, dass die Nutzungsphase im Vergleich zu den zahllosen Alltagsprodukten relativ lange dauert. Emissionen und Senken während der Nutzungsphase sind gemäss Norm ISO 14067 grundsätzlich zu berücksichtigen (Kap. 6.3.7). Diese Aussage steht im Widerspruch zur Schweizer Handhabung gemäss SIA-Norm 2032:2020, welche Senken in der Nutzungsphase nicht berücksichtigt.

⁹⁴ „Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung (EN ISO 14067:2018)“.

Ein weiterer wichtiger Punkt – insbesondere, wenn man sich die Besonderheiten von Gebäuden vor Augen hält – ist die sogenannte End-of-Life-Phase (EoL, Kap. 6.3.8). Die Produkte müssen anhand ihrer spezifischen EoL-Prozesse bewertet werden. Diese Prozesse können eine Vielzahl von Massnahmen beinhalten: Recycling, Wiederverwendung, Schreddern und Sortieren, Kompostierung, Verbrennung, Deponie usw. Das EoL-Szenario muss für jedes Produkt so bestimmt werden, dass es die wahrscheinlichste Alternative der aktuellen Marktverhältnisse repräsentiert. Es kann auch als zukünftiges Szenario ermittelt werden. Beim Thema Recycling als EoL-Szenario unterscheidet sich die Handhabung der Allokationen unter der ISO 14067 mit dem Fokus auf kurzlebige Konsumgüter vom Ansatz der EN15804 für langlebige Bauprodukte und vom Ansatz in SIA-Normen. Beim SIA-Merkblatt 2032:2020 gelten die heute üblichen Entsorgungsszenarien.

Die Allokation (vgl. Glossar) von verschiedenen Produkten oder Funktionen soll, sofern nicht vermeidbar, wenn möglich anhand der zugrundeliegenden physischen Zusammenhänge geschehen. Wenn keine physischen Zusammenhänge erkennbar sind, so ist die Allokation anhand von ökonomischen Werten herzuleiten. Diese Prinzipien gelten auch für die Wiederverwendung und das Recycling. In diesem Zusammenhang ist auch die Systemgrenze von Bedeutung. Es wird unterschieden zwischen geschlossenen Produktkreisläufen (*Closed-Loop*) und einer offenen Schlaufe (*Open-Loop*). Verändern sich die Materialeigenschaften (z. B. bei Downcycling), spricht man von einer offenen Schlaufe.

Die Besonderheit der langen Nutzungsphase betrifft auch die zeitliche Koordinierung von Emissionen und Senken am Anfang des Produktionszyklus und nach der (jahrzehntelangen) Nutzungsphase am Schluss (EoL). Ist der zeitliche Abstand dazwischen länger als 10 Jahre, müssen die Emissionen und Senken im Produktinventar separat erfasst werden. Der zeitliche Effekt der Emissionen und Senken muss spezifiziert und berechnet werden (Kap. 6.4.8).

Die nachfolgende Darstellung (Abb. 97) gibt Auskunft über die verschiedenen Komponenten der berechneten Emissionen und Senken eines Carbon Footprints. Gespeicherter biogener Kohlenstoff in einem Produkt (Nr. 10, vgl. Abb. 97) wird ähnlich wie in der EN 15804 (Modul D) nicht mit den anderen Komponenten im eigentlichen Resultat verrechnet, sondern separat berücksichtigt. Zu landwirtschaftlichen und Wald- bzw. Holzprodukten wird in einem informativen Anhang Folgendes festgehalten: Holz aus einem nachhaltig bewirtschafteten Wald (*Regrown after Harvest*) erzeugt keine Emissionen im Bereich der Landnutzungsänderungen (*Land Use Change LUC*). Biogene Kohlenstoffspeicherung in Produkten kann mit einer ergänzenden Berechnung berücksichtigt werden, wenn die Nutzungsdauer mehr als 10 Jahre beträgt (siehe ein Abschnitt weiter oben). Auf die entsprechenden Methoden wird aber nicht näher eingegangen. Es wird jedoch festgehalten, dass während dem Pflanzenwachstum eine Senkenleistung erbracht und diese bei der allfälligen Freisetzung während der Nutzungsphase oder in der EoL-Phase wieder zur Quelle wird. Wenn die Senkenleistung in der Systemgrenze integriert ist, die biogenen Kohlenstoffflüsse in und aus dem Produkt, welches im EoL-Szenario verbrannt wird, berücksichtigt werden, beträgt der Beitrag null. Wenn das EoL-Szenario eine Wiederverwendung oder ein Recycling vorsieht, dann beträgt der Beitrag zum Carbon Footprint ebenfalls null, weil der biogene Kohlenstoff in nachfolgende Produktsysteme fließt.

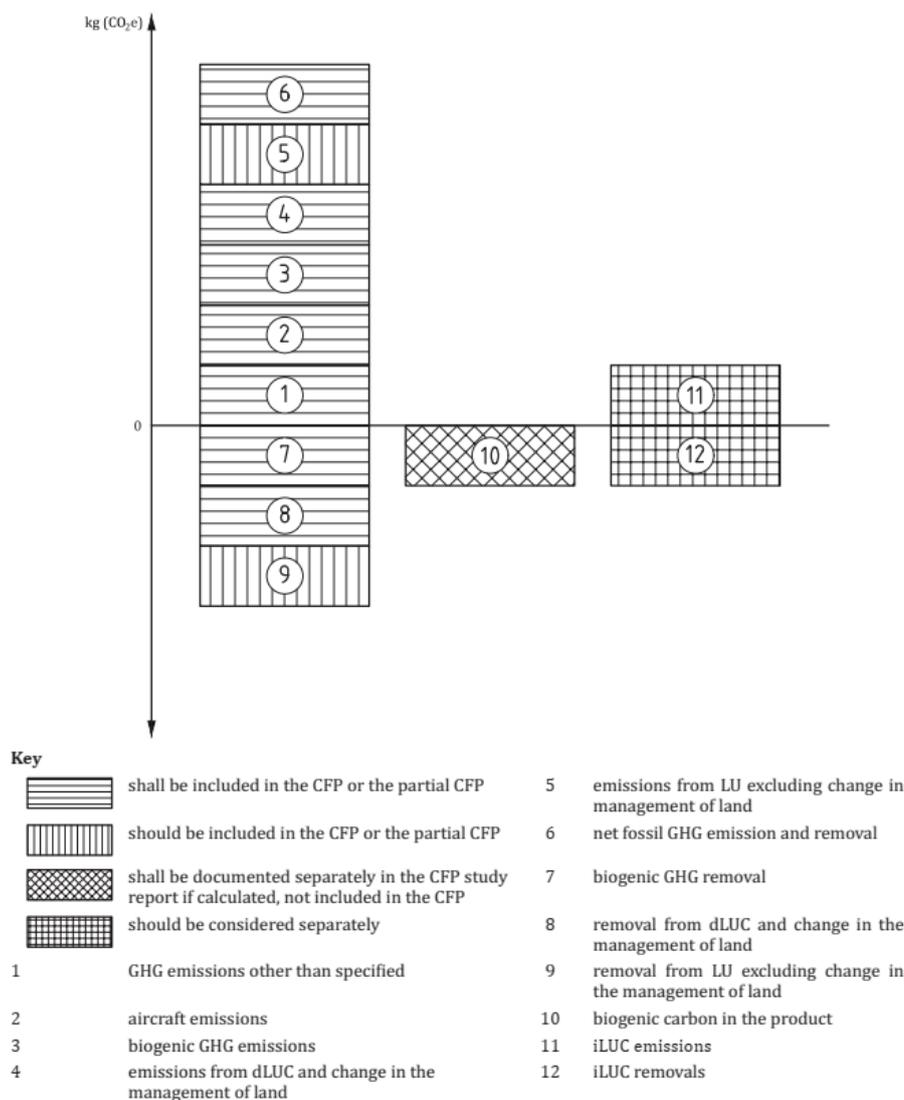


Abb. 97: Darstellung der spezifischen Komponenten des Carbon Footprints (CFP) und des teilweisen Carbon Footprints (Partial CFP) (aus ISO, 2018, fig. 3).

12.5.2 Erstellung nationaler THG-Inventare, Stoffflussmodelle (bottom-up/top-down)

Anders als die oben beschriebenen produktbasierten Ökobilanzmethoden können Stoffbilanzen von ganzen Produktkategorien auch aufgrund von (national) aggregierten Stoffflüssen bestimmt werden. Im Bereich Klima war die Klimarahmenkonvention Urheber zahlreicher Methoden, welche festhielten, wie THG-Emissionen und -Senken einer grossen Zahl von Aktivitäten innerhalb eines Landes berechnet werden können. Im Falle von Holzprodukten werden die Stoffmengen aufgrund von Handelsstatistiken und Inventaren internationaler Organisationen erhoben. Mit einer Input-/Output-Betrachtung werden auch Veränderungen der Senken von Wald- und Holzprodukten und damit der Einfluss der Verwendung von Holzprodukten thematisiert.

12.5.2.1 IPCC 2014: Kap. 2.8, Harvested Wood Products (HWP)

Originalname	Publikationsorgan	Publikationsdatum	Geltungsbereich
--------------	-------------------	-------------------	-----------------

2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Chapter 2.8: Harvested Wood Products (HWP)	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Hiraishi, Takahiko et al. (2014)	2014	Annex I Parties to the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in reporting supplementary information relating to anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of carbon dioxide and other greenhouse gases associated with LULUCF activities
--	---	------	--

Aufgrund der Entscheidung „2/CMP.7“ und „2/CMP.8“ der Klimarahmenkonvention (UNFCCC/CMP, 2012) müssen die Kyoto-Mitgliedsstaaten die Emissionen und Senken von Holzprodukten (HWP) in den jährlichen Berichten nachweisen. Die entsprechenden Vorgaben zur Berechnung wurden in IPCC (2014c) festgehalten. Es ist den Mitgliedsstaaten freigestellt, welche (der in IPCC (2006) definierten) Herangehensweise sie für sich beanspruchen. Eines wird jedoch unmissverständlich klargelegt: Es können nur Holzprodukte aus einheimischer Ernte (inkl. Exportprodukte) berücksichtigt werden. Die entsprechenden Wälder innerhalb der Landesgrenzen sind ebenfalls Gegenstand der Kyoto-Berichterstattung.

Die Schweiz weist die Holzprodukte auf Stufe 2 (*tier 2*) nach und die Holzernte geschieht grösstenteils im Rahmen von Wiederaufforstung (*Reforestation*) (BAFU, 2019). Holzprodukte aus Rodungen (*Deforestation*) und Aufforstungen (*Aforestation*) werden davon abweichend behandelt. Die Holzprodukte werden aufgrund der Statistiken der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) in 3 Kategorien von Halbfertigprodukten eingeteilt: Schnittholz, holzbasierte Platten und Papier/Karton (vgl. Abb. 98).

