

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	ParisBuildings
Langtitel:	Transition of the procurement process towards Paris compatible public buildings
Zitiervorschlag:	Passer, A., Steininger, K., Getzinger, G., Alaux, N., Kreiner, H., Kriechbaum, M., Lackner, T., Nabernegg, S., Perl-Vorbach, E., Röck, M., Scherz, M., Truger, B. (2023), Publizierbarer Endbericht des Projekts ParisBuildings, TU Graz
Programm inkl. Jahr:	ACRP 11th Call for Proposals - 2019
Dauer:	01.12.2019 bis 30.06.2023
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Technische Universität Graz
Kontaktperson Name:	Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexander Passer, MSc
Kontaktperson Adresse:	Institut für Tragwerksentwurf Nachhaltiges Bauen Technische Universität Graz Technikerstraße 4/IV A-8010 Graz
Kontaktperson Telefon:	+43 316 873 - 5250
Kontaktperson E-Mail:	alexander.passer@tugraz.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Technische Universität Graz (TU Graz) <ul style="list-style-type: none"> • Nachhaltiges Bauen • Science, Technology and Society Unit Universität Graz

Allgemeines zum Projekt	
	<ul style="list-style-type: none"> • Wegener Center für Klima und Globalen Wandel Scientific Advisory Board: <ul style="list-style-type: none"> • Karen Allacker – KU Leuven • Rolf Frischknecht – treeze Ltd. • Guillaume Habert – ETH Zurich • Rebeka Kovačič Lukman – University of Maribor • Thomas Lützkendorf – Karlsruher Institut für Technologie • Eva Schulev-Steindl - Universität Graz • Zsuzsa Szalay – Budapest University of Technology and Economics
Schlagwörter:	Treibhausgasemissionen, Gebäude, LCA, LCC, öffentliche Beschaffung, Prozessmodell
Projektgesamtkosten:	263.353 €
Fördersumme:	249.606 €
Klimafonds-Nr:	KR18AC0K14693
Erstellt am:	30.09.2023

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Das Projekt ParisBuildings untersuchte den Status quo der gebäudebezogenen Emissionen von Treibhausgasen (THG) (einschließlich direkter und indirekter betrieblicher sowie grauer Emissionen) und Möglichkeiten, diese in Zukunft zu reduzieren, um den Pariser-Klimaschutzziele entsprechende Gebäude zu erreichen, sowohl aus technologischer Sicht als auch unter Berücksichtigung bestehender und empfohlener Regeln und Rahmenwerke. Der Schwerpunkt des Projekts lag auf öffentlichen Gebäuden und den öffentlichen Beschaffungsprozess im Hinblick auf die Integration der Nachhaltigkeit zu beschleunigen. Es ist notwendig, Nachhaltigkeitsaspekte bereits in den frühen Planungsphasen zu berücksichtigen, um Emissionsreduktionen zu gewährleisten. Für den öffentlichen Gebäudebeschaffungsprozess wurde ein Prozessmodell (THG-Emissions-Bonus/Malus-System) entwickelt, um die umweltbezogene Qualität von Gebäuden zu monetarisieren und somit bei der Vergabeentscheidung von Bauaufträgen zu berücksichtigen.

Die Projektergebnisse zeigen, dass der österreichische Gebäudebestand unter Berücksichtigung sowohl der direkten und indirekten betrieblichen als auch der grauen Emissionen deutlich mehr THG ausstößt als bei einer ausschließlichen Betrachtung der direkten Betriebsemissionen (d.h. das Drei- bis Vierfache mehr). Die betriebsbedingten Emissionen im Jahr 2014 wurden auf 15,6 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂-eq) geschätzt, wobei ein erheblicher Teil (7,4 Millionen Tonnen) auf indirekte Emissionen zurückzuführen ist. Die grauen Emissionen wurden sowohl mit prozessbasierten als auch mit Input-Output (IO) Ökobilanzansätzen ermittelt, was zu einer Bandbreite der Gesamt-THG-Emissionen von 20,4 bis 29,2 Millionen Tonnen CO₂-eq führte, je nach Bilanzierungsmethode. Die THG-Emissionen wurden auch im Hinblick auf den Verursacher der Endnachfrage, den Gebäudetyp und die Emissionsregion analysiert, was die Notwendigkeit vielschichtiger Strategien zur Minderung der THG-Emissionen verdeutlicht.

Gebäude tragen erheblich zu den nationalen THG-Emissionen Österreichs bei, wobei die grauen Emissionen je nach Bilanzierungsmethode 20-44 % des den Gebäuden zuzuordnenden Gesamtausstoßes ausmachen. Die Entwicklung von Strategien zur Verringerung der grauen Emissionen auf der Ebene der Herstellung von Baumaterialien sind ein vielversprechender Ansatz. Bis 2050 könnten diese Strategien theoretisch zu einer Verringerung der grauen Emissionen um bis zu 82 % auf der Materialebene und bis zu 50 % auf der Gebäudeebene führen. Die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am nationalen Strom- und Fernwärmemix auf 100 % für den Betrieb von Gebäuden ist für die Erreichung der THG-Reduktionsziele jedoch von entscheidender Bedeutung, da die betrieblichen Emissionen schneller reduziert werden können als die grauen Emissionen.

Das österreichische Vergaberecht bietet zwar Möglichkeiten, Maßnahmen des Klimaschutzes im Gebäudebeschaffungsprozess zu implementieren, geht aber kaum über die gesetzlichen Vorgaben hinaus. Vielen Stakeholdern fehlt das Bewusstsein für die Bedeutung der grauen Emissionen. Risikoaversion und Widersprüche zwischen Beschaffungs- und Planungslogik behindern die Bemühungen zur Emissionsreduktion.

Die Integration von Methoden wie der Ökobilanz (engl. life cycle assessment, LCA) und der Lebenszykluskostenberechnung (engl. life cycle costing, LCC) im öffentlichen Beschaffungswesen wird durch methodische, organisatorische, rechtliche, politische und wirtschaftliche Hindernisse erschwert.

Das entwickelte Prozessmodell zur Integration der Ökobilanz in die Ausschreibung und Vergabe von Gebäuden basiert auf internen CO₂-Preisinstrumenten¹, um Anreize für umweltfreundliche Entscheidungen zu schaffen. In diesem Zusammenhang zeigen die Projektergebnisse einen vorerst wünschenswerten CO₂-Preiskorridor von 100-200 €/tCO₂ im öffentlichen Beschaffungsprozess, um die Lücke zwischen den aktuellen und den Paris-kompatiblen Emissionsreduktionsmaßnahmen zu schließen. Abhängig von der Höhe der festgelegten CO₂-Preise führt die Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems zu ökologischeren Vergabeentscheidungen bei der öffentlichen Gebäudebeschaffung. Die Ableitung von repräsentativen Zielemissionen und somit von CO₂-Preisen für unterschiedliche Gebäudetypologien wird derzeit durch Datenbeschränkungen verhindert. Die Ableitung von Implementierungsmaßnahmen für Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-System verdeutlicht die Notwendigkeit klarer Richtlinien und Vorgaben für die Transformation des öffentlichen Gebäudebeschaffungsprozesses.

Über den Rahmen des Projekts hinaus empfehlen wir weitere Untersuchungen des verbleibenden THG-Budgets, spezifisch für Gebäudetypologien und Lebenszyklusphasen. Dies kann in weiterer Folge bei der Berechnung eines CO₂-Preises nützlich sein, der die Emissionsreduktion, z.B. bei der Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems im Zuge des Beschaffungsprozesses, maßgeblich steuert. Weitere Forschungsarbeiten können auf methodische Fragen (z.B. Diskrepanzen zwischen prozessbasierten und IO-basierten Ökobilanzen) und auf die Überwindung sozialer und rechtlicher Hindernisse abzielen, die nachhaltigen Baupraktiken immer noch im Wege stehen. Abschließend wird empfohlen ein einheitliches und transparentes THG-Emissions-Monitoring- und Erfassungssystem für den österreichischen Gebäudebereich zu etablieren.

¹ Aufgrund der leichteren Lesbarkeit wird in diesem Bericht der Begriff „CO₂-Preis“ statt „CO₂-eq-Preis“ verwendet, dieser bezieht sich jedoch auf THG-Emissionen (CO₂-Äquivalente), nicht nur CO₂.

2 Executive Summary

– Background and approach

With the ratification of the Paris Agreement, Austria is committed to contribute towards the achievement of net zero greenhouse gas (GHG) emissions. The maximum emission budget available for Austria by 2050, in line with the Paris Agreement, is below 1,000 million tonnes of CO₂ equivalents (CO₂-eq) (Kirchengast et al., 2019). The building sector plays a central role in achieving Austria's climate and energy policy goals. About 27 % of Austria's final energy consumption is used to provide hot water, space heating and cooling in buildings (Schnitzer et al. 2014). A large part of global GHG emissions is caused by the construction and operation of buildings. According to (UNEP 2021), the building sector was responsible for 37 % of global emissions. To achieve its climate targets, Austria has to decarbonise the building sector and avoid lock-in effects. This project focused on a building life cycle perspective, assessing both GHG emissions related to both building operation and related energy use as well as embodied emissions from construction material production and processing.

– Project results and recommendations

Operational emissions of Austrian buildings in 2014 were estimated to be 15.6 million tons of CO₂-eq, with a substantial portion (7.4 million tons) attributed to indirect emissions. Embodied emissions were estimated using two methods: process-based and Input-Output (I-O) Life Cycle Assessment (LCA) approaches, yielding results of 20.4 and 29.2 million tons of CO₂-eq for national buildings related emissions, respectively. GHG emissions were also analysed in terms of agent of final demand, building type, and region of emission, highlighting the need for multi-faceted strategies to address emissions.

Buildings contribute significantly to Austria's national GHG emissions, with embodied emissions accounting for 20-44 % of the total, depending on the assessment method. Strategies to reduce embodied emissions at the manufacturing level of construction materials are promising. By 2050, these strategies could theoretically reduce embodied emissions by up to 82 % at the material level and up to 50 % at the building level. Increasing the share of renewables in the national electricity and district heating mix to 100 % for buildings operation is crucial for meeting carbon reduction goals, since operational emissions can be reduced faster than embodied emissions.

Austrian Procurement Law offers climate protection options, but rarely beyond legal requirements. Stakeholders lack awareness of embodied emissions' importance. Risk aversion and inconsistencies between procurement and planning logics hinder emission reduction efforts.

Integration of LCA and (whole) life cycle costing ((W)LCC) methods in public procurement is hindered by methodological, organizational, governance, policy, and economic obstacles.

The developed process model integrating LCA into building tendering and awarding is based on internal carbon pricing instruments to incentivize more environmentally friendly decisions. In this framework, project results suggest an internal carbon price corridor of 100-200 €/tCO₂ in the public procurement process to bridge the gap between current and Paris-compatible mitigation efforts. Depending on the CO₂ price, the LCA-based bonus/malus system leads to climate friendlier decisions in the public procurement of buildings. The derivation of representative target emissions (and CO₂ prices) for specific building types is prevented by data limitations. The derivation of implementation measures for applying the LCA-based bonus/malus system highlights the need for clear guidelines and specifications to transform the public procurement process for buildings.

– **Conclusions and outlook**

The ParisBuildings project investigated the status quo of buildings related emissions (including both direct and indirect operational and embodied emissions) and ways to reduce them in the future to achieve Paris-compatible buildings, both from a technological perspective and taking into account existing and recommended rules and frameworks. The project focus lies on public buildings and the public procurement process to accelerate sustainable construction processes. It is necessary to incorporate sustainability issues already in the early planning stages to ensure emission reductions. In a procurement process model, an LCA-based bonus/malus system was developed to take into account the environmental building performance in the award decision of the building procurement process.

Beyond the scope of the project, further research into the remaining GHG emission budget, specific to building typologies and life-cycle phases, is recommended. This can then be useful in calculating an CO₂ price, which in turn controls emission reduction in public buildings when applying e.g., the LCA-based bonus/malus system. Further research can point to methodological issues (e.g., discrepancies between process-based and IO based LCA) and how to overcome social and governance barriers that still hinder sustainable construction practices. In conclusion, we recommend to establish a consistent and transparent GHG emission accounting and monitoring system for the Austrian buildings and construction sector.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Mit der Ratifizierung des Pariser Klimaabkommens hat sich Österreich verpflichtet, Netto-Null-Treibhausgas (THG)-Emission zu erreichen. Das maximal verfügbare Emissionsbudget für Österreich bis 2050 liegt gemäß dem Pariser Abkommen unter 1.000 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (CO₂-eq) (Kirchengast et al., 2019). Österreich plant bereits 2040 Netto-Null-THG-Emissionen zu erreichen. Der Gebäudebereich spielt eine zentrale Rolle bei der Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele Österreichs. Etwa 27 % des österreichischen Endenergieverbrauchs werden für die Bereitstellung von Warmwasser, Raumheizung und Kühlung in Gebäuden verwendet (Schnitzer et al. 2014). Ein großer Teil der globalen THG-Emissionen wird durch den Bau und Betrieb von Gebäuden verursacht. Nach Angaben von (UNEP 2021) sind Errichtung, Erhalt und Betrieb von Gebäuden für 37 % der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Um seine Klimaziele zu erreichen, muss Österreich den Gebäudebereich dekarbonisieren und Lock-in-Effekte vermeiden.

Mit einer umfassenden Betrachtung gebäudebezogener THG-Emissionen, die sowohl betriebliche als auch graue Emissionen umfasst, zielte das Projekt ParisBuildings darauf ab, die aktuellen THG-Emissionen und Minderungspotenziale des (öffentlichen) Gebäudebestands zu ermitteln und Paris-kompatible Verfahren in den öffentlichen Beschaffungsprozess (engl. public procurement practice, PPP) zu integrieren. Mit Emissionsschätzungen aus Top-Down- und Bottom-Up-Modellen und Einblicken in die Anforderungen an den Beschaffungsprozess zielte ParisBuildings darauf ab, den spezifischen Unterstützungsbedarf für Österreichs politische Entscheidungsträger:innen zu adressieren.

Ausgehend von den Zielen des Pariser Abkommens wurde ein Gesamtkonzept für die Umsetzung von Netto-Null-Emissionsgebäuden (aus der Lebenszyklus-perspektive) entwickelt, wobei prozessbasierte und Input-Output-basierte LCA verwendet werden. Basierend auf technologischen Reduktionspotenzialen wurden verschiedene Emissionspfade entwickelt. Die Möglichkeiten und Grenzen der Integration von Nachhaltigkeitsaspekten (mit dem Fokus auf graue und betriebliche THG-Emissionen) in die öffentliche Beschaffung von Gebäuden wurden unter Anwendung der Methoden der Ökobilanz und der Lebenszykluskosten-berechnung analysiert. In einem zweiten Schritt konzentrierte sich die Analyse auf den öffentlichen Beschaffungsprozess, die schließlich zu politischen Empfehlungen für die Umsetzung der Pariser Anforderungen im Rahmen des öffentlichen Beschaffungsprozesses von Gebäuden führen wird. Das Projekt zielte auf die Entwicklung eines Bewertungsmodells (d.h. eines Prozessmodells für die öffentliche Auftragsvergabe von Gebäuden) ab, das die Einbeziehung von Nachhaltigkeitsaspekten (mit Schwerpunkt auf grauen und betrieblichen THG-Emissionen) in den öffentlichen Gebäudebeschaffungsprozess ermöglicht.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

1. Projektübersicht

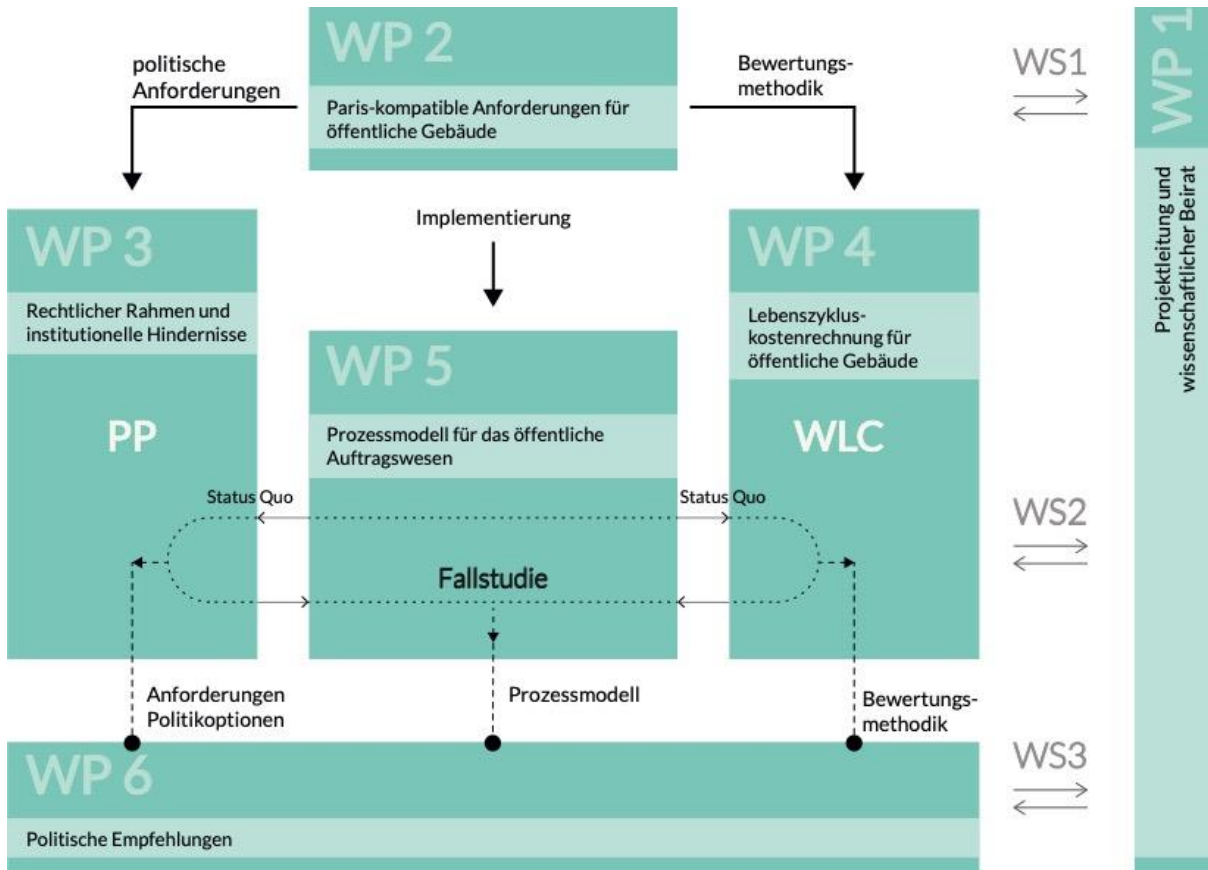


Abbildung 1: Struktur der Arbeitspakete

Das Projekt wurde in sechs Arbeitspakete (engl. work packages, WP) unterteilt, wie in Abbildung 1 dargestellt. WP 1 umfasste das Projektmanagement und den wissenschaftlichen Beirat. WP 2 konzentrierte sich auf die aktuellen THG-Emissionen von Gebäuden und die Pariser Anforderungen für (öffentliche) Gebäude. In WP 3 wurden die rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen und Hindernisse bewertet, während im WP 4 die Anwendung der Ökobilanz und der Lebenskostenrechnung im öffentlichen Gebäudebeschaffungsprozess analysiert wurde. Der Inhalt von WP 5 war die Entwicklung eines Prozessmodells für die öffentliche Gebäudebeschaffung. Die Ergebnisse der Arbeitspakete 2-5 wurden im Arbeitspaket 6 kombiniert, um politische Handlungsempfehlungen und einen Leitfaden zur Anwendung des entwickelten Prozessmodells für öffentliche Beschaffer zu entwickeln.

