



Schlussbericht vom 30. November 2024

Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG)

Übersichtsbericht



**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.energieforschung.ch

Subventionsempfänger/innen:

TEP Energy GmbH
Rotbuchstr. 68, CH-8037 Zürich
www.tep-energy.ch

Carbotech AG
St. Alban-Vorstadt 19, Postfach, CH-4002 Basel
www.carbotech.ch

HEIA-FR – ENERGY/iTEC
Passage du Cardinal 13B, 1700 Fribourg
<https://www.smartlivinglab.ch/fr/groups/energy/>
<https://www.smartlivinglab.ch/fr/groups/itec/>

Paul Scherrer Institut (PSI)
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen
<https://www.psi.ch/en/ta>

ETHZ – Chair of Sustainable Construction
Stefano-Franscini-Platz 5, 8093 Zürich
<https://sc.ibi.ethz.ch/en/>

HEIG-VD – IE
Avenue des Sports 20, 1401 Yverdon-les-Bains
<https://heig-vd.ch/rad/instituts/ie>

INTERFACE Politikstudien
Forschung Beratung AG
Seidenhofstrasse 12 Rue de Bourg 27
CH-6003 Luzern CH-1003 Lausanne
www.interface-pol.ch

KOS PartnerInnen GmbH
Giesshübelstrasse 62i,
8045 Zürich
<https://www.kos.swiss/>

Autor/innen:

Yasmine D. Priore, HEIA-FR/ETHZ, priorey@ethz.ch (Lead)
Martin Jakob, TEP Energy
Cornelia Stettler, Carbotech
Guillaume Habert, ETHZ
Thomas Jusselme, HEIA-FR
Amadea Tschannen, Interface

Projektteams aller Fragestellungen F0 bis F4:

Projektmanagement: Christine Steiner, KOS

F0

Martin Jakob, TEP
Cornelia Stettler,
Carbotech

F1

Martin Jakob, TEP
Giacomo Catenazzi,
TEP
Cornelia Stettler,
Carbotech
Joachim Bagemihl, TEP
Armin Binz, Binz
Energie am Bau

F2

Yasmine D. Priore,
ETHZ, HEIA-FR
Guillaume Habert,
ETHZ
Thomas Jusselme,
HEIA-FR
Daia Zwicky, HEIA-FR
Sonia Anselmina Cau,
HEIA-FR
Sébastien Lasvaux,
HEIG-VD
Mija Frossard, HEIG-
VD
Didier Favre, HEIG-VD
Xiaojin Zhang, PSI,
ETHZ

F3

Amadea Tschannen,
Interface
Aline Hänggeli, Interface
Stefan Rieder, Interface

F4

Martin Jakob, TEP
Joachim Bagemihl, TEP
Cornelia Stettler,
Carbotech

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Rolf Frischknecht, treeze Ltd., mandatiert durch das BFE



Mitglieder der Begleitgruppe (in alphabetischer Reihenfolge):

René Bäbler, KBOB	Andrea Lötscher, EnFK*
Tom Blindenbacher, 2000W-Gesellschaft	Joe Luthiger, Verein NNBS
Olivier Brenner, EnDK*	Andreas Meyer, Verein Minergie / Verein GEAK
Christoph Gmür, MuKE*	Katrin Pfäffli, SIA 390/1
Adrian Grossenbacher, BFE	Roger Ramer, BAFU
Niko Heeren, AHB Stadt Zürich	Marianne Stähler, Verein Ecobau*
David Hiltbrunner, BAFU	Christoph Starck, SIA
Sabrina Krank, ETH Rat / BLO	Sabine von Stockar, Verein Minergie / Verein GEAK
Annick Lalive, SIA 2032	*) nur für Projektteile F0, F1, F2 und F4

BFE-Vertragsnummer: SI/502615-01 und SI/502634-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/Autorinnen dieses Berichts verantwortlich.



Vorwort

Was bedeutet Netto-Null im Gebäudebereich? So einfach die Frage, so komplex deren Beantwortung. Das vorliegende Forschungsprojekt hat diese Frage von verschiedenen Seiten untersucht und liefert konkrete Antworten.

Die Frage des noch verbleibenden CO₂-Budgets, um die Klimaziele im Gebäudebereich zu erreichen, wurde im Top-Down Teil beleuchtet, während bottom-up mögliche Strategien zur Emissionsreduktion am einzelnen Gebäude identifiziert wurden. Ein weiterer Projektteil zeigte mögliche politische Massnahmen auf und diskutierte deren Umsetzung. Schliesslich wurde mit der in diesem Projekt entwickelten Netto-Null-Whole Life Carbon-Methode überprüft, inwieweit aktuelle Gebäudestandards und Labels geeignet sind, ein Netto-Null-Gebäude abzubilden.

Eine besondere Bedeutung kam in diesem Projekt der Begleitgruppe zu. Die involvierten Vertreterinnen und Vertreter der Gebäudelabels, des SIA, von Bund, Kantonen und Städten engagierten sich mit viel Herzblut für eine praxisgerechte und umsetzbare Berechnungsmethode für Netto-Null-Gebäude. Die intensive Auseinandersetzung in der Gruppe und mit den Forschungsteams, die ihrerseits die Wissenschaftlichkeit hochhielten, war für alle Beteiligten eine wertvolle Erfahrung – sowohl inhaltlich als auch darin, die teilweise sehr unterschiedlichen Sichtweisen zu einem gemeinsamen Verständnis zu entwickeln. Letzteres floss wiederum in die Prämissensetzung der Forschungsarbeit ein.

Die wichtigsten Erkenntnisse dieses hinsichtlich Vielschichtigkeit und Stakeholdereinbezug aussergewöhnlichen Projekts finden Sie im Executive Summary. Danach folgen die Zusammenfassungen der einzelnen Projektteile und abschliessend übergreifende Schlussfolgerungen. Um es vorweg zu nehmen: Netto-Null im Gebäudebereich zu erreichen ist extrem anspruchsvoll, dazu drängt die Zeit. Jedoch kann mit dem Netto-Null-ready-Ansatz sofort begonnen werden. Dies stimmt uns zuversichtlich, mit den wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen dieses Forschungsprojekts, den praxisnahen Empfehlungen und einer gemeinsam getragenen Definition von Netto-Null-Gebäuden einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele in der Schweiz leisten zu können.

Ich wünsche Ihnen eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre.

Andreas Eckmanns

BFE-Bereichsleiter Forschung Gebäude



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungen	5
Executive Summary	6
Einleitung	10
Konzepte und Begrifflichkeiten.....	10
F0 Methodik und Definition eines Netto-Null-Gebäudes	12
Forschungsfragen und Erkenntnisse	12
Fazit und Empfehlungen zu F0	18
F1 Top-down Betrachtung	19
Forschungsfragen und Erkenntnisse	19
Fazit und Empfehlungen zu F1	24
F2 Bottom-up Betrachtung	25
Forschungsfragen und Erkenntnisse	25
Fazit und Empfehlungen zu F2	29
F3 Übersicht möglicher Umsetzungswege	30
Forschungsfragen und Erkenntnisse	30
Fazit und Empfehlungen zu F3	31
F4 Grundlagen für die Grenz- und Zielwertsetzung	32
Forschungsfragen und Erkenntnisse	32
Fazit und Empfehlungen zu F4	35
Schlussfolgerungen	36
Literaturhinweise	37

Abkürzungen

BM	(Strom-) Bilanzmodell
CCS, BECCS	Carbon Capture and Storage, Bioenergy with Carbon Capture and Storage
DACCS	Direct Air Capture and Storage
EPD	Umwelt-Produktdeklaration (Environmental Product Declaration)
GEAK	Gebäudeausweis der Kantone
HKN	Herkunftsnachweis
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KIG	Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (Klima- und Innovationsgesetz)
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
MinBE	Minimierte Bruttoemissionen
NE	Negativemissionen
NET	Negativemissionstechnologie
NN	Netto-Null
THG	Treibhausgas
WLC	Whole Life Carbon



Executive Summary

Ausgangslage und Ziele

Netto-Null Treibhausgasemissionen (NN-THGE) in Gebäuden werden als unverzichtbares Mittel angesehen, um die Pariser Klimaziele zu erreichen. Die gebaute Umwelt macht einen erheblichen Anteil der nationalen und internationalen Emissionen aus. Daher ist es entscheidend, sowohl betriebliche als auch die vor- und nachgelagerten Emissionen, sogenannte «Graue Emissionen», zu reduzieren. Die betrieblichen Emissionen, die vor allem durch fossile Heizsysteme verursacht werden, werden in naher Zukunft stark abnehmen. Schwieriger ist jedoch die Dekarbonisierung der Produktion und Entsorgung von Baumaterialien zur Reduzierung der Grauen Emissionen. Das vorliegende Forschungsprojekt, das 2022 von Bundesamt für Energie (BFE) ausgeschrieben wurde, hat geeignete Strategien identifiziert, um im Gebäudebereich NN-THGE zu erreichen und schlägt eine Berechnungsmethodik dafür vor. Das mehrteilige Projekt kombiniert Top-Down- und Bottom-up-Ansätze. Ziel ist es, Richtlinien, Benchmarks und Empfehlungen für Entscheidungsträger, Fachleute der Immobilien- und Bauwirtschaft sowie Akteure im Bereich Gebäudestandards und Labels zu entwickeln. Die Ergebnisse sollen Informationen für Entscheide über künftige regulatorische Rahmenbedingungen bereitstellen und dazu beitragen, den Schweizer Gebäudebereich (Neubauten und Gebäudebestand) bis 2050 auf Netto-Null auszurichten.

Wichtigste Ergebnisse

1) Definition Netto-Null-Gebäude

Ein Gebäude mit netto null Treibhausgasemissionen (kurz «Netto-Null Gebäude») weist ein Minimum an THG-Emissionen für die Erstellung und im Betrieb über den gesamten Lebenszyklus auf und vermindert die verbleibenden THG-Emissionen durch anrechenbare Negativemissionen auf Ebene Baumaterialien und -Elemente. Anrechenbar sind Negativemissionen, wenn die dauerhafte Speicherung des biogenen CO₂ gesichert ist. Diese Möglichkeit ist heute de facto noch nicht vorhanden.

2) Netto-Null-ready-Gebäude

Ein Gebäude, bei dem temporäre Senken – z.B. biogene Baustoffen und Materialien – zur Anwendung kommen, die zu einem späteren Zeitpunkt in permanente Negativ-Emissionen (NE) überführt werden können. Voraussetzung für Netto-Null-ready ist eine weitgehende Reduktion der Brutto-Emissionen, z.B. gemäss Zusatzanforderung A des SIA-Klimapfads. Im Gegensatz zum Netto-Null-Gebäude ist eine rechtlich verbindliche Absicherung hier nicht zwingend erforderlich.

3) Emissionsbudgets und Reduktionspfade für den Gebäudebereich

Das aus dem KIG (Klima- und Innovationsgesetz) abgeleitete kumulative Emissionsbudget beträgt für den Gebäudebereich (inkl. vor- und nachgelagerter Emissionen) etwa 510 Mio. t CO₂eq. Den aktuellen Prognosen zufolge kann das 2°C-Ziel bei diesem Reduktionspfad mit einer Wahrscheinlichkeit von 83 % erreicht werden. Das 1,7°C-Ziel hat eine 50 % Chance, jedoch wird das 1,5°C-Ziel klar verfehlt. Im Basis-Szenario¹ dieses Projekts wird eine Reduktion der THG-Emissionen im Gebäudebereich um 78 % bis 2050 angenommen. Dafür ist die vollständige Beseitigung der Scope-1-Emissionen (durch fossile Brennstoffe) und eine deutliche Reduzierung der Emissionen aus Scope 2 und 3 erforderlich. Trotz dieser anspruchsvollen Annahmen überschreitet der Gebäudebereich im Basis-Szenario das aus dem KIG abgeleitete Ziel um das doppelte. Von den ermittelten Emissionen von rund 6,5 Mio. t CO₂eq pro Jahr per 2050 entfallen 5,4 Mio. t auf Scope 3-Emissionen aus Bau, Erneuerung und Energieinfrastruktur.

¹ Das « Basis-Szenario » berücksichtigt eine höhere Energieeffizienz bei Gebäudehülle, Heizanlagen, Technik und Geräten sowie den nahezu vollständigen Verzicht auf fossile Energieträger bis 2050. Die Stromnachfrage für Elektroheizungen soll fast auf null sinken, während Wärmepumpen und Fernwärme zunehmen. Emissionsfaktoren werden stark reduziert, und Materialeinsatz sowie Konstruktionstypen spielen eine wichtige Rolle. Die Hebel Temporäre Senken und negative Emissionen werden separat betrachtet.



Um das aus dem KIG abgeleitete Ziel von 2 Mio. t CO₂eq pro Jahr zu erreichen, sind also zusätzliche Massnahmen nötig. Dazu gehört eine umfangreiche Reduzierung der Grauen Emissionen von Baumaterialien, der vollständige Verzicht auf fossile Brennstoffe in Gebäuden und bei der Energieproduktion (einschliesslich Energienetze) und die Verlängerung der Gebäudenutzungsdauer.

4) Berücksichtigung Grauer Emissionen

Der Grossteil der betrieblichen Emissionen kann durch einfache Massnahmen im Bereich der Energieeffizienz und Elektrifizierung (z. B. Wärmepumpen, Fernwärme) und der Dekarbonisierung der Energieversorgung reduziert werden. Graue Emissionen sind jedoch schwieriger zu reduzieren. Da die betrieblichen Emissionen im Laufe der Zeit abnehmen, wird erwartet, dass die Grauen Emissionen einen grösseren Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen werden. Die Forschungsergebnisse zeigen die Wichtigkeit, Graue Emissionen durch innovative Baupraktiken, Materialeffizienz und die Verwendung emissionsarm hergestellter Materialien zu senken. Entsprechend wichtig ist eine Zusammenarbeit der Gebäude- und Immobilienwirtschaft mit den Sektoren Energie (Strom und thermische Netze) und Industrie (Produktion von Materialien und Bauelementen).

5) Ganzheitlicher, Multi-Massnahmen-Ansatz für Gebäude

Massnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen auf Gebäudeebene können im Durchschnitt eine THG-Emissionen-Reduktion von 15 % erzielen, was jedoch weit unter den für Netto-Null erforderlichen Werten liegt. Aus diesem Grund ist ein mehrschichtiger Ansatz erforderlich, der technologische Innovationen, politische Massnahmen und Verhaltensänderungen kombiniert. Zur Erreichung von Netto-Null-Gebäuden wurden drei vielversprechende zielführende Strategien identifiziert: Erstens eine Reduktion der Bautätigkeit (weniger Neubauf Flächen, mehr Sanierungen, effiziente Raumnutzung), zweitens die Optimierung der Gebäudeperformance (Energieeffizienz, bedarfsorientierte Planung) und drittens die Integration von erneuerbaren und emissionsarmen Energieformen und Materialien. Das Potenzial von kombinierten Massnahmen-Strategien zur Emissionsreduktion beträgt im untersuchten Referenzgebäude bis zu 72 %. Dies ist jedoch nur unter optimalen Bedingungen und an geeigneten Standort möglich. In den anderen Fällen gilt es, dass mögliche Reduktionsspektrum einzeln zu bewerten.

6) Harmonisierung Gebäudestandards und -labels

Um die Netto-Null-Ziele bis 2050 effektiv zu erreichen, ist eine Harmonisierung der Schweizer Gebäudestandards und -labels, wie jene des Schweizerischer Ingenieur- und Architektenvereins (SIA), Minergie, Ecobau, des Gebäudeausweises der Kantone (GEAK) und des Standards Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) zielführend. Bereits jetzt gibt es gemeinsame Definitionen und Annahmen, jedoch bestehen noch gewisse Unterschiede bei Berechnungsmethoden, Systemgrenzen und der Anerkennung von Zertifikaten. Im Projekt wird ein Ansatz «Netto-Null-Whole Life Carbon (WLC) Gebäude» definiert, an dem sich die Standards und Labels orientieren können. Die im Normenentwurf «FprSIA 390/1:2024» definierte Methode, ist dann kohärent mit dem WLC-Ansatz, wenn der Berechnungsweg mit dem Verkauf von Herkunftsnachweisen und ohne Nutzung von Ökostrom verwendet wird. Minergie weicht in allen Versionen von der im Projekt definierten Methodik ab, dies aufgrund der unterschiedlichen Bilanzierung von PV-Anlagen (betr. Emissionen Erstellung und produziertem Strom). Durch die Beseitigung dieser methodischen Differenz kann zum einen die Kohärenz zur WLC_{NN}-Methodik sichergestellt werden. Zum anderen wird dadurch eine Durchgängigkeit zwischen den Instrumenten Minergie und SIA-Klimapfad ermöglicht.