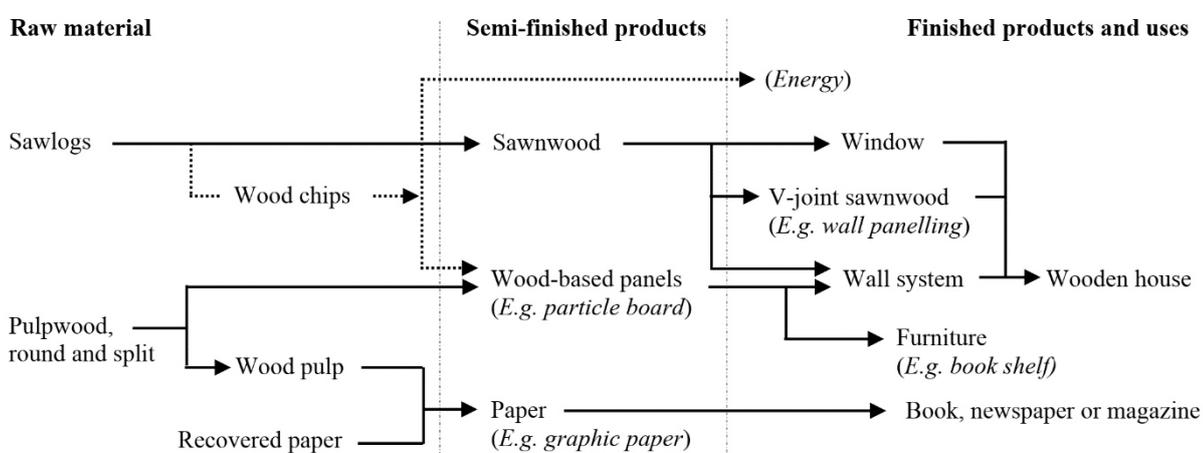


Abb. 98: Beispielhafte Darstellung aus (IPCC, 2014c, p. 2.113) mit den Produktionsstufen vom Rohmaterial (Raw Material: Sägeholz, Faserholz und Recycling-Papier) bis zu den fertigen Produkten und Nutzungen (Finished Products and Uses). Dazwischen die für die Kyoto-Berichte relevanten Halbfertigprodukte (Semi-Finished Products).

IPCC (2014c) beschreibt im Folgenden, wie die Länder bei der Berechnung der Holzprodukte vorgehen sollen. Als Erstes muss festgestellt werden, welcher Anteil der einheimischen Ernte in die oben genannten Halbfertigprodukte fliesst (IPCC, 2014c Gleichung 2.8.1). Danach werden die Mengen der 3 Produktkategorien bestimmt und anschliessend mittels vorgegebener Konvertierungsfaktoren (IPCC, 2014c Tabelle 2.8.1) die Kohlenstoffmengen errechnet.

In einem zweiten Schritt – vorausgesetzt, der Nachweis wird auf Stufe 2 erbracht – wird der sog. „Zerfall erster Ordnung“ (*First Order Decay*) zur Anwendung gebracht (IPCC 2014a, Gleichung 2.8.5). Aufgrund der

vorangegangenen Berechnungen und von vorgegebenen Halbwertszeiten⁹⁵ werden die Veränderungen in den Kohlenstoffbeständen bestimmt. In einem letzten Schritt werden aufgrund der Molgewichte und formellen Vorgaben die Emissionen und Senken des HWP-Bestandes berechnet. Nimmt der Bestand in einer Produktkategorie zu, ist es eine Senkenleistung, nimmt er jedoch ab, gilt die Kategorie als THG-Quelle. Seit Beginn der Inventarisierung (1990) erbrachten die Holzprodukte in der Schweiz mit Ausnahme des Jahres 2000 (Sturm Lothar) eine Senkenleistung.

12.5.2.2 IPCC 2006: Kap. 12, Harvested Wood Products (HWP)

Originalname	Publikationsorgan	Publikationsdatum	Geltungsbereich
2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chapter 12: Harvested Wood Products	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Pingoud, Kim et al. (2014)	2006	Inventory guidelines for national estimates of greenhouse gases.

IPCC (2006) beschreibt verschiedene Herangehensweisen zur Bestimmung der Stoffflüsse und letztlich der Menge an Holzprodukten. Die Schweiz verwendet in ihren Berichten den Ansatz „Produktion“ (BAFU, 2019). Neben dieser Methode werden vom IPCC 3 weitere Herangehensweisen empfohlen: „Bestandeswandel“ (*Stock-Change*), „Atmosphärische Flüsse“ (*Atmospheric Flow*) und „Einfacher Zerfall“ (*Simple Decay*). IPCC (2014c) weist explizit darauf hin, dass die Wahl verschiedener Methoden aufgrund von „unterschiedlichen Interpretationen einiger Schlüsselbegriffe“ möglich wurde.

Der Ansatz „Produktion“ soll im Folgenden näher beschrieben werden.

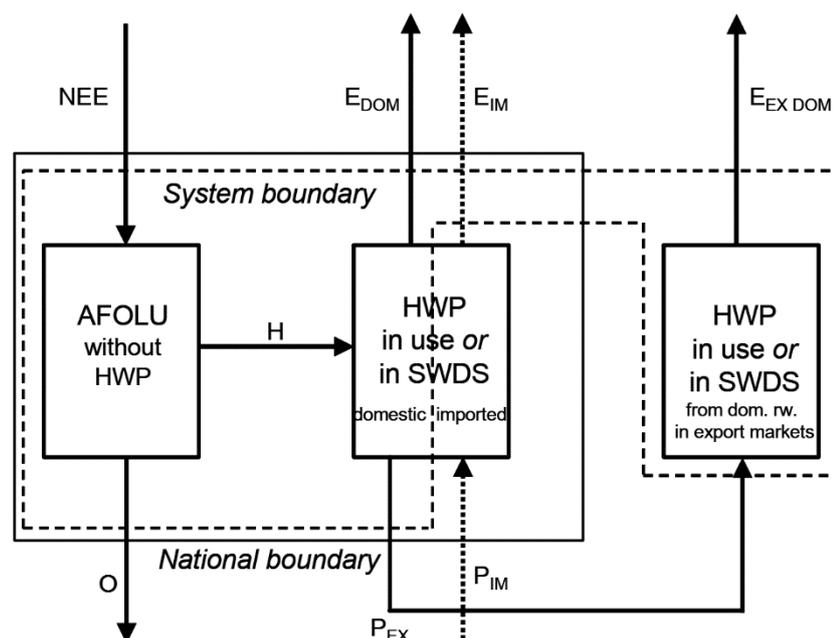


Abb. 99: IPCC (2006 Figur 12.A.3). In dieser Darstellung gibt es folgende Bestände: „Landwirtschaft, Forstwesen und andere Landnutzungen ohne Holzprodukte“ (AFOLU⁹⁶ without HWP), Holzprodukte in Gebrauch oder in Entsorgungsanlagen, einheimisch und importiert (HWP in Use or in SWDS, Domestic imported) und aus einheimischer Ernte in Auslandsmärkten (HWP in Use or in SWDS, from dom. rw. in export markets) –“. Systemgrenze des Produktionsansatzes (National Boundary, gestrichelte Linie).

Der oben dargestellte Ansatz schätzt die Veränderungen in den Kohlenstoffbeständen der einheimischen Wälder und der daraus entstandenen Holzprodukte im In- und Ausland ab. Exporte von Rohstoffen (z. B. in Form

⁹⁵ Papier 2 Jahre, Holzplatten 25 Jahre, Schnittholz 35 Jahre (IPCC 2014a Tab. 2.8.2).

⁹⁶ AFOLU ist eine Kyoto-Kategorie, welche an anderer Stelle im Bericht ausgewiesen wird.

von nicht verarbeitetem Rundholz) sind in diesem Modell nicht eingeschlossen, weil nicht klar ist, was im Ausland damit geschieht (Pfeil O, Abb. 99). Nur Halbfertigprodukte aus einheimischer Ernte, die exportiert werden, können aufgrund der vom IPCC zugewiesenen Halbwertszeiten für den HWP-Bestand berücksichtigt werden (Pfeil P_{EX} , Abb. 99). Die vertikalen Pfeile nach oben bezeichnen Emissionen aus den entsprechenden Beständen (E_{DOM} , E_{IM} , E_{EX-DOM} , Abb. 99). Der Pfeil NEE (Abb. 99) bezeichnet Netto-Veränderungen von Kohlenstoff der einheimischen Waldökosysteme. Der Pfeil H (Abb. 99) bezeichnet den aus einheimischen Wäldern extrahierten Kohlenstoff.

Mittels zweier Formeln (IPCC 2006 Gleichungen 12A.5 und 12A.6) wird die Variable 2A bestimmt, welche direkt in den Kyoto-Bericht einfließt. Diese bezeichnet die jährliche Veränderung des Kohlenstoffbestandes der Holzprodukte in Gebrauch aus einheimischer Ernte.

12.5.3 Ökobilanzen von Gebäude, Anwendungen

12.5.3.1 SIA 2032:2020 Ökobilanzierung Erstellung Gebäude

Originalname	Publikationsorgan	Publikationsdatum	Geltungsbereich
Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA)	August 2020	Bilanzierung für Neubauten und Umbauten von ganzen Gebäuden und von Gebäudeteilen sowie für einzelne Bauteile. Sinn gemäss kann die Bilanzierung auch für Bestandesbauten erfolgen.

Das Merkblatt geht nicht auf die Regelungen zur Erstellung von einzelnen Ökobilanzen für Bauprodukte oder Anlagen ein, sondern befasst sich insbesondere mit dem gesamten Lebenszyklus von Gebäuden und definiert hierfür Regelungen für die Ökobilanz. Die Ökobilanzdaten der einzelnen Bauprodukte und -dienstleistungen werden nicht vom SIA, sondern von der Plattform Ökobilanzdaten, welche von der KBOB, dem Verein Ecobau und der IPB⁹⁷ getragen wird, als Excel-Datei zur Verfügung gestellt und regelmässig aktualisiert (KBOB/IPB/Ecobau 2016).⁹⁸ Das Merkblatt SIA 2032 fokussiert auf die Erstellung und weist damit die Besonderheit auf, dass die Emissionen aus dem Betrieb der Anlagen in der Nutzungsphase (B) separat von der Erstellung thematisiert und betrachtet werden (siehe dazu im nächsten Abschnitt SIA 2040:2017). Unter dem Aspekt der Erstellung erfasst wird in der Nutzungsphase der Austausch von Bauteilen und Anlagen (B4). Entsprechend definiert das Merkblatt Erneuerungszyklen (sog. Amortisationszeiten), aus welchen ersichtlich wird, wann der Austausch (B4) der Bauteile und -produkte standardmässig erfolgt (bspw. nach 20, 30 oder 60 Jahren) (vgl. Anhang C und Tab. 7, Anhang E im Merkblatt 2032). Da zum Zeitpunkt der Berechnung der THG (üblicherweise in der Planungsphase eines Gebäudes) nicht klar ist, wann Erneuerungen erfolgen werden, rechnen alle Softwarelösungen zur Berechnung der GE und der THG-Emissionen mit diesen vorgegebenen Amortisationszeiten. Mit 60 Jahren endet der Lebenszyklus der Gebäude (Annahme SIA 2032).

Das Merkblatt stützt sich neben verschiedenen bauspezifischen SIA-Normen unter anderem auf den zurückgezogenen Normentwurf EN 15804+A1:2013 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ der europäischen Normenreihe Umweltbelastungspunk

⁹⁷ Siehe Abkürzungsverzeichnis.

⁹⁸ Siehe Link: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html [13.02.2020].

CEN/TC 350.⁹⁹ Das Merkblatt behandelt die GTHG zusammen mit der GE sowie den UBP anhand derselben Systematik.

12.5.3.2 SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie

Originalname	Publikationsorgan	Publikationsdatum	Geltungsbereich
SIA-Effizienzpfad Energie	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA)	Mai 2017	Das Merkblatt gilt für die Erstellung der Gebäude, den Energieverbrauch im Betrieb und durch das Gebäude induzierte Alltagsmobilität, für welche eine Bilanz für die nicht erneuerbare Primärenergie und die THG-Emissionen erstellt werden soll. Sinngemäss kann die Bilanzierung auch für Bestandesbauten erfolgen.

Das Merkblatt SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie stützt sich u. a. auf das SIA-Merkblatt 2032 (siehe 12.5.3.1) ab. Es umfasst Regelungen für den ganzen Lebenszyklus von Gebäuden in den Bereichen Erstellung, Betrieb und induzierte Mobilität und weist dazu Zielwerte für eine Absenkung im Sinne des SIA-Effizienzpfads aus. Dieser wird an anderer Stelle (Kap. 8.8.1.2) vorgestellt.