2. Durchgeführte Aktivitäten, einschließlich der verwendeten Methoden

WP 1: Projektleitung und wissenschaftlicher Beirat

Die Hauptaktivitäten in WP 1 waren Projektmanagement, Koordination und Informationsmanagement, die Organisation relevanter interner Projektmeetings sowie

Meetings mit dem wissenschaftlichen Beirat (engl. scientific advisory board, SAB) und Stakeholder-Workshops, die Kommunikation mit dem österreichischen Klima- und Energiefonds, die Koordination der Verbreitung von Projektergebnissen in Form von Publikationen in Fachzeitschriften sowie die Koordination von Zwischen- und Endberichten.

WP 2: Paris-kompatible Anforderungen für öffentliche Gebäude

WP 2 zielte darauf ab, möglichst niedrige THG-Emissionspfade für den Bausektor abzuleiten, wobei der Schwerpunkt auf öffentlichen Verwaltungs- und Bürogebäuden liegt, um diesen Sektor in Richtung Paris-Kompatibilität zu lenken. Auf der Grundlage von Top-down- und Bottom-up-Analysen werden die aktuellen THG-Emissionen des Gebäudebestands bewertet. In Kombination mit Bottom-up-Technologieszenarien und LCA-Daten zielte WP 2 außerdem darauf ab, die Potenziale für Emissionsreduktionen durch fortschrittliche öffentliche Beschaffungspraktiken für den Neubau und die Sanierung von öffentlichen Verwaltungs- und Bürogebäuden zu bewerten (Top-down).

Task 2.1 und 2.2: Emissionen des Handlungsfelds Gebäude in Österreich

Zur Abschätzung der betrieblichen und grauen Emissionen von Gebäuden wurden statistische Daten, sowie prozessbasierte LCA und Input-Output (I-O) LCA (siehe Abschnitt 6) verwendet.

Aufgrund einer zu empfehlenden, jedoch noch nicht umgesetzten sektorübergreifenden Betrachtung von Errichtung, Erhalt und Betrieb von Gebäuden laufen konsum- oder produktionsbasierte Bilanzierungsgrundsätze, wenn sie einzeln angewendet werden, Gefahr, die durch den Bau und die Nutzung der bebauten Umwelt verursachten THG-Emissionen stark zu unterschätzen. Daher sollten Strategien oder Wege zur Reduktion der THG-Emissionen von Gebäuden Gebäude als „Handlungsfeld“ (engl. field of action, FOA) betrachten. Die typischen sektoralen Methoden zur Zuteilung von THG-Budgets bieten eine enge Sicht auf die Umweltauswirkungen von Gebäuden (Steininger et al. 2020; Habert et al. 2020; Lützkendorf 2020). Das FOA zur Berücksichtigung der gesamten jährlichen Lebenszyklusemissionen des nationalen Gebäudebestands umfasst alle Betriebsemissionen (einschließlich der indirekten Emissionen aus dem Strom- und Fernwärmeverbrauch) aller Gebäudetypen (einschließlich aller Arten von Nichtwohngebäuden) sowie die grauen Emissionen.

Task 2.3: Technologische Potenziale für Emissionsminderungen in Gebäuden

Der Task 2.3 zielte darauf ab, Strategien zur Verringerung der grauen THG-Emissionen neuer Gebäude auf der Ebene der Materialien/Elemente und anschließend auf der Ebene der Gebäude zu ermitteln. In einer systematischen Literaturrecherche (engl. systematic literature review, SLR) wurden bereits einige Ansätze für strukturelle Baumaterialien identifiziert, die auf Gebäudeebene zu einer Verringerung der grauen THG-Emissionen um maximal 15 % führen könnten (Alaux et al. 2021). Aufbauend auf diesen Strategien wurden drei Betonmischungen, die auf Prognosen der Industrie zu künftigen Rezepturen

basieren, sowie eine verstärkte Verwendung von Holz weiter untersucht. Diese Arbeit wurde durch zukünftige Trends im Herstellungsprozess von Baumaterialien ergänzt, die bis 2050 umgesetzt werden könnten (Alaux et al. 2022). Auf der Grundlage von (Alig et al. 2021), handelt es sich bei diesen zusätzlichen Trends um die verstärkte Nutzung von erneuerbarem Strom und Bioenergie, die Verbesserung der Energieeffizienz und die Einführung der Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (engl. carbon capture and storage, CCS). Für die Umsetzung dieser Strategien wurde eine Vielzahl von Materialien berücksichtigt und mit Hilfe der Ökobilanz analysiert: Tonziegel, Zement, Beton, Mörtel, Putz, Stahl, Holzelemente (GLT, Sperrholz usw.), Steinwolle und XPS-Dämmung. Der Einfluss der Strategien wurde dann anhand zweier Gebäudefallstudien weiter untersucht: (i) basierend auf einem typischen Einfamilienhaus (engl. single-family house, SFH), das in vier verschiedenen Bautechniken (Beton, Ziegel, Holzrahmenkonstruktion und Massivholzkonstruktion) entworfen wurde (Sölkner et al. 2014), und (ii) basierend auf einer vereinfachten Version eines typischen mehrstöckigen Universitätsbürogebäudes (EBS-Gebäude) der Technischen Universität Graz (Hoxha et al. 2021).

Task 2.4: Emissionspfade für einen Paris-kompatiblen öffentlichen Gebäudebestand

Task 2.4 umfasste die Entwicklung eines Gebäudebestandsmodells, das die öffentlichen Bürogebäude Österreichs repräsentiert. Bürogebäude haben einen Anteil von rund 13 % an der Gebäudefläche (Nettogrundfläche) im Besitz von Körperschaften öffentlichen Rechts, und 23 % der Gebäudefläche im Eigentum des Bundes (Statistics Austria 2021). Das Modell erstellte Projektionen sowohl der betrieblichen als auch der grauen THG-Emissionen unter Berücksichtigung von Neubauten, Renovierungen und Abrissen bis zum Jahr 2050. In der Analyse wurden verschiedene Szenarien für die Entwicklung des Gebäudebestands untersucht, einschließlich fester Raten für Neubau und Abriss sowie unterschiedlicher Renovierungsraten und -strategien. Untersucht wurden insbesondere Maßnahmen zur Verringerung der betrieblichen Emissionen, wie der Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und die Umsetzung von THG-Emissionszielen für den nationalen Strommix, sowie zur Verringerung der grauen Emissionen, wozu Materialinnovationen und neue Produktionstechnologien gehören. Die sich daraus ergebenden Szenarien für die Verringerung der THG-Emissionen wurden dann mit zwei Zielen verglichen, die durch die "Carbon Law-Heuristik" (Rockström et al. 2017) (d.h. Halbierung der THG-Emissionen alle 10 Jahre) und dem verbleibenden THG-Budget für ein 1,5°C-Ziel, übertragen auf öffentliche Bürogebäude in Österreich (basierend auf (Alaux et al. 2023a)). Abbildung 2 gibt einen Überblick über den methodischen Ansatz, der in dieser Studie verfolgt wurde (siehe auch (Alaux et al. 2023b)).

Untersucht wurden kombinierte Szenarien für die Entwicklung des Gebäudebestands (d.h. feste Neubau- und Abrissraten und unterschiedliche Renovierungsraten und -strategien), die Verringerung der betrieblichen Emissionen (z.B. Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und THG-Emissionsziele für den Strommix) und die Entwicklung der grauen Emissionen (abhängig von Materialinnovationen und neuen Produktionstechnologien). Die Modellierung der grauen Emissionen von neuen

öffentlichen Bürogebäuden basierte auf einer repräsentativen Fallstudie (Hoxha et al. 2021).

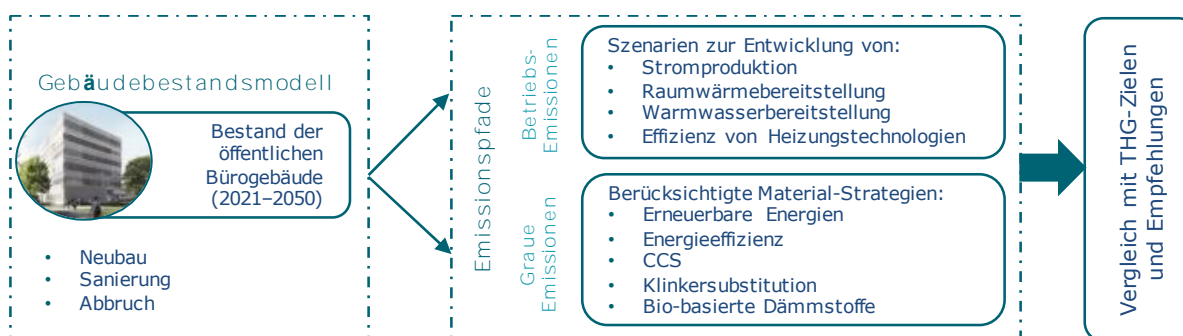


Abbildung 2: Überblick über den methodischen Ansatz in Task 2.4. (Alaux et al. 2023b)

Diese Fallstudie wird sowohl in einer Stahlbeton- als auch in einer Massivholzkonstruktion umgesetzt. Die Grundlage für den Vergleich der THG-Emissionsreduktions-szenarien mit den Zielen des "Carbon Law" und dem aktuellen 1,5°C-THG-Budget für öffentliche Bürogebäude in Österreich wurde von (Alaux et al. 2023a) abgeleitet.

WP 3: Rechtlicher Rahmen und institutionelle Hindernisse für eine klimafreundlichere Beschaffung von öffentlichen Gebäuden

Task 3.1: Analyse des derzeitigen Rechtsrahmens und des Beschaffungsprozesses

Die Analyse des aktuellen rechtlichen Rahmens und des damit verbundenen Beschaffungsprozesses basierte auf (i) einer umfangreichen Sekundärforschung (bei der politische und rechtliche Dokumente im Zusammenhang mit dem Beschaffungsprozess im österreichischen Kontext gesammelt und untersucht wurden) und (ii) Interviews mit einem Rechtsexperten (mit dem Hauptfachwissen im Beschaffungsrecht), einem für die öffentliche Beschaffung zuständigen leitenden Beamten, einem NGO-Mitglied, das sich mit nachhaltiger Beschaffung befasst, und zwei Managern der Bundesimmobiliengesellschaft.

Task 3.2: Institutionelle Hindernisse und kollektive Rahmenbedingungen

Um die zugrundeliegenden institutionellen Strukturen (und die damit verbundenen Hindernisse) zu analysieren, wurden folgende Schritte unternommen:

1. Der aktuelle Stand der Literatur zur nachhaltigen und klimafreundlichen Beschaffung (von Gebäuden) wurde untersucht.
2. Das Akteursnetzwerk im Zusammenhang mit der nachhaltigen und klimafreundlichen Beschaffung von Gebäuden im österreichischen Kontext wurde abgebildet.
3. Teilstrukturierte Interviews mit 17 Vertreter:innen des ermittelten Netzwerks wurden geführt (siehe Abbildung 3).
4. Eine Q-Studie wurde durchgeführt: Aus den teilstrukturierten Interviews wurden 34 Kernaussagen ausgewählt und von 19 Akteur:innen nach dem Grad ihrer Zustimmung sortiert. Aus diesen individuellen Sortierungen wurden mittels

statistischer Analyse konkurrierende kollektive Perspektiven identifiziert (für einen Überblick zu den Aussagen und den ermittelten Faktorwerten siehe Abschnitt 6, über die Q-Methode, siehe (Webler et al. 2009).

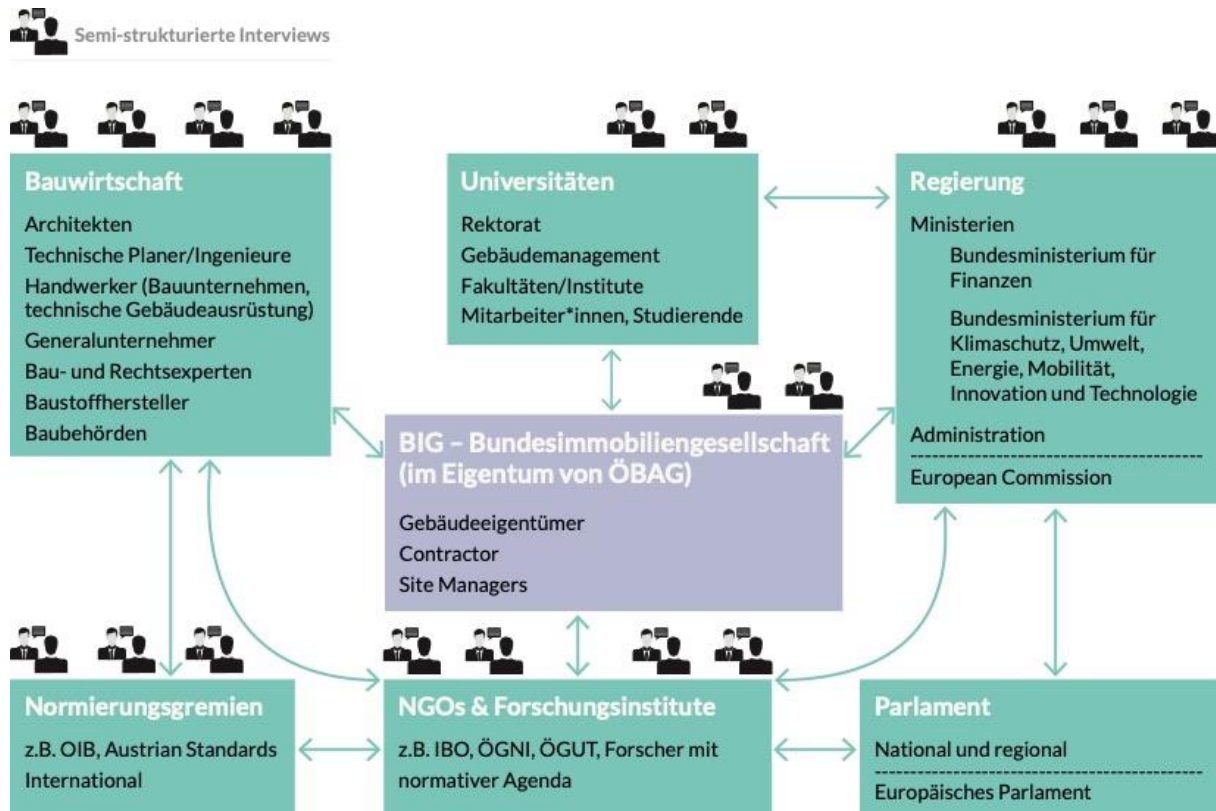


Abbildung 3: Akteursnetzwerk und Interviewstichprobe

WP 4: Lebenszykluskostenberechnung für öffentliche Gebäude

Task 4.1: Bewertung von Strategien und politischen Standards in der öffentlichen Beschaffungspraxis

Zur Bewertung der externen Kosten gem. ISO 15686-5 (International Organization for Standardization 2017), d.h. der monetarisierten THG-Emissionen von Gebäuden mit einem gegebenen CO₂-Preis (Schattenpreis), war es notwendig, das Treibhauspotenzial (engl. global warming potential, GWP) in kg CO₂-eq) von Gebäuden zu bestimmen. Zu diesem Zweck hat sich die Methode der Ökobilanzierung für die Berechnung der grauen und betrieblichen THG-Emissionen von Gebäuden in den letzten Jahrzehnten etabliert (Austrian Standards 2012; Passer 2016).

Aus diesem Grund wurde in einem ersten Schritt eine Systematische Literaturrecherche (SLR) durchgeführt, um den aktuellen Stand der Technik in Bezug auf die Anwendung der Ökobilanzierung im Zuge der Beschaffung von (öffentlichen) Gebäuden zu analysieren. In einem zweiten Schritt wurden die Hindernisse, welche bei der Umsetzung von Ökobilanzen im Gebäudebeschaffungsprozess auftreten identifiziert (Scherz et al. 2022b).

Task 4.2: Bewertung und Evaluierung der Anwendung der LCC- und WLC-Methodik in PPP

Voraussetzung für die Beurteilung und Bewertung des Einsatzes der Methoden Life Cycle Costing (LCC) und Whole Life Costing (WLC) in der öffentlichen Beschaffungspraxis (engl. public procurement practice, PPP) war die Analyse des aktuellen Stands der Technik.

Aus diesem Grund wurde auch eine SLR durchgeführt und die aktuelle Anwendung von LCC- und WLC-Methoden in der Ausschreibungs- und Vergabep Praxis von (öffentlichen) Gebäuden untersucht. Schließlich wurden auch hier die Hindernisse, welche für eine praxisgerechte Anwendung der Methoden im Gebäudebeschaffungsprozess verantwortlich sind, abgeleitet und analysiert (Hopf, 2022).

Task 4.3: Bewertung der externen Kosten von Emissionen

In Task 4.3 wurde eine Bewertung der vorhandenen Literatur über einen CO₂-Preiskorridor für den öffentlichen Beschaffungsprozess für österreichische Gebäude durchgeführt. Dabei wurden vier Perspektiven identifiziert, die ein CO₂-Preis darstellen kann: (i) Schadenskosten, (ii) Vermeidungskosten, (iii) CO₂-Preise in bestehenden Steuern oder Märkten und (iv) interne CO₂-Preise in verschiedenen Institutionen.

CO₂-Preise wurden in Modellbewertungen umfassend geschätzt und zeigen je nach Modellannahmen eine große Bandbreite von negativ bis über 4000 €/tCO₂ (Ricke et al. 2018a). Bei der Orientierung der Klimapolitik am verbleibenden THG-Budget spiegelt ein CO₂-Preis die Vermeidungskosten für Paris-kompatible Ziele wider. Die österreichische Klimawissenschaft schlägt einen Korridor zwischen 35 und 180 €/tCO₂ für 2020 als zusätzliche Maßnahme zu bestehenden Maßnahmen vor (Mattauch et al. 2019). Schließlich können andere öffentliche und private interne Kohlenstoffpreise als Referenzpunkte dienen. Dies führte zu dem Vorschlag eines CO₂-Preiskorridors von 100 bis 200 €/tCO₂ (gemäß des Vermeidungskostenansatzes) für das Jahr 2022 und einer Überwachung der politischen Bemühungen in den folgenden Jahren. Dieser Korridor wird zusätzlich zu dem in Österreich bestehenden CO₂-Preis und anderen politischen Maßnahmen festgelegt (siehe auch Abschnitt C).

WP 5: Prozessmodell für das öffentliche Auftragswesen

Task 5.1: Entwicklung eines Bewertungsverfahrens und eines Pilotmodells

Zur Beantwortung der definierten Forschungsfragen des WP 5 wurde das Prozessmodell mit Hilfe einer instrumentellen Fallstudie (Pilotmodell) entwickelt. Die instrumentelle Fallstudie sowie die in Task 5.2 verwendete kollektive Fallstudie basieren auf den Grundlagen des Fallstudienansatzes nach Crowe et al. und umfassen die Phasen (i) Definition der Fallstudie, (ii) Auswahl der Fallstudie(n), (iii) Sammlung und Analyse der Daten, (iv) Interpretation der Daten und (v) Berichterstattung der Ergebnisse (Crowe et al. 2011).