7) Politische Massnahmen

Die aktuellen politischen Massnahmen adressieren hauptsächlich direkte Emissionen aus dem Gebäudebetrieb (Scope 1) und indirekte Emissionen aus dem Energieverbrauch (Scope 2). Scope 3-Emissionen werden jedoch kaum adressiert, lediglich öffentliche Beschaffungskriterien gehen auf diese ein. Im Bau- und Abfallsektor bestehen keine Vorschriften zur Reduktion von Emissionen (Scope 3). Um NN-THGE im Gebäudebereich zu erreichen, müssen regulatorische Lücken, insbesondere im Bereich der Kreislaufwirtschaft, geschlossen werden, wobei gesetzliche Anforderungen für Treibhausgasemissionen von Gebäuden im Vordergrund stehen. Damit sind auch die Kantone gefordert, im Rahmen ihrer Energiegesetze Grenzwerte für Graue THG-Emissionen aufzunehmen. Gleichzeitig sollte emissionsarmes Bauen auch von der Abfallseite her gefördert werden, beispielsweise durch Verschär-



fung der Entsorgungsvorschriften. Neue verbindliche Massnahmen (Gebote/Verbote), wie etwa Grenzwerte für Graue Emissionen oder obligatorische Sanierungen bei Handänderungen, können private Akteure stärker in die Pflicht nehmen. Sie stossen aber möglicherweise aufgrund ihrer Auswirkung auf individuelles Verhalten und dem Eingriff in den Markt auf politischen Widerstand. Um regulativ stärkere politische Massnahmen umsetzen zu können, braucht es auch Sensibilisierungsarbeit. Der Ausbau bestehender finanzieller Anreize, z.B. durch das Gebäudeprogramm, kann den Übergang zu strengeren Regulierungen (Verbote/Gebote) erleichtern. Entscheidend sind auch Investitionen in den Wissensaustausch und den gezielten Wissensaufbau. Potenziale zur Emissionsreduktion im Gebäudebereich liegen auch in der Förderung von Massnahmen der Kreislaufwirtschaft, der verstärkten Nutzung biobasierter Materialien (insbesondere Holz) und der effizienten Flächennutzung im Wohnungsbau.

Empfehlungen für Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung

- 1) Stärkung der Regulierung für Graue Emissionen: Entscheidungsträger sollten regulatorische Lücken, insbesondere im Bereich der vor- und nachgelagerten Emissionen (Scope 3) im Bau- und Abfallsektor, schliessen. Dazu gehören die Einführung von Grenzwerten für Graue Emissionen in kantonalen Energievorschriften und die Entwicklung nationaler Richtlinien zur Kreislaufwirtschaft.
- 2) Finanzielle Anreize und Sensibilisierung stärken: Die Erweiterung finanzieller Unterstützung durch Instrumente wie das Gebäudeprogramm und die öffentliche Beschaffung kann den Einsatz CO₂-emissionsarmer Alternativen fördern. Sensibilisierungsmassnahmen sind ein wichtiger Hebel, um die öffentliche Unterstützung für strengere Bauvorschriften und nachhaltige Praktiken zu gewinnen.
- 3) Sanierung statt Ersatzneubau: Gebäudesanierung sollte in der Regel dem Abriss und Neubau vorgezogen werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Minimierung der Grauen Emissionen gelegt werden sollte. Hierbei ist jedoch auch der Ressource Landnutzung Rechnung zu tragen (zur Verdichtung können auch Ersatzneubauten zielführend sein).
- 4) Zukünftige Emissionsentwicklung: Entscheidungsträger sollten sich auf die zukünftige Emissionsentwicklung konzentrieren, insbesondere auf die Dekarbonisierung der Herstellung und Entsorgung von Materialien, die in Renovierungs- und Erneuerungsmassnahmen im Bauwesen eingesetzt werden.

Empfehlungen für Gebäudestandards und Labels

- 5) Um die Konsistenz der Gebäudestandards und -labels zu fördern und ihren Beitrag zur Erreichung des Netto-Null-Ziels zu stärken, wird empfohlen, einen koordinierten Rahmen für die Emissionsbilanzierung und einen schrittweisen Standardisierungsansatz auf den in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen zu etablieren und in den Standards und Labels umzusetzen.
- 6) Gemäss «Emissionsrealität» der WLC-Methodik sollte die Emissionsberechnung grundsätzlich mit stündlicher Auflösung erfolgen, d.h. Eigenverbrauch bzw. Netzbezug wird pro Stunde berechnet und auf eine Jahresbilanz, evtl. Monatsbilanz, aggregiert. Für die praktische Umsetzung in Nachweis-Berechnungsprogrammen können entsprechende Standardfälle definiert werden.
- 7) Bilanzierung Grauer Emissionen von PV-Anlagen: Minergie (bzw. GEAK-Methodik) sowie FprSIA 390/1 bei jährlicher Bilanzierung (Berechnungsweg mit Nicht-Verkauf der HKN) sollten die Berechnungsmethodik anpassen, um die Ergebnisse näher an die WLC-Methode heranzuführen. Für das Setzen von Anreizen, z.B. für grössere PV-Anlagen, sollten separate Anforderungen gestellt und deutlich als solche gekennzeichnet werden.
- 8) Lebensdauer und Haltbarkeit von Gebäuden: Es sollte geprüft werden, ob verlängerte Referenzlebensdauern für Gebäude und ihre Komponenten den Einsatz langlebigerer Materialien fördern könnten. Weiter sollten Methoden zur Anpassung der Lebensdauern in Abhängigkeit von Gebäudetypen, Nutzungsstrategien und Produktdeklarationen entwickelt werden.



- 9) Bilanzierung über die Nutzungsdauer: Es wird empfohlen, bei der Darstellung der Projektwerte und der Anforderungswerte nicht nur eine oder zwei Kennzahlen zu verwenden, sondern auch den jährlichen Verlauf der Emissionen darzustellen. So kann zwischen den Emissionen aus der Errichtung und denjenigen von Erneuerungsmassnahmen unterschieden werden. Damit wird die Transparenz erhöht, und die Möglichkeiten zur Emissionsvermeidung über den Lebenszyklus von Gebäuden können besser aufgezeigt werden.
- 10) Daten zu CO₂-emissionsarmen Materialien und Bauteilen: Es wird empfohlen, die Liste der Ökobilanzen von herstellereinspezifischen Daten online verbrauchergerecht mit API-Schnittstelle zur Verfügung zu stellen. Damit werden Aktualisierungen für die Anwendenden und insbesondere auch für die Anbietenden von Nachweisprogrammen zeitnah und einfach nutzbar.

Empfehlungen für die Industrie

- 11) Förderung CO₂-emissionsarmer und biogener Materialien: Es besteht Bedarf, die Forschung zu beschleunigen und die Nutzung von Bauelementen mit tiefen grauen CO₂-Emissionen (erneuerbare Energie bei der Herstellung der Materialien und Produkte, biobasierte Baustoffe, Beton mit klinkerarmen Zementsorten) im Bereich Konstruktion, Ausstattung und Wärmedämmung zu fördern. Die Industrieakteure sollten die Dekarbonisierung der Lieferkette vorantreiben.
- 12) Weiterentwicklung von Negativemissions-Technologien (NET): Angesichts des prognostizierten Bedarfs an NET ist eine Investition in Forschung und Pilotprojekte, einschliesslich der dauerhaften Speicherung biogenen Kohlenstoffs, erforderlich. Diese Technologien werden eine zentrale Rolle dabei spielen, verbleibende Emissionen auszugleichen, die durch direkte Verminderungsstrategien nicht vermieden werden können.

Sektorübergreifende Empfehlungen

- 13) Förderung der sektorübergreifenden Zusammenarbeit: Die Erreichung von Netto-Null erfordert eine Kooperation zwischen den Sektoren, einschliesslich Energie, Bauwesen und Abfallwirtschaft. Verwaltung, Industrievertreter und Forschungseinrichtungen sollten ihre Anstrengungen koordinieren, um die Umsetzung innovativer Praktiken und Technologien zu beschleunigen.



Einleitung

Das Ziel des Projekts «Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich», das 2022 vom Bundesamt für Energie (BFE) initiiert wurde, war die Entwicklung einer umfassenden Definition von Netto-Null-Treibhausgasemissionen (NN-THGE) im Gebäudebereich der Schweiz. Diese Definition soll als Leitlinie für regulatorische Rahmenbedingungen dienen und die langfristigen Klimaziele des Landes, insbesondere das Erreichen von netto null Emissionen bis 2050, unterstützen. Das Projekt schliesst bestehende Wissenslücken, indem es die Systemgrenzen der Bilanzierung, Reduktionspfade und notwendigen Rahmenbedingungen für die Erreichung von Netto-Null im Gebäudebereich untersucht. Für die Umsetzung wurde das thematisch breit angelegte Forschungsprojekt in folgende Teilprojekte gegliedert:

- F0: Methodik und Definition eines Netto-Null-Gebäudes
- F1: Top-Down-Betrachtung
- F2: Bottom-Up-Betrachtung
- F3: Übersicht möglicher Umsetzungswege
- F4: Grundlagen für die Festlegung von Grenz- und Zielwerten

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Ergebnisse und Empfehlungen der fünf Teilprojekte zusammengefasst.

Konzepte und Begrifflichkeiten

Um die Umsetzung des Ziels «Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich» in der Praxis zu unterstützen, wurde im Projektteil F4 eine Auslegeordnung zu möglichen Anforderungsniveaus gemacht, die in der Praxis bereits verwendet werden oder zur Anwendung kommen könnten. Diese sind hier im Sinne einer Übersicht wiedergegeben:

Methodik WLC_{NN} :

Die Methodik zur Berechnung von Netto-Null-Gebäuden wird WLC_{NN} -Methodik genannt. WLC steht für Whole Life Carbon und der Index NN kennzeichnet, dass die Methodik in der Lage ist, Netto-Null abzubilden (dies in Abgrenzung zu WLC -Methoden, welche «nur» Bruttoemissionen abbilden). In Tabelle 1 sind die bereinigten methodischen Ansätze dargestellt, die als Grundlage für die gemeinsame Definition der Methodik dienen, mit welcher Netto-Null-Gebäude – zusammen mit entsprechenden Anforderungswerten – definiert werden können.

Netto-Null (NN_{WLC}):

Ein Gebäude mit netto null Treibhausgasemissionen (kurz «Netto-Null-Gebäude») weist ein Minimum an THG-Emissionen für die Erstellung und im Betrieb über den gesamten Lebenszyklus auf (minimierte Bruttoemissionen $_{WLC}$) und vermindert die verbleibenden THG-Emissionen durch anrechenbare Negativemissionen auf Ebene Baumaterialien und -elemente. Anrechenbar sind Negativemissionen, wenn die dauerhafte Speicherung des biogenen CO_2 gesichert ist. Die Berechnung der THG-Emissionen erfolgt nach den in diesem Projekt definierten methodischen Grundsätzen WLC_{NN} (Tabelle 1).

Netto-Null-ready (NN_{WLC} -ready):

Ein Gebäude mit minimierten Bruttoemissionen $_{WLC}$ (siehe separate Definition), bei dem temporäre Senken zur Anwendung kommen, die zu einem späteren Zeitpunkt, wenn tatsächlich nicht re-emittiert, in permanente Negativ-Emissionen (NE) überführt werden. Diese temporären Senken sollen an konkret festzulegende künftige Massnahmen gebunden werden. Beispiele dafür sind der Einsatz von biogenen Baustoffen und Materialien, die als temporäre Senken dienen, welche später in Negativ-Emissionen umgewandelt werden können, um so die Emissionen aus Erstellung und Betrieb auszugleichen. Voraussetzung für NN_{WLC} -ready ist eine weitgehende Reduktion der Bruttoemissionen. Im Gegensatz



zum NN_{WLC} -Gebäude ist eine rechtlich verbindliche Absicherung nicht zwingend erforderlich. Bei der Bemessung der NE ist zu berücksichtigen, dass aus praktischen Gründen nicht die gesamten temporären Senken in NE überführt werden können und unvermeidbare Effizienzverluste, z.B. bei Carbon Capture and Storage (CCS), einzurechnen sind.

Minimierte Bruttoemissionen $_{WLC}$, 2025 (MinBE $_{WLC}$,2025):

Für die minimierten Bruttoemissionen $_{WLC}$, 2025 soll ein Anforderungsniveau so definiert werden, dass es durch die Umsetzung von weitgehenden Massnahmen (best available technology und best practice) bei Konzeption, Planung, Konstruktion und Materialisierung erreicht werden kann. Auch die betrieblichen Emissionen sind stark zu begrenzen. Damit lassen sich die THG-Emissionen über den Lebensweg gegenüber der heutigen Bauweise in substanziellem Ausmass vermeiden (siehe u.a. Teilprojekt F2). Als Anhaltspunkt für die inhaltliche Definition «Minimierte Bruttoemissionen» dienen die Zusatzanforderung A gemäss SIA-Klimapfad Berechnungsweg, welcher mit der in diesem Projekt vorgeschlagenen WLC_{NN} -Methodik konform ist. Hierbei ist zu prüfen, ob und wie spezielle Umstände, z.B. Hang- oder Grundwassersituationen, zu berücksichtigen sind.

Minimierte Bruttoemissionen $_{WLC}$ (MinBE $_{WLC}$, Zeitindex):

Wie tief minimierte Bruttoemissionen $_{WLC}$ sein sollen, ist abhängig vom jeweils aktuellen Stand der Technik und der Angebote der Baumaterialien und -elemente sowie der «zumutbaren» bzw. akzeptierten Vermeidungsmassnahmen. Deshalb wird empfohlen, den Begriff «minimierte Bruttoemissionen» mit einer Zeitangabe zu versehen, z.B. mit einem Zusatz: «heute bzw. 2025, 2035, 2050 etc.», dies im Sinne eines Absenkpades. Die Werte sollen jeweils für den angegebenen Zeitpunkt gelten und sind mit Verweis auf den Stand der Technik und die Planungs- und Baupraxis im Sinne von best practice festzulegen, z.B. durch eine regelmässige Aktualisierung der gesetzlichen Anforderungen sowie Anforderungen in Labels und Standards, die auch einen verbindlichen mid-term Absenkpfad beinhalten können.

Absenkpfad:

Die oben erläuterten Anforderungsniveaus für minimierte Bruttoemissionen $_{WLC}$ können sowohl für den aktuellen Zeitpunkt (heutiger Neubau, heutige Sanierung) oder für künftige Zeitpunkte angewandt werden. Sowohl in den Sektoren Industrie (Produktion von Baumaterial und Gebäudeelementen) als auch Energie (Lieferung von Endenergie) sind in den kommenden Jahren Veränderungen zu erwarten. Daher sollte bei den Anforderungswerten jeweils eine Zeitlichkeit angegeben werden.



F0 Methodik und Definition eines Netto-Null-Gebäudes

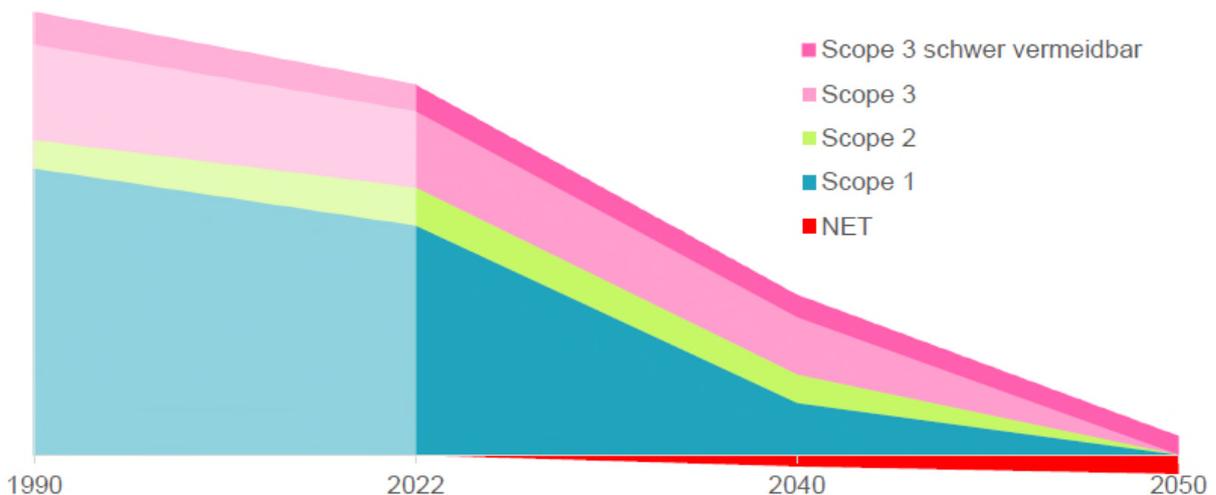


Abbildung 1: Schematische Darstellung. Emissionsbudget des Gebäudesektors (türkis) und des Gebäudebereichs (alle Farben). Der Beitrag der Negativen Emissionstechnologien (NET) sind rot dargestellt. Pastellfarben: bereits verbrauchtes Budget zw. 1990 und 2022. Satte Farben: Restbudget bis 2050. Quelle: TEP Energy, 2024.

Forschungsfragen und Erkenntnisse

Das Teilprojekt F0 dokumentiert die Arbeiten zu den methodischen Fragestellungen und dient als Grundlage für die weiteren Arbeiten des Forschungsprojekts Netto-Null-Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich. Dabei wird der Kontext, in den die verschiedenen methodischen Ansätze einzubetten sind, berücksichtigt, wozu auch die Anreizwirkungen gehören, die für unterschiedliche Zielgruppen zu beachten sind. Abschliessend analysiert F0 offene methodische Fragen, bewertet verschiedene Ansätze und zeigt Lösungswege auf.