12.6 Amortisationszeiten nach SIA 2032:2020, Tab. 5

eBKP-H		Bezeichnung nach eBKP-H	Element bzw. Ausführung	Bemerkungen	Jahre			
Hauptgruppe	Elementgruppe				60	40	30	20
B		Vorbereitung						
	B06.01, B06.02	Aushub			X			
	B06.04, B07.02	Baugrubenabschluss, Pfählung			X			
C		Konstruktion Gebäude						
	C01	Fundament, Bodenplatte			X			
	C02.01 (A)	Aussenwandkonstruktion (unter Terrain)		ohne Bekleidung nach E01	X			
	C02.01 (B)	Aussenwandkonstruktion (über Terrain)		ohne Bekleidung nach E02	X			
	C02.02	Innenwandkonstruktion		tragend	X			
	C03	Stützenkonstruktion			X			
	C04.01	Geschossdecke		ohne Bekleidung nach G02 und G04	X			
	C04.04, C04.05	Dachkonstruktion		ohne Bedachung nach F	X			
	C04.08	Aussen liegende Konstruktion				X		
D		Technik Gebäude						
	D01	Elektroanlage		inkl. Solarzellen			X	
	D05	Wärmetechnische Anlage	D05.02 Wärmeerzeugung	allg. Wärmeerzeugung				X
				Erdwärmesonden		X		
				Solarkollektoren			X	
			D05.04, D05.05 Wärmeverteilung, Wärmeabgabe				X	
	D07	Lufttechnische Anlage					X	
	D08	Wassertechnische Anlage	Sanitäranlage				X	

⁹⁹ Der Entwurf wurde 2020 durch die Norm EN 15804:2012+A2:2019 ersetzt.

E						
Äussere Wandbekleidung Gebäude						
E01	Äussere Wandbekleidung unter Terrain				X	
E02	Äussere Wandbekleidung über Terrain	E02.01 Äussere Beschichtung	Putz direkt auf der Konstruktion			X
		E02.02 Aussenwärmedämmung	Kompaktfassade			X
		E02.03 Fassadenbekleidung (hinterlüftet)			X	
		E02.04 Systemfassade			X	
		E02.05 Bekleidung Untersicht	inkl. Auskragungen		X	
E03	Element in Aussenwand		Fenster, Türen, Tore			X
F						
Bedachung Gebäude						
F01	Dachhaut	F01.01 Dachabdichtung unter Terrain			X	
		F01.02 Bedachung Flachdach	Schutz- und Nutzschrift			X
		F01.03 Bedachung geneigtes Dach	ab Tragstruktur bis Eindeckung		X	
F02	Element zu Dach		Dachfenster, Sonnenschutz			X
G						
Ausbau Gebäude						
G01	Trennwand, Innentür, Innentor		nicht tragend, inkl. Innenfenster			X
G02	Bodenbelag					X
G03	Wandbekleidung					X
G04	Deckenbekleidung		Bekleidungen, Putz			X

12.7 Prognose zur Entwicklung bis 2030

12.7.1 Kurzfristige Entwicklung

12.7.1.1 Neubau

Kurzfristig bietet die Holz- bzw. Leichtbauweise ein höheres Einsparpotenzial als die Massivbauweise. Ihre Reduktionsmassnahmen sind erprobt und haben sich am Markt bereits bewährt. Die Massivbauweise kann mit innovativen Produkten wie z. B. dem Terrabloc-Stein oder dem Neustark/Zirkulit-Beton punkten, das Einsparpotenzial ist jedoch mengenmässig begrenzt. Das zirkuläre Bauen ist noch nicht mehrheitsfähig, während die Leichtbauweise breit angewendet werden kann.

Bei der Holz- bzw. Leichtbauweise gilt zu beachten, dass das Baumaterial aus nachhaltiger Produktion und idealerweise aus der Region stammt. Die Dezimierung ausländischer Waldflächen oder übermässig lange Transportwege beeinflussen die THG-Bilanz negativ.

Bei den Innovationen im Massivbaubereich fällt auf, dass sie sehr forschungsintensiv sind und über viele Jahre entwickelt wurden. Um weitere Ersparnisse zu erreichen, ist weiterhin eine hohe Forschungstätigkeit notwendig, dies gilt vor allem für den Zement- bzw. Betonbereich. Es ist erfreulich, dass der Neustark/Zirkulit-Beton auf Recycling-Gesteinskörnung setzt und damit auch die Ressourcenproblematik thematisiert. Die Studie von Alig et al. (2020) zeigt mögliche Potenziale der Industrie zur allgemeinen Optimierung von Bauprodukten wie Beton, Glas, Stahl, Holz usw. auf.

Die Reduktionsmassnahmen „Witterungsschutz“ und „kompakte Gebäudeform“ können unabhängig vom gewählten Szenario umgesetzt werden. Es handelt sich um eine Frage der Planungskultur.

12.7.1.2 Erneuerung

Beim Szenario Erneuerung ist die mit Abstand wichtigste Reduktionsmassnahme die „Weiterverwendung der Tragstruktur“. Selbstverständlich ist diese Massnahme streitbar, weil sie direkt mit den Gegebenheiten der Raumplanung und dem Thema der Nachverdichtung verknüpft ist. Wenn noch Anforderungen zur Erdbebensicherheit dazukommen, scheitert eine Aufstockung oder Gesamterneuerung häufig aus wirtschaftlichen Gründen. Aber werden alternative Möglichkeiten zum Ersatzneubau heute wirklich in allen Fällen ernsthaft geprüft?

12.7.2 Mittelfristige Entwicklung (ca. 2024)

12.7.2.1 Neubau

Mittelfristig ist zu erwarten, dass sich das Reduktionspotenzial beim Massivbau stark erhöht und vergleichbare Werte erzielt wie ein optimierter Leichtbau. Dies ist vor allem der Verwendung von Produkten mit Abfallstoffen wie beispielsweise dem Hochofenzement (CEM III/B) zu verdanken. Dieser bietet schon seit längerem die Möglichkeit, die THG-Bilanz von Beton deutlich zu verbessern. Nur wurde diese Gelegenheit aufgrund der unvorteilhaften Eigenschaften¹⁰⁰ des entsprechenden Betons nicht genutzt. Mittelfristig ist zu erwarten, dass

¹⁰⁰ Dazu zählen: deutlich langsamere Erhärtung, viel geringere Hydratationswärme, wesentlich längere Ausschulfristen und Nachbehandlungsdauern (doppelt so lange), reduzierter Karbonisierungswiderstand und daher erhöhtes Korrosionsrisiko usw. Quelle: <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/zur-vorgabe-der-zementart-cem-iii-b-fuer-hochbaubetone> [17.05.2021].

entweder die Eigenschaften des CEM III/B verbessert oder alternative Zemente mit ähnlich tiefen THG-Emissionen marktfähig werden.¹⁰¹ Die dem Zement alternativ beigemengten Stoffe (z. B. Hüttensand) sind nur in beschränkten Volumen vorhanden und bei verstärkter Nutzung können Zielkonflikte auftreten.

Alle Szenarien profitieren vom Einsatz von biogenen Baumaterialien und -produkten. Mit der Vollholzbauweise kann der C-Speicher einfach optimiert werden. Das Szenario „Handabdruck maximieren“ kann mit der Vollholzbauweise den C-Speicher massiv erhöhen. Hier gelten jedoch die bereits oben bei der Holz- bzw. Leichtbauweise erwähnten Vorbehalte betreffend die begrenzte Verfügbarkeit von Holz (vgl. Kap. 5.3.4.3). Ähnliches gilt für jegliche biogenen Baustoffe. Bei Produkten mit Ursprung ausserhalb der Waldflächen kommen zudem noch Bedenken zu begrenzt verfügbaren Agrarflächen dazu. Welche Konsequenzen haben die Entnahme von Stroh und die Produktion von Bioethanol? Wie wurden die Rohstoffe gewonnen? Führt die Produktion dieser Baustoffe zu Knappheiten und langen Transportwegen in anderen Sektoren? Sogar eine sorgfältig durchgeführte LCA vermag nicht vollständige Transparenz zu gewährleisten und alle zusammenhängenden Aspekte zu beleuchten. Grundsätzlich ist deshalb ein Nachweis einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Flächen ein wichtiges Kriterium für eine Anrechnung.

Die wichtigste Reduktionsmassnahme mit 15% sind jedoch die „flächensparenden Grundrisse“. Diese Massnahme kann grundsätzlich auf alle MFH angewendet werden. Die Umsetzung flächensparender Grundrisse steht und fällt mit deren Bestellung der Bauherrschaft in der strategischen Planungsphase. Aufgrund der bisherigen Entwicklung kann man davon ausgehen, dass flächensparende Wohnungen von der Bevölkerung nicht präferiert werden. Obwohl die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in der Schweiz bisher stetig angestiegen ist,¹⁰² ist bei einem wachsenden Umweltbewusstsein denkbar, dass sich ein suffizienterer Lebensstil zunehmend durchsetzen könnte. Flächensparendes Wohnen bietet für die BewohnerInnen weiter den Vorteil deutlich geringerer Wohnkosten.

Eine fast vernachlässigbare Einsparung bringt ein Teppich aus Recyclingmaterialien. Auf Produkte mit grösserem Materialvolumen übertragen, kann aber auch ein weiterer Ausbau der Recyclierung einen grösseren Beitrag leisten. Der Teppich aus Recyclingmaterialien wäre nicht erwähnenswert, wenn nicht davon auszugehen wäre, dass mittelfristig mehr Produkte dieser Art auf den Markt kommen werden. Das Mieten von Produkten stellt sicher, dass die Mietsache im Eigentum des Produzenten bzw. Lieferanten bleibt und dieser ein Interesse an geschlossenen Stoffkreisläufen und an den entsprechenden Ressourcen hat. Grundsätzlich könnte dieses Konzept auf eine Vielzahl von Bauprodukten ausgedehnt werden, vor allem auf Bereiche, welche nicht die langlebige Tragstruktur betreffen und relativ rasch abgenutzt werden. Begünstigende Rahmenbedingungen könnten generell geschlossene Stoffkreisläufe fördern.

12.7.2.2 Erneuerung

Bei Erneuerungen können, wie bei Neubauten, dieselben oder ähnliche Reduktionsstrategien gewählt und entsprechend auch vermehrt biogene Baustoffe oder Recyclingmaterialien verwendet werden (z. B. auch für Aufstockungen). Dies führt mittelfristig auch bei geringeren Baustoffmengen gegenüber den kurzfristig verfügbaren Massnahmen zu leicht höheren Einsparungen (vgl. Kap. 6.2.2).

¹⁰¹ Eine globale Forschungsinitiative – unter vielen anderen – führt dabei die EPFL mit dem LC3-Zement: <https://lc3.ch/> [17.05.2021].

¹⁰² Quelle: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/wohnungen/wohnverhaeltnisse/flaechenverbrauch.html> [17.05.2021].

12.7.3 Entwicklung bis kurz vor 2030

12.7.3.1 Neubau

Im Massivbaubereich kommen jetzt weitere Innovationen zum Zug. Die Reduktionsmassnahme „Karbonisierter Kalkstein“ ist ein Beispiel für einen karbonisierten Zementstein, der bei der Herstellung mehr CO₂ aufnimmt als ausstösst. Am stärksten holt jedoch das Szenario zirkuläres Bauen auf, wenn mit geeigneten Mitteln Massnahmen der Wiederverwendung gefördert und umgesetzt werden. Weiter kommen zunehmend optimierte Produkte, z. B. bei Dämmstoffen, und Recyclingmaterialien zum Einsatz.