Unter Anwendung der Ökobilanzierung wurden die Umweltauswirkungen der Angebote der Bieter:innen bewertet und mit einem internen CO₂-Preisansatz monetarisiert. Darüber hinaus wurden die externen Effekte in die Angebotspreise der Bieter:innen einbezogen und die Auftragsvergabe erfolgte nach Anwendung des entwickelten THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems.

Die Monetarisierung erfolgte auf Basis von internen CO₂-Preisinstrumenten (d.h. auf Schattenpreisen und auf einem „ergebnisorientierten Klimafinanzierungs-ansatz“). Während der Schattenpreis für die Ermittlung des „ökologischen Angebotspreis“ herangezogen wurde, kam der CO₂-Preis des ergebnisorientierten Klimafinanzierungsansatzes (engl. results-based climate finance, RBCF), für die Ermittlung des THG-Emissions-Bonus/Malus zur Anwendung. Detaillierte Informationen über das entwickelte Prozessmodell finden sich in (Scherz et al. 2023c).

Task 5.2 Anwendung des Prozessmodells anhand einer Fallstudie

In diesem Task wurde das entwickelte Prozessmodell anhand einer kollektiven Fallstudie getestet und validiert. Das Prozessmodell wurde auf ein Wohngebäude mit 37 verschiedenen Szenarien angewendet. Die Szenarien unterscheiden sich dabei in der Baukonstruktion (Ziegel, Beton, Holzrahmenkonstruktion und Massivholzkonstruktion), der Wärmedämmung (Mineralwolle, Steinwolle, EPS und keine Wärmedämmung) und der technischen Gebäudeausrüstung (Holzpelletskessel, Grundwasserwärmepumpe und Luftwärmepumpe). Die Berechnungen der Ökobilanz und der Lebenszykluskosten der 37 Gebäudeszenarien basierten dabei auf detaillierten Leistungsverzeichnissen, wie diese auch in der Praxis ausgeschrieben und vergeben werden. Ausführliche Informationen über die Ergebnisse der Ökobilanz und der Lebenszykluskostenberechnung finden sich in (Scherz et al. 2023a). Die Anwendung und Validierung des entwickelten THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems befindet sich in (Scherz et al. 2023b).

Task 5.3 Demonstration der Abweichung von Pariser Klimazielen und der erforderlichen Strategien

In diesem Task wurden die Auswirkungen von externen Kosten (d.h. Kosten durch die Monetarisierung von THG-Emissionen) auf die Angebotspreise analysiert. Es wurde eine Reihe von CO₂-Preisen untersucht und die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Vergabeentscheidung identifiziert. Abgeleitet aus dieser Analyse wurden Verbesserungsstrategien, d.h. Strategien für Baumaterialien, Dämmstoffe, technische Gebäudeausrüstung und energetische Gebäudestandards, formuliert. Detaillierte Informationen zu den untersuchten Verbesserungsstrategien sowie deren Lebenszykluskosten unter Berücksichtigung von externen Kosten bei unterschiedlichen CO₂-Preisen finden sich in (Scherz et al. 2023a,b).

WP 6: Politische Empfehlungen

Task 6.1: Empfehlungen für Anpassungen des rechtlichen und finanziellen Rahmens

In diesem Task wurde ein Dokument für politische Entscheidungsträger entwickelt, das auf den Erkenntnissen der wissenschaftlichen Forschung und des Stakeholder-Prozesses des gesamten Projekts basiert. Die spezifische Zielgruppe der erarbeiteten Handlungsempfehlungen waren Entscheidungsträger im öffentlichen Beschaffungsprozess von Gebäuden.

Task 6.2: Empfehlung für optimierten Beschaffungsprozess

Basierend auf den Erkenntnissen der Entwicklung und der Validierung des THG-Emissionen-Bonus/Malus-Systems wurden einzelne Implementierungsmaßnahmen für eine praktische Umsetzung des entwickelten Prozessmodells abgeleitet. Die individuellen Implementierungsmaßnahmen lassen sich dabei zu drei Maßnahmenpaketen zuordnen (i) Maßnahmenpaket für rechtliche Aspekte im Zuge des Beschaffungsprozesses, (ii) Maßnahmenpaket für die Anwendung der Methode der Ökobilanz im Zuge des Beschaffungsprozesses und (iii) Maßnahmenpaket für die Durchführung der Monetarisierung von THG-Emissionen festgelegt (Scherz et al. 2023c).

Abschließend wurde ein Leitfaden für die öffentliche Gebäudebeschaffung erstellt, welcher Teile der individuellen Implementierungsmaßnahmen in einem Flussdiagramm abbildet und Verantwortlichkeiten (d.h. öffentlicher Auftraggeber:innen, Bieter:innen und externe Stellen) für die Umsetzung des THG-Emissionen-Bonus/Malus-Systems definiert (Anhang B).

3. Beschreibung der Projektergebnisse

WP1 Projektleitung und wissenschaftlicher Beirat

Zusätzlich zu den projektinternen Sitzungen wurde der wissenschaftliche Beirat (engl. scientific advisory board, SAB) im Rahmen des Projekts dreimal zu Workshops eingeladen (18.09.2020, 21.09.2021, 18.10.2022). Die Treffen fanden in Online-/Hybridform statt und boten die Möglichkeit, Expertenfeedback zur laufenden Projektarbeit zu erhalten.

Es fanden wie geplant zwei Stakeholder-Workshops statt: einer im ersten Projektjahr (18.09.2020) und einer gegen Ende der Projektlaufzeit (20.03.2020). Beide boten die Gelegenheit zur Diskussion und zum Austausch von Informationen und Erfahrungen.

WP2 Paris-kompatible Anforderungen für öffentliche Gebäude

Task 2.1 und 2.2: Emissionen des Handlungsfelds Gebäude in Österreich

Abbildung 4 fasst die geschätzten jährlichen THG-Emissionen des österreichischen Handlungsfelds Gebäude im Jahr 2014 zusammen. Nach dem österreichischen

Klimaschutzbericht werden 10 % der nationalen THG-Emissionen Gebäuden zugeordnet (Umweltbundesamt 2022) – diese bilden jedoch nur direkte Betriebsemissionen von Gebäuden des Wohn- und Dienstleistungssektors ab, gemäß der Definition im Klimaschutzgesetz (BGBl. I Nr. 106/2011 2022). Die Emissionsberechnung dieser direkten Betriebsemissionen ergab ein Ergebnis von 7,0 Mt CO₂-eq/a. Darüber hinaus wurden die betrieblichen Emissionen von Industriegebäuden auf 1,2 Mt CO₂-eq/a, und die indirekten Emissionen der Lieferkette, einschließlich der Nutzung von Strom und Fernwärme, auf 7,4 Mt CO₂-eq/a geschätzt. Insgesamt wurden die betrieblichen Emissionen des österreichischen Gebäudebestands auf 15,6 Mt CO₂-eq/a geschätzt, wie in den türkisfarbenen Balken in Abbildung 4 dargestellt. Die grauen Emissionen wurden mit zwei Methoden berechnet: Die prozessbasierte LCA ergab graue Emissionen in der Höhe von 4,8 Mt CO₂-eq/a. Diese Zahl ist bei der I-O-basierten LCA deutlich höher, nämlich 13,6 Mt CO₂-eq/a. Die Gesamtemissionen des Handlungsfelds Gebäude liegen demnach zwischen 20,4 und 29,2 Mt CO₂-eq/a. Je nach Bewertungsmethode überschritten die in dieser Ausarbeitung durchgeführten Schätzungen die enge Systemgrenze des österreichischen Klimaschutzgesetzes um das Drei- bis Vierfache. Die hier ermittelten THG-Emissionen enthalten einen erheblichen Anteil von 20-44% (je nach Berechnungsmethode) an grauen Emissionen.

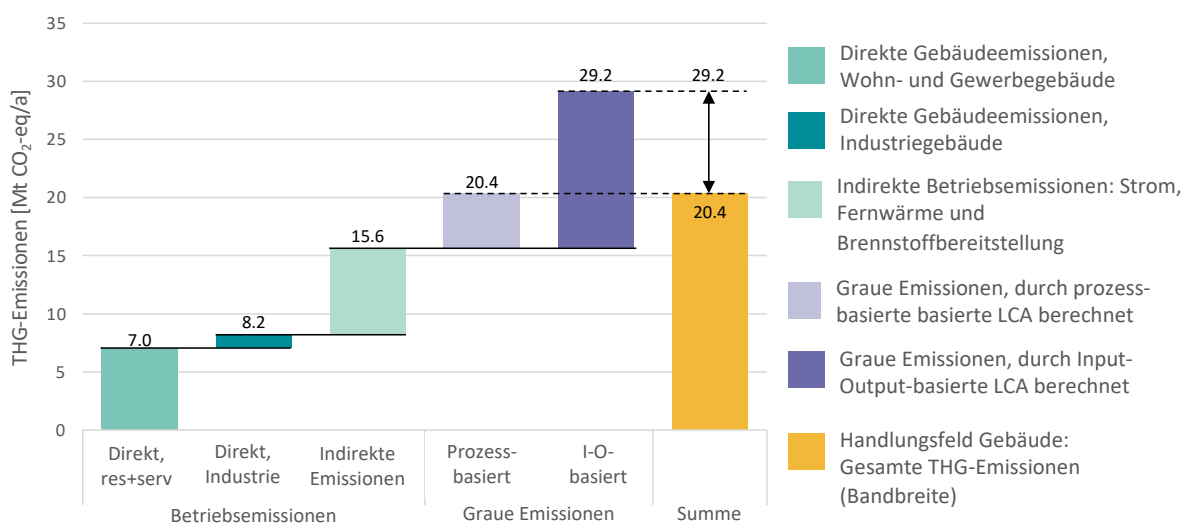


Abbildung 4: Emissionsabschätzung für das Handlungsfeld Gebäude in Österreich, Basisjahr 2014

Basierend auf der I-O LCA können THG-Emissionen in verschiedene Dimensionen aufgeschlüsselt werden, was ein besseres Verständnis für die Emissionsorte, Emissionsarten und verantwortlichen Akteur:innen ermöglicht. Diese Informationen wurden in einem fünfstufigen Sankey-Diagramm angeordnet, das in Abbildung 5 gezeigt wird. Die Stufen liefern Emissionsanteile der Herkunftsregion, der Brennstoffart für Betriebsemissionen, des Herkunftssektors, der Emissionsart sowie des Verursachers der Endnachfrage und verknüpfen jede der Stufen in der angegebenen Reihenfolge.

Task 2.3: Technologische Potenziale für Emissionsreduktionen in Gebäuden

Über die aktuellen Emissionsniveaus hinaus wurden die technologischen Potenziale zur künftigen Reduktion der grauen Emissionen untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass bei Einbeziehung aller Emissionsminderungsstrategien die grauen THG-Emissionen auf Materialebene je nach untersuchtem Material um bis zu 82 % gesenkt werden könnten. Die Materialien Zement und Beton zeigten das größte Einsparungspotential, welches vor allem durch den Einsatz von CCS ausgeschöpft werden kann. Dabei ist zu beachten, dass CCS noch einen geringen Technologiereifegrad aufweist. Effizienzsteigerungen waren auch bei der Ziegelherstellung von besonderer Bedeutung. Bei der Holzproduktion spielte der Strom aus erneuerbaren Energiequellen bei der Emissionsreduktion die größte Rolle.

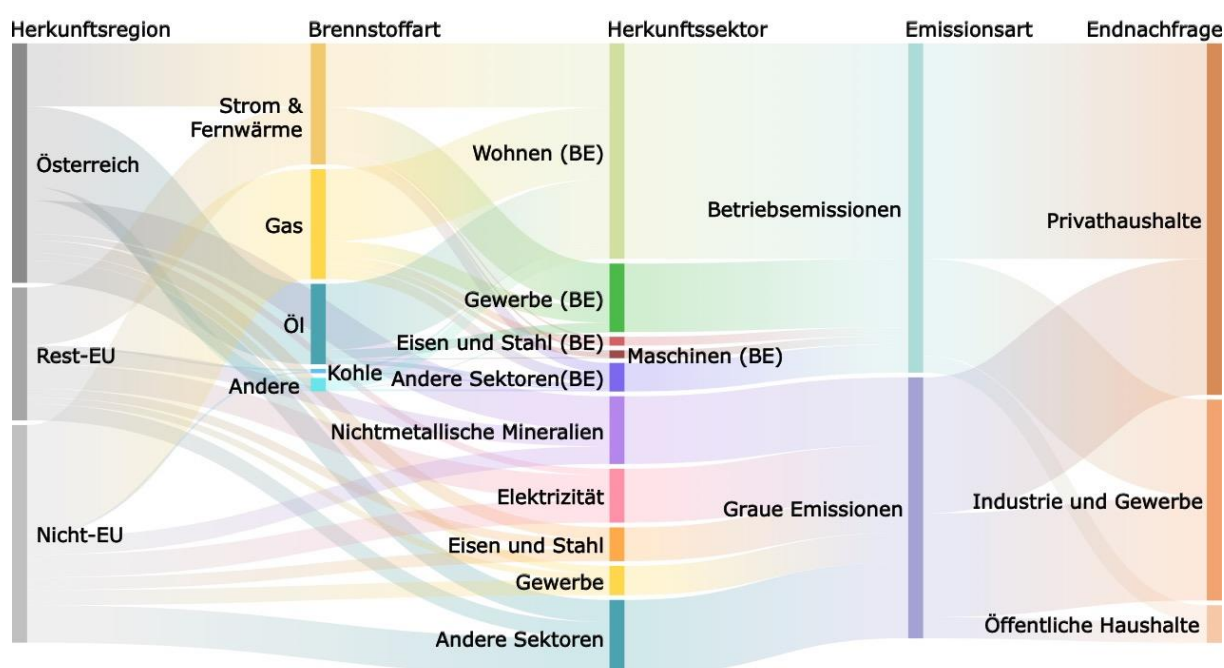


Abbildung 5: Sankey-Diagramm der THG-Emissionen im Handlungsfeld Gebäude aus der I-O-basierten Ökobilanz, das regionale Quellen, sektorale Quellen, Emissionsarten und Verursacher der Endnachfrage miteinander verknüpft

Unter Abbildung 6 wurden die Strategien auf Gebäudeebene umgesetzt. Die Gesamthöhe der Säulen stellt die aktuellen grauen THG-Emissionen der einzelnen Gebäude in kg CO₂-eq/m² dar. In diesem Zustand würde ein Wechsel von einem Einfamilienhaus (engl. single-family house, SFH) aus Beton zu einem Gebäude in Holzrahmenbauweise oder Massivholzbauweise zu einer Verringerung der THG-Emissionen um 19 % bzw. 8 % führen. Jede Farbe der Säulen veranschaulicht die THG-Emissionen, die theoretisch durch die Anwendung einer der Strategien „eingespart“ werden können. Aus Gründen der Lesbarkeit wird nur eine der drei Betonmischungen dargestellt und als „Spezialbetonmischung“ bezeichnet. Es ist diejenige mit dem höchsten Reduktionspotenzial unter den drei Mischungen. Bei Anwendung all dieser Strategien verbleiben die dunkelblauen Säulen (in der Grafik als „Rest“ bezeichnet). Die erzielten Treibhausgasreduktionen liegen je nach Gebäudetyp zwischen 42 % und

50 %. In jedem Fall trägt CCS am meisten zur Reduzierung der THG-Emissionen bei, nämlich zwischen 19 % und 37 %.

Wenn alle diese Strategien umgesetzt werden, verringert der Wechsel von einem Einfamilienhaus aus Beton zu einem Holzrahmen- oder Massivholzhaus die THG-Emissionen nicht mehr, sondern erhöht sie um 1 % bzw. 20 %. Es ist klar, dass der Technologie-Reifegrad jeder Strategie diskutiert werden sollte, da die zeitliche Umsetzung jeder Strategie eine große Rolle bei der Definition der technologischen Pfade (T 2.4) spielen wird. Ein großer Teil der verbleibenden THG-Emissionen (40% im Falle des Holzrahmenhauses), die diesen „Rest“ ausmachen, ist den Kunststoffen zuzuschreiben, die für Fenster (PVC) und Dämmung (XPS) verwendet werden. Bei einer Umstellung auf biobasierte Materialien, z.B. durch die Verwendung von Holzfenstern und Zellulose für die Dämmung (unter der Annahme eines 100%igen Ersatzes ohne Berücksichtigung technischer Zwänge), könnte der „Rest“ des Holzrahmenhauses theoretisch um weitere 29 % verringert werden.

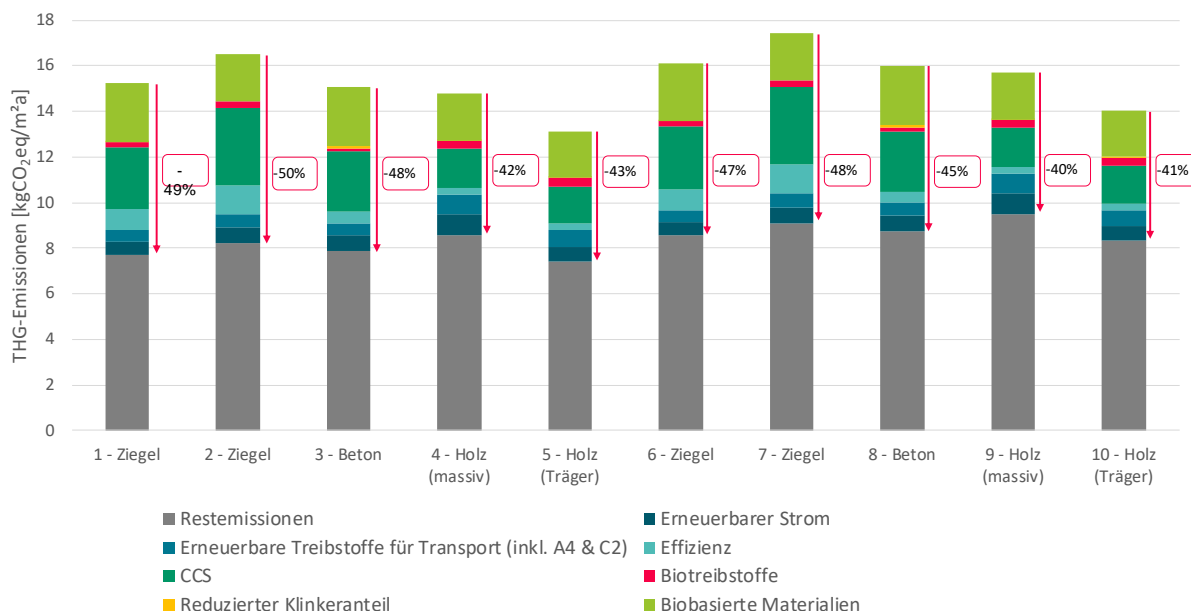


Abbildung 6: Graues THG-Reduktionspotenzial auf Gebäudeebene mit den untersuchten Strategien.