Definition Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich

Netto-Null-Treibhausgasemissionen bedeutet, dass nicht mehr THG in die Atmosphäre gelangen als natürliche oder technische Speicher aufnehmen können. Dafür sind die THG-Emissionen so weit wie möglich zu vermeiden. Die verbleibenden schwer vermeidbaren Emissionen müssen durch permanente natürliche Emissionssenken oder durch technische Massnahmen wieder aus der Atmosphäre entfernt und langfristig (mehr als tausend Jahre) sicher gespeichert bzw. entsorgt werden. Durch diesen Emissionsausgleich ist der langfristige Anstieg der globalen Mitteltemperatur gleich hoch wie wenn die THG gar nicht erst emittiert worden wären (Netto-Null). Bei einer ganzheitlichen Betrachtung umfasst der Gebäudebereich auch die notwendigen Lieferketten für die Herstellung der Bauprodukte und Gebäudeelemente, die Errichtung und den Betrieb der Gebäude sowie die Entsorgung der Bauprodukte und Gebäudeelemente. Das in dieser Studie definierte Ziel zur Erreichung von netto null THG-Emissionen im Gebäudebereich ist somit klimaphysikalisch begründet. Es geht von einer Lebenswegbetrachtung (Whole Life Carbon, WLC) aus und ist nicht zu verwechseln mit den politischen Länderzielen und daraus abgeleiteten Sektorzielen gemäss dem Pariser Abkommen, welche von einer territorialen und prozessorientierten Betrachtung ausgehen.



Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten methodischen Fragen und die für den aktuellen Zeitpunkt methodischen Ansätze, die zusammen genommen die gemeinsame Definition der WLC_{NN}-Methodik darstellen (konsolidierte Empfehlungen des Forschungsteams und der Begleitgruppe). In Klammer sind die Kürzel der Fragestellungen angegeben, wie sie in den Berichten verwendet werden.

Thema, Fragestellung	In diesem Projekt entwickelte WLC _{NN} -Methodik
Lebens- und Nutzungsdauer Gebäude (Bilanzierungszeitpunkte) (F0.2.A)	Einzelne Gebäude, aktuelle Planungspraxis: über Gebäudenutzungszeit abschreiben. Gebäudepark, Immobilienportfolios: THGE beim Zeitpunkt ihres Auftretens bilanzieren.
Lebens- und Nutzungsdauer Gebäude (Daten und Annahmen) (F0.2.B)	Normierte Amortisationsdauern für den Standardfall von Normen, Standards, und Labels, welche die Planungsphase betreffen
NET-Technologien/-Materialien (F0.3.A)	Es gibt folgende NET-Materialien: Mineralische, mineralisch-organische und organische Baustoffe.
Temporäre Senken: Anrechenbarkeit (F0.3.B)	Biogenes CO ₂ ist ohne eine Sicherung einer dauerhaften Speicherung «klimaneutral» (Ansätze «0/0» oder «-1+1» gemäss EN 15804+A2)
Darstellung NET-Beitrag (F0.3.C)	Der NET-Beitrag soll separat erfasst und ausgewiesen werden. Kein Saldieren auf Ebene Baumaterial und Bauelement.
Negative Emissionen: Anrechenbarkeit (F0.3.D)	<ul style="list-style-type: none"> • NE nur für den Ausgleich von Gebäudeemissionen anrechnen. • Von Baustoffen, deren NE (Senkenleistung) angerechnet werden sollen, müssen die Zertifikate gekauft und behalten werden. • Anrechenbarkeit von organischen Baustoffen, falls gesetzliche oder rechtsverbindliche Absicherung einer Nichtfreisetzung (bzw. dauerhaften Speicherung) des biogenen C.
Re-Use und Recycling (F0.4.A+B)	Ansatz «Zusatzaufwand», Cut-off für bereits erfolgte Emissionen.
PV-Einspeisung: Allokation Erstellungsemissionen, Regeln Netzeinspeisung (F0.4.C)	«Investment aufteilen»: THG-Emissionen des PV-Systems anteilmässig zu Eigenverbrauchsanteil in Erstellung berücksichtigen. Ins Netz eingespeister Strom trägt Umweltkennwerte von PV-Strom; kein Abzug in Phase Betrieb.
PV-Einspeisung: Zeitliche Auflösung für die Bestimmung des Eigenverbrauchsanteils (F0.4.D)	Eigenverbrauchsanteil mit stündlicher Auflösung bestimmen und auf Jahreswert aggregieren.
Modellierung Strommix Schweiz: Ist-Zustand, Bilanzmodell (F0.6.A)	Verbrauchermix = Inlandproduktion minus Export plus Import (BM3-Modell für Gebäudeökobilanzen gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1)
Modellierung Strommix Schweiz: Zeitliche Auflösung (F0.6.B)	Stundenwerte zu Jahresbilanzen aggregieren
Modellierung Strommix Schweiz: Gewichtung Nachfrageprofil (F0.6.C)	Keine Gewichtung für die Planungsphase (Anwendungsfall 1 gemäss Norm SIA 380:2022)
Modellierung Strommix Schweiz: Berücksichtigung Zukunftsentwicklung (F0.6.D)	Statische Betrachtung: Heutige Situation Strommix und Kraftwerke für die gesamte Betriebsphase, dito für alle anderen Energieträger.



Tabelle 2: Übersicht über die untersuchten methodischen Fragen und methodischen Ansätze, die einer vertiefteren Analyse und Diskussion nach Abschluss dieses Projekts bedürfen oder die übergeordnete Ebene betreffen

Thema, Fragestellung	Zu vertiefende methodische Ansätze (NN _{WLC} -Varianten)
Bemessung des Emissionsbudgets indirekte Emissionen für Importware und Energieimporte (F0.1.A)	M1: Gleichbehandlung (d.h. gleicher relativer Absenkpfad im Ausland wie in der Schweiz)
	M2: Bezugnahme auf aktuelle Regelungen der EU in Richtung Netto-Null THG-Emissionen
Bemessung der Emissionen Erstellung von emissionsärmeren Materialien und Bauteilen (F01.B)	M1: Ökobilanzen von herstellereigenen Daten gemäss «Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz» von KBOB, ecobau und IPB (2024) M2: Qualitätsanforderungen für die Zulassung und Umrechnung von (internationalen) EPD-Werten oder vergleichbaren Programmen, damit sie mit hier anerkannten Ökobilanzmethoden konform und damit vergleichbar werden. Ob und wie gross der diesbezügliche Handlungsbedarf ist, ist im Nachgang an dieses Projekt zu prüfen.
THGE beim Zeitpunkt ihres Auftretens bilanzieren oder über Nutzungszeit abschreiben? (F0.2.A)	M1: THGE beim Zeitpunkt ihres Auftretens bilanzieren. M2: Zur Illustration und Visualisierung über Nutzungsdauer sukzessive akkumulieren.
Welche Daten und Annahmen sollen bzgl. Lebens- und Nutzungsdauer der Gebäude und Anlagen verwendet werden? (F0.2.B)	M2: Referenzlebensdauern, die fallweise angepasst werden können (z.B. nach Gebäudetyp, geplantem Nutzungskonzept, Sanierungsstrategien, Ökobilanzgrundlagen und Produktdeklaration; Details und Bedingungen sind zu prüfen).
Modellierung Strommix Schweiz: Ist-Zustand, Bilanzmodell (F0.6.A)	Nachfolgend an dieses Projekt prüfen, ob auch künftig das BM3 verwendet werden soll oder ob eine Revision angezeigt ist.
Modellierung Strommix Schweiz: Welche Gewichtungen (Wärme, Kälte, Gebäudetypen) sind bei der Bestimmung des Strommixes und der THG-Emissionen vorzunehmen? (F0.6.C)	M3 (neu): Keine Gewichtung, sondern Stundenwerte zur Verfügung stellen. Betrifft: Anwendungsfall 2 und 3 gemäss Ziffer 4.1.1. der Norm SIA 380:2022
Modellierung Strommix Schweiz: Berücksichtigen möglicher zukünftiger Entwicklungen beim Strommix und bei Kraftwerkstechnologien (F0.6.D)	M2: Zukunftsgerichtete Betrachtung Umweltkennwerte Strom gemittelt zwischen Situation heute und 2050 (evtl. darüber hinaus) basierend auf einem mit der Netto-Null-THG-Emissionen-Zielsetzung kompatiblen Szenario 2050 (ähnlich wie im F0-Bericht exemplarisch aufgezeigt, Umsetzung, sobald Grundlagen dazu etabliert sind (KBOB)).

Bezogen auf die verschiedenen Forschungsfragen ergeben sich aus dem Teilprojekt F0 nachfolgende Ergebnisse und Erkenntnisse, welche die Empfehlungen der obenstehenden Tabelle 1 begründen bzw. näher erläutern.



F0.1 Welches CO₂-Budget bis 2050 leitet sich aus dem Absenkpfad für den Gebäudesektor (direkte Emissionen) gemäss KIG ab? Welcher Anteil des für die Schweiz noch verfügbaren Emissions-Budgets muss in einer umfassenden Lebenswegbetrachtung für den Gebäudebereich ergänzt werden?

Das CO₂-Budget bis 2050 für den Gebäudesektor, also das Budget der direkten Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern in Gebäuden (Scope 1), ergibt sich als Summe der Emissionen unter dem durch das KIG definierten Absenkpfad: bis 2040 Reduktion um 82 %, bis 2050 um 100 %, jeweils im Vergleich zum Basisjahr 1990. Die absoluten Werte wurden im Projektteil F1 ermittelt. Da die Erstellung und der Betrieb von Gebäuden zu weiteren induzierten Emissionen führen, ist dem Gebäudebereich ein weiteres Budget für indirekte Emissionen (Scope 2 und 3) zuzuordnen. Hierbei handelt es sich zum Teil um inländische Emissionen und zum Teil um Emissionen, die im Ausland anfallen. Die im Inland (CH) anfallenden Emissionen beanspruchen demzufolge einen Teil des inländischen Emissionsbudgets der Sektoren Industrie (Herstellung von Baumaterialien und -elementen) und Energie bzw. Umwandlungssektor (Erzeugung von Fernwärme, Strom und weiteren Energieträgern). Die Budgets dieser Sektoren sind also entsprechend aufzuteilen:

- Budget für gebäudebezogene Emissionen für die
 - Herstellung von Baumaterialien und -elementen (Industriesektor)
 - Erzeugung von Fernwärme, Strom und ggf. Energieträgern (THG-Inventar: Industriesektor; Energiestatistik: Umwandlungssektor)
 - Gebäudebezogene Transporte auf Strasse und Schiene (bezogen auf die Erstellung (inkl. Gebäudeerneuerung) und die Lieferung von Energie, ohne induzierte Mobilität durch die Gebäudenutzung)
- Budget für übrige Emissionen wie z.B. Tiefbau, Nahrungsmittelproduktion und weitere industrielle Erzeugnisse und Konsumgüter.

Bei der Aufteilung der Budgets auf diese beiden Bereiche kann unterschiedlich vorgegangen werden:

- Proportionale Aufteilung
- Berücksichtigen oder nicht, dass bei der Herstellung von Baumaterialien und -elementen mehr «schwer vermeidbare» Emissionen anfallen als im restlichen Industriesektor

Für den Teil der im Ausland anfallenden Emissionen sind ebenfalls Festlegungen zum Budget zu treffen. Hierbei sind im Industriebereich (Import von Baumaterialien und -elementen) die folgenden verschiedenen Ansätze diskutiert:

- M1: Gleichbehandlung von Importprodukten mit inländischen Erzeugnissen, d.h. es sind vergleichbare Ziele und Budgets für den Industriesektor zu definieren,
- M2: Bezugnahme auf die aktuellen Regelungen der EU in Richtung einer stärkeren Reduktion der THG-Emissionen und Anstreben des Netto-Null-Ziels vor 2050

Diese offene Fragestellung erfordert weitere Untersuchungen, wobei folgende Hinweise zu berücksichtigen sind:

Die Gleichbehandlung von Importware mit CH-Produktion wäre dann kontraproduktiv, falls die entsprechende Annahme zwar in Bilanzierungen Normen, Standards und Labels angewendet wird, die ökobilanzielle Gleichwertigkeit bei der Importware aber nicht durchgesetzt werden kann (und dies bei den Berechnungen nicht berücksichtigt wird). Deshalb ist die Klärung der Frage, nach welchen Ansätzen emissionsärmere Materialien und Bauteile bemessen und berücksichtigt werden sollen, von grosser Wichtigkeit. Dies sollte im Nachgang zu diesem Projekt dringend angegangen werden.



F0.2 Wie wird die Nutzungszeit eines Gebäudes bezüglich Grauer Energie/THG-Emissionen methodisch sinnvoll berücksichtigt: einmalige Anrechnung beim Einsatz während der Bauphase vs. über Jahre abschreiben (bei letzterem: wie ist mit dem Bestand umzugehen)?

Bezüglich der Bilanzierung von THG-Emissionen wurde der nachfolgende Ansatz verwendet:

- Investitionsprinzip (analog zur Ökonomie): Gemäss CO₂-Gesetz, Empfehlung des THG-Protokolls (GHG Protocol) und darauf aufbauenden Ansätzen werden die Emissionen einmalig zum Zeitpunkt ihres Entstehens angerechnet. Die Emissionen der Erstellung werden also zum einen während der Bauphase, während dem Betrieb beim Ersatz von Bauelementen und zum anderen am Ende der Lebensdauer bilanziert. Die Frage der Nutzungszeit stellt sich aus dieser Perspektive vor allem aus einer Portfolio- und Gebäudeparkbetrachtung (Bilanzierung der Neubau-, Erneuerungs-, und Rückbautätigkeit), wenn es darum geht, Emissionspfade oder -budgets zu berechnen.

F0.3 Welche Methodiken zur Berücksichtigung von Negativen Emissionstechnologien (z.B. Karbonatisierung von Beton, Pflanzenkohle) bzw. von CO₂-Senken (z.B. Zwischenspeicherung biogener Kohlenstoffe) bestehen?

Die Folgenden spezifischen Unterfragen wurden im Forschungsprojekt analysiert und diskutiert:

- Welche NET- Materialien gibt es und welche sind anrechenbar?
 - Mineralische, mineralisch-organische Baustoffe und organische Baustoffe. Anrechenbarkeit als Temporäre Senken bzw. als Negativemissionen (NE)
- Anrechenbarkeit temporärer Senken (organische Baustoffe)
 - biogenes CO₂ ist ohne eine Sicherung einer dauerhaften Speicherung «klimaneutral» (Ansätze «0/0» oder «-1+1» gemäss EN 15804+A2)
- Verrechenbarkeit des Effekts von Technologien zur CO₂-Entnahme mit einem abgesicherten Potenzial einer langfristigen Speicherung
 - NET-Beitrag ist separat zu erfassen und ausweisen. Kein Saldieren auf Ebene Baumaterial und Bauelement. Auf Gebäudeebene ist im letzten Schritt, d.h. nach dem separaten Ausweisen der Bruttoemissionen und Negativ-Emissionen, eine Saldierung angemessen, um auszuweisen, ob Netto-Null erreicht wird oder nicht.
- Unter welchen Voraussetzungen dürfen NE angerechnet werden?
 - Nur für den Ausgleich von Gebäude bezogenen Emissionen (Scopes 2 und 3) anrechnen.
 - NE von Baustoffen, wenn Zertifikate, die deren Negativemissionswirkung belegen, mitgeliefert und nicht an Dritte verkauft werden.
 - Anrechenbarkeit des in mineralisch-organischen und organischen Baustoffen enthaltenen biogenen Kohlenstoffs möglich, falls rechtsverbindliche Absicherung einer Nichtfreisetzung (bzw. dauerhaften Speicherung) gegeben.

F0.4 Welche Methodiken zur Modellierung a) der Wiederverwendung von Bauteilen, b) des Rezyklierens von Baumaterialien am Ende Nutzungsdauer des Gebäudes und c) der Einspeisung von Strom aus zum Gebäude zu rechnenden Solaranlagen ins Netz bestehen?

Zur Modellierung der Wiederverwendung von Bauteilen, des Recyclings von Baumaterialien am Ende der Nutzungsdauer des Gebäudes und der Einspeisung von Strom werden die folgenden Methoden bevorzugt:

- «Zusatzaufwand» für Reuse und Recycling von Baumaterialien. Bereits erfolgte Emissionen von früher verbauten Materialien und Bauteilen sind nicht zu berücksichtigen (weder betriebliche noch solche der Erstellung), sondern lediglich die mit einem Recycling oder der Aufbereitung



von wiederverwendeten Bauteilen verbundenen künftigen Emissionen (plus Entsorgung am Lebensende).

- «Investition aufteilen» für die Einspeisung von Strom aus gebäudebezogenen Solaranlagen ins Netz. Erstellungsemissionen werden zwischen dem Gebäude, auf dem die Anlage installiert wird, und den Bezüglern des eingespeisten bzw. verkauften PV-Stroms aufgeteilt. Den Eigenverbrauchsanteil (oder Deckungsgrad) bestimmen und Eigenverbrauchsanteil der THG-Emissionen Erstellung des PV-Systems bei Errichtung bzw. beziehungsweise Entsorgung verbuchen. Ins Netz eingespeister Strom trägt Umweltkennwerte von PV-Strom; kein Abzug in Phase Betrieb.

F0.5 Welche Rolle spielen die Massnahmen gemäss F0.4 in Bezug auf die Entwicklung der Absenkpfade und das Netto-Null Ziel im Gebäudebereich?

Wenn Materialien und Bauteile eingesetzt werden, die aus Wiederverwendung oder Rezyklierung stammen, ist zu erwarten, dass die Erstellungsemissionen im Vergleich zu einer Neuherstellung tiefer sind. Diese bessere Energie- und Emissionseffizienz kann methodisch bei der Festlegung des Absenkpfeils für die Erstellung berücksichtigt werden, jedoch kann dies im Betrieb zu erhöhten Emissionen führen.