Aufgrund des im Kapitel 5.3.4.5 genannten Vorschlags kann für den Zeitraum bis 2030 ab Erreichen eines Reduktionspotenzials von 40% mit einer Kombination von Reduktion der THG-Emissionen (CO₂-Fussabdruck) und temporären C-Speichern (CO₂-Handabdruck) das Ziel von 50% Reduktion erreicht werden. Hierfür wird der gewichtete additional C-Speicheranteil als Bonus angerechnet. Daraufhin erreichen 3 Szenarien 50% und können damit als klimapositiv bezeichnet werden.

Ein sogenannt CO₂-negativer Zementstein wirft automatisch die Frage nach der Herkunft des eingebundenen CO₂ und dem Aufwand für die Aufkonzentrierung und Bindung auf. Nicht vollständig gelöst ist hier die Frage, ob im Abluftstrom gewonnenes CO₂ einen Teil des Fussabdruckes des Vorprozesses erhalten sollte. Es muss zwingend atmosphärisches CO₂ verwendet werden, ansonsten könnte die THG-Bilanz nicht negativ sein. Um dies festzustellen, braucht es sehr sorgfältig und transparent erhobene LCA. Es ist zu erwarten, dass bis 2030 eine eigentliche THG-Industrie entsteht, welche atmosphärisches CO₂ zur Sequestrierung o. ä. günstig verfügbar macht.

Die Wiederverwendung von Bauteilen und -produkten als Reduktionsmassnahme wird bereits heute eingesetzt, allerdings nur bei vereinzelt Projekten. Wir gehen davon aus, dass es aufgrund der heutigen Planungs- und Baukultur sowie noch nicht ausgebauter Infrastruktur noch bis 2030 dauern wird, bis die Wiederverwendung im grossen Stil umgesetzt werden kann. Neue Dienstleister registrieren wiederverwendbare Bauteile und -produkte, was die Planung mit solchen Elementen erleichtert. Weiter gibt es Material-Scouts für die Suche nach geeigneten Bauteilen zur Wiederverwendung. Es stehen sich grundsätzlich 2 Massnahmen gegenüber: die eine verbaut heute geeignete gebrauchte Bauteile und -stoffe, die andere verbaut neue Bauteile und -stoffe so, dass sie sich am Ende des Lebenszyklus gut für eine Wiederverwendung eignen werden. Es zeichnet sich ab, dass erst die NutzerInnen der wiederverwendbaren Bauteile eine Gutschrift erhalten sollen und nicht diejenigen, welche geeignete Bauteile rückbauen und weitergeben bzw. -verkaufen (vgl. dazu Kap. 4.4.2). Das mag ökobilanztechnisch richtig und fair sein, aber faktisch braucht es beide Massnahmen, um eine entsprechende Bauweise mit einem hohen Potenzial für eine Folgenutzung zu fördern. Wenn Bauteile nicht zerstörungsfrei rückgebaut werden können, kann auch kein Markt für geeignete gebrauchte Bauteile entstehen. Derzeit fehlt eine Strategie, wie beim Bauen ein Anreiz für den zerstörungsfreien Rückbau geschaffen werden kann. Die finanziellen Vorteile durch einen Wiederverkauf von Bauteilen sind heute noch zu gering. Die EN 15804 erlaubt hier über das Modul D eine separate Angabe für das Potenzial einer späteren Nutzung im Sinne einer Gutschrift ausserhalb der eigenen Systemgrenzen.

Im gleichen Zusammenhang mit dem zerstörungsfreien Rückbau kann auch der sortenreine Rückbau genannt werden. Die Herstellung qualitativ hochstehender Recyclingprodukte ist üblicherweise auf sortenreine Rest- oder Abfallstoffe angewiesen. Für PET oder Armierungsstahl mögen die Voraussetzungen heute ausreichen (vgl. dazu Kap. 12.4.3.7). Es ist davon auszugehen, dass sich bei vielen Massenbaustoffen die Voraussetzungen bis 2030 verbessern werden und der Anteil an Produkten aus Recycling-, Rest- und Abfallstoffen vervielfachen wird.

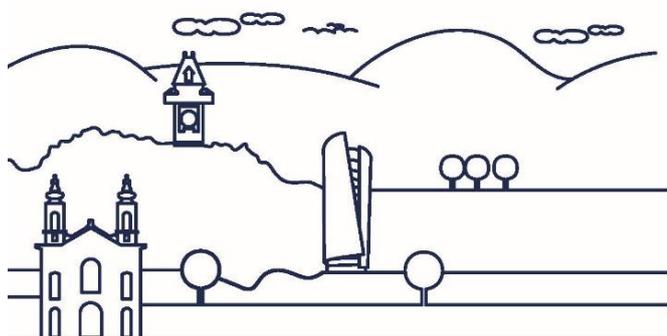
Weil heute viel Bauholz aus dem Ausland importiert wird, nehmen die Holzreserven im Schweizer Wald zu. Würde jedoch 2030 jeder Neubau den Handabdruck maximieren wollen, würde das nachhaltig geschlagene Holz in der Schweiz nicht ausreichen. Es bestünde die Gefahr, dass Holz erstens aus nicht nachhaltigen Quellen und zweitens mit langen Transportwegen in die Schweiz gelangen würde. Aus diesem Grund müssen alle Szenarien umgesetzt werden, also auch „Leichtbau optimieren“ (ressourceneffizient), „Zirkuläres Bauen“ (Kreislaufwirtschaft) und "Massivbau optimieren“ (lokal).

12.7.3.2 Erneuerung

Bei Erneuerungen kommen wie bei Neubauten in einem kleineren Mass wiederverwendete Bauteile und -produkte sowie Recyclingprodukte zum Einsatz.

12.8 Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich

(Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, 2019)



Grazer Deklaration für Klimaschutz im Baubereich

Ein Ergebnis der SBE19

Eine intakte natürliche Umwelt ist nicht nur eine lebensnotwendige Grundlage für die Menschheit, sondern auch die Basis für die weitere soziale und ökonomische Entwicklung. Seit mehr als 30 Jahren liefert die internationale Wissenschaftsgemeinde Belege für die zunehmende Konzentration an Treibhausgasen (THG) in der Erdatmosphäre, schätzt die damit verbundenen Schäden und Kosten ab und weist nach, dass die Zunahme durch den Menschen verursacht wird. Die Wissenschaft weist seither auf die Notwendigkeit einer Reduzierung von Treibhausgasemissionen hin, um die durch eine globale Erwärmung verursachten Schäden und Risiken zu begrenzen. Die UNFCCC hat dies bestätigt und einen internationalen Prozess initiiert, der auf die gemeinschaftliche Verringerung der schädlichen Treibhausgasemissionen abzielt. Der jüngste IPCC-Bericht¹ zeigt jedoch, dass dringend entschlosseneren Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die globale Erwärmung auf 1,5° C zu begrenzen. Diese Maßnahmen müssen zudem schneller umgesetzt werden als ursprünglich gedacht.

In Europa können der Nutzung von Gebäuden ca. 40% des Energieverbrauchs und ca. 36% der CO₂-Emissionen zugeordnet werden; sie sind damit der größte Einzelverursacher für Energieaufwand und Treibhausgasemissionen. Hinzu kommen noch Energieaufwand und Emissionen für die Herstellung von Bauprodukten zur Errichtung und Instandhaltung von Gebäuden und baulichen Anlagen.² Es besteht deshalb ein dringender Bedarf an Maßnahmen, die zur Reduktion des Energieaufwands und der Treibhausgasemissionen sowohl in der bauproduktherstellenden Industrie als auch im Bau-, FM- und Immobiliensektor beitragen. Deshalb ist eine Verringerung des „carbon footprint“ (Treibhausgas-Fußabdrucks) von Bauwerken zwingend notwendig.

Gute Beispiele zeigen, dass eine gebaute Umwelt mit netto-Null-Treibhausgasemissionen möglich und machbar ist. Zusätzlich zur Auseinandersetzung mit klimatischen und umweltbezogenen Aspekten werden in derartigen Projekten auch gesellschaftliche Anliegen im weiteren Sinne adressiert, wie sie in den Nachhaltigkeitszielen der UN³ ihren Ausdruck finden. Diese guten Beispiele sind ein Beleg für die technische, soziale und ökonomische Machbarkeit. Derartige Lösungen müssen in der Breite angewendet werden.

Die Ziele einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf unter 1.5°C machen eine Übersetzung in konkrete Maßnahmen in den spezifischen Branchen und Sektoren sowie bei den beteiligten Akteuren erforderlich.

Die in Graz anwesenden Teilnehmerinnen und Teilnehmer an der SBE19 / die Unterzeichner dieser Deklaration geben daher folgende Erklärung ab:

(1) Die Regierungen haben eine entscheidende Rolle bei der Festlegung und Durchsetzung langfristiger Prinzipien, Werte und Prioritäten und müssen deshalb zielgerichtete Politiken und Grundlagen für eine Transformation der gebauten Umwelt in Richtung Treibhausgasneutralität (netto-Null Treibhausgasemissionen) entwickeln. Dies schließt den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen ein – insbesondere durch die Verringerung der Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre sowie der gefährlichen Wirkungen auf Umwelt und Gesellschaft. Rechtlich verbindliche internationale, nationale und lokale Anforderungen sollen in Kraft gesetzt und dabei die auf wissenschaftlicher Basis formulierten Ziele für eine Verringerung der Treibhausgase anerkennen und berücksichtigen. Nur so lässt sich noch das Ziel einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1.5°C erreichen.

(2) Für den Bau- und Immobilienbereich werden spezifische Ziele und Budgets für Treibhausgasemissionen benötigt. Diese sollen sowohl skalierbar und ebenenübergreifend (top-down, bottom-up für Bauprodukte, Gebäude, Städte, Gebäudebestände) sein als auch klare Zeitvorgaben enthalten, um die Treibhausgasneutralität bis oder schon vor Mitte dieses Jahrhunderts erreichen zu können. Um die volle Wirksamkeit entfalten zu können, müssen die Ziele und Budgets

¹ IPCC (2018) Global Warming of 1.5 C (Special Report). <https://www.ipcc.ch/sr15/>

² In addition to the operational part, 11% of the global building related GHG-emissions are caused by the construction industry.

³ e.g. reduced environmental impacts, resilience, innovation, health and wellbeing, reduced inequalities, responsible consumption and production, and affordable housing.

in Gesetzen und Normen verankert werden. Anforderungen sollen leistungsorientiert und technologieneutral formuliert werden. Bedingt durch die lange Nutzungsdauer von Gebäuden und deren lang anhaltenden Auswirkungen müssen verbindliche Anforderungen bis 2025 eingeführt werden. Dies ist der Dringlichkeit der Thematik angemessen und hilft lock-in Effekte zu vermeiden.

(3) Die Erfassung des Energieaufwandes in der Nutzungsphase reicht nicht mehr aus. Sowohl Ressourceninanspruchnahme als auch die Treibhausgasemissionen müssen über den gesamten Lebenszyklus begrenzt werden. Die Vorschriften in Bezug auf die lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen müssen daher die Herstellung, Errichtung, Nutzung, Instandhaltung, den Ersatz sowie die Modernisierung sowie den Rückbau, die Entsorgung und das Recycling der Gebäude abdecken.⁴

(4) Öffentliche Gebäude bzw. Gebäude, die öffentliche Mittel in Anspruch genommen haben, müssen eine Vorbildwirkung beim Erreichen anspruchsvoller Treibhausgaseminderungen einnehmen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Weiterentwicklung gängiger Praxis, bei der Schaffung neuer Fähigkeiten sowie beim Vorantreiben von Innovationen. Die Performance öffentlicher Gebäude muss regelmäßig überwacht und öffentlich kommuniziert werden. Dies trifft auch und insbesondere auf die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus zu.