Task 2.4: Emissionspfade für einen Paris-kompatiblen öffentlichen Gebäudebestand

Mit dem entwickelten Gebäudebestandsmodell und den Szenarien wurden THG-Emissionspfade für österreichische öffentliche Bürogebäude abgeleitet. Die kumulierten THG-Emissionen unter den jeweiligen Emissionspfaden bestimmen den Verbrauch des verbleibenden THG-Budgets. Abbildung 7 zeigt daher die kumulativen THG-Emissionen im Zeitraum 2021-2050, einschließlich betrieblicher und grauer Emissionen (differenziert nach Neubau, Renovierung und Abriss) für alle Szenario-Kombinationen und die abgeleiteten THG-Budgets. Die Szenarien S1-S4 werden mit dem Referenzstrommix (links) und dem optimistischen Strommix (rechts) bewertet, was zu

insgesamt acht Szenarien führt. Die Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung eines raschen Ausstiegs aus fossilen Brennstoffen im Strommix als Haupthebel für die Emissionsreduktion im öffentlichen Gebäudebestand. Keines der Szenarien S1-S4 steht im Einklang mit dem „Carbon Law“ (Rockström et al. 2017), wenn es auf der Grundlage des Referenzstrommixes bewertet wird, welcher die aktuellen politischen Ambitionen darstellt. Alle Szenarien S1-S4 sind hingegen mit dem „Carbon Law“ vereinbar, wenn sie auf der Grundlage des optimistischen Strommix-Szenarios bewertet werden.

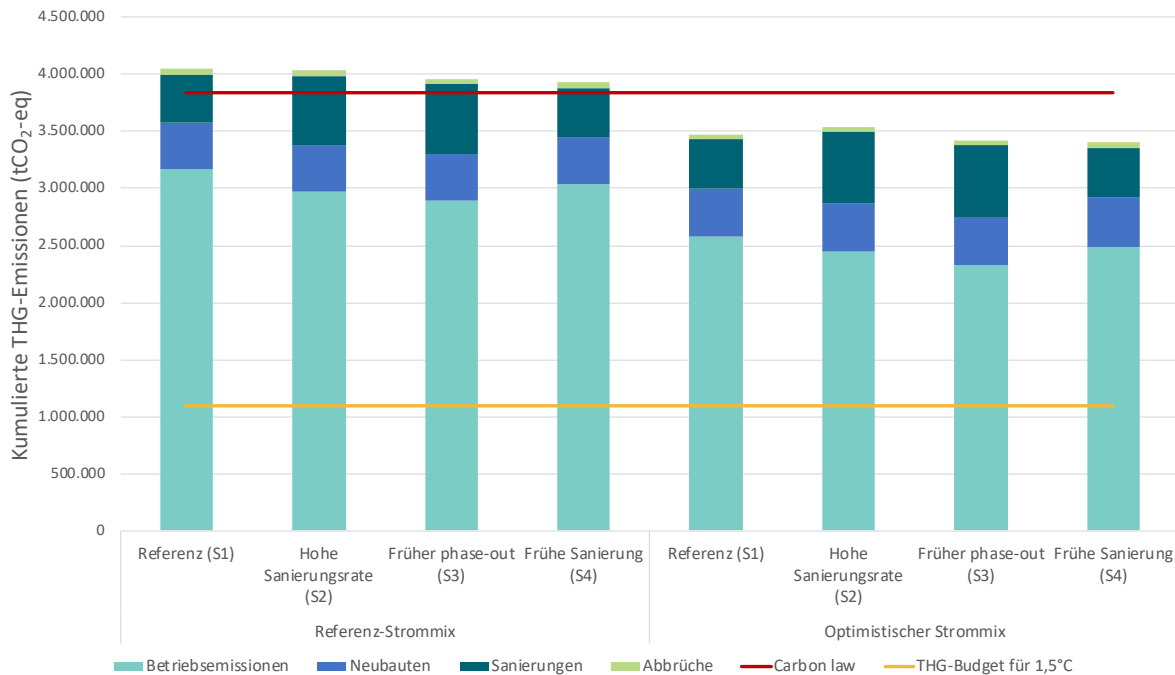


Abbildung 7: Kumulative THG-Emissionen der verschiedenen Szenarien im Vergleich zu den THG-Zielen

Alle diese Szenarien sind jedoch sehr weit von dem THG-Budget entfernt, das mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % zu einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf max. 1,5 Grad führen würde. Dies wirft die Frage auf, wie eine Begrenzung der globalen Erderwärmung auf 1,5 Grad erreicht werden kann. Ein Vergleich der Szenarien zeigt, dass sich die THG-Emissionen der verschiedenen Szenarien bei gleichen Annahmen für den Strommix kaum unterscheiden. Szenario 2 zeigt, dass bei einem raschen Rückgang der THG-Emissionen aus der Stromproduktion eine hohe Renovierungsrate einen leichten Anstieg der THG-Emissionen im Vergleich zum Referenzszenario (S1) auslösen könnte. Szenario S3 (frühzeitiger Ausstieg) mit dem optimistischen Strommix weist die niedrigsten kumulierten THG-Emissionen auf. Im Vergleich zum Referenzszenario (S1) können die Betriebsemissionen um 26 % und die Gesamtemissionen um 15 % gesenkt werden.

WP 3: Rechtlicher Rahmen und institutionelle Hindernisse für eine klimafreundlichere Beschaffung von öffentlichen Gebäuden

Ein Überblick über die institutionellen Strukturen, die im Zusammenhang mit der klimafreundlichen Beschaffung von öffentlichen Gebäuden in Österreich identifiziert wurden, findet sich in Abbildung 8. In den folgenden zwei Abschnitten werden der derzeitige rechtliche Rahmen (und der daraus resultierende Beschaffungsprozess) sowie die institutionellen Barrieren und die damit verbundenen kollektiven Rahmenbedingungen beschrieben.



Abbildung 8: Identifizierte institutionelle Strukturen

Task 3.1: Analyse des derzeitigen Rechtsrahmens und des Beschaffungsprozesses

Die Beschaffung von öffentlichen Gebäuden in Österreich wird durch das österreichische Vergaberecht, das Bundesvergabegesetz (BVergG 2018), geregelt. Dieses Gesetz legt die Regeln für die öffentliche Beschaffung von Bau-, Liefer- oder Dienstleistungen fest und deckt den Zeitraum zwischen der Ausschreibung und dem Vertragsabschluss ab. Das Gesetz sieht mehrere Möglichkeiten vor, klimarelevante Aspekte zu berücksichtigen; Anforderungen müssen in der Ausschreibung spezifiziert werden (Abbildung 9). In der Auswahlphase können Klimakriterien als technische Spezifikationen (z.B. Emissionsanforderungen für den Beschaffungsgegenstand) oder als Auswahlkriterien (z.B. nur Organisationen mit nachgewiesenen Klimamanagementsystemen sind zur Angebotsabgabe berechtigt) integriert werden. In der Vergabephase bietet das Gesetz die Möglichkeit, Klimakriterien als zusätzliches Zuschlagskriterium (neben dem Preis) zu implementieren oder Klimaauswirkungen als „Externalität“ zu integrieren, wenn die Vergabeentscheidung auf Basis eines Lebenszykluskostenansatzes getroffen wird. Schließlich können klimabezogene Aspekte auch bei der Formulierung der Vertragsbestimmungen berücksichtigt werden, die die Bedingungen festlegen, die bei der Leistungserbringung einzuhalten sind (z.B. Anforderungen für den Transport des Baumaterials zur Baustelle zur Begrenzung von THG-Emissionen).

Die oben beschriebenen Optionen sind jedoch freiwillig, und die Beschaffer von öffentlichen Gebäuden haben sie bisher weitgehend ungenutzt gelassen. Bislang wurden

Klimaschutzmaßnahmen bei der Beschaffung öffentlicher Gebäude hauptsächlich durch das bestehende Baurecht (das natürlich auch für öffentliche Gebäude verbindlich ist) abgedeckt. Während die baurechtlichen Vorschriften in den Zuständigkeitsbereich der Bundesländer fallen, gab es zunehmend Harmonisierungsbestrebungen. Dies führte zur Entwicklung von sechs OIB-Richtlinien, die von allen neun Bundesländern umgesetzt wurden (Österreichisches Institut für Bautechnik 2023). Die OIB-Richtlinie 6 befasst sich mit der Energieeinsparung und dem Wärmeschutz und legt Mindestanforderungen an neu errichtete Gebäude hinsichtlich der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien während der Nutzungsphase dieser Gebäude fest (Österreichisches Institut für Bautechnik 2019). Während also der Energiebedarf und die THG-Emissionen des Gebäudebetriebs im bestehenden Baurecht bereits berücksichtigt werden, gibt es derzeit in Österreich noch keine verbindlichen Regelungen zu grauen Emissionen. Wie in der EPBD (Richtlinie 2010/31/EU) (European Parliament and Council of the European Union 2010) und der Europäischen Bauproduktenverordnung (Verordnung (EU) Nr. 305/2011, 2011) gefordert, ist jedoch eine neue OIB-Richtlinie zur „Nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen“ in Ausarbeitung, die sich auch mit den lebenszyklusweiten THG-Emissionen von Gebäuden befassen wird.²

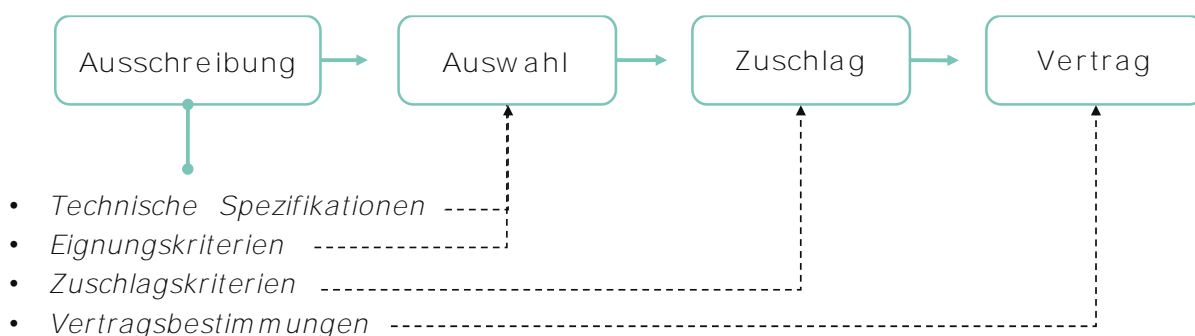


Abbildung 9: Möglichkeiten zur Berücksichtigung klimarelevanter Aspekte im gesetzlich geregelten Bereich des Beschaffungsprozesses

Eine weitere rechtliche Struktur, die Beschaffer öffentlicher Gebäude dazu verpflichtet, klimarelevante Aspekte zu berücksichtigen, ist der Aktionsplan für nachhaltige Beschaffung (naBe-Aktionsplan). Dieser Aktionsplan, der 2010 durch einen Ministerratsbeschluss (nach Aufforderung durch die Europäische Kommission) umgesetzt wurde, unterstreicht und fördert die Vorbildfunktion der öffentlichen Beschaffung in Bezug auf Nachhaltigkeit (Bundeskanzleramt (BKA) 2010). Er besteht aus Kriterienkatalogen für 16 Produktkategorien, darunter auch die Kategorie „Hochbau“ (naBe 2021). Die Kriterien in dieser Kategorie sind weitgehend identisch mit den Basiskriterien von „klimaaktiv Bauen und Sanieren“, einem freiwilligen Nachhaltigkeitszertifizierungsstandard für Gebäude (Lubitz-Prohaska et al. 2020). Wie das Baurecht legt auch der klimaaktiv-Standard einen starken Schwerpunkt auf die Nutzungsphase des Gebäudes. Zwar wird die Berechnung und Deklaration der grauen

² Im Mai dieses Jahres wurde das Grundlagendokument zur OIB RL 7 publiziert: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2023/oib-richtlinie-7-grundlagendokument>.

Emissionen anhand des Indikators Öko-Index 3 (OI3) gefordert, es werden aber keine (strengen) Mindestanforderungen gestellt und die derzeitige Bilanzierungsmethodik entspricht auch nicht dem Stand der Normung (EN15804+A2) bzw. EU LEVEL(s) (Austrian Standards 2020). Obwohl der Aktionsplan für alle Beschaffungsaktivitäten öffentlicher Auftraggeber im Bereich des Bundes verbindlich ist (und auf Ebene der Bundesländer eine Empfehlung darstellt), haben die Beschaffer öffentlicher Gebäude diese Kriterien nur selten berücksichtigt und sich auf eine Klausel berufen, die es den Beschaffern erlaubt, aus wirtschaftlichen Gründen davon abzuweichen. Im Jahr 2021 verabschiedete die Bundesregierung einen aktualisierten naBe-Aktionsplan, der zur Abschaffung dieser Klausel sowie zu strengeren Kriterien in den Katalogen führte (in der Kategorie Gebäude basieren die verbindlichen Kriterien auf dem „klimaaktiv Silber“-Standard) (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) 2021). Allerdings fehlen auch im geänderten Aktionsplan ambitionierte Anforderungen an die Begrenzung der grauen Emissionen.

Der rechtliche Rahmen für eine klimafreundliche Beschaffung von öffentlichen Gebäuden lässt sich also wie folgt zusammenfassen: Einerseits bietet das Vergaberecht Möglichkeiten, klimarelevante Aspekte zu berücksichtigen, doch werden diese Möglichkeiten derzeit kaum genutzt und die Vorgaben des „Aktionsplans für eine nachhaltige Beschaffung“ in der Praxis wenig angewandt. Zum anderen konzentrieren sich die klimarelevanten Anforderungen im Aktionsplan sowie im Baurecht hauptsächlich auf die Nutzungsphase von Gebäuden und lassen die Frage der grauen Emissionen weitgehend außer Acht.

Task 3.2: Institutionelle Hindernisse und kollektive Rahmenbedingungen

Auf der Grundlage der 17 halbstrukturierten Interviews mit den wichtigsten Akteur:innen haben wir sieben Haupthindernisse für ehrgeizigere Klimaschutzmaßnahmen ermittelt, von denen sich zwei auf die Frage der grauen Emissionen (1-2), drei auf den Beschaffungsprozess (3-5) und zwei auf das Thema klimafreundliches Bauen im Allgemeinen (6-7) beziehen:

1. Mangelndes Bewusstsein der wichtigsten Interessengruppen für graue Emissionen
2. Probleme bei der Berechnung der grauen Emissionen
3. Probleme bei der Berücksichtigung von Klimakriterien bei der Vergabeentscheidung
4. Widersprüchlichkeit zwischen „Beschaffungslogik“ und „Planungslogik“
5. Konkurrierende Ideen, wie Klimaüberlegungen in der Planungsphase berücksichtigt werden können
6. Konkurrierende normative Grundlagen für Klimaschutzmaßnahmen und damit verbundene Gewichtungsfragen
7. Konkurrierende Auffassungen darüber, was die Probleme und was die Lösungen sind

Darüber hinaus ergab die Q-Studie, dass die derzeitigen Bemühungen, die öffentliche Beschaffung von Gebäuden nachhaltiger zu gestalten, mit drei konkurrierenden Metanarrativen verbunden sind:

- Wir haben alles, was wir brauchen!

Demnach bieten die derzeitigen österreichischen Zertifizierungssysteme und Indikatoren – so die Sicht der Befragten – einen soliden Standard zur Bestimmung der Klimafreundlichkeit von Gebäuden. Außerdem wurde argumentiert, dass es bereits genügend Know-how und Richtlinien für klimafreundliches Bauen gibt. Wenn Umweltindikatoren³ weniger genau, aber einfacher anzuwenden sind, würde dies als legitim angesehen. Schließlich wurde eingeräumt, dass Standards und Richtlinien für klimafreundliches Bauen bereits in Architekturwettbewerben definiert werden sollten, aber es wurde betont, dass der Klimaschutz nicht Vorrang vor anderen Nachhaltigkeitszielen haben sollte.

- Das Bewusstsein für den Klimaschutz muss geschärft werden!

In diesem Zusammenhang argumentierten die Teilnehmer:innen, dass die zentralen Akteur:innen ein Bewusstsein für den Klimaschutz entwickeln müssen, sonst nützen auch Verordnungen und Gesetze nichts. Des Weiteren wurde betont, dass es sowohl an Know-how als auch an klaren Richtlinien mangelt. Ein stärkerer Fokus auf Mobilität wurde befürwortet und es wurde argumentiert, dass im Architekturwettbewerb die Materialwahl möglichst offengehalten werden sollte, damit kreative Lösungen eine Chance haben. Schließlich wurde betont, dass die THG-Indikatoren so präzise wie möglich sein sollten und in ihrer Anwendbarkeit nicht vereinfacht werden dürfen.

- Wir brauchen klarere Spezifikationen und echte Kosten!

Die dritte Perspektive besagte, dass im Beschaffungsprozess derzeit den gesellschaftlichen Kosten, die durch die THG-Emissionen eines Gebäudes entstehen, viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Darüber hinaus wurde hervorgehoben, dass Gesetze und Vorschriften wichtiger sind als Bewusstseinsbildung. Weiters wurde argumentiert, dass bereits in den Architekturwettbewerben klare Standards gesetzt und klimafreundliche Gestaltungsvorgaben definiert werden sollten.⁴ Ferner wurde die Auffassung vertreten, dass der OI3-Index die grauen Emissionen nicht angemessen abbildet. Gleichzeitig wurde die Reduktion des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase als wichtiger angesehen als die Reduktion der grauen Emissionen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Ansichten und Erwartungen der Akteur:innen an eine klimafreundlichere Beschaffung auseinander gehen. Während weiterhin Bewusstseinsbildung und das Aufzeigen von THG-Emissionsquellen wichtig sind, müssen die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Standards überarbeitet werden, um die Umsetzung von THG-Reduktionsmaßnahmen effektiv voranzutreiben.

³ In der Q-Studie wurde statt „Umweltindikatoren“ der Begriff „THG-Indikatoren“ verwendet.

⁴ In der Stadt Graz wird dies im Rahmen von „Klimafreundlichen Nachhaltigen Baustandards (KNBs) bereits erprobt (Scherz et al. 2022a) (https://www.graz.at/cms/beitrag/10356748/9821093/Wie_machen_wir_Graz_klimafit.html))

WP 4: Lebenszykluskostenberechnung für öffentliche Gebäude

M 4.1 Anwendungsmöglichkeiten, Einschränkungen und Bewertungsanforderungen von Lebenszykluskostenberechnung in der öffentlichen Gebäudebeschaffung

Die Ergebnisse der durchgeführten SLRs zeigen, dass die Umsetzung von Ökobilanz und Lebenszyklusberechnung in der derzeitigen Ausschreibungs- und Vergabepaxis kaum stattfindet. Tabelle 1 zeigt detaillierte Informationen zu den beiden durchgeführten systematischen Literaturrecherchen (Hopf 2022; Scherz et al. 2022b). Im Rahmen der Metadatenanalyse wurden Hindernisse für die Anwendung von Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenberechnung im Gebäudebeschaffungsprozess ermittelt. Die Hindernisse wurden in die folgenden fünf Kategorien eingeteilt: (i) methodische Hindernisse, (ii) organisatorische Hindernisse, (iii) verwaltungstechnische Hindernisse, (iv) politische Hindernisse und (v) wirtschaftliche Hindernisse. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse, d.h. sowohl zu den SLRs als auch zu den identifizierten Hindernissen, findet sich in (Hopf 2022; Scherz et al. 2022b).