Die Einspeisung von Strom von Gebäude-PV-Anlagen hat höchstens indirekte Auswirkungen auf den Absenkpfeil des gesamten Gebäudebereichs. Denn solche Einspeisungen verdrängen heute und in den kommenden Jahren Emissionen im (europäischen) Energiesystem und ermöglichen damit u.a. eine klimafreundlichere Produktion von Baustoffen.

Auf den Gebäudepark als Gesamtsystem erlaubt das Einspeisen von Gebäuden mit einer Überkapazität die Versorgung von anderen Gebäuden mit einem geringem PV-Potential, z.B. wegen Denkmalschutz-Einschränkungen.

- Aus Sicht des einzelnen Gebäudes handelt es sich bei der Stromeinspeisung um eine (wirtschaftliche) Aktivität, welche mit Scope 3-Emissionen belastet ist (Emissionen der Erstellung der PV-Anlage). Diese Aktivität kann ggf. aus der Systemgrenze des Gebäudes ausgeklammert werden (in diesem Fall sind der gesamte Strombedarf mit Netzbezug und die entsprechenden Emissionen zu bemessen). Nicht möglich ist eine «Gutschrift» im Sinn von negativen Emissionen.
- Aus Gesamtsystemsicht stellen Erstellungsemissionen von Gebäude-PV-Anlagen teilweise Emissionen des inländischen Industriesektors und teilweise «importierte» Graue Emissionen dar (z.B. bei importierten PV-Modulen).

F0.6 Welche Rahmenbedingungen sind für die Berechnungsmethodik des Betriebs von Gebäuden festzulegen (z.B. Anrechnung von ins Netz zurückgespeistem Strom, Bilanzierungszeitraum von Strom, Anrechnung von Lieferverträgen und Zertifikaten)?

Nach erfolgter Analyse und Diskussion wurden für die Berechnungsmethodik des Betriebs folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- F0.6.A Modellierung Strommix Schweiz Ist-Zustand, Bilanzmodell
 - Verbrauchermix = Inlandproduktion minus Export plus Import. Entspricht dem Modell für Gebäudeökobilanzen gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1.
- F0.6.B Modellierung Strommix Schweiz, zeitliche Auflösung
 - Stundenwerte zu Jahresbilanzen aggregieren. Entspricht dem Vorgehen der Gebäudeökobilanzen gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1.
- F0.6.C Modellierung Strommix Schweiz, Gewichtung Nachfrageprofil
 - Keine Gewichtung für die Planungsphase. Entspricht dem Vorgehen Anwendungsfall 1 gemäss Ziffer 4.1.1. der Norm SIA 380:2022.
- F0.6.D Modellierung Strommix Schweiz, Berücksichtigung Zukunftsentwicklung



- Statische Betrachtung: Heutige Situation Strommix und Kraftwerke für die gesamte Betriebsphase, dito für alle anderen Energieträger. Entspricht dem Vorgehen der Gebäudeökobilanzen gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1.

Zu den methodischen Fragen und Ansätzen, die einer vertiefteren Untersuchung nach Abschluss dieses Projekts bedürfen, ist Folgendes zu beachten:

- F0.6.A und F0.6.C: Es sind weitere Grundlagenarbeiten und Rechercharbeiten erforderlich, um eine verbindliche Empfehlung für ein (oder mehrere) Strombilanzmodelle (BM) auszusprechen, da die Unsicherheiten bei allen drei Bilanzmodellen trotz intensiver Abklärungen nach wie vor gross sind. Es wird empfohlen, entsprechende Arbeiten nach Abschluss des Projekts durchzuführen. Im Sinne der Kontinuität mit dem bisherigen Ansatz wird in diesem Projekt bis auf Weiteres von einem Verbleib bei dem heute verwendeten CH-Verbrauchermix ausgegangen.
- F0.6.B: gemäss Projektteam und gemäss Rückmeldungen der Begleitgruppe gibt es Hinweise darauf, dass das Aggregieren auf monatliche statt auf jährliche Werte der Emissionsrealität besser gerecht wird.
- F0.6.D: Die Frage der künftigen Entwicklung stellt sich nicht nur beim Strom, sondern sinngemäss auch beim Fernwärme-Mix. Es wird dieselbe Herangehensweise empfohlen, d.h. die Dekarbonisierungsstrategien der lokalen Energieunternehmen zu berücksichtigen.

Fazit und Empfehlungen zu F0

F0 befasst sich umfassend mit den methodischen Herausforderungen bei der Definition von Netto-Null-Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich. Die Ergebnisse bieten ein solides Rahmenwerk, um die Emissionen des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden zu verstehen. Die Entwicklung der zwei Definitionen «Netto-Null-Gebäude» und «Netto-Null-ready-Gebäude» ist ein wichtiger Schritt. Die Einführung der temporären Speicherung, um bei Netto-Null-ready-Gebäuden verbleibende Emissionen auszugleichen, stellt eine praktikable Lösung dar, bis Möglichkeiten einer gesicherten dauerhaften Speicherung zur Verfügung stehen.



F1 Top-down Betrachtung

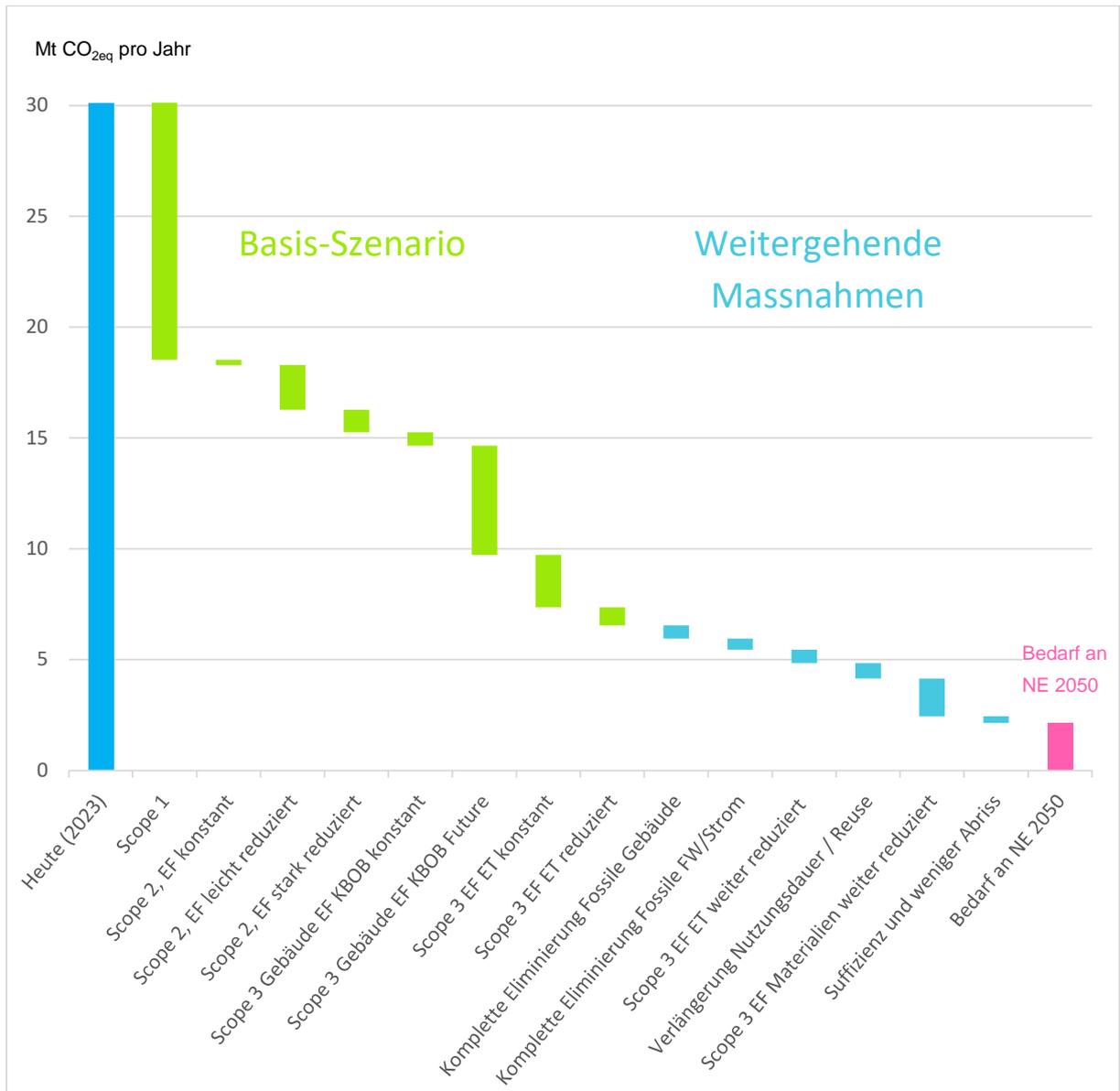


Abbildung 2: THG-Emissionen 2023 (Mio. t CO₂-eq pro Jahr) Reduktion pro Hebel bis 2050 für das Basis-Szenario und die weitergehenden Massnahmen sowie Bedarf an NE im Jahr 2050. Quelle: TEP Energy, 2024.

Forschungsfragen und Erkenntnisse

Im Teilprojekt F1 wird der Gebäudebereich über den gesamten Lebenszyklus inklusive der vor- und nachgelagerten THG-Emissionen (Scope 3) betrachtet («Whole Life Carbon» WLC-Ansatz). Er unterscheidet sich dadurch grundsätzlich vom Betrachtungszeitraum und -perimeter des Gebäudesektors gemäss CO₂-Gesetz bzw. Klima- und Innovationsgesetz (KIG). Darin werden, mit Ausnahme der «Vorbildfunktion Bund und Kantone», nur die direkten THG-Emissionen berücksichtigt; die indirekten werden in ihren jeweiligen Sektoren adressiert, z.B. im Industriesektor, wobei nicht zwischen gebäudebezogenen und übrigen Emissionen unterschieden wird.



Die Zielsetzung des Teilprojekts F1 ist aufzuzeigen, wie das für den Gebäudesektor definierte Emissionsbudget eingehalten werden kann, welche zusätzlichen Emissionen für den Gebäudebereich in der Schweiz und im Ausland zu erwarten sind und welche bottom-up seitigen Voraussetzungen zur Zielerreichung erforderlich sind. Ebenfalls aufgezeigt wird die Rolle technologischer und struktureller Entwicklungen der Sektoren Energie und Industrie, der Negativemissionstechnologien und der auf Biomasse basierten Baustoffe.

Die Top-down Betrachtungen beruhen zum einen auf Modellrechnungen mit dem Gebäudeparkmodell für die Zeitspanne 2023 bis 2050 und zum anderen auf gezielten Top-down Analysen von Potenzialen und Materialflüssen. Die nachfolgende Tabelle 3 beschreibt das definierte Basis-Szenario und die verschiedenen Szenario-Varianten und Sensitivitäten.

Tabelle 3: Definition des Basis-Szenario sowie von Szenariovarianten und Sensitivitäten für die 3 Scopes.

Scopes	Basis-Szenario	Varianten und Sensitivitäten
Alle	Erhöhung der betrieblichen Energieeffizienz im Bereich Gebäudehülle, Heizanlagen, Gebäudetechnik und Geräte.	<i>Keine Varianten und Sensitivitäten</i>
1	Nahezu keine fossilen Energieträger im Gebäudepark bis 2050	<i>Gar keine fossilen Energieträger im Gebäudepark bis 2050</i>
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Stromnachfrage für Elektroheizungen/-boiler auf nahe 0, Anstieg WP, ▪ Steigende Nachfrage Fernwärme ▪ Emissionsfaktoren (EF) «stark» reduziert 	<i>EF weniger stark oder gar nicht reduziert, um den Effekt dieses Hebels aufzuzeigen</i>
3 Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hebel Wahl der Konstruktionstypen ▪ Hebel Materialeinsatz ▪ Mit Hebel KBOB Emissionsfaktoren und Emissionskoeffizienten 2050 ▪ Ohne Hebel nicht-technische Massnahme ▪ Hebel temporäre Senken und Hebel NET werden separat ausgewiesen 	<p><i>Geringere oder keine Wirkung einzelner Hebel, um deren Effekte aufzuzeigen.</i></p> <p><i>Weitergehende oder zusätzliche Hebel, um Emissionen gegenüber dem Basis-Szenario weiter zu senken:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Höherer Anteil Holzbau</i> • <i>Weitergehende Reduktion EF Bauelemente</i> • <i>Weniger Abriss und Ersatzneubau</i> • <i>Weniger EBF-Wachstum</i> • <i>Längere Nutzungszeiten</i>
3 Energieträger	<ul style="list-style-type: none"> • Konstante oder sinkende Nachfrage • Emissionsfaktoren (EF) stark reduziert 	<i>EF weniger stark oder gar nicht reduziert, um den Effekt dieses Hebels aufzuzeigen</i>

Bezogen auf die verschiedenen Forschungsfragen ergeben sich nachfolgende Ergebnisse und Erkenntnisse:



F1.1 Zieldefinition: Was bedeutet Netto-Null in Bezug auf die durch Erstellung und Betrieb des Gebäudeparks Schweiz verursachten THG-Emissionen bis 2050 unter Einbezug von Scope 1, 2 und 3?

Diese Fragestellung wird mit zwei Ansätzen beantwortet. Einerseits für den Gebäudesektor mit Bezug zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen (KIG) und andererseits wird das Budget für den Gebäudebereich der Schweiz von einem wissenschaftlich begründeten Globalbudget auf die Schweiz heruntergebrochen (Methode gemäss Projektteil F0).

- Beim ersten Ansatz wird für die Berechnung des Budgets der THG-Emissionen ein Zielpfad auf der Basis der Zielsetzung im KIG definiert. Dabei werden die unterschiedlichen Systemgrenzen berücksichtigt. Für den Gebäudebereich ergibt sich eine Reduktion der jährlichen THG-Emissionen um -30 % bis 2030, -54 % bis 2040 und -93 % bis 2050, jeweils im Vergleich zum Stand 2020. Daraus folgt für das Jahr 2050 ein verbleibender Anteil schwer vermeidbarer Emissionen und damit ein Bedarf an Negativemissionen (NE) von 2.0 Mio. t CO₂-eq. Aus der KIG-Zielsetzung resultiert ein Emissionsbudget für die Periode 1990 bis 2050 von rund 1620 Mio. t CO₂-eq., wovon bis 2023 schon knapp 70 % verbraucht sind. Es verbleibt somit ein Restbudget von rund 510 Mio. t CO₂-eq.
- Beim zweiten Ansatz (globale Perspektive) hängt das Budget von folgenden Faktoren ab: angestrebtes Ziel, Sicherheit es zu erreichen und vom Allokationsansatz, wobei hier das Grandfathering-Prinzip verwendet wurde. Bei einem 1.5°C-Ziel sind 200 Mio. t CO₂-eq., Bei einem 1.7°C-Ziel sind es 420 Mio. t CO₂-eq. oder weniger (jeweils bei einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 67 %).

Vergleicht man die beiden Ansätze, handelt es sich beim Restbudget gestützt auf das KIG in der Höhe von 510 Mio. t CO₂-eq. also um eine eher grosszügige Zielsetzung. Orientiert man sich am wissenschaftlich begründeten Globalbudget, welches der Schweiz zur Verfügung steht, ist im Vergleich zum KIG eine deutlich raschere Absenkung der THG-Emissionen des Gebäudebereichs erforderlich.

F1.2 Welche THG-Emissionen-Reduktionen und welche Negativemissionen werden von der Erstellung und welche THG-Emissionen-Reduktionen vom Betrieb erwartet, um Netto-Null im Gebäudebereich in einer Lebenswegbetrachtung zu erreichen?

Im definierten Basis-Szenario werden zwischen heute (2023) und 2050 folgende Reduktionen erreicht:

- Bei den Scope 1 Emissionen aus der Verbrennung von Heizöl und Erdgas lässt sich eine Reduktion auf beinahe Null erreichen.
- Bei den Scope 2 Emissionen, die bei der Erzeugung von Strom und Fernwärme entstehen, ist ebenfalls eine hohe Reduktion zu erwarten. Allerdings ist diese etwas geringer und im Jahr 2050 verbleiben noch rund 14 % der Emissionen des Stands von 2023. Dies hat auch damit zu tun, dass die Nachfrage nach Elektrizität für Wärmepumpen und von Fernwärme zunimmt und dass die Emissionsfaktoren derselben nicht auf 0 abnehmen.
- Bei den Scope 3 Emissionen ist die Reduktion noch etwas tiefer. Die Scope 3 Emissionen aus Konstruktion, Erneuerung und Rückbau der Gebäude gehen um knapp 60 % zurück. Dies wegen der geringeren Bautätigkeit, emissionsärmeren Konstruktionstypen sowie Bauteilen und Materialien. Auch die Scope 3 Emissionen aus der Bereitstellung von Energieträgern und der Energieinfrastruktur sind rückläufig.