(5) Förderprogramme aus öffentlichen Mitteln sollten für solche Neubauvorhaben und Sanierungsmaßnahmen (z.B. die Sanierung von Einzelgebäuden oder kompletter Bestände) entwickelt werden, die einen überdurchschnittlichen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten. Die Förderhöhe sollte sich dabei am Umfang vermiedener Treibhausgasemissionen orientieren.

(6) Forschungsaktivitäten mit einem klaren Bezug zur Verringerung von Treibhausgasemissionen in der gebauten Umwelt sollten priorisiert und mit angemessenen materiellen und finanziellen Ressourcen sowie ausreichenden Stellen ausgestattet werden. Das Volumen der Forschungsförderung sollte sich an den möglichen Einsparungen an Energie und Treibhausgasemissionen orientieren – verglichen auch mit anderen Sektoren.

(7) Wir, die Unterzeichner dieser Deklaration verpflichten uns, die Entwicklung von methodischen Grundlagen und Hilfsmitteln für die Erfassung, Beurteilung und Beeinflussung der Ressourceninanspruchnahme und der Umweltbelastung durch Bauwerke und ihre Infrastrukturen voranzutreiben. Gleiches gilt für die Entwicklung und Erprobung von Produkten, Technologien und Bauweisen.

(8) Eine wichtige Aufgabe ist die Beratung und Unterstützung von Politik, Industrie und Zivilgesellschaft im Bereich der Entwicklung und Anwendung von Strategien zur Dekarbonisierung der gebauten Umwelt. Wir sehen es als unsere Aufgabe und Verantwortung an, uns in internationalen und lokalen Klimaschutzaktivitäten zu engagieren.

(9) Wir rufen alle auf, die mit der Organisation und Durchführung von Ausbildungsmaßnahmen betraut sind, die Curricula so weiterzuentwickeln und anzupassen, dass die Themen der UN-Nachhaltigkeitsziele sowie der Dekarbonisierung zu zentralen Bestandteilen werden. Dies soll noch vor 2025 geschehen. Dazu gehören das Lehren der Grundsätze, des Systemdenkens, praxisorientierter Fähigkeiten und Lösungen für treibhausgasneutrale Gebäude.

(10) Wir rufen alle Berufsorganisationen und Interessenvertretungen dringend auf, bei ihren Mitgliedern eine verpflichtende Weiterbildung zu organisieren. Diese soll insbesondere sicherstellen, dass die Mitglieder die Fähigkeiten und das Wissen besitzen, um eine treibhausgasneutrale Umwelt zu gestalten, zu betreiben und zu erhalten.

(11) Wir rufen die Vertreter der bauproduktherstellenden Industrie, der Bauwirtschaft sowie der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft auf, ihren konkreten Beitrag zur drastischen Verringerung von Treibhausgasemissionen in ihren jeweiligen Arbeits- und Verantwortungsbereichen, inklusive der Lieferketten, zu leisten.

(12) Wir rufen die Vertreter der Finanz- und Versicherungswirtschaft auf, Gebäuden bzw. Sanierungsmaßnahmen mit einem überdurchschnittlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und zum Klimaschutz vergünstigte Konditionen zu gewähren. Wir begrüßen in diesem Zusammenhang die „green finance“-Initiative der EC mit einer Systematik/Taxonomie zur Bewertung von Bau- und Infrastrukturprojekten in der Europäischen Union auf Basis ihrer Auswirkungen auf die Umwelt/auf das Klima.

(13) Wir laden die Organisatoren und Teilnehmer der kommenden Weltkonferenz WSBE20 ein, diese Initiative aus Europa in die Welt zu tragen. Auf der Weltkonferenz werden wir über die Ergebnisse und den Fortschritt unserer Forschungsarbeiten und weiterer Aktivitäten berichten.

⁴ This can be expressed as the carbon footprint of a building based on a life cycle assessment (LCA)

SBE19
Graz

SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT D-A-CH CONFERENCE 2019
Graz University of Technology, Austria
11 - 14 September 2019

Transition Towards
a Net Zero Carbon
Built Environment

12.9 Kommentar Fachperson und Replik Autorschaft

Auf ausdrücklichen Wunsch von Herrn Rolf Frischknecht (er war Teilnehmer eines Leitfadenterviews und Gesprächspartner bei den Konsultationen mit der SIA-Kommission 2032) kommen wir im Folgenden seinem Wunsch nach, sich zur vorliegenden Studie zu äussern:

Studie Peter Näf, Priska Sacher, Fredy Dinkel, Cornelia Stettler, Klimapositives Bauen; Ein Beitrag zum Pariser Absenkepfad, nova Energie, Carbotech, Basel, September 2021

Stellungnahme Rolf Frischknecht, 15.9.2021

Die Studie behandelt eine für die zukünftige Entwicklung des Schweizer Gebäudeparks, der Baubranche und ihrer Zulieferer zentrale und wichtige Frage. Zu diesem Zweck werden Lösungen auf verschiedenen Ebenen diskutiert und vorgeschlagen, nämlich zu den Bereichen Entwurf, alternative Baumaterialien, Herstellung von Baumaterialien und Gebäudetechnik-Komponenten wie auch alternative Ansätze in der Modellierung und in einer zeitabhängigen Bestimmung der Klimawirkung von CO₂-Emissionen.

Die folgenden Aspekte und Empfehlungen erachte ich als speziell kritisch beziehungsweise inhaltlich falsch. Wesentliche Inhalte des Berichts widersprechen den wissenschaftlichen Erkenntnissen in Bezug auf die Wirkung der Emissionen von CO₂ und auf das verbleibende Emissionsbudget, sie widersprechen der etablierten Ökobilanz-Praxis, die unter anderem auf dem Vorsorgeprinzip und der Generationengerechtigkeit beruht und erfüllen die Anforderungen an wissenschaftliches Arbeiten nicht (Relevanz, Nachvollziehbarkeit und Transparenz).

1. Etikettenschwindel „klimapositiv“: Ein Gebäude wird als klimapositiv bezeichnet, wenn deren spezifische THG-Emissionen der Errichtung der Hälfte oder weniger der THG-Emissionen beim Errichten eines heute durchschnittlichen Gebäudes entsprechen (rund 5.6 kg CO₂-eq/m² und Jahr). Diese Bezeichnung ist in zweierlei Hinsicht ein Etikettenschwindel. Erstens wird diese Eigenschaft „klimapositiv“ vergeben unter Ausblendung der Emissionen im Gebäudebetrieb. Zweitens hat ein Gebäude erst dann eine „positive“ Klimaschutz-Wirkung, wenn netto mehr Treibhausgase aus der Atmosphäre entnommen und permanent endgelagert werden als das Gebäude bei Bau, Betrieb und Entsorgung emittiert.

Empfehlung: Begriff ersetzen mit einem den moderaten Anforderungen (nur Errichten, nur „minus 50 %“) entsprechenden.

2. Ungedeckte Kredite zulasten künftiger Generationen 1: Es ist sachlich nicht gerechtfertigt, der temporären Speicherung von biogenem Kohlenstoff eine weder teilweise noch vollständige mindernde Klimawirkung zuzurechnen und in der Bilanz als Reduktionsmassnahme auszuweisen. Der Zeitpunkt der Emission von CO₂ und damit eine zeitlich befristete Zwischenspeicherung von biogenem Kohlenstoff in Gebäuden spielt in Bezug auf das 1.5 °C Ziel praktisch keine Rolle.¹⁰³ Erst ein rechtssicher und verbindlich geregeltes permanentes Sequestrieren des im Gebäude verbauten biogenen Kohlenstoffs erlaubt deshalb ein Anrechnen einer Senkenleistung. Zudem ist bei Ersatzneubauten der in den Altbauten eingelagerte und beim Abbruch freigesetzte biogene Kohlenstoff zu berücksichtigen. Vermehrt werden Aufforstungen und Wälder als Kompensationsmassnahme für fossile CO₂-Emissionen verwendet.¹⁰⁴ Dem Holz aus solchen „Kompensationswäldern“ darf keine CO₂-Entnahme angerechnet werden. Obwohl im Bericht mehrfach die Aussage gemacht wird, dass Fuss- und Handabdruck nicht

¹⁰³ Prof. Reto Knutti, 7.9.2021: „Die Klimawirkung einer Tonne CO₂ ist immer etwa die gleiche, egal wann sie ausgestossen wird, d.h. die Temperatur folgt einfach linear den kumulativen Emissionen“.

¹⁰⁴ Zum Beispiel Wald in Oberallmig, Kanton Schwyz, dessen jährlich gebundenes CO₂ (8000 Tonnen) von Holcim Schweiz in Form von Emissionszertifikaten bei SouthPole gekauft und zur Kompensation der CO₂-Emissionen der Herstellung des Zements EvopactZERO verwendet werden.

zusammengerechnet werden dürfen, wird das Einlagern von biogenem Kohlenstoff in ein „Reduktionspotenzial“ umgerechnet mit den übrigen Reduktionen aggregiert und diskutiert.

Empfehlung: Diesen fachlichen Fehler konsequent korrigieren, indem jeder Tonne CO₂ unabhängig vom Emissionszeitpunkt ein GWP von 1.0 kg CO₂-eq/kg CO₂ zugewiesen und der in Gebäuden zwischengelagerte biogene Kohlenstoff konsequent in „Tonnen biogenem C“ quantifiziert wird.

3. Ungedeckte Kredite zulasten künftiger Generationen 2: Das Recycling von Baustoffen am Ende des Lebenszyklus von Gebäuden kann dazu beitragen, dass in 60 Jahren oder noch später weniger Primärressourcen abgebaut und verarbeitet werden müssen. Die daraus abgeleiteten und in die Gegenwart transferierten Gutschriften basieren in der Regel auf Daten der heutigen Produktion. Die heute in Rechnung gestellte Gutschrift braucht als Gegenposition eine ebenso hohe Lastschrift auf dem zukünftig rezyklierten Material. Das im Bericht gewählte Vorgehen ist aus zwei Gründen problematisch: erstens wird die Umweltbelastung der Materialherstellung aus Primärmaterial in ferner Zukunft keine oder massiv weniger Treibhausgasemissionen verursachen. Zweitens werden zukünftige Generationen nicht akzeptieren, rezykliertem Material einen Fussabdruck zuzuweisen, der demjenigen von Primärmaterial entspricht.

Empfehlung: Die „Massnahme“ End of life Recycling (Modul D) weder individuell noch aggregiert mit anderen Massnahmen als „Reduktionspotenzial“ heutiger Gebäude ausweisen.

4. Intransparente und Annahmen-basierte Berechnungen: Es bleibt unklar, wie die Reduktionspotenziale der einzelnen Massnahmen und in Summe für die verschiedenen Ambitionsstufen rechnerisch ermittelt wurden. Die Ergebnisse sind nicht nachvollziehbar.

Empfehlung: Auf quantitative Aussagen verzichten oder die Grundlagendaten der Sachbilanzen veröffentlichen.