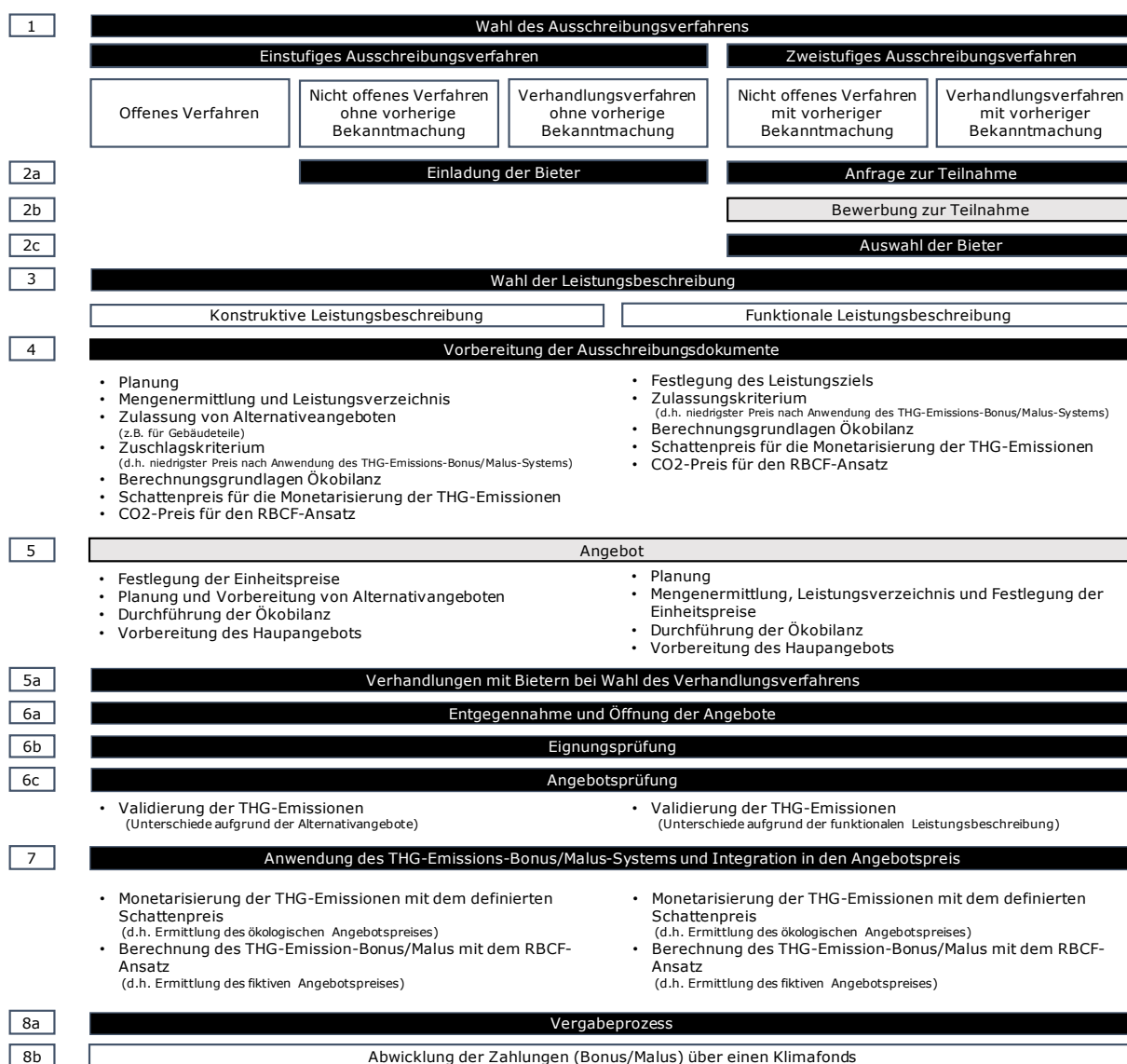
Tabelle 1: SLR zu LCA und (W)LCC in der öffentlichen Beschaffungspraxis von Gebäuden

	LCA	(Whole) Life Cycle Costing
Definition der Forschungsfrage(n)	Wird die Ökobilanzierung im öffentlichen Beschaffungsprozess von Gebäuden angewendet? Welche Hindernisse stehen der Umsetzung von Ökobilanzen in der derzeitigen Praxis des öffentlichen Beschaffungswesens entgegen?	Wird (Whole) Life Cycle Costing im öffentlichen Beschaffungsprozessen von Gebäuden angewendet? Welche Hindernisse stehen der Umsetzung von (Whole) Life Cycle Costing in der derzeitigen Praxis des öffentlichen Beschaffungswesens entgegen?
Definition von Schlüsselwörtern und Suchbegriffen	(procurement OR tender OR bid OR award) AND ("life cycle assessment" OR LCA OR "environmental product declaration" OR EPD OR "product environmental footprint" OR PEF OR "carbon footprint")	(cost OR "life cycle cost" OR "whole life cycle cost" OR externalities OR "social cost of carbon") AND (procurement OR competition OR tender OR award) AND (buildings OR construction OR built)
Definition von Einschränkungen	Datenbank: ScienceDirect und Scopus Veröffentlichungszeitraum: 2010-2022 Art der Veröffentlichung: Reviewartikel oder Forschungsartikel Sprache: Englisch	Datenbank: ScienceDirect und Scopus Veröffentlichungszeitraum: 2010-2022 Art der Veröffentlichung: Reviewartikel oder Forschungsartikel Sprache: Englisch
Artikelausschluss nach Titel	358	2262
Artikelausschluss durch Abstract	241	282
Ausschluss von Artikeln durch vollständiges Papier	31	75
Schneeballmethode	6	8
Analyse von Metadaten	19	14

WP 5: Prozessmodell für das öffentliche Auftragswesen

M 5.1 Prozessmodell entwickelt und evaluiert durch Fallstudien

Mit der Anwendung des entwickelten Prozessmodells (THG-Emissions-Bonus / Malus-System) können die THG-Emissionen von Gebäuden im Angebotspreis der Bieter:innen über definierte CO₂-Preise, d.h. einen CO₂-Preis in Form eines Schattenpreises und einen CO₂-Preis in Form eines ergebnisorientierten Klimafinanzierungsansatzes berücksichtigt werden. Für die Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems muss das derzeitige Ausschreibungs- und Vergabeverfahren angepasst werden.



■ Sphäre der ausschreibenden Stelle
 □ Sphäre der Bieter

Abbildung 10: Prozessschritte innerhalb verschiedener Ausschreibungsverfahren und der beiden unterschiedlichen Leistungsbeschreibungen: (i) Ausschreibung mit konstruktiven Leistungsbeschreibung und (ii) Ausschreibung mit funktionalen Leistungsbeschreibung

Abbildung 10 zeigt die Sphären von Auftraggeber:innen und Bieter:innen für die beiden Ausschreibungsarten (konstruktive und funktionale Leistungsbeschreibung) sowie die detaillierten Ausschreibungsbedingungen für die Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems. Die Studien von (Scherz et al. 2023b,c) beschreiben die Entwicklung und Anwendung des Prozessmodells im Detail.

Das THG-Emissions-Bonus/Malus-System wird auf Basis einer instrumentellen und einer kollektiven Fallstudie validiert. Die Ergebnisse zeigen, dass THG-Emissionen bereits während des Ausschreibungs- und Vergabeprozesses berücksichtigt und mit internen CO₂-Preisinstrumenten monetarisiert werden können, wodurch sie im Angebotspreis der Bieter:innen berücksichtigt werden können. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die Höhe der CO₂-Preise die Rangfolge der Bieter:innen verändert, d.h. ein Wechsel von dem/der niedrigste:n Bieter:in zu eine:r ökologisch besseren Bieter:in. Neben der Validierung des entwickelten Prozessmodells wurde auch die Höhe der festgelegten CO₂-Preise analysiert. Die Berechnung sogenannter "Environmental Break-Even Points" (d.h. die Höhe der CO₂-Preise, bei welchen ein ökologischeres Gebäude den Zuschlag bekommt) hat gezeigt, dass vor allem mit dem CO₂-Preis des ergebnisorientierten Klimafinanzierungsansatzes die Höhe des THG-Emissions-Bonus/Malus gesteuert werden kann. Detaillierte Informationen zu den "Environmental Break-Even Points" sowie zu den einzelnen Implementierungsschritten und dem Ablauf der Anwendung des Prozessmodells sind in den Studien von (Scherz et al. 2023b,c) und im Leitfaden für Beschaffer in Anhang B dargestellt.

Die Auswirkungen der ausgewählten Schattenpreise, die in der instrumentellen und der kollektiven Fallstudie verwendet wurden, d.h. 50 €/tCO₂-eq, 200 €/tCO₂-eq und 400 €/tCO₂-eq, wurden zusätzlich anhand eines bereits errichteten Forschungsgebäudes (EBS-Gebäude) in Graz, Österreich, analysiert. Für dieses Gebäude wurde eine detaillierte Ökobilanz auf der Grundlage der Ausschreibungsunterlagen erstellt. Die Gesamtauswirkungen hinsichtlich des Treibhauspotenzials (GWP) betragen 28,3 kgCO₂-eq/m²/a. Bei einer Fläche von 4204 m² und einem Bezugsstudienzeitraum von 50 Jahren betragen die Gesamtemissionen über den Lebenszyklus des Gebäudes 5949 tCO₂-eq. Dieser Wert passt zu den Annahmen in der instrumentellen Fallstudie (3750 tCO₂-eq bis 6500 tCO₂-eq), wodurch die Vergleichbarkeit der Auswirkungen der festgelegten Schattenpreise auf die Angebotspreise gewährleistet ist. Detaillierte Informationen zu den Annahmen innerhalb der Ökobilanz-Berechnung und den Ergebnissen finden sich in (Hoxha et al. 2021).

Die Baukosten wurden vom Bauherrn des Gebäudes zur Verfügung gestellt. Tabelle 2 zeigt die Baukosten des EBS-Gebäudes (Angebotspreis) und vergleicht sie mit dem ökologischen Angebotspreis, d.h. nach Monetarisierung der externen Kosten und Internalisierung im Angebotspreis, bei unterschiedlichen Schattenpreisen. Es wurden nur die Kostengruppen Rohbau, Technik und Ausbau berücksichtigt, da diese Kostengruppen den Angebotspreis maßgeblich bestimmen. Planungskosten, Kosten für die Erschließung, Kosten für die Laborausstattung und Kosten für die Außenanlagen wurden nicht berücksichtigt. Die Baukosten stimmen auch mit den im Rahmen der instrumentellen Fallstudie ermittelten Baukosten überein.

So sind auch die Auswirkungen der externen Kosten auf den Angebotspreis konsistent, die bei den angenommenen Schattenpreisen zwischen 3 % und 25 % liegen.

Zusammenfassend lässt sich ableiten, dass die Bewertung des errichteten EBS-Gebäudes, die getroffenen Annahmen und berechneten Ergebnisse im Rahmen der Entwicklung des Pilotmodells bestätigt.

Tabelle 2: Baukosten des Gebäudes im Ist-Zustand und Monetarisierung der externen Kosten auf der Grundlage verschiedener Schattenpreise, d. h. 50 €/tCO₂eq, 200 €/tCO₂eq und 400 €/tCO₂eq

Gesamte THG-Emissionen: 5.949 tCO ₂ eq		Externe Kosten (Schattenpreis 50 €/tCO ₂ eq)	Externe Kosten (Schattenpreis 200 €/tCO ₂ eq)	Externe Kosten (Schattenpreis 400 €/tCO ₂ eq)	Effekt der externen Kosten verglichen zum Angebotspreis in %
		3%	12%	25%	
Rohbau	40%				
Technische Gebäudeausrüstung	36%				
Ausbau	25%				
Errichtungskosten (ohne externe Kosten)	100%				
Errichtungskosten (mit externen Kosten, 50 €/tCO ₂ eq)		103%			3%
Errichtungskosten (mit externen Kosten, 200 €/tCO ₂ eq)			112%		12%
Errichtungskosten (mit externen Kosten, 400 €/tCO ₂ eq)				125%	25%

Da keine Daten von anderen Bieter:innen verfügbar waren, konnte das THG-Emissions-Bonus/Malus-System, d.h. die Berechnung des THG-Emissions-Bonus/Malus auf der Grundlage des Mittelwerts der THG-Emissionen mehrerer Bieter:innen, nicht angewendet werden.

WP 6: Politische Empfehlungen

6.1 Handlungsempfehlungen für Entscheidungstragende in der öffentlichen Gebäudebeschaffung am Weg zur Klimaneutralität

Die Handlungsempfehlungen für Entscheidungstragende in der öffentlichen Gebäudebeschaffung am Weg zu Klimaneutralität setzen sich aus den fünf Bereichen (i) Rahmenbedingungen des Handlungsfeldes Gebäude, (ii) Rechtliche Handlungsempfehlungen, (iii) Handlungsempfehlungen zu methodischen Grundlagen und Voraussetzungen, (iv) Handlungsempfehlungen zur Umsetzung im Beschaffungsprozess und (v) weitere Handlungsempfehlungen zusammen (Passer et al. 2023). Sie werden in Abschnitt 5 und Anhang A genauer dargestellt.

6.2 Leitfaden für die nachhaltige Beschaffung von öffentlichen Gebäuden - Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus Systems.

Im Leitfaden wurden die notwendigen Schritte zur Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus Systems in Verbindung mit den Anforderungen des Bundesvergabegesetzes dargestellt (siehe Anhang B: (Scherz et al. 2023d)).

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zusammenfassung der Ergebnisse

Paris-kompatible Anforderungen für öffentliche Gebäude

- Bei einer umfassenden Betrachtung des Handlungsfeldes Gebäude werden dem österreichischen Gebäudebestand drei- bis viermal mehr jährliche THG-Emissionen zugerechnet als bei der engen Betrachtung des „Sektors Gebäude“ des Klimaschutzgesetzes. In dieser umfassenden Betrachtung entfallen nach Methodik 20 – 44 % der Gesamtemissionen im Handlungsfeld auf graue Emissionsanteile.
- Das österreichische Handlungsfeld Gebäude, das die jährlichen direkten und indirekten betrieblichen und grauen Emissionen des österreichischen Gebäudebestandes umfasst, war 2014 für 20,4 bis 29,2 Mt CO₂eq/a verantwortlich (je nach Berechnungsmethode).
- Die Emissionsquellen im Handlungsfeld Gebäude sind unterschiedlichen Regionen und Akteur:innen zugeordnet. Die Emissionsreduktion erfordert daher mehrere Strategien, einschließlich angebots- und nachfrageseitiger Maßnahmen, die sowohl die grauen Emissionen als auch die Betriebsemissionen betreffen.
- Strategien zur Verringerung der grauen THG-Emissionen bei der Herstellung von Baumaterialien (erneuerbare Energien, Kohlenstoffabscheidung und -speicherung usw.) erscheinen vielversprechend. Bis 2050 könnten somit theoretisch bis zu 82 % der grauen THG-Emissionen auf der Materialebene und bis zu 50 % auf der Gebäudeebene reduziert werden.
- Die Ergebnisse zeigen, dass bei öffentlichen Bürogebäuden eine rasche Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Strommix der wichtigste Hebel zur Verringerung der mit diesem Gebäudebestand verbundenen THG-Emissionen ist. Insbesondere zeigt sich die Notwendigkeit, über die derzeitigen politischen Ambitionen hinauszugehen, um Klimaziele einzuhalten.
- Daher sind ehrgeizigere politische Entscheidungen für konkrete Maßnahmen erforderlich, um die Reduktion der grauen Emissionen in Richtung Netto-Null zu beschleunigen.

Rechtlicher Rahmen und institutionelle Hindernisse für eine klimafreundlichere Beschaffung von öffentlichen Gebäuden

- Obwohl das österreichische Beschaffungsgesetz mehrere Möglichkeiten bietet, den Klimaschutz bei der Beschaffung von öffentlichen Gebäuden zu berücksichtigen, gehen die Beschaffer:innen nur selten über die gesetzlichen Vorgaben hinaus.
- Die derzeitigen Anforderungen zur Reduktion der THG-Emissionen im Zusammenhang mit Gebäuden konzentrieren sich auf die Betriebsemissionen und lassen die grauen Emissionen weitgehend außer Acht.
- Obwohl wichtige Stakeholder die Rolle des Klimaschutzes unterschiedlich einschätzen, sind sie sich im Allgemeinen der immer wichtiger werdenden Rolle der grauen Emissionen nicht bewusst.
- Risikoaversion und die Inkonsistenzen zwischen Herangehensweisen der „Beschaffung“ und „Planung“ hindern Beschaffer:innen daran, eine führende Rolle bei der Reduktion von (grauen) Emissionen zu übernehmen.

Lebenszykluskostenberechnung für öffentliche Gebäude

- Obwohl der rechtliche Rahmen definiert und verfügbar ist, werden die Methoden Ökobilanz und Lebenszykluskostenberechnung in der Praxis der öffentlichen Gebäudebeschaffung nur selten angewandt. Speziell bei der Methode der Ökobilanz gibt es mehrere inhärente (methodische) Hindernisse, welche eine praxisorientierte Anwendung erschweren.
- Die Hindernisse, warum Ökobilanz und Lebenszykluskostenberechnung in der derzeitigen Ausschreibungs- und Vergabep Praxis nicht angewandt werden, können in die folgenden fünf Kategorien eingeteilt werden: (i) methodische Hindernisse, (ii) organisatorische Hindernisse, (iii) verwaltungstechnische Hindernisse, (iv) politische Hindernisse und (v) wirtschaftliche Hindernisse.
- Es wird ein harmonisierter Rahmen für die Umsetzung von Ökobilanzen im Beschaffungsprozess für Gebäude benötigt, da ansonsten kein transparenter Ausschreibungs- und Vergabeprozess gewährleistet werden kann.
- Es sind nur geringfügige Ergänzungen in den Ausschreibungsunterlagen notwendig, um die Umsetzung von Ökobilanzen im Beschaffungsprozess für Gebäude zu ermöglichen.
- Es wird ein interner CO₂-Preiskorridor von 100 bis 200 €/tCO₂ für den öffentlichen Beschaffungsprozess von österreichischen Gebäuden vorgeschlagen. Dies spiegelt die zusätzlichen Minderungsanstrengungen in Form eines CO₂-Preises wider, um die Lücke zwischen den derzeitigen und den Paris-kompatiblen Minderungsanstrengungen auf nationaler und globaler Ebene zu schließen.

Prozessmodell für das öffentliche Auftragswesen

- Das entwickelte Prozessmodell zeigt, wie Ökobilanzen in den Ausschreibungs- und Vergabeprozess für Gebäude integriert werden können. Besondere Merkmale des Modells sind die Vergabe von Aufträgen auf Basis fiktiver Angebotspreise sowie die Generierung von projektbezogenen Boni oder Pönalen mit Hilfe eines THG-Emissions-Bonus/Malus.
- Die Höhe der CO₂-Preise beeinflusst die Rangfolge der Bieter:innen. Vor allem mit dem CO₂-Preis des ergebnisorientierten Klimafinanzierungsansatzes kann der Höhe des THG-Emissions-Bonus und Malus gesteuert werden.
- Durch die Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems können umweltfreundlichere Vergabeentscheidungen mit CO₂-Preisen von 25 €/tCO₂ bis 280 €/tCO₂ umgesetzt werden. Wird der Ansatz mit den projektbezogenen Boni und Pönalen nicht angewendet, sind deutlich höhere CO₂-Preise, d.h. ca. 50 €/tCO₂ bis 550 €/tCO₂, notwendig, um die Vergabeentscheidung zu beeinflussen (siehe auch (Scherz et al. 2023c)).
- Die Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus-Systems reduziert die THG-Emissionen von Gebäuden. Basierend auf den betrachteten Fallstudien beträgt diese THG-Emissionsreduktion bis zu 38 % im Vergleich zu einer konventionellen Auftragsvergabe auf Basis der Billigstbieterprinzips.