Zwischen 2023 und 2050 werden die Emissionen der Scopes 1 und 2 um 93 %, des Scope 3 um 62 % und aller drei Scopes zusammen um 78 % reduziert. Trotz dieser deutlichen Reduktionen beträgt der CO₂-Ausstoss im Basis-Szenario im Jahr 2050 immer noch rund 6.5 Mio. t pro Jahr. Diese Emissionen kommen vorwiegend aus dem Bau und der Erneuerung (rund 4.1 Mio. t pro Jahr) und teilweise aus dem Betrieb der Gebäude (rund 2.4 Mio. t pro Jahr, davon knapp 1.3 Mio. t aus dem Scope 3 der Energieträger). Damit ergibt sich für 2050 im Basis-Szenario ein Bedarf an Negativ-Emissionen von rund 6.5 Mio. t pro Jahr. Dies würde die aus dem KIG abgeleitete Menge von 2 Mio. t CO₂-eq. pro Jahr bei weitem übersteigen. Weitere Massnahmen sind daher wichtig, um den Bedarf an NE auf ein erreichbares Mass zu reduzieren (siehe Fragestellung F1.4).



F1.3 Wie gross sind die Potenziale bzw. die nachhaltige Verfügbarkeit von Baustoffen (insbesondere Biomasse basierte), welche zu Negativemissionen im Gebäudebereich führen.

Die Potenziale der Baustoffe in Form von dauerhaften NET-Lösungen für den Hochbau, wie z.B. der Einsatz von karbonatisiertem Beton, reichen für einen Ausgleich der verbleibenden Emissionen des Basis-Szenarios bei weitem nicht aus. Dies ist selbst dann der Fall, wenn die Einlagerung von Pflanzenkohle angerechnet wird. Der grösste Beitrag zu potenziellen Negativemissionen (NE) leisten Massnahmen, die durch den Einsatz von biogenen Baumaterialien zunächst Temporäre Senken generieren, welche zu einem späteren Zeitpunkt in NE umgewandelt werden können. Dies wird erreicht, falls der im verbauten Holz oder in anderen biogenen Baustoffen gespeicherte Kohlenstoff über die Lebensdauer des Gebäudes hinaus gespeichert wird. Dieses NE-Potenzial ist aufgrund der grossen Kohlenstoffvorräte für einen Ausgleich der verbleibenden Emissionen wesentlich. In der Szenario-Variante «mehr Holz» wird der vom KIG abgeleitete Bedarf an NE von rund 2 Mio. t CO₂-eq. pro Jahr knapp erreicht (wenn die temporären Senken bereits beim Einbau der Materialien angerechnet werden und nicht erst zum Zeitpunkt der tatsächlichen Überführung in NE).

F1.4 Welche Absenkpfade 2030/2040/2050 unter Einhaltung des CO₂-Budgets für den Gebäudebereich gemäss F0.1 und differenziert nach THG-Emissionen und Negativemissionen ergeben sich daraus, unterschieden nach Gebäudebestand und Neubauten?

Die Emissionen des Gebäudebereichs in Höhe von rund 30 Mio. t CO₂-eq. pro Jahr stammen im Jahr 2023 etwa zur Hälfte aus den direkten und indirekten Emissionen (Scopes 1 und 2) und zur Hälfte aus den nachgelagerten Emissionen (Scope 3). Erstere werden hauptsächlich, während der Betriebsphase der Gebäude ausgestossen (direkt oder durch Heiz- und Kraftwerke) und Letztere fallen während der Errichtung und der Entsorgung von Materialien an. Zudem ist zwischen Neubau und Bestand zu unterscheiden: 2023 betragen die Emissionen der Erstellung bei Neubauten 4.3 Mio. t CO₂-eq. pro Jahr und beim Gebäudebestand 5.3 Mio. t CO₂-eq. pro Jahr. An die Emissionen 2023 knüpfen die folgenden Absenkpfade an:

- Bei den Scopes 1 und 2 basiert der Absenkpfad vor allem auf dem Ersatz der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas durch Wärmepumpen (WP) und Fernwärme (FW). Motiviert durch die angestrebte stärkere Nutzung von Holz als Baumaterial wird auch Energieholz für Heizungen in Gebäuden um gut 30 % reduziert. Die Scope 2 Emissionen reduzieren sich zudem durch die weitgehende Dekarbonisierung der Fernwärme- und Stromerzeugung. Beim Strom spielt auch die reduzierte Nachfrage, ermöglicht durch Effizienzgewinne im Bereich Geräte und Gebäudetechnik, eine Rolle.
- Bei den Scope 3 Emissionen tragen die folgenden Effekte zum Absenkpfad bei:
 - Eine deutlich reduzierte Bautätigkeit, begründet u.a. durch die Verlangsamung des Bevölkerungswachstums und eine Stagnation des Flächenbedarfs pro Person. Deshalb reduzieren sich die jährlichen Emissionen der Erstellung des Bereichs Neubau, bereits ohne weitere Massnahmen um etwa 40 %. Aufgrund des wachsenden Anteils des Gebäudeparks, bei welchem die Bauelemente aufgrund ihres Alters zu ersetzen sind, gibt es eine erhöhte Erneuerungstätigkeit. Dies ist mit entsprechenden Emissionen der Erstellung verbunden, wobei in diesem Bereich weniger relatives Reduktionspotenzial durch technische Massnahmen zur Optimierung zur Verfügung steht (im Vergleich zum Neubaubereich). Wichtig sind demzufolge ergänzende Massnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer, Reparierbarkeit und Wiederverwendung der Bauelemente.
 - Gebäudeseitige Massnahmen, d.h. die Wahl von emissionsärmeren Konstruktions-typen, Gebäudeelementen und Materialien, sind v.a. im Neubaubereich wirkungsvoll (Reduktion ca. 20 %).
 - Eine Reduktion der Scope 3 Emissionen kann über die Bereitstellung von Endenergie und Sekundärenergie (hauptsächlich Fernwärme und Strom für WP) erreicht werden. Sowohl durch die Reduktion der Nachfrage als auch durch die Reduktion der spezifischen Emissionen (beispielsweise bei PV- und Windenergieanlagen).



- Industrieseitige Massnahmen, d.h. die Reduktion der spezifischen Emissionsfaktoren von Materialien und Gebäudeelementen, reduzieren die Emissionen der Erstellung, basierend auf Emissionsfaktoren gemäss «KBOB-Future», um rund zwei Drittel.

Unter Berücksichtigung dieser Absenkpfade macht die Erneuerung des Gebäudebestands im Jahr 2050 den wesentlichen Teil der Emissionen der Erstellung aus (3.3 von 4.1 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr). Dabei handelt es sich um Emissionen aus der Erneuerung und dem Ersatz von Materialien, Gebäudeelementen und der Gebäudetechnik sowie des Innen- und Aussenausbau. Die höhere Bedeutung des Gebäudebestands im Vergleich zum Neubau hat folgende Gründe: die Neubautätigkeit sinkt, der Gebäudebestand wächst und die Reduktionspotenziale im Gebäudebestand sind geringer (gemäss der verwendeten Grundlage KBOB Future).

Mit den identifizierten technischen Hebeln (vergl. Tabelle 2) bei Planung, Bau und Betrieb der Gebäude sowie der Emissionsreduktion im Energiesystem und bei der Produktion von Baumaterialien und -elementen im Sinne zukünftiger Emissionsfaktoren gemäss «KBOB-Future» wird das aus dem KIG abgeleitete Budget der Periode 2023 bis 2050 von 500 Mio. t CO_{2-eq.} eingehalten. Das global zugeteilte Budget von 200 Mio. t CO_{2-eq.} wird jedoch deutlich überschritten. Insgesamt wird das für 2050 vorgesehene Reduktionsziel im Basis-Szenario bei weitem nicht erreicht: Im Jahr 2050 verbleiben Brutto-THG-Emissionen in der Höhe von rund 6.5 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr. Ohne weitergehende Massnahmen wäre ein grosser Bedarf an NE erforderlich, die bereitgestellt werden müssten. Dies würde die aus dem KIG für den Gebäudebereich abgeleiteten NE-Beträge von 2 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr bei weitem übersteigen. Neben den betrachteten Massnahmen sind daher noch weitere Hebel notwendig, die über das Basis-Szenario hinausgehen. Deren Wirkung wurde in einer Sensitivitätsbetrachtung grob quantifiziert wurde. Folgende Hebel wurden grob untersucht:

- Vollständige Eliminierung der fossilen Energien in Gebäuden. Zusatz-Effekt im Vergleich zum Basis-Szenario: ca. 0.6 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr.
- Vollständige Eliminierung der fossilen Energien bei der Erzeugung der Sekundärenergieträger Fernwärme und Strom z.B. durch den Einsatz von Wärmepumpen, Biomasse, grünem Wasserstoff oder anderen fossilfreien bzw. erneuerbar erzeugten Energieträgern. Zusatz-Effekt im Vergleich zum Basis-Szenario: ca. 0.5 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr.
- Halbierung der Scope 3 Emissionen aus der Bereitstellung der Energieträger (analoge Annahme wie bei den Baumaterialien und Gebäudeelementen). Zusatz-Effekt im Vergleich zum Basis-Szenario: ca. 0.6 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr.
- Verlängerung der Lebens- und Nutzungsdauer von Gebäuden und Bauteilen z.B. durch die umsichtige Planung von Gebäudeerneuerungen, Systemtrennung und wenn möglich Wiederverwendung von Bauteilen, die Verbesserungen der Reparierbarkeit bei Bauteilen, Gebäudetechnik und Gebäudeausstattung. Zusatzeffekt im Vergleich zum Basis-Szenario: ca. 0.85 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr.
- Weitere Reduktion der spezifischen Emissionen von Baumaterialien und Gebäudeelementen um 50 %, also über die Annahmen von «KBOB-Future» hinaus. Zusatzeffekt im Vergleich zum Basis-Szenario: ca. 2 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr.
- Flächenreduktion (Suffizienz) und weniger Abriss- und Ersatzneubau. Zusatzeffekt im Vergleich zum Basis-Szenario: ca. 0.3 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr.

Unter Berücksichtigung von Überlagerungseffekten reduzieren sich die Betriebsemissionen um rund 1.7 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr und die Emissionen Erstellung um rund 2.7 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr. Damit betragen die Bruttoemissionen im Jahr 2050 rund 2 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr, statt 6.5 Mio. t CO_{2-eq.} pro Jahr wie im Basis-Szenario. Diese Emissionen lassen sich durch NE im Gebäudebereich ausgleichen. Dies bedeutet zum einen, dass das Netto-Null Ziel im Gebäudebereich grundsätzlich erreichbar ist und zum anderen, dass alle verfügbaren Hebel in Bewegung gesetzt werden müssen.



F1.5 Quantifizierung der Auswirkungen der Absenkpfade auf Zu-/Abbau des Kohlenstoffvorrats in verbaulichem Holz und anderen Baumaterialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe.

Im Basis-Szenario sind steigende Holzbau-Anteile in den analysierten Gebäudekategorien hinterlegt. Die so erzielte Erhöhung der jährlich eingesetzten Menge von Holz liegt im Zeitraum 2030 bis 2050 rund 30 % über dem Ausgangswert des Basis-Szenarios. Mit einer Szenario-Variante «Höherer Anteil Holzbau» wird eine Steigerung (Erhöhung um 40 % statt um 30 %) und einer zusätzlichen Förderung von Strohdämmstoffen skizziert. Daraus abgeleitet ergibt sich über den Zeithorizont von 2023 bis 2050 eine 180 % bis 195 % höhere Menge verbautes Holz im Vergleich zur aus dem Gebäudepark entnommenen Holzmenge bei Abriss und Ersatz von Bauteilen. Über den Zeitraum 2023 bis 2050 ergibt sich daraus ein Netto-Zuwachs von 3.9 bis 5.5 Mio. t gespeichertem Kohlenstoff im Gebäudepark. Dies entspricht einer temporären Senke bis 2050 in der Höhe von 14 bis 20 Mio. t CO₂-eq, oder umgerechnet einer Senkenzunahme von 0.5-0.7 Mio. t CO₂-eq pro Jahr. Voraussetzung für eine Anrechnung als NE sind, wie oben unter F1.3 beschrieben, eine gesetzliche und/oder rechtsverbindliche Sicherung der Permanenz, über die Lebensdauer der Gebäude hinaus. Ebenfalls zwingend erforderlich ist die Vermeidung von Doppelzählungen durch geeignete Massnahmen.

Auf der Ebene einer Gesamtbetrachtung des Ökosystems Wald-Gebäudepark bedeutet eine Erhöhung der Bauholznutzung nicht zwingend eine starke Erhöhung der Schweizer Holzernte oder eine Übernutzung der Wälder. Der im Basis-Szenario und in der Szenario-Variante «Höherer Anteil Holzbau» modellierte Zuwachs der Bauholznutzung, kann durch die verminderte Nutzung von Energieholz in Einzelgebäuden ausgeglichen werden. Eine Veränderung der Kohlenstoffvorräte aufgrund der Holznutzung ergibt sich auf der Ebene Ökosystem Wald abhängig vom Gesamtverbrauch von Holz für Gebäude, Möbel und andere Industrieanwendungen. Die Nutzung führt zu keiner Einbusse an Holzvorräten, sondern nur zu einem etwas geringeren Zuwachs an Vorräten in Wald-Ökosystemen. Abgesehen davon ist die Reduktion der Holznutzung zur Maximierung der Kohlenstoffvorräte im Wald-Ökosystem im Hinblick auf die zunehmenden Risiken von Hitze-/Trockenheitsschäden und der daher notwendigen Anpassung der Baumarten nur beschränkt sinnvoll.

F1.6 Wie hoch sind die territorialen Anteile der Emissionsziele und Absenkpfade (gemäss Langfristiger Klimastrategie, in der NET den nicht vermeidbaren Emissionen vorbehalten sind) bei einer Lebenswegbetrachtung von Gebäuden respektive des Gebäudeparks?

Die THG-Emissionen der Erstellung liegen aktuell in der Grössenordnung von 9 bis 11 Mio. t CO₂-eq. pro Jahr. Die Verminderungsziele gemäss KIG für den Sektor Bauindustrie von 90 % gegenüber 1990 werden in dieser Studie gleichermassen auf die territorialen Anteile der Emissionen im Ausland angewendet. Damit bleibt auf der Seite der Erstellung ein Endwert von schwer vermeidbaren Emissionen von etwa 2 Mio. t CO₂-eq. im Jahr 2050 mit territorialen Anteilen von je etwa 1 Mio. t CO₂-eq. aus der Inlandsproduktion und aus Importware. Im Basis-Szenario mit Gebäudeoptimierung und der Herstellung der Baumaterialien mit Emissionsfaktoren gemäss KBOB-Future wird dieser Wert deutlich überschritten: mit 4.1 Mio. t CO₂-eq. verbleiben für die Erstellung etwa doppelt so viele THG-Emissionen. Eine Halbierung des Endwertes erfordert weitere Massnahmen, siehe F1.4.

Fazit und Empfehlungen zu F1

Die aus dem KIG abgeleiteten Emissionsziele werden mit dem für das Basis-Szenario getroffenen Annahmen nicht erreicht. Vor allem gegen Ende des Zeithorizontes in den Jahren 2040-2050 entstehen grosse Abweichungen. Abgeleitet aus den Zielen des KIG lassen sich die schwer vermeidbaren Emissionen im Jahr 2050 für den Gebäudebereich auf 2 Mio. t CO₂-eq. beziffern. Selbst bei der unterstellten Emissionsreduktion bei der Herstellung der Baumaterialien in Kombination mit einem starken Rückgang der Neubautätigkeit, verbleiben die Restemissionen noch auf einem Niveau von 6.5 Mio. t CO₂-eq. Das Potenzial an negativen Emissionen ist zum Ausgleich des Defizits bei weitem nicht hinreichend, um diese Lücke zu schliessen. Zudem bestehen sowohl technische wie auch regulatorische Hürden. Zielführend sind deshalb zusätzliche Massnahmen zur Emissionsreduktion, wie sie in diesem Projekt vorgeschlagen werden. Ihr Beitrag zur Emissionsreduktion sollte im Nachgang weiter analysiert werden, wobei der Schwerpunkt auf die Instandsetzung und Erneuerung der Bestandsgebäude und auf die vor- und nachgelagerten Ketten gelegt werden sollte.