Uster, 15. September 2021

Rolf Frischknecht

Replik der AutorInnen zur Stellungnahme von Herrn Frischknecht

In der Studie ging es darum, dem Zielpublikum (Bauherrschaften, PlanerInnen und Bauunternehmen) darzulegen, wie die Emissionen Grauer THG bei der Erstellung möglichst schnell und effektiv gesenkt werden können. In diesem Kontext wurde auch der Begriff «klimapositiv» für ein Gebäude, dessen GTHG tiefer liegen als der Absenkpfad verlangt, bewusst etwas provokativ gewählt. Dass damit keine negative Klimabilanz gemeint ist, sondern sich der Begriff nur auf diese Zielerreichung bezieht, haben wir im Bericht entsprechend ausgeführt. Um die Grössenordnungen der verschiedenen Massnahmen für nicht Ökobilanzexperten zu veranschaulichen, wurden in gewissen Graphiken die temporären C-Speicher als CO₂ separat ausgewiesen, jedoch (gemäss Vorgehen in Tab. 17) umgewandelt in eine anrechenbare Speicherleistung. Die Grundlagen der Berechnungen bilden die KBOB-Ökobilanzdaten sowie das MFH-Referenzhaus, dessen Ausgestaltung im Kapitel 5. hinlänglich erläutert wird. Zudem mussten, wie in jeder Ökobilanz, Annahmen z.B. beim Mengengerüst getroffen werden. Im Sinne der Transparenz haben wir diese entsprechend ausgewiesen (siehe Steckbriefe Reduktionsmassnahmen im Anhang).

Die Welt in 60 Jahren – wenn gemäss SIA-Norm ein heute erstelltes Gebäude abgebrochen und entsorgt wird – wird eine andere sein als heute. Dass dies Implikationen für das heutige Handeln hat, wird in der

Umweltökonomie als selbstverständlich erachtet. Wir stehen heute vor enormen Herausforderungen und sollten vorhandene Anreize in angemessener Weise unbedingt nutzen. Der Lernprozess bei der Baubranche muss jetzt auf breiter Basis angestossen werden und in diesem Sinne haben wir Vorschläge erarbeitet. Dass die Berechnungen mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind, haben wir in Kauf genommen, da uns dieser Lernprozess wichtiger ist.

Eine Verrechnung des biogenen C-Speichers haben wir innerhalb der Autorschaft diskutiert und in Übereinstimmung mit der Bemerkung von Rolf Frischknecht nicht gemacht. Jedoch haben wir im Rahmen dieses Projektes einen Vorschlag erarbeitet, in dem der anrechenbare C-Speicher (in einem beschränkten Mass) zur Zielerreichung beitragen kann. Sicher sind auch andere Vorschläge und alternative Darstellungen denkbar und wir freuen uns, wenn wir mit unserem Beitrag eine Diskussion anstossen können.

Zu den Kritikpunkten im Detail:

1. Diese Arbeit behandelt explizit das Problem der Erstellung, nicht jenes des Betriebs. Der Effizienzsteigerung des Gebäudebetriebs wurde seit der Ölkrise in den 70er Jahren ausreichend Beachtung geschenkt, wodurch bedeutsame Erfolge erzielt wurden. Aus diesem Grund beziehen wir uns hier nur auf die Gebäudeerstellung. Der Begriff «klimapositiv» ist strategisch gewählt, da wir der Meinung sind, dass dieses Thema bisher viel zu wenig berücksichtigt wurde, obwohl bereits heute Möglichkeiten zur Reduktion bestehen. Mit dieser Arbeit wollen wir bewirken, dass der Klimathematik in der Gebäudeerstellung in Zukunft durch Investoren, Architekten und Planer mehr Beachtung geschenkt wird. Durch die Definition eines Absenkpades und des Begriffs «klimapositives Bauen» für Bauwerke, welche den Absenkpfad unterschreiten, soll ein entsprechender Anreiz gesetzt werden. Der Begriff bezieht sich nicht auf eine Ökobilanz und gibt nicht vor, negative Emissionen zu erzeugen, sondern bezieht sich auf die Zielsetzung des Absenkpades. Wenn die Emissionen der Erstellung von Gebäuden möglichst rasch auf die Hälfte reduziert werden können, hat dies auf das Klima durchaus eine positive Wirkung!
2. Unser Vorschlag bezieht sich auf die Notwendigkeit umgehend alle Massnahmen zu ergreifen, die heute möglich sind. Gebäude resp. die Stadt als (temporären) Speicher zu nutzen, sehen wir als sinnvolle Lösung und wir möchten neben den anderen Möglichkeiten die Speicherung nicht ausblenden. Die temporäre Speicherung hilft, den Ausstoss von CO₂ zu verzögern. Auch uns ist klar, dass die Wirkung von heute emittiertem CO₂ auf die Atmosphäre dieselbe ist, wie in 60 oder 200 Jahren und haben dies im Bericht auch so beschrieben. Relevant ist jedoch, dass durch diese Verzögerung Zeit gewonnen und die Auswirkung des Klimawandels vorübergehend etwas abgeschwächt werden kann. Die gewonnene Zeit kann dazu genutzt werden, die Technologien zur dauerhaften Speicherung von CO₂ weiterzuentwickeln und womöglich günstiger anzubieten. Daher beharren wir hier nicht streng auf der buchhalterischen Sichtweise, wie dies die Regeln und Normen der Ökobilanzierung vorsehen, sondern beziehen umweltökonomische Aspekte (die Diskontierung) für die Definition der Zielerreichung mit ein, wobei die Basis der Berechnungen den Normen der Ökobilanzierung entspricht. Diesen positiven Beitrag möchten wir der Baubranche nicht vorenthalten. Wie im Kapitel 5 angemerkt, stösst dieses Speicher-Wachstum irgendwann an Grenzen und lässt sich nicht endlos weiterführen. Daher haben wir dies und weitere Restriktionen bei der Anrechnung berücksichtigt.
3. Siehe Punkt zwei.
4. In der Studie werden unterschiedlichste Methoden (Baustoffe, Bauteile und Bauweisen) bewertet, einige sind längst Stand der Technik, andere stecken noch in der Pilot- oder Forschungsphase. Um bezüglich der Wirkung keine falschen Hoffnungen zu wecken, haben wir alle Massnahmen einzeln bezüglich ihrer aktuellen Umsetzbarkeit beurteilt (Ambitionsstufen). Die Beurteilung erfolgte basierend auf unserer Erfahrung

und unserem Fachwissen, welches wir als ehemals praktizierende Architekten mitbringen. In Tabelle 24 und 25 sowie in den Steckbriefen (siehe Anhang) ist die Bewertung der Ambitionsstufen dokumentiert. Die Bewertung mag für aussenstehende beschränkt nachvollziehbar sein, erhebt aber auch keinen Anspruch auf Absolutheit. Dennoch sind wir überzeugt, mit dieser Beurteilung ein Bild des heute Machbaren aufzeigen und einen vagen Blick in die Zukunft werfen zu können. Vor allem wird deutlich, dass es nicht reicht, nur die «low hanging fruits» umzusetzen, sondern, dass es notwendig ist, alle möglichen Massnahmen bis zur höchsten Ambitionsstufe zu realisieren.

12.10 Steckbriefe Reduktionsmassnahmen

Reduktionsstrategie	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden	
Spezifische Bezeichnung	Capatect System Natur+	
Projektphasen (SIA 102)	31-33 Projektierung	41-42 Ausschreibung
Kurzbeschreibung	Dämmputz mit Hanffasern	
Methode	1: Materialeffizienz	2: Senke
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Konv. Rohmaterial (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	unterhaltsarm/robust	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Sequestrierung / Kompostierung (nat. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Vorurteile	
Nebeneffekte	Baubiologisch gesund	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Biogener Dämmstoff als Ersatz fossiler und mineralischer Dämmstoffe, Beitrag zur Erhöhung C-Speicher im Gebäude	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Erfahrungswert biogene Kunststoffe versus fossile Kunststoffe, Reduktionspotential -60%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Dämmstoffe Wände und Dach. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 5% des CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes. THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 2 % Carbon Footprint MFH Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung: C-Speicher 24 kg (89 kg CO ₂), Anrechnung zeitlich gewichtet zusätzliche Senkenleistung -28 kg CO ₂ / -4% THG	
Quellen	https://www.caparol.ch/capatect/capatect-systeme/system-natur https://www.baubook.info/zentrale/?URL_R=https%3A%2F%2Fwww.baubook.info%2Fm%2Fphp%2FInfo.php%3F%3D2142722541%26SW%3D5%26SuchID%3D367079&SW=5&SuchID=367079	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.25	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-15.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	-8	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	
Spezifische Bezeichnung	Product as service (Teppich)	
Projektphasen (SIA 102)	41-42 Ausschreibung	
Kurzbeschreibung	Produkte werden nicht mehr käuflich erworben, sondern als Dienstleistung gemietet (geschlossener technischer Kreislauf)	
Methode	1: Zirkuläres Bauen	2: Materialeffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Recycling (tech. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	na	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Recycling (tech. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Unter grossen Widerständen	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Product as a service, Optimierung Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Erfahrungswert Reduktionspotential Recycling -50%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Bodenbeläge. Der Beitrag zum CO2-Fussabdruck des Gebäudes liegt bei <1%. THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion <1 % Carbon Footprint MFH Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung: unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Heisel, Felix et al. (2019) http://www.desso.ch https://boden.objekt.tarkett.de The International EPD® System (2019)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-0.05	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-3.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	minimal (<1%)	

Reduktionsstrategie	Reduzieren der THG-Intensität	
Spezifische Bezeichnung	Neustark- und Zirkulit-Beton	
Projektphasen (SIA 102)	41-42 Ausschreibung	41-42 Ausschreibung
Kurzbeschreibung	Mit CO2 angereicherte Recyclinggesteinskörnung. Reduktion Zementanteil und dauerhafte CO2-Speicherung	
Methode	1: Planungseffizienz	2: Senke
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Recycling (tech. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	unterhaltsarm/robust	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Recycling (tech. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	2) Mit Vorbehalten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Permanente Karbonisierung der Recyclinggesteinskörnung (Kalkstein). Der Einsatz verändert die Eigenschaften des Betons und ermöglicht eine Reduktion des Zementanteils, gleichzeitig wird mit der Karbonisierung CO2 langfristig gebunden.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Reduktionspotential des Zementersatzes und Speicherung führen zu einem reduzierten CO2 Fussabdruck. Die Reduktion liegt im Bereich von 12%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Verwendung Decken/Wände/tragende Innenwände/Dach. Der Beitrag dieser Elemente zum CO2-Fussabdruck des Gebäudes liegt bei etwa 40%. THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 5% Carbon Footprint MFH Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung: unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Braune, Lisa / Tiefenthaler, Johannes (2020)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	0.51	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	31.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	mittel (5-10%)	

Reduktionsstrategie	Wiederverwendungs- und Recycling-Potenzial optimieren (Modul D)	
Spezifische Bezeichnung	Planen für Demontage	
Projektphasen (SIA 102)	31-33 Projektierung	41-42 Ausschreibung
Kurzbeschreibung	Zerstörungsfrei rückbaufähige Systemtrennung für späteres Urban Mining am Lebensende	
Methode	1: Zirkuläres Bauen	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Wiederverwendung	
Kommerzielle Verfügbarkeit	2) Im Ausland erhältlich, Wissen vereinzelt vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Vorurteile	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Einfach demontierbare Elemente erhöhen das Potential einer späteren Wiederverwendung und Recycling. Mit einer Systemtrennung und einfach zugänglichen Elementen können jene mit einer kürzeren Lebensdauer gezielt ersetzt und die übrigen Bauteile länger weiterverwendet werden	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Wiederverwendung Elemente statt Neuproduktion. Reduktionspotential -50% unter der Annahme, dass nicht immer ein vollständiger Ersatz möglich ist und etwas Aufwand für eine Instandhaltung notwendig ist	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Elemente der Innenwandkonstruktion, Dachkonstruktion, Fassadenbekleidung und Aussenwärmedämmung sowie einzelne Elemente Gebäudetechnik und Deckenbekleidung. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 9% des CO ₂ -Fussabdruckes des Gebäudes	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 5% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung: unverändert, kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Malmqvist, Tove et al. (2018)	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.50	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]		Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	Modul D verrechnet	