Handlungsempfehlungen für Entscheidungstragende in der öffentlichen Gebäudebeschaffung am Weg zur Klimaneutralität

Rahmenbedingungen des Handlungsfeldes Gebäude

- Um das Potenzial im Gebäudebereich voll auszuschöpfen, müssen politische Ziele und Maßnahmen die grauen Emissionen berücksichtigen. Diese machen bereits 20 – 44 % der THG-Emissionen aus (je nach Berechnungsmethode) und nehmen durch gezielte Maßnahmen im Gebäudebetrieb und die Sanierung von Gebäuden zu. Maßnahmen zur Emissionsreduktion erfordern daher auch gezielte Ansätze, um die jeweiligen Akteur:innen und regionalen Emissionsquellen zu adressieren.
- Emissionsziele im Gebäudebetrieb erfordern Strategien für erneuerbare Energie bei Strom und Fernwärme. Im Gebäudebereich können z.B. strengere Standards im Neubau und umfassende Sanierungen im Gebäudebestand einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten.
- Bis 2050 könnten 82 % der grauen THG-Emissionen auf der Ebene der Materialien und 50 % auf der Gebäudeebene reduziert werden. Lebenszyklusbetrachtungen sind von entscheidender Bedeutung und Hindernisse im öffentlichen Beschaffungswesen müssen überwunden werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen

- Verankerung verpflichtender Ökobilanzierungen für alle Baumaterialien, sowie frei zugängliche Bereitstellung verifizierter Environmental Product Declarations (EPDs)
- Verankerung verpflichtender Ökobilanzierung für alle Gebäude auf gesetzlicher Ebene
- Entwicklung eines bundesweiten Reduktionspfades für die lebenszyklusweiten THG-Emissionen (Absenkpfad)
- Verankerung verbindlicher Anforderungen zur Begrenzung der lebenszyklusweiten THG-Emissionen, vor allem im Neubau

Handlungsempfehlungen zu methodischen Grundlagen und Voraussetzungen

- Harmonisierung und Verwaltung von Ökobilanzdatenbanken für eine einheitliche und allgemeine Anwendung in Österreich durch eine zuständige öffentliche Stelle
- Entwicklung und Bereitstellung einer frei zugänglichen LCA-Software

Handlungsempfehlungen zur Umsetzung im Beschaffungsprozess

- Obligatorische Validierung des Umweltmanagements
- Verpflichtende Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in Architekturwettbewerben
- Verankerung der Umsetzung der Ökobilanz in Ausschreibungs- und Vergabeverfahren von Gebäuden
- Verankerung der Einhaltung von Grenz- und Zielwerten von THG-Emissionen im Ausschreibungs- und Vergabeverfahren von Gebäuden
- Verankerung der Umsetzung von ökologischen Lebenszykluskostenberechnungen (engl. environmental Life Cycle Costing, eLCC) in der Ausschreibungs- und Vergabeverfahren von Gebäuden
- Entwicklung einer eLCC-Plattform für die notwendigen Berechnungsparameter
- Entwicklung und Bereitstellung einer frei zugänglichen eLCC-Software durch eine zuständige öffentliche Stelle
- Harmonisierung der LCA und eLCC-Methodik
- Erstellung eines Leitfadens für die Implementierung und Integration von LCA und eLCC in den Gebäudebeschaffungsprozess
- Anwendung eines internen CO₂-Preises im Bereich 100 - 200 €/tCO₂
- Schulungen für Lebenszyklusanalysen durchführen und Leitfäden entwickeln
- Obligatorische Überwachung und Sanktionierung bei Nachhaltigkeitsdefiziten
- Obligatorische Bewertung der Umweltverträglichkeit von errichteten Gebäuden

Weitere Handlungsempfehlungen

- Definition eines Leistungsbilds „Fachplanung Ökobilanz“
- Weitere Analyse der Schadenskosten von Umweltindikatoren
- Einrichtung eines Fonds zur Förderung der Umsetzung von nachhaltigen Bauprojekten
- Entwicklung von verbindlichen THG-Budgets für neue Gebäude in Abhängigkeit von Grundstücksgrößen (vgl. Bebauungsdichte)

C) Projektdetails

6 Methodik

Die verwendeten Methoden wurden bereits in Abschnitt 2 (Aktivitäten und Methoden) beschrieben. In diesem Kapitel befinden sich darüber hinausführende Informationen zu Methoden.

WP2 Paris-kompatible Anforderungen für öffentliche Gebäude

Task 2.1 und 2.2: Emissionen des Handlungsfelds Gebäude in Österreich

Die Ökobilanzierung (LCA) ermöglicht eine Abschätzung der Umweltauswirkungen eines Produktsystems über den gesamten Lebenszyklus, einschließlich Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzungsphase und Entsorgung (Klöpffer und Grahl 2014). In diesem Bereich haben sich zwei Haupttypen von Ökobilanzen etabliert, die beide in den Tasks 2.1 und 2.2 auf den österreichischen Gebäudebestand angewendet wurden: die (bottom-up) prozessbasierte und die (top-down) Input-Output-basierte (I-O) Ökobilanz.

Zur Schätzung der grauen Emissionen, die sich aus den jährlichen Neubau- und Renovierungsaktivitäten ergeben, ergänzen sich die I-O- und die prozessbasierte Ökobilanz. Der Fokus auf den gesamten nationalen Gebäudebestand, der eng mit dem Bausektor verbunden ist, macht die I-O-basierte LCA besonders nützlich. Um den Einschränkungen und Unsicherheiten des I-O-Ansatzes zu begegnen, kombinieren wir prozessbasierte LCA-Fallstudien (Röck et al. 2020, 2023) mit statistischen Daten zum Gebäudebestand, um eine vergleichende Emissionsschätzung zu erhalten und die Robustheit der identifizierten Umwelt-Hotspots zu überprüfen. Um die jährlichen Lebenszyklusemissionen des nationalen Gebäudebestands zu quantifizieren, berechnen wir die betrieblichen Emissionen auf der Grundlage nationaler Energiestatistiken. Genauer gesagt, kombinieren wir nationale statistische Daten zum Endenergiebedarf für Heizung und Kühlung einschließlich Warmwasser mit LCA-Emissionsfaktoren aus der ecoinvent Datenbank (Wernet et al. 2016). Für einen umfassenden Vergleich von prozessbasierten, I-O-basierten und hybriden Schätzmethode für graue Emissionen auf der Ebene eines einzelnen Gebäudes, einschließlich ihrer Vor- und Nachteile, siehe (Azari and Abbasabadi 2018).

Abbildung 11 gibt einen Überblick über die Komponenten, die zur Berechnung der dem nationalen Handlungsfeld Gebäude zurechenbaren THG-Emissionen verwendet werden, die entsprechenden Einheiten und die allgemeinen Datenquellen. Sie zeigt auch die Datenquellen, die für die Fallstudienanwendung verwendet werden, in der wir uns auf den österreichischen Gebäudebestand im Jahr 2014 beziehen. Die betrieblichen Emissionen werden anhand nationaler Statistiken über den Energiebedarf für Raumheizung und -kühlung, einschließlich der Warmwasserversorgung (Nutzenergieanalyse), und der entsprechenden Emissionsfaktoren aus Ökobilanzdaten

berechnet. Wir verwenden sowohl eine I-O-basierte als auch eine prozessbasierte Ökobilanz für unsere Analyse der grauen THG-Emissionen. Dementsprechend werden bei jedem Ansatz unterschiedliche Details der Emissionsaktivitäten berücksichtigt.

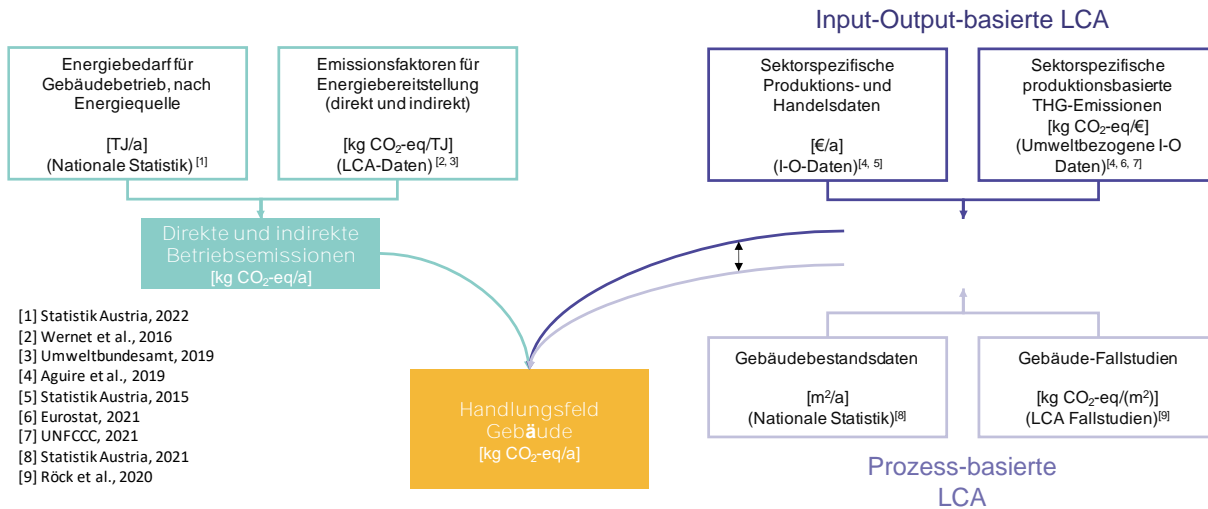


Abbildung 11: Übersicht über die Methodik der Emissionsberechnung für die Tasks 2.1 und 2.2

Um alle relevanten Umweltwirkungen des nationalen Gebäudebestands zu identifizieren, bewerten wir die jährlichen gebäudebezogenen THG-Emissionen aus einer Lebenszyklusperspektive – im Folgenden als Handlungsfeld Gebäude bezeichnet – für den Anwendungsfall Österreich im Jahr 2014. Das Handlungsfeld Gebäude umfasst die THG-Emissionen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (d.h. Dienstleistungs- und Industriesektor). Dabei werden direkte und indirekte Betriebsemissionen sowie graue Emissionen berücksichtigt.

Um die jährlichen Betriebsemissionen des österreichischen Gebäudebestands im Jahr 2014 zu schätzen, kombinieren wir den sektorspezifischen Endenergiebedarf für Raumheizung, Warmwasser und Beleuchtung, differenziert nach Energieträgern, wie er aus der Nutzenergieanalyse (Statistics Austria 2022) hervorgeht, mit entsprechenden Emissionsfaktoren, die aus der ecoinvent-Datenbank (Wernet et al. 2016) und von Daten des Umweltbundesamts aus dem ClimCalc Tool (Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich 2023) abgeleitet wurden. Die Emissionsfaktoren umfassen direkte und indirekte Anteile, z.B. vorgelagerte THG-Emissionen aus der Bereitstellung von Strom und Fernwärme.

Zur Erhebung der grauen Emissionen werden sowohl eine prozessbasierte als auch eine Input-Output-basierte Lebenszyklusanalyse (LCA) verwendet. Der prozessbasierte Ansatz basiert auf einer Literaturlauswertung von Ökobilanzen von Fallstudien (Röck et al. 2020), die zu grauen Lebenszyklusemissionen pro m² führen. Diese umfassen nicht nur alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes, sondern auch alle relevanten Gebäudeelemente. Die LCA-Daten werden dann zusammen mit statistischen Daten über den Gebäudebestand (Statistics Austria 2021) verwendet, um die gebäudebezogenen grauen Emissionen auf nationaler Ebene zu schätzen. Die Input-Output-Ökobilanz weist

eine breitere Top-Down-Perspektive auf als die prozessbasierte Bottom-Up-Ökobilanz, da sie die gesamte Makroökonomie berücksichtigt.

In Übereinstimmung mit der oben skizzierten Systemgrenze des Handlungsfelds Gebäude werden die THG-Emissionen entlang internationaler Lieferketten berücksichtigt, die durch die Endnachfrage privater Haushalte und des Staates sowie die Investitionsnachfrage von Unternehmen nach Gütern und Dienstleistungen, die von gebäudebezogenen Sektoren produziert werden (d.h. Hochbau ohne Tiefbau, Immobilienaktivitäten, Dienstleistungen für Gebäude und Landschaftsaktivitäten), verursacht werden. Zusätzlich berücksichtigen wir die THG-Emissionen, die durch die Zwischennachfrage der Wirtschaftssektoren nach diesen gebäudebezogenen Gütern und Dienstleistungen entstehen.

Task 2.4: Emissionspfade für einen Paris-kompatiblen öffentlichen Gebäudebestand

Um THG-Emissionspfade für den Bestand der öffentlichen Bürogebäude darzustellen, wurden Szenarien entwickelt, die sich in der Renovierungsrate, im Zeitpunkt des fossilen Phase-out (Öl und Gas), und im verwendeten Strommix unterscheiden. Tabelle 3 zeigt die Annahmen hinter den 4 Szenarien, die jeweils für zwei mögliche Entwicklungen des Strommixes gerechnet wurden (Referenz-Mix und optimistischer Strommix mit schnellerem Umstieg auf 100% erneuerbaren Strom).

Tabelle 3: Szenarien zur Reduktion der THG-Emissionen (Alaux et al. 2023b)

	S1: niedrige Sanierungsrate, geplantes Phase-out	S2: Hohe Sanierungsrate, geplantes Phase-out	S3: Hohe Sanierungsrate, frühes Phase-out	S4: abnehmende Sanierungsrate, geplantes Phase-out
Sanierungsrate	1,5%	2,2%	2,2%	Pro Jahrzehnt: 2,2%; 1,5%; 0,9%
Öl und Gas Phase-out	Linear, bis 2035 (Öl) und 2040 (Gas)	Linear, bis 2035 (Öl) und 2040 (Gas)	Linear, bis 2030 (Öl) und 2045 (Gas)	Linear, bis 2035 (Öl) und 2040 (Gas)

Die Modellierung der Sanierungen erfolgt auf Basis von Archetypen und Gebäude-Geometrien des TABULA Projekts (Loga et al. 2016). Die dafür verwendeten Materialien wurden von den Bauelementen aus (IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie 2018) übernommen. Berücksichtigt wurden drei Dämmstoffe: expandiertes Polystyrol (EPS), Steinwolle und Zellulose. Die Berechnung der THG-Emissionen erfolgt nach der Methodik der Ökobilanz gemäß den neuesten europäischen Normen für Gebäude und Bauprodukte (EN15978) (Austrian Standards 2012, 2020). Es werden die Module A1-A5, B5, B6 und C1-C4 einbezogen und ecoinvent als Hintergrunddatenbank verwendet (Wernet et al. 2016). Weitere Informationen zur Berechnung sind in (Alaux et al. 2023b) verfügbar.

WP 3: Rechtlicher Rahmen und institutionelle Hindernisse für eine klimafreundlichere Beschaffung von öffentlichen Gebäuden

Der zentrale methodische Zugang in WP3 bestand aus teilstrukturierten Experteninterviews sowie der Durchführung einer sogenannten Q-Studie. In der Interviewreihe wurden als Expert:innen Personen definiert, die direkt für relevante politische Maßnahmen oder Strategien verantwortlich waren und/oder aufgrund ihres langjährigen Engagements (z.B. als Mitglied von Bauindustrieverbänden, NGO Mitarbeiter:in, Gebäudemanager:in) einen privilegierten Zugang zu Informationen über den Vergabeprozess und/oder damit zusammenhängende Nachhaltigkeitsaspekte hatten. Geeignete Interviewpartner:innen wurden auf Basis von Internetrecherchen (z.B. Websites relevanter Organisationen) sowie Schneeballverfahren (Befragte empfehlen weitere Gesprächspartner:innen) identifiziert. Insgesamt konnten 17 Interviewpartner:innen aus den Bereichen Bauwirtschaft, NGO & Forschung, Normierungsgremien, Regierung, Bundesimmobiliengesellschaft und Universitäten (Gebäude und Technik) rekrutiert werden.

Die Interviews wurden in den Monaten Juni-September 2020 durchgeführt (bis auf drei alle online), dauerten im Schnitt 50 Minuten und wurden entlang rechtlicher, normativer und kulturell-kognitiver Aspekte strukturiert (wobei unterschiedliche Schwerpunkte entsprechend den jeweiligen Expertisen gesetzt wurden; z.B. wurde ein Experte für Vergaberecht hauptsächlich zu den rechtlichen Rahmenbedingungen befragt). Die Interviews wurden anschließend transkribiert und einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. Mittels letzterer wurden der Ist-Zustand sowie die Barrieren hinsichtlich einer stärkeren Verankerung von Klimaschutz im Vergabeprozess analysiert und konzeptioniert. Zudem wurden widersprüchliche Aussagen identifiziert und in fünf (induktiv gebildete) Kategorien eingeteilt: Normierung, Baustoffe, Beschaffungsprozess, Klimaschutz & Nachhaltigkeit, und klimafreundliches Bauen.

Aus den gesammelten (widersprüchlichen) Aussagen wurden in mehreren Meetings die 35 repräsentativsten Aussagen gewählt und als Basis für eine Q-Studie herangezogen (Tabelle 4). Dieser Mixed-Methods-Ansatz, der erstmals in der frühen psychologischen Forschung verwendet wurde (Stephenson 1953), hat in den letzten zwei Jahrzehnten unter anderem im Bereich der Nachhaltigkeitsforschung an Popularität gewonnen (Webler et al. 2009). Er ermöglicht, intersubjektiv geteilte Perspektiven zu komplexen und sozial umstrittenen Themen zu erforschen, indem eine „umgekehrte“ Faktorenanalyse von (vorselektierten) Aussagen durchgeführt wird, die von Proband:innen nach dem Grad ihrer Zustimmung sortiert wurden (Watts and Stenner 2005). Dies erlaubt es, gemeinsam geteilte Narrative zu identifizieren. Insgesamt wurden 19 Stakeholder:innen gebeten, die ausgewählten Aussagen auf einer Skala zwischen 4 „Stimme eher zu“ und -4 „Stimme eher nicht zu“ zu sortieren (davon waren 13 Stakeholder:innen bereits Teil des Samples der Interviewreihe). Die Sortierungsverfahren fanden in den Monaten November 2020 – Januar 2021 statt,

wurden mithilfe des Softwareprogramms *Q-sortware* durchgeführt und online von Projektmitarbeiter:innen begleitet.