F2 Bottom-up Betrachtung

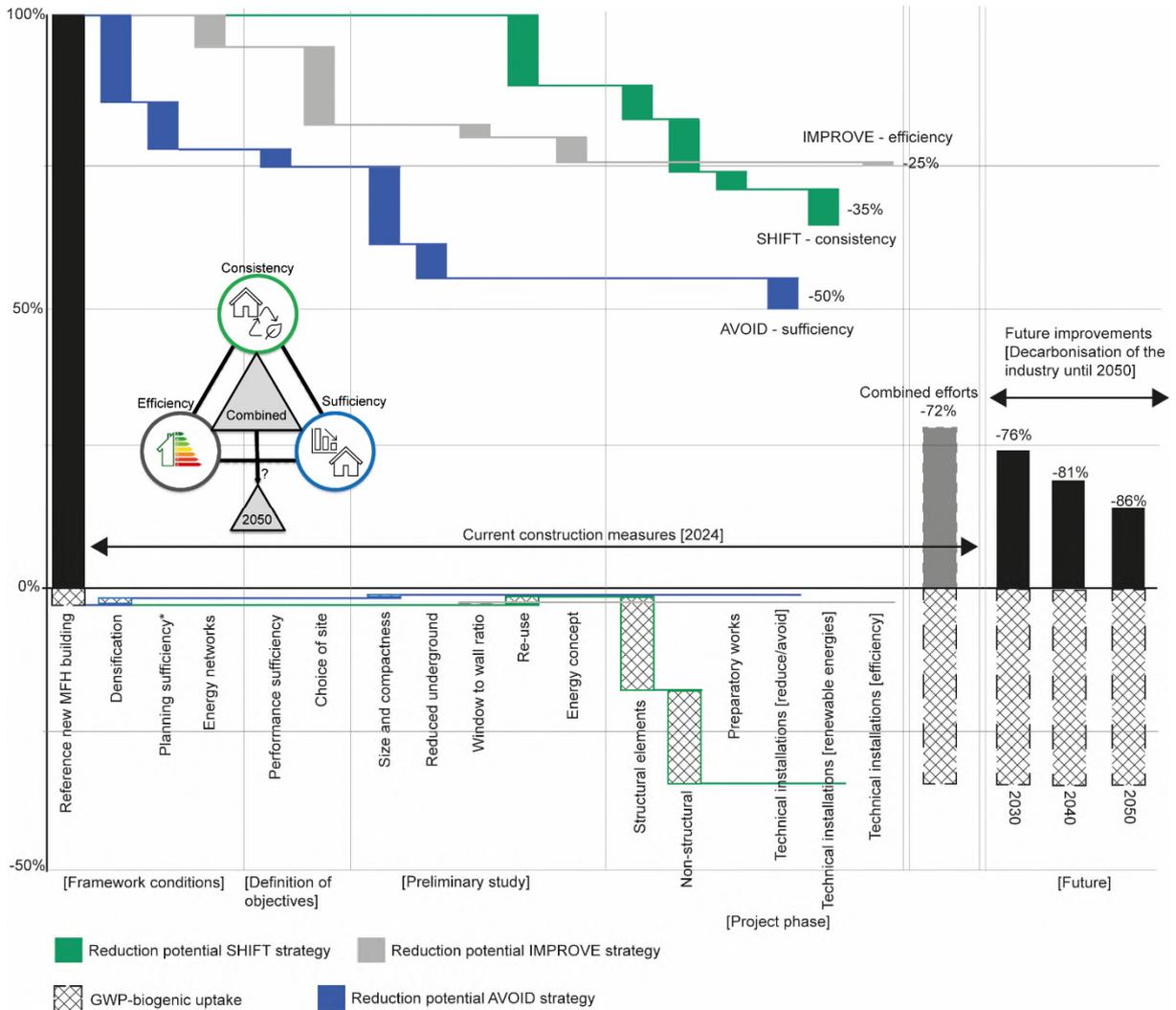


Abbildung 3: Relatives THG-Emissionen-Reduktionspotenzial und biogener GWP-Aufnahmepotenzial der vorgeschlagenen Massnahmen bzw. Strategien für ein Referenz-MFH-Gebäude 100 % entspricht 20kgCO_{2eq}/m².Jahr. Abbildung aus dem F2-Bericht (vom 31.10.2024)

Forschungsfragen und Erkenntnisse

Die Forschungsfrage F2 zielt darauf ab, Netto-Null-Treibhausgasstrategien-Strategien zu definieren, Benchmarks festzulegen und Interessengruppen bei der Umsetzung von Netto-Null-Praktiken auf Gebäudeebene zu unterstützen. Zu den Zielen des Teilprojekts F2 gehören die Ermittlung von Massnahmen zur Reduzierung der THG-Emissionen aus Bau und Betrieb auf Gebäudeebene, die Formulierung von Strategien zur Erreichung von NN-THGE bis 2050, die Bewertung dieser Strategien aus sozialer, wirtschaftlicher und technischer Sicht sowie die Klassifizierung von Gebäudestandards in Bezug auf Netto-Null-Ziele. Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird ein systematischer Ansatz, der Literaturrecherchen, logische Gruppierungen und Datenerhebungen umfasst, verwendet. Die Ergebnisse im Bericht basieren auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Die Massnahmen werden im Hinblick auf ihre Relevanz für die Emissionen auf Gebäudeebene und die mit der Datenlage und der Umsetzung der einzelnen Massnahmen verbundenen Einschränkungen bewertet. Anschliessend werden für jede Massnahme Empfehlungen ausgesprochen, die einen detaillierten Überblick über die Herausforderun-



gen und Möglichkeiten für die Umsetzung von Netto-Null-Gebäudepraktiken bieten. Die Massnahmen werden dann mit Machbarkeitsindikatoren in wirtschaftlicher, sozialer und technischer Hinsicht bewertet. Schliesslich werden die Massnahmen entsprechend den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie zu Strategien kombiniert. Parallel zur Bewertung der Massnahmen und Strategien werden die in der Schweizer verfügbare Gebäudestandards- und Labels untersucht, um mögliche Abweichungen von den Netto-Null-Zielen zu identifizieren.

In Bezug auf die verschiedenen Forschungsfragen ergeben sich die folgenden Ergebnisse und Erkenntnisse.

F2.1 Welche technischen und nicht-technischen Massnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen aus Erstellung und Betrieb bestehen auf Ebene der einzelnen Gebäude, unterschieden nach Neubau und Bestand (inkl. Instandsetzung)? Die Massnahmen können das Gebäude selbst und/oder deren Lieferketten (insbesondere Baumaterialhersteller) betreffen.

Die nachfolgenden Massnahmen werden in Bezug auf ihr gesamtes Potenzial zur THG-Emissionen-Reduktion diskutiert, wobei die die Grenzen einzelner Projekte und Kontextbedingungen berücksichtigt werden.

Für Neubauten:

- Technische Massnahmen: Der Einsatz CO₂-emissionsarmer Materialien, einschliesslich biogener Materialien (z. B. Holz, Stroh), kann die Grauen Emissionen erheblich reduzieren. Zusätzlich senken eine kompakte Bauweise und der Verzicht auf unter Terrain-Konstruktionen (z.B. Untergeschosse, Einstellhallen) den Materialbedarf und reduzieren die Emissionen weiter. Weitere Massnahmen umfassen die Steigerung der Energieeffizienz, die Nutzung erneuerbarer Energiequellen und die Optimierung des Tragwerks.
- Nicht-technische Massnahmen: Die Förderung der Verdichtung statt des Neubaus, die Förderung von Suffizienzmassnahmen (z. B. kleinere Fläche pro Bewohner) sowie der Fokus auf Langlebigkeit und Flexibilität von Materialien und Gebäuden sind entscheidend zur Minimierung der Emissionen.

Für bestehende Gebäude (Sanierungen):

- Technische Massnahmen: Die Sanierung bestehender Gebäude statt Neubau bietet ein erhebliches Potenzial die Emissionen im Gebäudebereich zu minimieren. Das Nachrüsten von Gebäuden mit energieeffizienten Technologien sowie die Nutzung von emissionsarmen und wiederverwendeten Materialien und Installationen, trägt ebenfalls wesentlich zur Senkung der Emissionen bei.
- Nicht-technische Massnahmen: Die Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden und die Reduzierung des Umfangs von Erneuerungen, können ebenfalls zur Senkung der Emissionen beitragen.

F2.2 Welche Strategien (Kombination von Massnahmen) sind geeignet, um am einzelnen Gebäude Netto-Null per 2050 zu erreichen?

Die im Abschnitt F2.1 identifizierten Massnahmen lassen sich in folgende drei Strategien gruppieren:

- VERMEIDEN / AVOID: Diese Strategie konzentriert sich auf Suffizienzmassnahmen, wie die Reduktion der Wohnfläche pro Person, das Vermeiden von Neubauten und die Senkung des Energieverbrauchs von Gebäuden. Diese Strategie könnte die THG-Emissionen bei einem Referenz-Mehrfamilienhaus Neubau um bis zu 50 % reduzieren, stösst jedoch auf Herausforderungen hinsichtlich der Akzeptanz und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit.
- VERLAGERN / SHIFT: Diese Strategie zielt darauf ab, konventionelle Materialien und Systeme durch CO₂-emissionsarme und/oder wiederverwendete Materialien zu ersetzen sowie erneuerbare Energie einzusetzen. Die Strategie weist eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz auf und bringt ökologische Zusatznutzen, bringt jedoch technischen und kostenbezogenen Herausforderungen mit sich.



- **VERBESSERN / IMPROVE:** Diese Strategie konzentriert sich auf die Effizienzsteigerung bestehender Praktiken, wie die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden, die Optimierung von Energienetzen und die Steigerung der Effizienz von Systemen. Die Wirksamkeit dieser Strategie ist stark abhängig von Reformen in Infrastruktur und Politik, wie dem Ausbau der erneuerbaren Energieinfrastruktur.

F2.3 Wie werden diese Strategien aus bautechnischer und wirtschaftlicher Sicht beurteilt?

Bei allen Strategien gibt es Hemmnisse v.a. bezüglich der Rahmenbedingungen eines Projekts, insbesondere bei den Kosten für den Ausbau von Energienetzen und die Dekarbonisierung der Industrie, der öffentlichen Akzeptanz von Planungs-Suffizienzmassnahmen sowie der technischen Einfachheit der Industrie-Dekarbonisierung. Technische Indikatoren deuten darauf hin, dass Massnahmen in frühen Planungsphasen schnell und einfach skaliert werden können (z. B. Kompaktheit, Verhältnis von Fenster zu Wand, Vermeidung von Untergeschossen). Mögliche Massnahmen für die Projektphase, wie z.B. die Wahl und Dimensionierung von Bauelementen und technischen Installationen, sind technisch umsetzbar, weisen jedoch eine mittlere bis geringe Einfachheit in der Umsetzung auf und sind oft mit höheren Kosten verbunden. Insgesamt zeigt die Machbarkeits-bewertung, dass die meisten Massnahmen bereit für die Umsetzung sind. Massnahmen in frühen Planungsphasen weisen aber generell günstigere Bedingungen auf. Während Massnahmen auf der Ebene der Rahmenbedingungen bei allen untersuchten Indikatoren (wirtschaftlich, sozial, technisch) auf mehr Hindernisse stossen.

F2.4 Wie sind die verschiedenen Gebäudestandards und -labels (MuKE 2014, GEAK, Minergie-(P/A)-ECO, SNBS, sowie der SIA-Effizienzpfad) in Bezug auf das Netto-Null Ziel einzuordnen und welche methodischen Differenzen weisen sie auf?

Im Hinblick auf den Geltungsbereich, die Indikatoren und genutzten Daten sowie die Grenzwerte für THG-Emissionen sind die Gebäudestandards und technischen Normen SIA 2032, 2040 und FprSIA 390/1:2024 konsistent miteinander. Sie alle ermöglichen die Bewertung eines Gebäudes auf Grundlage des vollständigen Lebenszyklusansatzes mit einzuhaltenden Grenz- und Zielwerten in Bezug auf THG-Emissionen.

Die weiteren analysierten Gebäudestandards und Labels folgen nicht einem vollständigen Lebenszyklusansatz, und ihre Anforderungen unterscheiden sich. Dies lässt sich durch den Anwendungsbereich des jeweiligen Labels oder Gebäudestandards erklären. So ist beispielsweise ein GEAK derzeit nicht dafür vorgesehen, eine vollständige Lebenszyklusanalyse (LCA) abzubilden, sondern soll vielmehr den Gebäudeeigentümer über die Energieeffizienz des Gebäudes und die damit verbundenen THG-Emissionen zu informieren. Zur besseren Vergleichbarkeit sollte eine Harmonisierung zwischen LCA-basierten Gebäudestandards/Normen (SIA-Standards) und den Labels (z. B. Minergie) bezüglich spezifischer Regeln wie der Zuordnung von PV-Strom zwischen Gebäude und Netz erfolgen.

Auf Massnahmenebene fordern oder fördern die Labels praktische Massnahmen – von der Stadtplanung und Zieldefinition bis hin zur Lieferantenauswahl bei Ausschreibungen. Einige in den SIA-Standards und technischen Bulletins aufgeführte Massnahmen, die zwar indirekt zur Erfüllung der Anforderungen notwendig sind, werden in den Labels nicht explizit gefördert. Dazu gehören die Optimierung von Gebäudegrösse und Kompaktheit, die Minimierung von Untergeschossbauten, das Sicherstellen eines optimalen Verhältnisses von Fenster- zu Wandfläche und die Umsetzung einer einfachen Tragstruktur mit angepassten Spannweiten (d. h. optimale Dimensionierung der Struktur). Massnahmen zur Kohlenstoffspeicherung oder NET werden nicht gefördert.

F2.5 Wie weit genügen die Grenz- und Zielwerte dieser Standards der Erreichung des Netto-Null Ziels am einzelnen Gebäude?

Nur die FprSIA 390/1:2024 weist einen Reduktionspfad auf, der mit dem Netto-Null-Ziel für 2050 kompatibel ist, allerdings nur in einem informativen Anhang. Bestehende Labels, insbesondere die stärker umweltorientierten wie Minergie-ECO und SNBS, könnten sich stärker an Netto-Null-Ziele orientieren, indem sie in den kommenden Jahren einheitliche THG-Emissionen-Grenzwerte auf Lebenszyklusbasis übernehmen, die auf dem nationalen Kohlenstoffbudget für Gebäude basieren. Im Fall des SNBS reduziert der breitere Nachhaltigkeitsansatz die Relevanz der Netto-Null-kompatiblen Massnahmen. Um das Label mit den Netto-Null-Zielen in Einklang zu bringen, sollten die Zertifizierungs-



regeln in dieser Hinsicht strenger sein. Die Integration von Kriterien, die die fehlenden Massnahmen explizit fördern (Grösse und Kompaktheit, Minimierung der Untergeschosse, optimales Fenster-zu-Wand Verhältnis und einfache Tragwerke), könnte das Bewusstsein bei Praktikern für diese zentralen Emissionsminderungshebel schärfen und so den Bau/Umbau von CO₂-emissionsarmen Gebäuden und letztlich das Erreichen von Netto-Null-Zielen erleichtern. Insgesamt zeigt die Kombination aus fehlenden Anforderungen an die Reduktion von THG-Emissionen bei Bau und Betrieb und dem Fehlen von Massnahmen zur Kohlenstoffspeicherung oder NET, dass die untersuchten Labels noch nicht ganz im Einklang mit den Netto-Null-Zielen stehen.

F2.6 Quantifizierung an konkreten Beispielen zu verschiedenen Gebäudekategorien.

Die Identifizierung und Bewertung von Massnahmen zur THG-Emissionen-Reduktion auf Gebäudeebene verdeutlichen die grosse Vielfalt an Reduktionsmöglichkeiten, die den Akteuren im Bau- und Erneuerungsbereich zur Verfügung stehen. Bauarbeiten sind stets eng an spezifische Standortbedingungen, den regulatorischen Rahmen, Präferenzen von Eigentümern und Nutzern, Gebäudetypologie sowie Kontextbedingungen gebunden. Diese Faktoren stellen immer wieder Begrenzungen für das volle Potenzial der identifizierten Massnahmen dar. Dennoch bietet jede Massnahme Ansätze zur Emissionsreduktion, die sich trotz fallspezifischer Einschränkungen umsetzen lassen. Es ist entscheidend, dass diese Ansätze für alle Akteure im Bereich der Gebäude Planung und der Schaffung von betreffenden Rahmenbedingungen Priorität erhalten.

Das durchschnittliche Reduktionspotenzial einer einzelnen Massnahme liegt bei etwa 15 %, wobei keine Einzelmassnahme die Emissionen um mehr als 30 % zu senken vermag. Eine Ausnahme stellt das Umbauen statt Neubauten dar, da hierbei die Auswirkungen eines Neubaus vollständig vermieden werden, wodurch dessen Emissionen gänzlich entfallen. Allerdings verlagert sich dadurch die Emissionsbelastung in den Bereich der Bestandssanierung, der im Durchschnitt zwar niedrigere Emissionen aufweist als ein Neubau, jedoch nicht null. Das höchste Potenzial als Einzelmassnahme weist die kontinuierliche Dekarbonisierung der Industrie bis 2050 auf, obwohl dies mit erheblichen Unsicherheiten und methodischen Herausforderungen verbunden ist. Gebäudegrösse und Kompaktheit zeigen als Einzelmassnahme ein hohes Potenzial und erzielen eine Reduktion von fast 20 % gegenüber dem Referenzfall.

Insgesamt kann die Strategie VERMEIDEN die THG-Emissionen eines Referenz-Mehrfamilienhauses potenziell um 50 % und eines Referenz-Einfamilienhauses um 27 % senken. Die zweite Strategie basiert auf dem Konsistenzprinzip oder dem «Verlagern»-Konzept und kombiniert Massnahmen, die eine konsequente Nutzung emissionsarmer und fossilfreier Optionen wie biobasierte Materialien und einen höheren Anteil erneuerbarer Energien vorsehen. Diese Strategie erreicht eine Reduktion der THG-Emissionen um 35 % für beide Referenzfälle und erhöht potenziell die biogene GWP-Aufnahme um bis zu 32 % der ursprünglichen THG-Emissionen des Referenz-Mehrfamilienhauses und 50 % des Referenz-Einfamilienhauses. Die dritte Strategie konzentriert sich auf Effizienzprinzipien oder das «Verbessern»-Konzept, indem Massnahmen kombiniert werden, die bestehende Praktiken verbessern und die Effizienz der eingesetzten Systeme erhöhen. Diese Strategie erreicht eine Reduktion der THG-Emissionen um 25 % für ein Referenz-Mehrfamilienhaus und um 12 % für ein Referenz-Einfamilienhaus mit aktuellen Technologien (ohne zukünftige Dekarbonisierung der Industrie).