Reduktionsstrategie	Wiederverwendung von Bauteilen und -Produkten	
Spezifische Bezeichnung	Planen und bauen mit Secondhand-Material	
Projektphasen (SIA 102)	11-13 Strategische Planung	21-22 Vorstudien
Kurzbeschreibung	Einsetzen der Bauteile und -Produkte aus Urban Mining	
Methode	1: Zirkuläres Bauen	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Wiederverwendung	
Kommerzielle Verfügbarkeit	3) Zu Testzwecken, kaum Wissen vorhanden (Experten)	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	4) Im Rahmen von P&D-Projekten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Der Einsatz von Secondhand-Bauteilen führt zu einem geringeren Aufwand bei der Neuproduktion von Materialien und Bauteilen	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Bauen mit Secondhand-Material statt Neumaterial, Wiederverwendung. Grössenordnung Reduktionspotential -50% unter der Annahme, dass nicht immer ein vollwertiger Ersatz erzielt wird mit Secondhandmaterial und Aufwände für eine Instandsetzung notwendig sind	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Elemente der Dachkonstruktion und der Dachhaut, Fassadenelemente und Aussenwärmedämmung, Fenster, Stützenkonstruktionen sowie einzelne Elemente Gebäudetechnik und Innen-/Aussenwände. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 21% des CO2-Fussabdruckes des Gebäudes	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 10% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung: unverändert, kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Malmqvist, Tove et al. (2018)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-1.11	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-67.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	gross (10-15%)	

Reduktionsstrategie	Holzkonstruktionen anwenden	
Spezifische Bezeichnung	Brettstapel und Brettspertholz	
Projektphasen (SIA 102)	21-22 Vorstudien	
Kurzbeschreibung	Massivholz als Brettspertholz oder Brettstapel optional als Nurholz-Konstruktion ausgebildet	
Methode	1: Materialeffizienz	2: Senke
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Konv. Rohmaterial (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	unterhaltsarm/robust	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Recycling (tech. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	1) Vorhanden	
Nebeneffekte	Baubiologisch gesund	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Reduktion Emissionsintensität des eingesetzten Baumaterials, Beitrag Senkenleistung C-Speicherung.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: BAFU Studie Holzbaukennzahlen für Investoren 2020. Variantenvergleich Carbon footprint Holzbau 7.4 kg CO ₂ pro m ² und Jahr versus Massivbau 8.5 kg CO ₂ pro m ² und Jahr, Differenz 1.1 kg CO ₂ pro m ² EBF und Jahr (Abbildung 13, Klingler & Kasser, 2012). Hier aufgeführt Analysen Fallbeispiele Nova Energie Holzbau versus Massivbau (Reduktion pro m ² EBF und Jahr auch Größenordnung - 0.9 kg CO ₂ pro m ² EBF und Jahr). Höhere Einsparungen bezogen auf einzelne Elemente. Variantenvergleiche Wandelemente pro m ² Wandfläche aus Pittau et. al. (2018): 100 kg CO ₂ pro m ² Wandfläche A1/B4/C Timber, 120-130 kg CO ₂ pro m ² Wand Brick-Concrete).	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Konstruktion Tragstruktur Wände/Decke/Dach mit Holz statt Massivbau. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 38 % Carbon Footprint des Referenzgebäudes THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktionspotential 8% Carbon Footprint MFH Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung: C-Speicher 86 kg (314 kg CO ₂). Anrechnung zeitlich gewichtet, zusätzliche Senkenleistung -139 kg CO ₂ / -20% THG	
Quellen	Rüter, Sebastian / Diederichs, Stefan (2012) KBOB / eco-bau / IPB (2016) Klingler / Kasser (2012) Pittau et al. (2018)	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.90	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-54.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	-69	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	mittel (5-10%)	

Reduktionsstrategie	Effiziente Grundrisse und möglichst geringe EBF pro Kopf (Suffizienz)	
Spezifische Bezeichnung	Flächensparende Grundrisse	
Projektphasen (SIA 102)	11-13 Strategische Planung	21-22 Vorstudien
Kurzbeschreibung	Flächenoptimierte, suffiziente Grundrissgestaltung	
Methode	1: Planungseffizienz	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Vorurteile	
Nebeneffekte		
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Ein geringerer Wert EBF pro Kopf reduziert in vielen Bereichen den Aufwand. Das Volumen Neubauten fällt mit einem geringeren Flächenbedarf tiefer aus.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Mit einer Reduktion der Fläche von durchschnittlich 65 m2 EBF pro Kopf auf 45 m2 EBF pro Kopf, fallen die benötigten Flächen rund 30% tiefer aus.	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Nahezu alle Bauteile sind von einer Reduktion der EBF betroffen. Das Ausmass der Reduktion ist abhängig von der Lage im Gebäude, z.B. weniger stark reduziert sich die Fläche Aussenwände, Innenwände und Dach gegenüber der direkt proportionalen Einsparung Deckenflächen. Keine Einsparung wird erwartet bei Gebäudetechnik. Auf etwa 53% des Carbon Footprint kann eine Reduktion erwartet werden.	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Pro Bewohner, Reduktion 15% Carbon Footprint MFH (pro m2 EBF unverändert)	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung: Pro Bewohner, Reduktion der eingebauten Speichermenge (pro m2 EBF unverändert)	
Quellen	Prognos (2015) BWO (2017)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-1.60	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-96.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	5	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	gross (10-15%)	

Reduktionsstrategie	Neue, innovative Materialien verwenden	
Spezifische Bezeichnung	Cleancrete	
Projektphasen (SIA 102)	31-33 Projektierung	41-42 Ausschreibung
Kurzbeschreibung	Giessbarer Baustoff von Oxara, bestehend aus Aushubmaterial und Additiven (Chemikalien auf Mineralbasis)	
Methode	1: Materialeffizienz	2: Planungseffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Reststoffe (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	na	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Sequestrierung / Kompostierung (nat. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	3) Zu Testzwecken, kaum Wissen vorhanden (Experten)	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	4) Im Rahmen von P&D-Projekten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Zementfreies, emissionsarmes Produkt. Ersatz des CO2-intensiven Zementanteils von Beton durch Ton/Aushubmaterial. Verwendet wird Ton/Aushub ungebrannt, die Festigung erfolgt mit mineralischen Chemikalien (beschleunigen Härtung).	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Abhängig vom Ersatz der Baumaterialien. Nicht tragende Elemente Beton, Backstein, Leichtbau-Wände. im Mittel Einsparpotential von -75%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Nicht tragende Wände, etwa 35-40% der Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 5% des CO2-Fussabdruckes des Gebäudes.	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 4 % des Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung unverändert, kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	https://oxara.ch/	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-0.45	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-27.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Reduzieren der THG-Intensität	
Spezifische Bezeichnung	Hochofenzement	
Projektphasen (SIA 102)	41-42 Ausschreibung	
Kurzbeschreibung	Beton gebunden mit CEM III/B	
Methode	1: Planungseffizienz	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Konv. Rohmaterial (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)		
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Unter grossen Widerständen	
Nebeneffekte		
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Ersatz des CEM II/B-Zements mit CEM III/B im Beton. Der Anteil Zementklinker wird teilweise durch Hüttensand ersetzt (Nebenprodukt Eisenproduktion).	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Direkter Vergleich Betonrechner CEM III/B mit CEM II/B, Reduktion - 42%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Nicht exponierte tragende Betonkonstruktion, Decken und Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 21% des CO ₂ -Fussabdruckes des Gebäudes. THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktionspotential 9% Carbon Footprint MFH Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Betonartenrechner auf treeze.ch [8.06.2020]	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO₂eq/m2a]	-0.95	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO₂eq/m2]	-57.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	mittel (5-10%)	

Reduktionsstrategie

Spezifische Bezeichnung

Projektphasen (SIA 102)

Kurzbeschreibung

Methode

Eignung für Gebäudeerneuerung

Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)

Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)

Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)

Kommerzielle Verfügbarkeit

Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung

Nebeneffekte

Wirkmechanismus

Betroffene Bauteile

Annahmen

Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden

Terrabloc

31-33 Projektierung

41-42 Ausschreibung

Baustein aus Aushubmaterial mit minimalem Zementanteil

1: Materialeffizienz

2: Planungseffizienz

Ja

Reststoffe (nat. Kreislauf)

unterhaltsarm/robust

Recycling (tech. Kreislauf)

1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden

2) Mit Vorbehalten

Generationengerechter

Wirkmechanismus:

Zementarmes Produkt. Das Aushubmaterial wird mit einem minimalsten Anteil Zement gebunden..

Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential:

Variantenvergleich Fallbeispiele nicht tragender Wände, Backstein versus Terrabloc, Reduktionspotential -75%

Annahme Bauteile Umsetzung:

Nicht tragende Wände, etwa 35 % der Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 6% des CO2-Fussabdruckes des Gebäudes.

THG Einschätzung Reduktionspotential:

Reduktion 5% Carbon Footprint MFH

Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung

unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung

Quellen

<http://www.terrabloc.ch/>

THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a] -0.49

Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a

THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2] -29.00

Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2

Veränderung biogener C-Speicher

unverändert

C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2

THG-Einsparpotenzial

klein (1-5%)

Reduktionsstrategie	Kompakte Gebäudeform	
Spezifische Bezeichnung	Kompaktes und optimal genutztes Gebäude	
Projektphasen (SIA 102)	21-22 Vorstudien	31-33 Projektierung
Kurzbeschreibung	Kompakte Gebäudegeometrie (Gebäudehüllverhältnis) mit hohem Nutzflächenanteil (HNF/GF)	
Methode	1: Planungseffizienz	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	2) Mit Vorbehalten	
Nebeneffekte		
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Reduzierter Materialaufwand durch kompakte Gebäudeform und optimierte Grundrisse (optimales Verhältnis Nutzfläche zu Gebäudefläche). Geringerer Materialaufwand pro m2 EBF.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Literatur weist unterschiedliche Angaben aus. Typischerweise liegt das Potential der Optimierung im Bereich -6%.	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Aussenwände, Decken, Dach (Gebäudeform und Grundrisse). Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 65% des CO2-Fussabdruckes des Gebäudes.	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 4% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung Unverändert, kein relevanter Einfluss auf Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Malmqvist, Tove et al. (2018) Hönger, Christian et al. (2013)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-0.42	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-25.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Reduzieren der THG-Intensität	
Spezifische Bezeichnung	Carbcrete	
Projektphasen (SIA 102)	41-42 Ausschreibung	
Kurzbeschreibung	Zement-Modulstein mit angereichertem CO ₂ (Kanadisches Produkt)	
Methode	1: Senke	2: Materialeffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Konv. Rohmaterial (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	unterhaltsarm/robust	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Recycling (tech. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	3) Zu Testzwecken, kaum Wissen vorhanden (Experten)	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	4) Im Rahmen von P&D-Projekten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus:	
Betroffene Bauteile	Ersatz Zement im Beton durch emissionsarme Materialien, in diesem Fall Schlacke als Nebenprodukt der Stahlindustrie. Die Schlacke wird behandelt, so dass CO ₂ gebunden und langfristig gespeichert wird. Bei dem Produkt handelt es sich um vorgefertigte Blöcke. Möglich ist ein Einsatz für Aussenwände und Innenwände, wobei voraussichtlich eine Armierung und Betonfüllung der Blöcke notwendig ist.	
Annahmen	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Gemäss Publikation Kools (2018) pro Block Emissionen 0.27 kg CO ₂ /Block gegenüber 1,56 kg CO ₂ /Block konventioneller Beton (17.9 kg Block). Die Mineralisierung führt zusätzlich zur Aufnahme 0.5 kg CO ₂ pro 19 kg Block. CO ₂ stammt aus der Abluft ARA und wird als CO ₂ -frei in der Produktion betrachtet. Gemäss Angaben des Herstellers speichert das Produkt mehr CO ₂ , als in der Herstellung ausgestossen wird. Damit liegt die Reduktion bei -115%	
	Annahme Bauteile Umsetzung: Teilersatz Aussenwände und tragende Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente liegt etwa bei 8% des CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes.	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 11% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ unverändert, kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Kools, Ramses (2018) http://carbcrete.com/	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-1.19	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-71.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	gross (10-15%)	