Tabelle 4: Aussagen und Factor Scores (Narrative), nach abnehmendem Konsens geordnet

Nr.	Aussage	Factor Scores		
		1	2	3
14	Gegenwärtige gesetzliche Vorschriften blockieren oft die Umsetzung von innovativen klimafreundlichen Projekten.	-2	-2	-1
4	Überregulierung im Vergabegesetz sollte vermieden werden – Vorgaben für eine klimafreundlichere Beschaffung sollten durch untergesetzliche Ebenen (bspw. durch NABE) gemacht werden.	0	1	0
32	In den gegenwärtigen Zertifizierungssystemen spielen ‚Softfaktoren‘ (z.B. Wohnkomfort, Standorteigenschaften) eine zu große Rolle – dies führt zu einer Verwässerung relevanter Klimaschutzaspekte.	-3	-2	-2
33	Mit den derzeitigen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen hat Österreich einen guten Standard geschaffen.	3	2	2
17	Für eine erfolgreiche Dekarbonisierung des Bausektors fehlen den zentralen Akteuren der Baubranche klare politische/rechtliche Rahmenbedingungen.	-1	-1	0
13	Klimafreundliches Bauen scheitert am fehlenden Knowhow der Akteure*innen.	1	2	1
9	Im Beschaffungsprozess stehen einige wenige Nutzer*innen einem riesigen Apparat entgegenstehen (BIG), der hauptsächlich Kosten und Termineinhaltung im Blick hat.	-2	-1	-2
24	Österreich ist bereits gebaut – wir müssen das, was wir haben, bestmöglich ins 21.Jahrhundert bringen.	-1	1	1
16	Klimaschutz im Bausektor scheitert weniger an den technischen Möglichkeiten, als vielmehr an fehlender fachübergreifender Zusammenarbeit.	1	-1	1
25	Klimafreundlich Bauen bedeutet Flächen zu schonen.	2	4	3
22	Aus Klimaperspektive ist nachhaltig hergestelltes Holz ein ideales Baumaterial.	2	1	2
2	Knowhow und Bewusstsein der Architekten*innen zu klimafreundlichem Bauen ist wichtiger, als bei Wettbewerben konkrete Vorgaben festzulegen.	-1	0	-2
20	Beim Bauen wird es Zielkonflikte zwischen Klimaschutz und anderen Nachhaltigkeitsaspekten geben.	-1	-1	1
11	Man kann beim Bauen nicht retten, was in der Planung falsch gemacht wurde – d.h. Klimaschutzkriterien müssen in den Architektenwettbewerben eine viel größere Rolle spielen.	3	1	2
10	Im Beschaffungsprozess wird noch viel zu wenig auf die zukünftig entstehenden Kosten der Gebäude-bezogenen Treibhausgase geschaut.	0	0	2
12	Eine der größten Barrieren für Klimaschutz sind die trägen Dynamiken im Bausektor – die bestehende Baukultur zu ändern ist nicht leicht.	2	2	-1
26	Je kompakter ein Gebäude, desto klimafreundlicher.	3	1	3
21	Mit der Möglichkeit der Bauteilaktivierung wird Beton in Zukunft eine wichtige Rolle für den Klimaschutz spielen.	-1	-2	1
5	Bereits in der Auslobung (Ausschreibung des Architektenwettbewerbs) sollten konkrete klimafreundliche Designvorgaben definiert werden.	1	0	3
6	Gesetzliche Vorgaben nehmen häufig den Ehrgeiz, besonders aktiv zu werden (da nur noch die Zielerreichung angestrebt wird).	0	-2	-3
27	Beim klimafreundlichen Bauen ist die Wahl der Baumaterialien ein wesentlicher Aspekt.	4	2	4
3	Bei Architekturwettbewerben schon Normen zu klimafreundlichem Bauen festzulegen macht wenig Sinn, da anhand von bloßen Vorentwürfen die Auswertung von Kenndaten sehr schwierig ist.	-3	0	-2
15	Wenn die zentralen Akteure*innen Klimaschutz nicht ernst nehmen, dann wird sich auch mit noch so vielen Leitfäden und gesetzlichen Vorgaben nichts ändern.	1	3	1

30	Die gegenwärtige Normenlandschaft ist sehr unübersichtlich und erschwert klimafreundliches Bauen.	0	0	-3
29	Angesichts des zähen europäischen Normungsprozesses bezüglich grauer Energie, sollte Österreich auf eine nationale Norm setzen.	0	-3	-4
8	Eine Berücksichtigung von Klimaschutz in der Zuschlagsentscheidung würde Flanken für nicht erfolgreiche Bieter*innen bieten und damit das Risiko von nachträglichen Klagen erhöhen.	-2	-4	0
31	Im Hinblick auf Anwendbarkeit muss man bei der Entwicklung von Klimaindikatoren Abstriche bei der Abbildungsgenauigkeit in Kauf nehmen.	2	-3	0
18	Klimaschutz im Baubereich hat mit Leistbarkeit zu tun.	-4	-4	0
19	Klimaschutz ist einer von vielen anderen Nachhaltigkeitsaspekten und sollte keine Vorrangstellung haben.	1	-3	-4
23	Das Thema Mobilität sollte in der Diskussion über klimafreundliches Bauen viel mehr Aufmerksamkeit bekommen.	0	4	-1
1	Die Auslobung (Ausschreibung des Architektenwettbewerbs) sollte, bspw. bezüglich der verwendeten Materialien, möglichst offengehalten werden, damit kreative Lösungen eine Chance haben.	-3	3	-1
28	In Bezug auf Klimaschutz spielt die Senkung des Energieverbrauchs während der Nutzungsphase eine wichtigere Rolle als die Verringerung der grauen Energie (und den damit verbundenen Emissionen).	-2	-1	4
34	Mit dem OI3-Index lässt sich die Leistung eines Gebäudes bezüglich grauer Energie (und der damit verbundenen Emissionen) hinreichend darzustellen.	4	0	-3
7	Momentan fehlt es an Knowhow und klaren Leitlinien, wie man im Beschaffungsprozess Klimaschutz stärker berücksichtigen kann.	-4	3	0

WP 4: Lebenszykluskostenberechnung für öffentliche Gebäude

Systematische Literaturrecherche und Snowball-Ansatz

Die wichtigsten Schritte einer der SLR basieren auf dem PRIMSA-Leitfaden (engl. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al. 2021) und sind im wesentlichen (i) Definition der Forschungsfrage(n), (ii) Definition von Schlüsselwörtern und Suchstrings, (iii) Definition von Einschränkungen (Datenbanken, Suchzeitraum, Sprache, Art der Literatur), (iv) Ausschluss von Artikeln nach Titel, (v) Ausschluss von Artikeln nach Abstract, (vi) Ausschluss von Artikeln nach Volltext und (vii) Analyse von Metadaten. Diese Schritte wurden im Zuge der beiden SLRs (d.h. Umsetzung der Ökobilanz und Lebenszykluskostenberechnung im Gebäudebeschaffungsprozess) angewandt.

Der PRISMA-Leitfaden ist die letzte aktualisierte Version des Leitfadens für die Durchführung und Berichterstattung von SLRs. Der Leitfaden besteht aus 27 Punkten, die in einer Checkliste aufgeführt sind, und konzentriert sich auf die Einleitung, die Methoden, die Ergebnisse und den Diskussionsteil einer SLR (Higgins und Green 2008; Page et al. 2021). Zusätzlich wurde auch der Snowball-Ansatz herangezogen. Der Snowball-Ansatz kann in „Forward Snowballing“ und „Backward Snowballing“ unterteilt werden. Beim „Forward Snowballing“ wurden neue Arbeiten identifiziert, welche in bereits untersuchten Artikel referenziert wurden. Beim „Backward Snowballing“ wurden die Referenzen der Referenzen der endgültigen Stichprobe untersucht und somit weitere relevante Artikel in die endgültige Stichprobe aufgenommen (Wohlin 2014).

Ausführliche Informationen zu Suchwörtern, Suchkombinationen, verwendeten Datenbanken sowie zu methodischen Einschränkungen der durchgeführten SLRs finden sich in (Scherz et al. 2022; Hopf et al. 2022).

Ökobilanzierung von Gebäuden

Der Lebenszyklus der Gebäudeszenarien wurde gemäß der europäischen Norm EN-15978 (CEN/TC 350 2011) und dem Normentwurf von 2021 analysiert (Austrian Standards 2012, 2021). Diese Norm unterteilt die Umweltauswirkungen nach den Lebenszyklusphasen eines Gebäudes: Herstellungsphase (A1-A3), Errichtungsphase (A4-A5), Nutzungsphase (B1-B6), Entsorgungsphase (C1-C4) und Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze (D).

Die Ökobilanz umfasste sowohl die betrieblichen als auch die grauen Emissionen. Die Systemgrenze beschränkte sich auf die Lebenszyklusphasen der Herstellungsphase (A1-A3), der Errichtungsphase (A4-A5), des Austauschs (B4), des Energieverbrauchs im Betrieb (B6), des Abrisses (C1), des Transports (C2), der Abfallbehandlung (C3) und der Beseitigung (C4). Die Auswirkungen der Herstellungsphase (A1-A3) und der betrachteten Module der Entsorgungsphase (C3, C4) beruhten auf den in den Leistungsverzeichnissen beschriebenen Materialmengen. Die Umweltauswirkungen der Module A5 und C1 wurden mit einem Anteil von 5 % bzw. 2 % der Auswirkungen der Produktionsphase (A1-A3) angesetzt (Hoxha et al. 2016; Lützkendorf et al. 2014). Die Vereinfachung bei der Bewertung der Umweltauswirkungen dieser Stufen ist darauf zurückzuführen, dass keine Daten zu den Bau- und Abbruchprozessen vorliegen, die für jeden Konstruktionstyp (Ziegel, Beton, Holzrahmenkonstruktion und Massivholzkonstruktion) definiert sind. Der Austausch von Gebäudekomponenten und -materialien während des Bezugsstudienzeitraums (B4) wurde auf der Grundlage von Nutzungsdauerkatalogen für Gebäudekomponenten (Landesverband Steiermark und Kärnten 2020) definiert. Die Auswirkungen der Betriebsphase (B6) für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser, Beleuchtung und Geräte wurden gemäß den österreichischen Anforderungen für Energieausweise für Gebäude (Österreichisches Institut für Bautechnik 2015) und dem österreichischen Strommix berechnet. Die Schweizer ecoinvent-Datenbank (Wernet et al. 2016) wurde für die Berechnung des Umweltindikators Treibhauspotenzial (GWP) verwendet. Unter Berücksichtigung des Systemmodells "Allocation, recycled content", das auch als "Cut-off-Ansatz" bezeichnet wird, wurde der GWP-Indikator nach der IPCC-Impact-Assessment-Methode (IPCC 2013) berechnet. Die Berechnung der Umweltauswirkungen aller Gebäudeszenarien erfolgte mit der Ökobilanz-Software SimaPro (Pré Consultants 2018). Die Umweltauswirkungen wurden auf der Basis der definierten funktionalen Einheit (Quadratmeter Nettogrundfläche (NGF) über den definierten Bezugsstudienzeitraum) bewertet.

Detaillierte Informationen zur Methode sowie die vollständige Suchbilanz befindet sich in den zusätzlichen Dokumenten in (Scherz et al. 2023a).

Lebenszykluskostenberechnung von Gebäuden

Der Rahmen für die Bewertung der ökonomischen Gebäudeperformance ist auf europäischer Ebene in der EN 16627:2015 (CEN/ TC 350 2015) festgelegt. Die Lebenszykluskostenberechnung berücksichtigt Kostenkomponenten wie Errichtungskosten (z.B. Honorare, Zeitarbeit, Bau der Anlage), Betriebskosten (z.B. Miete, zyklische regulatorische Kosten, Versorgungsleistungen), Instandhaltungskosten (z.B. Wartungen, Reparaturen und Ersatz kleinerer Komponenten, Ersatz größerer Systeme und Komponenten, Reinigung) und Kosten am Ende der Lebensdauer (z.B. Entsorgungsinspektionen, Entsorgung und Abriss).

In dieser Studie wurde die Kapitalwertmethode (engl. Net present value, NPV) angewandt, um die ökonomische Performance der 37 Gebäudeszenarien zu berechnen und zu vergleichen (Schulte et al. 2015; Nwogugu 2016). Basierend auf den Leistungsverzeichnissen wurden die Errichtungskosten gemäß ÖNORM B 1801-1 und ÖNORM B 1801-2 berechnet (Austrian Standards International (ASI) 2014a, b) (Austrian Standard Institute 2009, Austrian Standard Institute 2011a).

Um die Vergleichbarkeit zwischen Errichtungskosten und grauen Emissionen der Ökobilanz zu gewährleisten, wurden die Kosten für den Ersatz von Bauteilen als Teil der Instandhaltungskosten zu den Errichtungskosten addiert. Die Kosten für den Ersatz von Bauteilen basierten ebenfalls auf Nutzungsdauerkatalogen für Gebäudekomponenten (Landesverband Steiermark und Kärnten 2020). Die Betriebskosten basierten auf dem definierten Strompreis (0,17 €/kWh), dem definierten Pelletspreis (0,25 €/ kg) und dem unterschiedlichen Wärmebedarf der verschiedenen Energiestandards (Eurostat 2020; proPellets Austria 2020). Weitere Berechnungsparameter für die dynamische Lebenszykluskostenberechnung (Diskontierungszinssatz = 5,5 %, Inflationsrate = 2,0 %, Preissteigerungsrate (Energie) = 4,0 % und Preissteigerungsrate (Baudienstleistungen) = 2,0 %) basierten auf dem Gebäudezertifizierungssystem der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft. Für eine detailliertere Analyse wurde nicht die durchschnittliche Inflationsrate für alle Güter und Dienstleistungen verwendet. In der Lebenszykluskostenberechnung wurde die End-of-Life-Phase nicht berücksichtigt. Obwohl die End-of-Life-Kosten nicht berücksichtigt wurden, wird aufgrund des sehr geringen Kostenunterschieds zwischen den Rückbau- und Recyclingmethoden der verschiedenen Bauweisen keine Veränderung der Ergebnisse erwartet. Darüber hinaus werden die End-of-Life-Kosten im Vergleich zu den Errichtungs- und Betriebskosten durch die Diskontierung über den Bezugsstudienzeitraum vernachlässigbar.

Detaillierte Informationen zur Methode sowie das vollständige Dateninventar befindet sich in den zusätzlichen Dokumenten in (Scherz et al. 2023a).

CO₂-Preiskorridor für den öffentlichen Beschaffungsprozess für österreichische Gebäude

Der vorgeschlagene CO₂-Preiskorridor für das öffentliche Beschaffungswesen spiegelt die zusätzlichen Vermeidungsbemühungen in Form eines CO₂-Preises wider, um die Lücke zwischen den derzeitigen und den Paris-kompatiblen Vermeidungsbemühungen

auf nationaler und globaler Ebene zu schließen. In Abbildung 12 werden mehrere Überlegungen und Bezugspunkte geprüft, die zu dem Vorschlag eines CO₂-Preiskorridors von 100 bis 200 €/tCO₂ für das Jahr 2022 und einer Überwachung der politischen Anstrengungen in den folgenden Jahren führen.

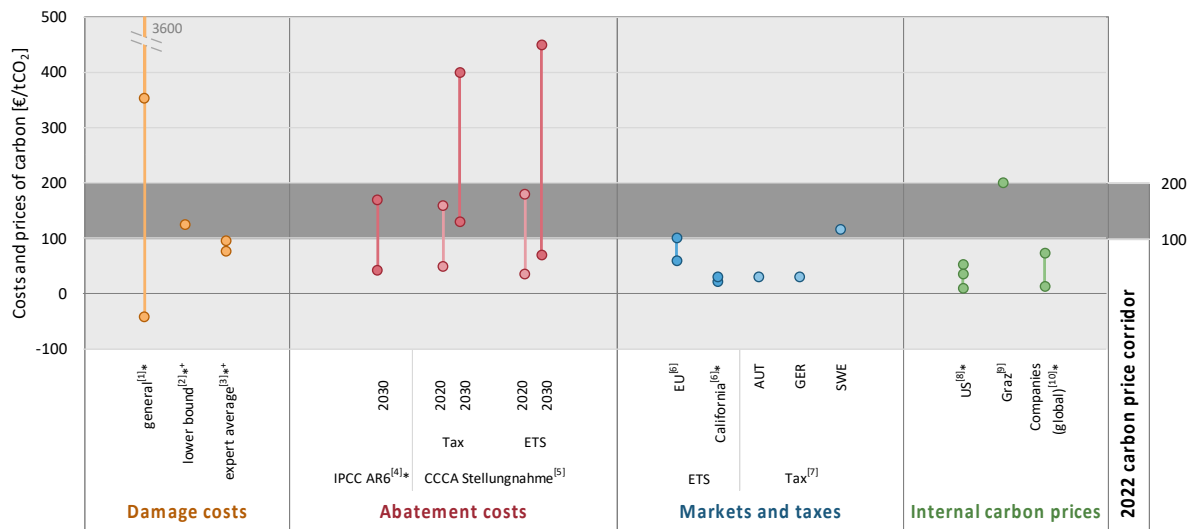


Abbildung 12: CO₂-Kosten und -Preise aus verschiedenen Quellen, wie z.B. Schadenskosten, Vermeidungskosten, bestehende Märkte und Steuern, öffentliche und private interne Berechnungen, sowie ein Vorschlag für einen Kohlenstoffpreiskorridor für die öffentliche Beschaffung von Gebäuden in Österreich für das Jahr 2022

- [1] (Ricke et al. 2018b)
- [2] (van den Bergh and Botzen 2014)
- [3] (Pindyck 2019)
- [4] (IPCC 2022)
- [5] (CCCA 2020)
- [6] ETS price range Jan-Apr 2022
- [7] in place or planned by end of 2022
- [8] (IAWG 2013)
- [9] (Stadt Graz 2022)
- [10] (World Bank 2021)

WP 5: Prozessmodell für das öffentliche Auftragswesen

Das Prozessmodell, das für die Vergabe nach dem günstigsten Preis unter Berücksichtigung der THG-Emissionen von Gebäuden (Paris-kompatible Vergabe) entwickelt wurde, wird als THG-Emissions-Bonus-/Malus-System bezeichnet. Das Modell kombiniert die Methoden der Kostenberechnung im Rahmen der Angebots-erstellung, d.h. Errichtungskosten oder Lebenszykluskostenberechnung, interner CO₂-Preisinstrumente, d.h. Schattenpreise und einem ergebnisorientierten Klimafinanzierungsansatz, und die Methode der Ökobilanz.

Für die Schattenpreise sowie für den CO₂-Preis des ergebnisorientierten Klimafinanzierungsansatzes wurde eine Bandbreite von 50 bis 400 €/tCO₂ festgelegt. Im Zuge der Analyse der "Environmental Break-Even Points" wurden diese CO₂-Preise schrittweise in 1€-Schritte variiert und analysiert. Grundsätzlich liegen dem entwickelten Prozessmodell folgende vier Formeln zu Grunde:

$$1. \text{ Bid price}_{eCC,n} [\text{€}] = \text{Bid price}_{,n} [\text{€}] + \text{External cost}_{,n} [\text{€}]$$

mit:

$$2. \text{ External cost}_{,n} [\text{€}] = \text{GWP}_{,n} [\text{t CO}_2\text{eq/m}^2_{\text{NFA a}}] \times \text{shadow price} [\text{€/tCO}_2\text{eq}]$$

und

$$3. \text{ Bid price}_{PCC,n} [\text{€}] = \text{Bid price}_{eCC,n} [\text{€}] + \text{GHG emissions}_{\text{BONUS/MALUS}} [\text{€}]$$

mit:

$$4. \text{ GHG emissions}_{\text{BONUS/MALUS}} [\text{€}] = (\text{GWP}_{,n} [\text{t CO}_2\text{eq}] - \frac{\sum_1^n \text{GWP}_{\text{BIDDER}}}{n}) \times \text{RBCF}_{\text{carbon price}} [\text{€/tCO}_2\text{eq}]$$

In Abbildung 13 wird das Berechnungsverfahren für den THG-Emissions-Bonus/Malus dargestellt (vgl. Formel 4).