Wenn alle Massnahmen kombiniert werden, kann eine Reduktion der THG-Emissionen um 72 % bei einem Referenz-Mehrfamilienhaus und um 50 % bei einem Einfamilienhaus erzielt werden, wobei die biogene GWP-Aufnahme das Emissionsniveau erreicht, wenn eine dauerhafte Speicherung mit rechtlich bindenden Vereinbarungen berücksichtigt wird. Dasselbe Referenzgebäude mit kombinierten Massnahmen, das im Jahr 2050 gebaut würde (unter Annahme einer Verringerung der Emissionen in den Lieferketten), könnte seine Emissionen um weitere 50 % reduzieren.



Fazit und Empfehlungen zu F2

Die Ergebnisse des F2-Berichts (Bottom-up-Ansatz) zeigen, dass eine Kombination aus technischen und nicht-technischen Massnahmen entscheidend ist, um die Netto-Null-Ziele zu erreichen. Eine zentrale Erkenntnis ist, dass keine einzelne Massnahme und auch keine unithematische Strategie ausreicht, um Netto-Null auf Gebäudeebene zu erreichen; vielmehr ist ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der sowohl graue als auch betriebliche Emissionen berücksichtigt.

Für Neubauten sind der Einsatz CO₂-emissionsarmer Materialien wie biogene Alternativen, die Optimierung des Tragwerksdesigns sowie die Reduzierung von Gebäudegrösse und Untergeschossen von entscheidender Bedeutung. Bei bestehenden Gebäuden können Sanierungen in Kombination mit Energieeffizienz, Ausbau der erneuerbaren Energien und der Wiederverwendung von Baumaterialien die THG-Emissionen erheblich senken.

Die wirkungsvollsten Strategien umfassen den «VERMEIDEN»-Ansatz, der auf Suffizienzmassnahmen setzt, sowie den «VERLAGERN»-Ansatz, der die Nutzung erneuerbarer Materialien und Energiequellen betont. Eine Kombination von Strategien, wie sie in diesem Projekt auf ein Referenz-Mehrfamilienhaus angewendet wurde, zeigte eine mögliche Reduktion der ursprünglichen Lebenszyklus-THG-Emissionen um 72 %. Daraus ergibt sich eine THG-Emissionen-Belastung über den Lebenszyklus von 5,4 kg CO_{2-eq.}/m² und Jahr und einer äquivalenten oder höheren Menge an temporärer biogener Kohlenstoffspeicherung.



F3 Übersicht möglicher Umsetzungswege

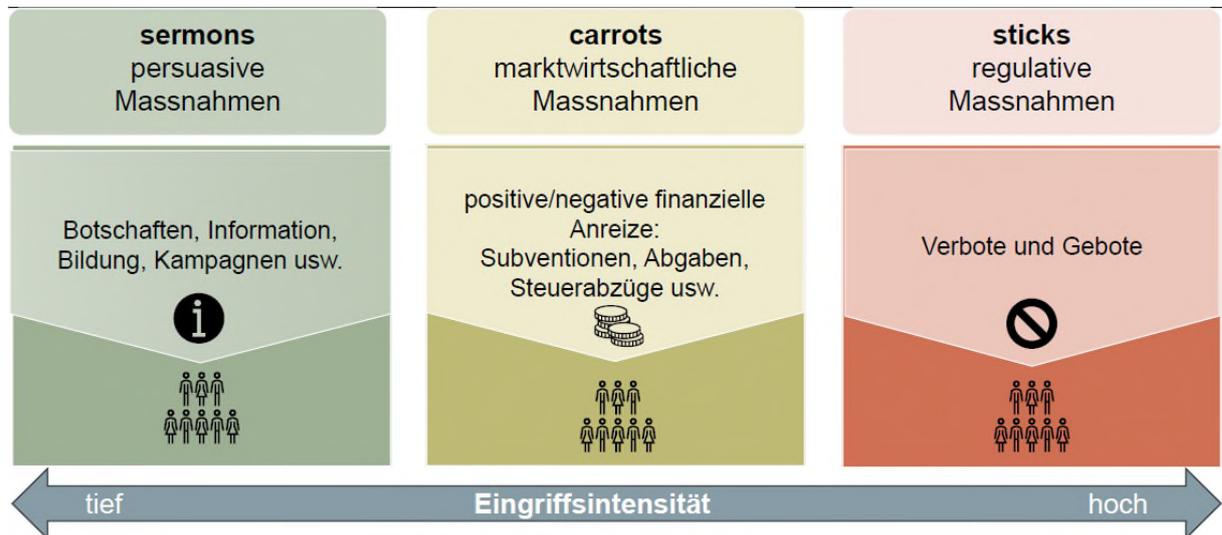


Abbildung 4: Policy-Instrumente. Darstellung Interface, basierend auf Verdung 2010; Sager et al. 2017.

Forschungsfragen und Erkenntnisse

Das Teilprojekt F3 verfolgt zwei Hauptziele: (1) eine Übersicht über die bestehenden politischen Rahmenbedingungen und Instrumente für die Strategie «Netto-Null-Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich» zu erstellen sowie (2) die Entwicklung von Politikmassnahmen basierend auf den drei Stossrichtungen aus Projektteil F2 (vermeiden, umstellen, verbessern) aufzuzeigen. Chancen und Risiken dieser Massnahmen werden qualitativ aus einer politikwissenschaftlichen Perspektive analysiert und Empfehlungen für die künftige Politikgestaltung gegeben. Die Analyse basiert auf vorhandener Literatur, dem Wissen des Projektteams und Rückmeldungen der Begleitgruppe. Es ist wichtig zu beachten, dass es sich um eine qualitative Studie handelt, die eine Auslegeordnung zu bestehenden politischen Massnahmen macht und Denkansätze für mögliche weitere staatliche Regulierungen beinhaltet. Die Empfehlungen haben prospektiven Charakter, da sich das regulatorische Umfeld dynamisch entwickelt.

Bezogen auf die verschiedenen Forschungsfragen ergeben sich nachfolgende Ergebnisse und Erkenntnisse.

F3.1 Welche politischen Rahmenbedingungen bestehen aktuell (Auslegeordnung)?

Die Auslegeordnung zeigt, dass bereits ein breiter Massnahmenmix besteht, der von verschiedenen Vollzugsakteuren (Bund und Kantone, teilweise auch Gemeinden) umgesetzt wird. Aus Gebäudeperspektive handelt es sich um eine Querschnittspolitik, die primär in der Energiepolitik, der Klima- und Nachhaltigkeitspolitik sowie der Umweltpolitik verankert ist. Die Kompetenz (Zuständigkeit) für die Ausgestaltung und den Vollzug der zentralen Massnahmen und Instrumente im Bereich der THG-Emissionen liegen sowohl beim Bund als auch bei den Kantonen oder Gemeinden. Zudem sind sowohl beim Bau von Gebäuden wie auch bei der Nutzung von Wohnraum viele Aspekte grundsätzlich Sache der Privatwirtschaft. Die öffentliche Hand beeinflusst somit aktuell nur einen Teil der relevanten Rahmenbedingungen für NN-THGE im Gebäudebereich.

F3.2 Welche Politikmassnahmen (Vorschriften, Anreize) könnten grundsätzlich eingesetzt werden, um das unter Frage 1.1 definierte Ziel zu erreichen?

Zur Erreichung von NN-THGE im Gebäudebereich könnten verschiedene Politikmassnahmen eingesetzt werden. Dazu gehören regulative Massnahmen wie verbindliche Vorschriften für die Reduktion von Emissionen und Grenzwerte für den CO₂-Ausstoss von Gebäuden. Anreize könnten



finanzielle Förderprogramme für die energetische Sanierung von Gebäuden und den Einsatz erneuerbaren Energien sein, wie bereits im Gebäudeprogramm umgesetzt oder im KIG (Impulsprogramm) angedacht. Persuasive Massnahmen wie Informationskampagnen, Wissensaufbau oder die Weiterentwicklung von Gebäudestandards und Labels zur Förderung nachhaltiger Baumaterialien spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Schliesslich kann die Stärkung der Kreislaufwirtschaft im Bau-sektor einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Scope 3-Emissionen leisten.

F3.3 Welche bestehenden Politikmassnahmen greifen bei einer Lebenswegbetrachtung, d.h. bei der Betrachtung von Scope 1, 2 und 3, zu kurz?

Die derzeitigen Politikmassnahmen und Rahmenbedingungen zielen vor allem auf die direkten Emissionen im Betrieb (Scope 1) und auf die indirekten Emissionen aus dem Bezug von Strom, Fern- und Nahwärme oder -kälte (Scope 2) ab. Indirekte Emissionen aus Scope 3, das heisst aus der Herstellung von Baustoffen und Bauteilen und deren Einbau (upstream) sowie Rückbau, Abfallbehandlung und der Entsorgung (downstream) werden nur in den Vergabekriterien der öffentlichen Beschaffung direkt adressiert. In den Rechtsvorschriften für den Bau- und Abfallsektor sind derzeit keine Massnahmen zur Verringerung der Scope 3-Emissionen für den Gebäudebereich enthalten. Mit Blick auf eine Erreichung von NN-THGE sind damit insbesondere im Bereich der Kreislaufwirtschaft Lücken vorhanden. Die (laufende) Revision der Umweltschutzgesetzgebung kann eine wichtige materielle Basis legen, um diese regulative Lücke zu schliessen. Anschliessend sind die Kantone gefordert, im Rahmen ihrer Energiegesetze Grenzwerte für Graue Emissionen aufzunehmen.

F3.4 Wie sind die Strategien aus Frage 2.2 in Bezug auf die Umsetzungschancen und Risiken in den Zeiträumen 2030/2040/2050 zu beurteilen?

Mit Blick auf die Umsetzung der drei Stossrichtungen für NN-THGE im Gebäudebereich kann festgehalten werden, dass Subventionen (Anreize) für die Umstellung von fossilen Heizsystemen und für energetische Sanierungen bereits etabliert sind. Neue verbindliche Massnahmen (Gebote/Verbote), wie Grenzwerte für Graue Energie/Graue Emissionen, eine Verschärfung der Baubewilligungspraxis oder Sanierungspflichten bei Handänderungen, können private Akteure stärker in die Pflicht nehmen. Solche Massnahmen sind jedoch aufgrund der Eingriffsintensität in das individuelle Verhalten und in den Markt politisch stark umstritten. Potenziell wirksame politische Massnahmen zur Erreichung von NN-THGE im Gebäudebereich sind: a) Vorgaben zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und der Verwendung emissionsarmer Materialien wie Holz, b) Ausbau der finanziellen Anreize für die energetische Sanierung von Gebäuden, c) strengere Bauvorschriften zur Reduktion der Emissionen bei Neubauten sowie d) Förderung von Suffizienz im Wohnungsbau und dem Wohnflächenverbrauch pro Kopf. Die Einführung entsprechender politischer Massnahmen ist aus gesellschaftlichen und politischen Gründen herausfordernd. Wichtig für die Entwicklung und Umsetzung «neuer» und skalierbarer politischer Massnahmen ist deshalb der kontinuierliche Austausch zwischen den beteiligten Akteuren sowie der Wissenstransfer zwischen den staatlichen Ebenen, dem Privatsektor und der Wissenschaft.

Fazit und Empfehlungen zu F3

Das Projekt bietet einen Überblick über mögliche politische Massnahmen zur Erreichung von Netto-Null im Gebäudebereich. Die zentrale Schlussfolgerung ist, dass ein mehrschichtiger Ansatz aus Regulierung, Anreizen und Wissensaufbau notwendig ist, um NN-THGE zu erreichen. Während aktuelle Politiken direkte Emissionen (Scope 1) und energiebedingte Emissionen (Scope 2) adressieren, besteht eine erhebliche Lücke bei der Berücksichtigung von Lebenszyklusemissionen entlang der gesamten Lieferkette (Scope 3). Ein Ausbau der Regulierungen, insbesondere im Bereich der Kreislaufwirtschaft, birgt Potenzial, wobei gesetzliche Anforderungen für Treibhausgasemissionen von Gebäuden im Vordergrund stehen. Damit sind auch die Kantone gefordert, im Rahmen ihrer Energiegesetze Grenzwerte für graue THG-Emissionen aufzunehmen. Gleichzeitig sollte emissionsarmes Bauen auch von der Abfallseite her gefördert werden. Allgemein sind die Zusammenarbeit und der Wissensaustausch zwischen den staatlichen Ebenen und Fachleuten entscheidende Faktoren für die Entwicklung neuer politischer Instrumente und Massnahmen. Schliesslich sollten die Auswirkungen verstärkter staatlicher Eingriffe auf die zukünftige Bautätigkeit und Bewilligungspraxis zwingend vertieft analysiert werden. Dabei gilt es auch zu klären, wer welchen Beitrag zu NN-THGE im Gebäudebereich leisten kann und soll.



F4 Grundlagen für die Grenz- und Zielwertsetzung

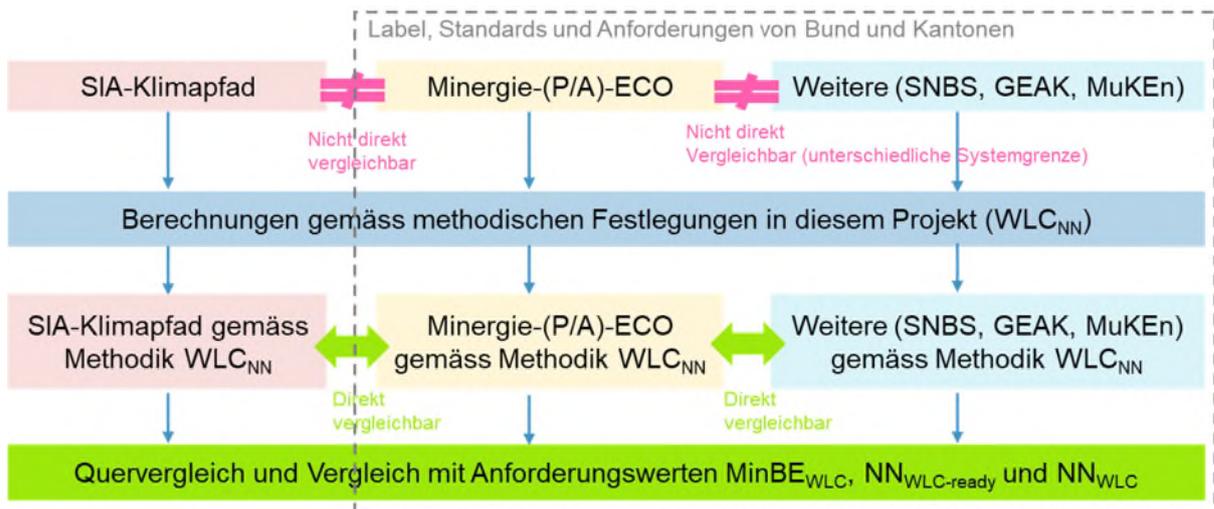


Abbildung 5: Herstellung der Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Gebäudestandards und Labels durch Überführbarkeit auf eine gemeinsame Basis, die WLC_{NN}-Methodik. Quelle: dieses Projekt.

Forschungsfragen und Erkenntnisse

F4 untersucht die Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei Definitionen, Berechnungsmethoden, Daten Grundlagen und Annahmen für Netto-Null-Gebäude in den Gebäudestandards und Labels.

Bezogen auf die verschiedenen Forschungsfragen ergeben sich nachfolgende Ergebnisse und Erkenntnisse.

F4.1 Wo gibt es einheitliche Definitionen und Annahmen, wo bestehen Differenzen? Wie kann mit den unterschiedlichen Bewertungssystemen der gelieferten Energie umgegangen werden?

Sowohl der SIA-Klimapfad (FprSIA 390/1: Entwurf zur Norm SIA 390/1, Stand Februar 2024) als auch Minergie-(P/A)-ECO, beinhalten eine umfassende Emissionsbilanz über den Lebensweg eines Gebäudes. Gewisse Unterschiede bestehen bei einzelnen methodischen Ansätzen und bei den Anforderungswerten. Weitere Gebäudestandards und Labels wie z.B. SNBS beziehen sich auf den SIA-Klimapfad oder auf Minergie oder sie liefern umgekehrt Grundlagen dazu. Zu erwähnen ist diesbezüglich der GEAK, der die Emissionsberechnung der Betriebsphase definiert, jedoch die Erstellungsphase nicht abdeckt.

Die wichtigsten Gemeinsamkeiten zwischen SIA-Klimapfad (FprSIA 390/1) und Minergie-(P/A)-ECO sind folgende:

- Verwendung von grundlegenden Definitionen, Annahmen und Berechnungsroutinen, insbesondere da sich diese z.T. aufeinander bzw. auf gemeinsame Grundlagen beziehen (z.B. SIA 380, SIA 380/1, SIA 2032, KBOB-Ökobilanzdaten).
- Sowohl von Minergie als auch vom SIA-Klimapfad wird anerkannt, dass weder Nutz-, noch End- noch Primärenergieeffizienz gute Indikatoren für tiefe oder gar null THG-Emissionen sind.
- Weil Minergie seit 2023 die THG-Emissionen Erstellung in ihr Label einbezogen hat und die Emissionen Betrieb informativ gemäss GEAK-Methodik ausweist, decken Minergie und SIA-Klimapfad die für Netto-Null relevanten Bereiche ab. Allerdings bestehen methodischen Unterschiede.
- Sowohl Minergie-(P/A)-ECO als auch der SIA-Klimapfad anerkennen nur Massnahmen an, die einen Bezug zum Gebäude haben. Davon losgelöste Ansätze wie z.B. Zertifikate für Grünstrom



oder Negativ-Emissionen werden grundsätzlich nicht anerkannt (Ausnahme SIA-Klimapfad, der Strom aus neuen ökologischen Anlagen anerkannt, um Anreize für grössere PV-Anlagen zu setzen).