Reduktionsstrategie	Gebäudelebensdauer verlängern	
Spezifische Bezeichnung	Witterungsschutz Fassade	
Projektphasen (SIA 102)	11-13 Strategische Planung	21-22 Vorstudien
Kurzbeschreibung	Dauerhafte Konstruktionen und Materialien, Schutz der Gebäudehülle	
Methode	1: Zirkuläres Bauen	2: Planungseffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	2) Mit Vorbehalten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Schutz vor Verwitterung und Exposition (z.B. durch Vordächer) und damit höhere Lebensdauer der Bauteile	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Ermöglicht einen geringeren Aufwand beim Ersatz und Wartung. Reduktion Aufwand Wartung und Ersatz Grössenordnung -25% bis -30%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Fassadenelemente, teilweise Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente zum CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes liegt bei etwa 5%	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 1% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ : unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Rasmussen, Freja et al. (2020)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO₂eq/m2a]	-0.15	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO₂eq/m2]	-9.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Bau- und Konstruktionsphase optimieren (A4-A5)	
Spezifische Bezeichnung	Vorfertigung	
Projektphasen (SIA 102)	21-22 Vorstudien	31-33 Projektierung
Kurzbeschreibung	Vorgefertigte Tragstruktur und Innenausbaulemente (Kontrollierte Bedingungen in der Produktion, weniger Abfälle)	
Methode	1: Planungseffizienz	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	1) Vorhanden	
Nebeneffekte	Bauliche	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Optimierung Aufwände und Materialverluste bei der Verarbeitung (Vorteile Transporte und Baustellenaufwand hier nicht aufgeführt)	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Reduktionspotential einer effizienteren und ressourcensparenden Verarbeitung 5-10%.	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Aussenwände und Innenwände, Dachkonstruktion. Der Beitrag dieser Elemente zum CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes liegt bei etwa 49%	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 2% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ : unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Mao, Chao et al. (2013) Monahan, J. / Powell, J.C. (2011)	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.26	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-16.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden	
Spezifische Bezeichnung	Strohdämmung	
Projektphasen (SIA 102)	31-33 Projektierung	41-42 Ausschreibung
Kurzbeschreibung	Biogene Wärmedämmung mit Stroh. Platten mit Proteinbindemittel	
Methode	1: Senke	2: Planungseffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Reststoffe (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	unterhaltsarm/robust	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Sequestrierung / Kompostierung (nat. Kreislauf)	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Vorurteile	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Einsatz emissionsarmer Produkte für die Dämmung. Ersatz von Mineralwolle und Schaumstoffen. Lokale Produktion Stroh mit geringem Aufwand in der Verarbeitung. Biogenes Material als Beitrag zur Erhöhung Senkenleistung in Gebäuden.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Reduktionspotential Dämmung -71%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Dämmstoffe Aussenwände, teilweise Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente zum CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes liegt bei etwa 3%. THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 2% Carbon Footprint MFH Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ : C-Speicher 24 kg (89 kg CO ₂), Anrechnung zeitlich gewichtet, zusätzliche Senkenleistung -16 kg CO ₂ / -2% THG	
Quellen	Pittau, Francesco et al (2018) https://www.maxit.de/kompetenzen/maxit-eco-care/	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.22	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-13.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	-8	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Holzkonstruktionen anwenden	
Spezifische Bezeichnung	Vollholzkonstruktion	
Projektphasen (SIA 102)	11-13 Strategische Planung	21-22 Vorstudien
Kurzbeschreibung	Massivholzwände und -decken, wobei die Fassadenelemente teilweise als Wärmedämmung wirken (>40 cm Holz)	
Methode	1: Senke	2: Materialeffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Nein	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Konv. Rohmaterial (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	unterhaltsarm/robust	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Wiederverwendung	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Vorurteile	
Nebeneffekte	Baubiologisch gesund	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Reduktion Emissionsintensität des eingesetzten Baumaterialies. Beitrag Senkenleistung C-Speicherung.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotential: Abschätzung mit BAFU Studie zu Holzbaukennzahlen für Investoren 2020 (Variantenvergleich CO2 Footprint Holzbau 7.4 kg CO2 pro m2 und Jahr versus Massivbau 8.5 kg CO2 pro m2 und Jahr, Differenz 1.1 kg CO2 pro m2 EBF). Eigene Analyse Fallbeispiel Vollholz 1 kg CO2 pro m2 EBF. Daraus abgeleitet wurde ein Reduktionspotential -20% für Tragstruktur	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Vollholz Konstruktion Tragstruktur, Wände, Decke, Dach und teilweise Dämmung. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 46 % des CO2 Fussabdruckes des Gebäudes	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 10% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicherung / Handprint CO2-Senkenleistung: C-Speicher 103 kg (376 kg CO2), Anrechnung zeitlich gewichtet zusätzliche Senkenleistung -180 kg CO2 / -28% THG	
Quellen	Head, Marieke et al. (2020) Pittau, Francesco et al (2018) https://www.naegeli-holzbau.ch/appenzellerholz.html#vollholzelementbau	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-1.05	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-63.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	-86	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	gross (10-20%)	

Reduktionsstrategie	Baustoffe aus Abfällen, Nebenprodukten und Recycling	
Spezifische Bezeichnung	Wärmedämmung aus rezykliertem PET	
Projektphasen (SIA 102)	41-42 Ausschreibung	
Kurzbeschreibung	Wärmedämmung aus rezykliertem PET	
Methode	1: Zirkuläres Bauen	2: Materialeffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	na	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	4) Im Forschungsstadium, kein Wissen vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	2) Mit Vorbehalten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Optimierung Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Erfahrungswert Grössenordnung Reduktionspotential Kunststoffrecycling -50%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Perimeterdämmung, Rohrisolierung Gebäudetechnik und Folien. Der Beitrag zum CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes liegt bei etwa 3%	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 1% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung: unverändert, kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Pomponi, Francesco / Moncaster, Alice (2016) Lee, Bruno et al. (2011) Napolano, Loredana et al. (2015) Intini, Francesca / Kühtz, Silvana (2011) Tinglev, Danielle / Davison, Buick (2011)	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.16	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-10.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	

Reduktionsstrategie	Reduzieren des Gewichts und der Materialintensität	
Spezifische Bezeichnung	Holzleichtbau	
Projektphasen (SIA 102)	21-22 Vorstudien	31-33 Projektierung
Kurzbeschreibung	Oberirdische Tragstruktur als Holzleichtbau	
Methode	1: Planungseffizienz	2: na
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	na	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	2) Mit Vorbehalten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Leichtbauweise, Gewicht-reduzierte Bauweise mit schwächerer Dimensionierung Pfähle und Fundamente. Reduktion Materialgewicht.	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Erfahrungswert Leichtbau versus Massivbau, Reduktionspotential - 20%	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Tragstruktur und Innenwände. Der Beitrag dieser Elemente liegt bei etwa 53% des CO ₂ -Fussabdruckes des Gebäudes.	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 11% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung: abhängig von der Materialwahl, Beitrag Zielerreichung Erhöhung Handprint Senkenleistung mit 50% Anteil Holzkonstruktionen C-Speicher 43 kg (157 kg CO ₂), Anrechnung zeitlich gewichtet zusätzliche Senkenleistung -53 kg CO ₂ / -8% THG	
Quellen	Basbagill, J. et al. (2013) García-Segura, Tatiana et al. (2014) Atmaca, Adem / Atmaca, Nihat (2015) Miller, Dane / Doh, Jeung-Hwan (2015) Moynihan, Muiris / Allwood, Julian (2014)	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-1.14	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-68.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	-26	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	gross (10-15%)	

Reduktionsstrategie	Gebäudelebensdauer verlängern	
Spezifische Bezeichnung	Weiterverwendung der bestehenden Tragstruktur	
Projektphasen (SIA 102)	11-13 Strategische Planung	21-22 Vorstudien
Kurzbeschreibung	Sanierung / Umbau und Wiederverwendung der Gebäudestruktur statt Ersatzneubau	
Methode	1: Zirkuläres Bauen	2: Planungseffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	na	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	na	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	2) Mit Vorbehalten	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Erhalt und Weiterverwendung Tragstruktur bei Modernisierung	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Reduktionspotential -50% (Annahme Ersatz/Erhalt nicht vollständig möglich)	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Tragstruktur. Der Beitrag dieser Elemente zum CO2-Fussbadruck des Gebäudes liegt bei etwa 31%	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktion 16% Carbon Footprint MFH	
	Biogener C-Speicher / Handprint CO2-Senkenleistung: unverändert, Kein Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Malmqvist, Tove et al. (2018)	
THG Reduktion pro m2 EBF und Jahr [kgCO2eq/m2a]	-1.66	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO2eq/m2a
THG Reduktion pro m2 EBF [kgCO2eq/m2]	-100.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO2eq/m2
Veränderung biogener C-Speicher	unverändert	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m2
THG-Einsparpotenzial	gross (10-20%)	

Reduktionsstrategie	Natürliche und lokale (Biomasse-) Materialien verwenden	
Spezifische Bezeichnung	FLEXEN® PE	
Projektphasen (SIA 102)	31-33 Projektierung	41-42 Ausschreibung
Kurzbeschreibung	Rohrisolierung aus mehrheitlich nachwachsenden Rohstoffen (Zuckerrohrethanol aus Brasilien)	
Methode	1: Materialeffizienz	2: Planungseffizienz
Eignung für Gebäudeerneuerung	Ja	
Phase A: Herstellungsstrategie (A1-A3; A5-A5)	Konv. Rohmaterial (nat. Kreislauf)	
Phase B: Nutzungsphase (B1-B7)	lange Lebensdauer (> als nach e-BKP)	
Phasen C+D: Entsorgungsstrategie (C1-C4 + D)	Deponie	
Kommerzielle Verfügbarkeit	1) In der Schweiz erhältlich, Wissen breit vorhanden	
Bereitschaft der Baubranche für Umsetzung	3) Vorurteile	
Nebeneffekte	Generationengerechter	
Wirkmechanismus	Wirkmechanismus: Verwendung biogener Kunststoffe	
Betroffene Bauteile	Wirkfaktor Reduktion, Einsparpotenzial: Reduktionspotential -40%, Erfahrungswerte Biokunststoffe	
Annahmen	Annahme Bauteile Umsetzung: Rohrisolationen. Der Beitrag dieser Elemente zum CO ₂ -Fussabdruck des Gebäudes liegt im Bereich von 3%	
	THG Einschätzung Reduktionspotential: Reduktionspotential 1% Carbon Footprint MFH	
	C-Speicher / Handprint CO ₂ -Senkenleistung: unverändert, kein relevanter Beitrag zum Ziel einer Erhöhung der Senkenleistung	
Quellen	Institut Bauen und Umwelt (2017) https://ch.buildup.group/product/b60d7070-12e2-4955-a25e-a2e75dced080/view	
THG Reduktion pro m² EBF und Jahr [kgCO₂eq/m²a]	-0.11	Referenzfall MFH: 11.2 kgCO ₂ eq/m ² a
THG Reduktion pro m² EBF [kgCO₂eq/m²]	-7.00	Referenzfall MFH: 672 kgCO ₂ eq/m ²
Veränderung biogener C-Speicher	-1	C-Speicher Referenzfall MFH: -17 kgC/m ²
THG-Einsparpotenzial	klein (1-5%)	