Folgende methodischen Unterschiede zwischen Minergie-(P/A)-ECO und SIA-Klimapfad (FprSIA 390/1) bestehen:

- Bilanzierung des von PV-Anlagen produzierten Stroms und der damit pro rata verbundenen Emissionen bei der Erstellung: Bei Minergie wird der Eigenverbrauchsanteil der PV-Anlage im Gebäude auf Stundenbasis ermittelt. In der Erstellung werden bei Minergie zusätzlich 40 % derjenigen Erstellungsemissionen, die auf den ins Stromnetz eingespeisten Strom pro rata entfallen würden, dem Gebäude zugerechnet. Diese Berechnungsweise ist nicht WLC-konform. Beim SIA-Klimapfad wird der Eigenverbrauchsanteil WLC-konform auf Stundenbasis ermittelt, falls die Herkunftsnachweise (HKN) an Dritte abgegeben werden. Um Anreize für grössere PV-Anlagen zu setzen, kann der Eigenverbrauchsanteil beim SIA-Klimapfad auf Jahresbasis bestimmt werden (die HKN werden in diesem Fall nicht veräussert). Insgesamt resultieren zwischen Minergie und SIA-Klimapfad unterschiedliche anzurechnende THG-Emissionen Erstellung für dieselbe Anlagengrösse in derselben Situation. Diese Unterschiede sind bei der Beurteilung von Photovoltaik-Anlagen per se wesentlich, machen aber bei der Beurteilung ganzer Gebäude wenig aus.
- Für das Setzen von Anreizen anerkennt der SIA-Klimapfad gewisse Ökostrom-HKN bzw. -Zertifikate, sofern diese aus neuen Anlagen stammen und Mindestanforderungen an die ökologische Qualität erfüllen (z.B. wie bei nature made star), Minergie hingegen nicht. Minergie stellt allerdings auch keine Anforderungen, bei denen dies relevant wäre. Namentlich werden die Emissionen Betrieb nur informativ ausgewiesen und unterliegen keinem Grenzwert. Beide genannten Berechnungsmethoden von SIA-Klimapfad und Minergie sind nicht konform mit dem in diesem Projekt entwickelten WLC-Ansatz.
- Bei der Fernwärme rechnet der SIA-Klimapfad mit den effektiven Emissionen des Fernwärmeprodukts. Minergie hingegen verwendet projektspezifische Gewichtungsfaktoren in Abhängigkeit des fossilen Anteils an der individuell bezogenen Fernwärme.

Beim Setzen von Anforderungen und von Anreizen werden folgende Unterschiede zwischen Minergie und SIA-Klimapfad verzeichnet:

- Bei den Anforderungen an die THG-Emissionen bezieht der SIA-Klimapfad die Emissionen des gesamten Lebenszyklus mit ein. Minergie macht nur explizite Vorgaben bei den Emissionen Erstellung, nicht aber bei den Emissionen Betrieb. Letztere werden indirekt begrenzt: Zum einen stellt Minergie mittels Minergie-Kennzahl Anforderungen auf der energetischen Seite. Zum anderen wird der Einsatz von fossilen Energieträgern eingeschränkt: bei Gebäudeheizanlagen werden fossile Energieträger ausgeschlossen (mit Ausnahmen z.B. zur Spitzendeckung) und auch bei Nutzung von Fernwärme wird der fossile Anteil begrenzt.
- FprSIA 390/1 stellt systemische Anforderungen über beide Gebäudephasen (Erstellung und Betrieb) in Form von Grenz- und Zielwerten (konkret sog. Zusatzanforderungen für diese beiden Phasen) und schlägt für die beiden Phasen separat Richtwerte vor. Demgegenüber stellt Minergie separate Anforderungen je für die beiden Gebäudephasen, wobei diese z.T. projektabhängig sind, um projektspezifische Bedingungen zu berücksichtigen (z.B. erhöhte Grenzwerte für PV-Anlagen, Erdwärmesonden, Sonnenkollektoren).
- Anreize, grosse bzw. dachfüllende PV-Anlagen zu erstellen: Bei der Ermittlung der projektseitig zur Erreichung der Konformität notwendigen Anlagengrösse können in der Praxis z.T. bereits relativ kleine PV-Anlagen ausreichen. Minergie und der SIA-Klimapfad verfolgen unterschiedliche Ansätze, um dennoch grössere PV-Anlagen zu beanreizen: Minergie verlangt eine Mindestgrösse (in % der nutzbaren Dachfläche) und der SIA-Klimapfad erlaubt optional bei Nicht-Veräussertung der HKN die Berechnung des Eigenverbrauchsanteils auf Jahresbasis, woraus Anreize für grössere PV-Anlagen resultieren.



F4.2 Welche Lösungsansätze gibt es, um eine gemeinsame Netto-Null Definition basierend auf den unterschiedlichen methodischen Ansätzen in den verschiedenen Planungs- und Umsetzungsinstrumenten von SIA, Ecobau, SNBS, GEAK und Minergie aufzunehmen?

Lösungsansätze für eine gemeinsame Netto-Null Definition zu suchen, impliziert, dass die verschiedenen Planungs- und Umsetzungsinstrumente von SIA, Ecobau, SNBS, GEAK und Minergie in der Lage sind, Emissionen aller relevanten Phasen und Scopes abzubilden. Eine gemeinsame Definition ist also dann möglich, wenn Bereiche, die in einem Instrument (bzw. in dessen Berechnungsmethode) nicht abgedeckt sind, durch ein anderes Instrument komplettiert werden.

Damit eine Netto-Null Definition, die auf den unterschiedlichen methodischen Ansätzen basiert, als «gemeinsam» bezeichnet werden kann, muss sie folgende Punkte erfüllen:

- ähnlich vollständig sein: Netto-Null lässt per Definition grundsätzlich keine Restemissionen innerhalb der Systemgrenze Gebäudebereich zu. Gegebenenfalls verbleiben Restemissionen ausserhalb der Systemgrenze Gebäudebereich, z.B. in der Landwirtschaft oder im Transportbereich.
- wichtige Prinzipien und methodische Grundsätze vereinheitlichen.
- transparent und nachvollziehbar sein.
- eine Überführbarkeit zwischen den verschiedenen Berechnungsmethoden oder eine möglichst einfache Vergleichbarkeit ermöglichen z.B. mittels Umrechnung auf eine gemeinsame Basis wie die WLC_{NN} -Methodik.
- eine Harmonisierung in materieller Hinsicht (Methodik) anstreben

F4.3 Wie können die auf unterschiedlichen methodischen Ansätzen basierenden Grenz- und Zielwerte festgelegt werden, so dass sie aufeinander abgestimmt sind?

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die auf unterschiedlichen methodischen Ansätzen basierenden Grenz- und Zielwerte so festzulegen, dass sie inhaltlich und materiell, d.h. bzgl. ihrer beabsichtigten Anreizwirkung, aufeinander abgestimmt sind. Folgende drei Varianten wurden im Projekt identifiziert:

- Subsidiarität: Die verschiedenen Informations- und Planungsinstrumente werden aufeinander bezogen. Das bedeutet die Grenz- und Zielwerte eines bestimmten Bereichs oder Indikators (z.B. Scope 1, 2 oder 3 Emissionen) werden nur an einer Stelle bzw. in einem Instrument (Standard oder Label) berechnet und beurteilt. Zum Beispiel könnte eine Instanz (der SIA, das BFE) die methodischen Grundlagen erarbeiten lassen und die Gebäudestandards und Labels beziehen sich darauf. Nicht abgedeckte Bereiche oder andere methodische Ansätze (z.B. Abschreibungs- oder Investitionsprinzip) würden in einem solchen Ansatz subsidiär in dem betreffenden Instrument definiert, wo sie verwendet werden sollen.
- Harmonisierung: Die verschiedenen Informations- und Planungsinstrumente werden so weit wie möglich harmonisiert. Einerseits bzgl. der Berechnungsmethoden und des Betrachtungsperimeters, und andererseits materiell. Dies würde bedeuten, dass gewisse methodische und inhaltliche Anpassungen nötig sind, und bedingt ein koordinierendes Gremium (z.B. eine Kommission bestehend aus Vertreter und Vertreterinnen der verschiedenen Stakeholdergruppen).
- Umrechnung: Die unterschiedlichen Berechnungsmethoden und Annahmen zwischen den verschiedenen Instrumenten beibehalten und die Grenz- und Zielwerte so umrechnen, dass sie materiell (d.h. was die Strenge der Anforderungen betrifft) vergleichbar sind. Gewisse Unterschiede bei den abgedeckten Bereichen könnten ggf. mittels Korrekturfaktoren ad hoc berücksichtigt werden. Allerdings orten wir – nach unserem Kenntnisstand – bei den abzudeckenden Bereichen und beim entscheidenden Indikator, den THG-Emissionen, bei den meisten Instrumenten einen Anpassungsbedarf, so dass diese Option möglicherweise nicht umsetzbar ist.



Fazit und Empfehlungen zu F4

Die Arbeiten in den verschiedenen Teilprojekten sowie die konsultierte Literatur zeigen, dass Netto-Null_{WLC} zum derzeitigen Zeitpunkt eine sehr anspruchsvolle Anforderung darstellt und beim heutigen Stand der Technik bzw. der verfügbaren Baumaterialien und -elemente nur mit einer grossen Anzahl von weitreichenden Massnahmen zu erreichen ist. Eine starke Verminderung der Emissionen der Phase Erstellung im Vergleich zur heute üblichen Neubauweise und eine weitgehende Vermeidung der Emissionen der Phase Betrieb sind eine Voraussetzung, um verbleibende Emissionen durch negative Emissionen ausgleichen zu können. Da die technischen und gesetzlich/rechtlichen Voraussetzungen für Negativemissionen im ausreichenden Ausmass derzeit noch nicht gegeben sind, schlagen wir das Konzept Netto-Null-ready (NN_{WLC}-ready) vor.

Bei Netto-Null-ready kommen temporäre Senken zur Anwendung, welche zu einem späteren Zeitpunkt als Negativemissionen umgewandelt werden, wenn sie tatsächlich nicht re-emittiert werden, d.h. wenn sie gesichert und gespeichert, d.h. permanent von der Atmosphäre ferngehalten werden. Die temporären Senken sollen an konkret zu benennende Massnahmen geknüpft werden. Beispiele sind namentlich der Einsatz von biogenen Baustoffen und Materialien, dies aufgrund der Langlebigkeit im Bereich der Konstruktion. Voraussetzung für NN_{WLC}-ready ist eine weitergehende Reduktion der Bruttoemissionen. Im Gegensatz zum NN_{WLC} Gebäude ist für NN_{WLC}-ready eine rechtlich verbindliche Absicherung nicht zwingend erforderlich.

Aus den Analysen des Teilprojekts F4 und den dabei gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich folgende weiteren Empfehlungen:

- Es ist wichtig, die verschiedenen Instrumente in Richtung THG-Emissionen-Reduktion weiterzuentwickeln und konsequent die THG-Emissionen der Erstellungs- und die Betriebsphase (alle drei Scopes) mit einzubeziehen, zumindest auf der informativen Ebene. Die Betriebsphase und damit die Energieeffizienz sind nach wie vor wichtig. Die Energieeffizienz ist zudem auch aus einer Top-down Perspektive zu adressieren, z.B. mit Energieträger spezifischen Ansätzen für Stromeffizienz, Winterstromanteil, Steuerbarkeit von Strom-produktion, -nutzung und -speicherung.
- Einer der wichtigsten Hebel der THG-Emissionen-Reduktion der Erstellung sind die Massnahmen in der Industrie bei der Produktion der Baumaterialien und Bauteile. Um die erzielte Reduktion der entsprechenden Anbieter zu erfassen, sind herstellerspezifische Ökobilanzdaten und deren regelmässige Aktualisierung notwendig. Eine einheitliche Systematik, wie sie die KBOB mit ihren Ökobilanzregeln bietet, ist für die Vergleichbarkeit Angaben unterschiedlicher Hersteller wesentlich.
- Neue Technologien wie BECCS, CCS und NET im Bereich der produzierten Baustoffe sind notwendig, um Netto-Null erreichen zu können. Der Einsatz von CCS und NET führt mit dem bereits angelaufenen Verkauf von NE-Zertifikaten zu neuen Fragen, beispielsweise bezüglich Doppelzahlungen. Die Bedingungen für eine Anrechnung von BECCS, CCS und NET im Gebäude sind mit dem Handel von Zertifikaten zu definieren. Wie genau dies aussehen soll und was Möglichkeiten sind, sollte im Nachgang an dieses Projekt vertieft untersucht werden.
- Bei der Bemessung der NE ist zu berücksichtigen, dass aus praktischen Gründen unter Umständen nicht die gesamte Menge der temporären Senken in NE umgewandelt werden können. Einzurechnen sind auch unvermeidbare Effizienzverluste z.B. bei CCS.



Schlussfolgerungen

Das Forschungsprojekt zeigt, dass das Erreichen von Netto-Null-Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich eine unverzichtbare Voraussetzung für die Erreichung der Klimaziele der Schweiz ist. Der umfassende Ansatz dieses Projekts unterstreicht, dass sowohl betriebliche als auch Graue Emissionen über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden hinweg angegangen werden müssen. Während betriebliche Emissionen durch Energieeffizienz, erneuerbare Energie und Elektrifizierung erheblich reduziert werden können, stellen Graue Emissionen aus Materialien, Bau und Entsorgung eine grössere Herausforderung dar.

Bis 2050 wird im bereits ambitionierten Basis-Szenario eine Gesamtminderung der Emissionen um 78 % erreicht, was jedoch mit 6.5 Mio. t CO₂-Ausstoss pro Jahr deutlich über dem vom KIG abgeleiteten Ziel von 2 Mio. t liegt. Um verbleibende Emissionen dieser Grössenordnung auszugleichen, würde ein erheblicher Einsatz von Negativemissionstechnologien (NET) erforderlich sein. Trotz Fortschritten in diesem Feld, besteht eine Lücke zwischen den aktuellen Möglichkeiten und dem gesetzlich verankerten Ziel für 2050, was zusätzliche Massnahmen zur Reduktion der Abhängigkeit von NET notwendig macht.

Die Verringerung der Grauen Emissionen erfordern zum einen die Umstellung von Herstellungsprozessen auf erneuerbaren Energien und Strom sowie von Carbon Capture and Storage (CCS) und zum andern innovative Lösungen und die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. Es braucht sowohl die gesellschaftliche Akzeptanz wie auch den politischen Willen (entsprechende Rahmenbedingungen), damit solche Lösungen unterstützt werden und konkurrenzfähig sind. Gelingt dies nicht, laufen wir Gefahr, dass die verbleibenden Restemissionen im Gebäudebereich zu hoch sind, um sie mit NET (namentlich durch die Nutzung von biogenen Baustoffen verbunden mit BECCS) ausgleichen zu können. Damit wäre die Erreichung der langfristigen Klimaziele der Schweiz gefährdet.

Der Schlüssel zur Erreichung der Klimaziele liegt deshalb zum einen in der Eigeninitiative der Wirtschaft und zum anderen in der beschleunigten Umsetzung von Massnahmen in den Bereichen, Regulierung, Anreize und Wissensaufbau. Insbesondere müssen eine umfangreichere Reduzierung der Grauen Emissionen von Baumaterialien, der vollständige Verzicht auf fossile Brennstoffe in Gebäuden, bei der Energieproduktion (einschliesslich Energienetzen) und bei der Herstellung von Materialien und Bauelementen, die Verlängerung der Gebäudenutzungsdauer und die Reparierbarkeit der Bauteile sowie die Einführung von CCS in der Entsorgung dringend angegangen werden.

Notwendige Schritte umfassen die Erweiterung des regulatorischen Rahmens zur Förderung des Einsatzes erneuerbarer und emissionsarmer Baumaterialien, die Realisierung von Netto-Null-ready-Gebäuden sowie die Sicherstellung, dass diese Initiativen durch klare politische Vorgaben unterstützt werden. Darüber hinaus wird in den verschiedenen Projektteilen auch spezifischer weiterer Forschungsbedarf identifiziert.



Literaturhinweise

Jakob M., Stettler C. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F0 Methodische Fragen. TEP Energy und Carbotech i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Jakob M., Catenazzi G., Stettler C., Priore Y., Bagemihl J., Binz A. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F1 Top-down Betrachtungen. TEP Energy und Carbotech i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Priore Y., Habert G., Jusselme Th., Zwicky D., Anselmina Cau, S. Lasvaux S., Frossard M., Favre D., Zhang X. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F2 Bottom-up Betrachtungen. ETHZ, HEIA-FR, HEIG-VD, PSI i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Tschannen A., Hänggli A., Rieder S. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F4 Übersicht möglicher Umsetzungswege. Interface i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Jakob M., Stettler C., Bagemihl J. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F4 Grundlagen für die Grenz- und Zielwertsetzung. TEP Energy und Carbotech i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.