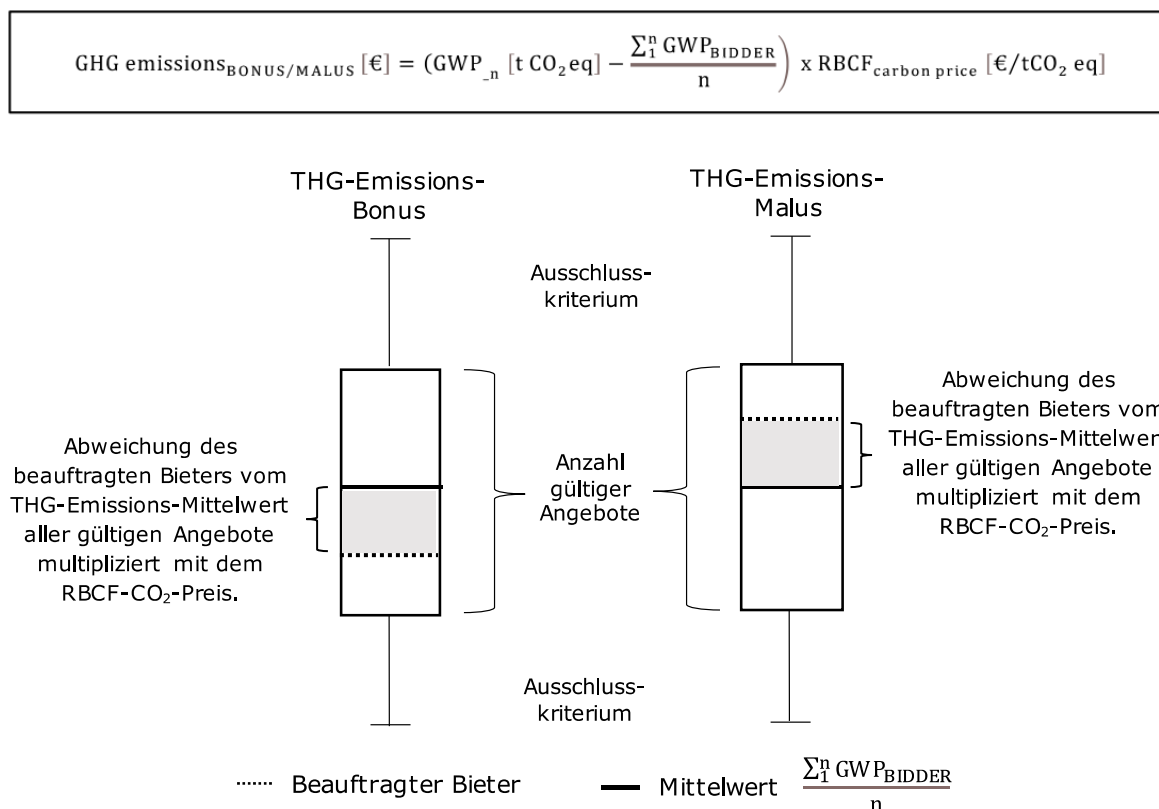


Abbildung 13: Berechnungsverfahren für den THG-Emissions-Bonus/Malus

Detaillierte Informationen zur Methode sowie eine umfassende Beschreibung der Anwendung des Prozessmodells befinden sich in (Scherz et al. 2023b, c).

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Die im Rahmen des Projektes entstandenen wissenschaftlichen Publikationen und sonstige Disseminierungsaktivitäten wie z.B. Stakeholder Workshops sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Disseminierungsaktivitäten

Projekt-Workshops	Scientific Advisory Board Workshop , 18.09.2020, 08:00 - 10:30 (online) Participating SAB members: Karen Allacker, Guillaume Habert, Rebeka Kovačič Lukman, Thomas Lützkendorf, Eva Schulev-Steindl, Zsuzsa Szalay
	Stakeholder Workshop , 18.09.2020, 13:00 - 16:00 (online) The workshop was conducted with 5 key stakeholders from industry, the procurement sector and academia. Preliminary results were presented and key issues were discussed.
	Scientific Advisory Board Workshop , 21.09.2021, 08:00 - 10:30 (online) Participating SAB members: Karen Allacker, Guillaume Habert, Rolf Frischknecht, Thomas Lützkendorf, Zsuzsa Szalay
	Scientific Advisory Board Workshop , 18.10.2022, 09:00 - 11:30 (online) Participating SAB members: Guillaume Habert, Rolf Frischknecht, Thomas Lützkendorf, Zsuzsa Szalay
	Stakeholder Workshop , 20.03.2023, Graz The workshop was conducted with 19 stakeholders in order to discuss the final results of the project and obtain additional insights into existing barriers for considering climate aspects in the procurement of public buildings. After presenting the project results, interactive sessions were organized in which the stakeholders were given the opportunity to share their perspectives and give policy advice.
Interviews	Between April and September 2020, 17 experts and key stakeholders were interviewed. While the interviews were primarily held to collect data, they also facilitated an exchange of knowledge (some of the interviewees attended the workshop; in addition, all of them will receive a summary of the analysis results and will be invited for the final workshop at the end of the project).
Journal-Publikationen	Steininger, K. W., Meyer, L., Nabernegg, S., Kirchengast, G. (2020). Sectoral carbon budgets as an evaluation framework for the built environment. <i>Buildings and Cities</i> 1(1), 337-360. https://doi.org/10.5334/bc.32
	Hoxha, E., Maierhofer, D., Saade, M. R. M., & Passer, A. (2021). Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building. <i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i> , 26(5), 852-863. https://doi.org/10.1007/s11367-021-01919-9
	Scherz, M., Wieser, A. A., Passer, A., & Kreiner, H. (2022). Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) in the Procurement Process of Buildings: A Systematic Literature Review. <i>Sustainability</i> , 14(24), 16967. https://doi.org/10.3390/su142416967

	<p>Scherz, M., Hoxha, E., Maierhofer, D., Kreiner, H., & Passer, A. (2023). Strategies to improve building environmental and economic performance: an exploratory study on 37 residential building scenarios. <i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i>, 28(7), 828–842. https://doi.org/10.1007/s11367-022-02073-6</p> <p>Alaux, N., Saade, M. R. M., Hoxha, E., Truger, B., & Passer, A. (2023). Future trends in materials manufacturing for low carbon building stocks: A prospective macro-scale analysis at the provincial level. <i>Journal of Cleaner Production</i>. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135278</p> <p>Scherz, M., Kreiner, H., & Passer, A. (2023). Sustainable procurement for carbon neutrality of buildings: A Life Cycle Assessment (LCA)-based bonus/malus system to consider external cost in the bid price. <i>Developments in the Built Environment</i>, 14, 100161. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100161</p> <p>Scherz, M., Kreiner, H., Alaux, N., & Passer, A. (2023). Transition of the procurement process to Paris-compatible buildings: consideration of environmental life cycle costing in tendering and awarding. <i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i>, 28(7), 843–861. https://doi.org/10.1007/s11367-023-02153-1</p>
<p>Konferenzbeiträge (peer-reviewed)</p>	<p>Hoxha, E., Röck, M., Truger, B., Steininger, K., & Passer, A. (2020). Austrian GHG emission targets for new buildings and major renovations: an exploratory study. <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>, 588, 032052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032052</p> <p>Alaux, N., Hoxha, E., Saade, M. R. M., & Passer, A. (2021). Embodied greenhouse gas emissions reduction for structural elements in office buildings. <i>Journal of Physics: Conference Series</i>, 2042(1), [012165]. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2042/1/012165</p> <p>Truger, B., Nabernegg, S., Lackner, T., Röck, M., Alaux, N., Hoxha, E., Saade, M. R. M., & Passer, A. (2022). Life cycle GHG emissions of the Austrian building stock: A combined bottom-up and top-down approach. <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>, 1078(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012024</p> <p>Alaux, N., Truger, B., Hoxha, E., Saade, M. R. M., & Passer, A. (2022). Greenhouse gas reduction strategies for building materials: A reality check with the climate targets. <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>, 1078(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012050</p> <p>Accepted: N Alaux, T Lackner, S Nabernegg, B Truger, M Röck, K W Steininger, A Passer (2023). Carbon budget for national building stock life-cycle emissions: a novel approach. <i>CISBAT 2023</i></p> <p>Accepted: N Alaux, B Truger, T Lackner, S Nabernegg, M Röck, K W Steininger, A Passer (2023). Public buildings: Life-cycle GHG emission scenarios and reduction trajectories by 2050. <i>CISBAT 2023</i></p>

Präsentationen	Kriechbaum, M.; Getzinger G. (2021): Transitioning towards a sustainable building sector in Austria - Institutional barriers for a low carbon procurement of public buildings. 12th International Sustainability Transitions Conference, Karlsruhe, 5-8 October
	Teresa Lackner, Stefan Nabernegg, Barbara Truger, Karl W. Steininger, Alexander Passer, Martin Röck (2021). Towards a climate-neutral buildings stock - GHG emissions of Austrian buildings. 13. Input-Output Workshop GWS, Hochschule Bochum, Universität Bremen. March 2021.
Poster	Passer, A., Steininger, K., Getzinger, G., Kreiner, H., Kriechbaum, M.1, Lackner, T., Nabernegg, S., Perl-Vorbach, E., Röck, M., Scherz, M., Truger, B. (2021) ParisBuildings. Österreichischer Klimatag 2020/21
	Truger, B, Lackner, T, Nabernegg, S, Alaux, N, Steininger, K, Passer, A (2023) Emissionsszenarien der öffentlichen Gebäude bis 2050. Österreichischer Klimatag 2023
Masterarbeit	Alaux, Nicolas (2020): Embodied greenhouse gas emissions reduction potentials for structural elements in multi-storey office buildings. A study based on the most promising strategies identified in the literature. (Master thesis, Mines ParisTech and TU Graz)
Masterprojekt	Hopf, B. (2022). Integration von Lebenszykluskostenberechnungen in Ausschreibung und Vergabe von Gebäuden / Implementation of life cycle costing in the tendering and awarding of buildings. Master Project at the Graz University of Technology under the supervision of Helmuth Kreiner and Marco Scherz, completed in September 2022; (language: German).
Dissertation	Marco Scherz: Life cycle assessment-based procurement of buildings using the systemic know-why planning process. Submitted in October 2023
	Stefan Nabernegg: Production- and consumption-side perspectives on greenhouse gas mitigation policies: Economic model applications to policy evaluation and emission accounting. Completed in September 2022

D) Referenzen

- Alaux N, Hoxha E, Saade MRM, Passer A (2021) Embodied greenhouse gas emissions reduction for structural elements in office buildings. *J Phys Conf Ser* 2042:012165. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2042/1/012165>
- Alaux N, Lackner T, Nabernegg S, et al (2023a) Carbon budget for national building stock life-cycle emissions: a novel approach. *IOP Journal of Physics: Conference Series*
- Alaux N, Truger B, Hoxha E, et al (2022) Greenhouse gas reduction strategies for building materials: A reality check with the climate targets. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics
- Alaux N, Truger B, Lackner T, et al (2023b) Public buildings: Life-cycle GHG emission scenarios and reduction trajectories by 2050. *IOP Journal of Physics: Conference Series*
- Alig M, Frischknecht R, Krebs L, et al (2021) LCA of climate friendly construction materials Final report v2.0
- Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich (2023) Klimaneutrale Universitäten & Hochschulen: ClimCalc Tool. <https://nachhaltigeuniversitaeten.at/arbeitsgruppen/co2-neutrale-universitaeten/>. Accessed 17 Oct 2023
- Austrian Standards (2012) ÖNORM EN 15978. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode
- Austrian Standards (2020) ON EN 15804 2020-02. Nachhaltigkeit von Bauwerken — Umweltproduktdeklarationen — Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- Austrian Standards (2021) ÖNORM EN 15978-1. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden - Teil 1: Umweltqualität. Normentwurf
- Austrian Standards International (ASI) (2014a) ÖNORM B 1801-1:2014-09-01, Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung
- Austrian Standards International (ASI) (2014b) ÖNORM B 1801-2:2014-09-01, Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten
- Azari R, Abbasabadi N (2018) Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends. *Energy Build* 168:225–235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.003>
- BGBl. I Nr. 106/2011 (2022) Gesamte Rechtsvorschrift für Klimaschutzgesetz, Fassung vom 28.02.2022
- Bundeskanzleramt (BKA) (2010) Nationaler Aktionsplan zur Förderung einer nachhaltigen öffentlichen Beschaffung. Vortrag an den Ministerrat BK GZ 600.883/0021-V/8/2010.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) (2021) Klimaneutrale Verwaltung und Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen öffentlichen Beschaffung. Vortrag an den Ministerrat 65/14.
- CCCA (2020) Stellungnahme von Expertinnen und Experten des CCCA zum Factsheet „Kostenwahrheit CO₂“ des BMK. (Kernteam: Graßl, H., Kirchner, M., Kromp-Kolb, H., Stagl, S., Steininger, K.; Mitwirkende: Getzner, M., Kettner-Marx, C., Kirchengast, G., Köppl, A., Meyer, I., Sommer, M., Uhl-Hädicke, I.)
- Crowe S, Cresswell K, Robertson A, et al (2011) The case study approach. *BMC Med Res Methodol* 11:100. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100>
- European Parliament, Council of the European Union (2010) Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)
- Eurostat (2020) Energiepreise im Jahr 2019. Pressemitteilung. url: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10826611/8-07052020-AP-DE.pdf>
- Habert G, Röck M, Steininger K, et al (2020) Carbon budgets for buildings: harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions. *Buildings and Cities* 1:429–452. <https://doi.org/10.5334/bc.47>

- Higgins JP, Green S (eds) (2008) *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Wiley
- Hopf B (2022) *Integration von Lebenszykluskostenberechnungen in Ausschreibung und Vergabe von Gebäuden / Implementation of life cycle costing in the tendering and awarding of buildings*. Master Project at the Graz University of Technology under the supervision of Helmuth Kreiner and Marco Scherz, completed in September 2022; (language: German)
- Hoxha E, Maierhofer D, Saade MRM, Passer A (2021) Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building. *Int J Life Cycle Assess* 26:852–863. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01919-9>
- IAWG (2013) *Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis*. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon.U.S. Government.
- IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2018) *Passivhaus-Bauteilkatalog: Sanierung. Ökologisch bewertete Konstruktionen*
- International Organization for Standardization I (2017) *ISO 15686 Life-cycle costing: Buildings and constructed assets*.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2022) *Chapter 3: Mitigation Pathways Compatible with Long-Term Goals*. In *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (IPCC)*.
- Kirchengast G, Kromp-Kolb H, Steininger K, et al (2019) *Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP) - Executive Summary*
- Loga T, Stein B, Diefenbach N (2016) *TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable*. *Energy Build* 132:4–12. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.06.094>
- Lubitz-Prohaska B, Schrattecker I, Trebut F, Braitto M (2020) *klimaaktiv Kriterienkatalog für Wohnbauten Neubau und Sanierung 2020*
- Lützkendorf T (2020) *The role of carbon metrics in supporting built-environment professionals*. *Buildings and Cities* 1:676–686. <https://doi.org/10.5334/bc.73>
- Mattauch L, Creutzig F, Aus Dem Moore N, et al (2019) *Antworten auf zentrale Fragen zur Einführung von CO₂-Preisen Gestaltungsoptionen und ihre Auswirkungen für den schnellen Übergang in die klimafreundliche Gesellschaft*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3371150>
- naBe (2021) *Aktionsplan & Kernkriterien für die Beschaffung nachhaltiger Produkte und Leistungen*
- Nwogugu MCI (2016) *Anomalies in Net Present Value, Returns and Polynomials, and Regret Theory in Decision-Making*. Palgrave Macmillan UK, London
- Österreichisches Institut für Bautechnik (2023) *OIB-Richtlinien*. <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2023>. Accessed 17 Oct 2023
- Österreichisches Institut für Bautechnik (2019) *OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz*.
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al (2021) *The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews*. *J Clin Epidemiol* 134:178–189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Passer A (2016) *Zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit im Bauwesen: unter besonderer Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauprodukten und Gebäuden*. Habilitation, Graz University of Technology (90000)
- Passer A, Kreiner H, Scherz M, et al (2023) *Handlungsempfehlungen für Entscheidungstragende in der öffentlichen Gebäudebeschaffung am Weg zur Klimaneutralität*

- Pindyck RS (2019) The social cost of carbon revisited. *J Environ Econ Manage* 94:140–160. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.02.003>
- Pré Consultants (2018) SimaPro Database 8.4
- proPellets Austria (2020) Pelletspreise. <https://www.propellets.at/aktuelle-pelletpreise>
- Ricke K, Drouet L, Caldeira K, Tavoni M (2018a) Country-level social cost of carbon. *Nat Clim Chang* 8:895–900. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y>
- Ricke K, Drouet L, Caldeira K, Tavoni M (2018b) Country-level social cost of carbon. *Nat Clim Chang* 8:895–900. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y>
- Röck M, Saade MRM, Balouktsi M, et al (2020) Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Appl Energy* 258:114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Röck M, Sørensen A, Balouktsi M, et al (2023) Global Database on Embodied Whole Life Carbon, Energy and Material Intensity of Buildings (CarbEnMats-Buildings-DB)
- Rockström J, Gaffney O, Rogelj J, et al (2017) A roadmap for rapid decarbonization. *Science* (1979) 355:1269–1271. <https://doi.org/10.1126/science.aah3443>
- Scherz M, Hoxha E, Maierhofer D, et al (2023a) Strategies to improve building environmental and economic performance: an exploratory study on 37 residential building scenarios. *Int J Life Cycle Assess* 28:828–842. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02073-6>
- Scherz M, Kreiner H, Alaux N, Passer A (2023b) Transition of the procurement process to Paris-compatible buildings: consideration of environmental life cycle costing in tendering and awarding. *Int J Life Cycle Assess* 28:843–861. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02153-1>
- Scherz M, Kreiner H, Passer A (2023c) Sustainable procurement for carbon neutrality of buildings: A Life Cycle Assessment (LCA)-based bonus/malus system to consider external cost in the bid price. *Developments in the Built Environment* 14:100161. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100161>
- Scherz M, Kreiner H, Passer A (2023d) Leitfaden für die nachhaltige Beschaffung von öffentlichen Gebäuden - Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus Systems
- Scherz M, Maierhofer D, Passer A, Kreiner H (2022a) Development of sustainable building standards: Next steps towards climate-friendly buildings in the City of Graz. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 1078:012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012051>
- Scherz M, Wieser AA, Passer A, Kreiner H (2022b) Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) in the Procurement Process of Buildings: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 14:16967. <https://doi.org/10.3390/su142416967>
- Schnitzer H, Streicher W, Steining K (2014) Produktion und Gebäude. In: *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, pp 979–1024
- Schulte K-W, Bone-Winkel S, Schäfers W (2015) *Immobilienökonomie Band 1: Betriebswirtschaftliche Grundlagen*, 5. Auflage. Oldenbourg, München
- Sölkner P, Oberhuber A, Spaun S, et al (2014) Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus. Vienna
- Stadt Graz (2022) Klimaschutzplan Graz Teil 1 – Eröffnungsbilanz.
- Statistics Austria (2021) STATcube – Statistische Datenbank von STATISTIK AUSTRIA. Registerzählung 2011 - GWZ: Gebäude (Q SW)
- Statistics Austria (2022) Nutzenergieanalyse. <https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse>. Accessed 21 Dec 2022
- Steining K, Meyer L, Nabernegg S, Kirchengast G (2020) Sectoral carbon budgets as an evaluation framework for the built environment. *Buildings and Cities* 1:337–360. <https://doi.org/10.5334/bc.32>
- Stephenson W (1953) *The Study of Behaviour: Q Technique and its Methodology*. University of Chicago Press
- Umweltbundesamt (2022) Klimaschutzbericht 2022. Wien

- UNEP (2021) Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi
- van den Bergh JCJM, Botzen WJW (2014) A lower bound to the social cost of CO2 emissions. *Nat Clim Chang* 4:253–258. <https://doi.org/10.1038/nclimate2135>
- Watts S, Stenner P (2005) Doing Q methodology: theory, method and interpretation. *Qual Res Psychol* 2:67–91. <https://doi.org/10.1191/1478088705qp022oa>
- Webler T, Danielson S, Tuler S (2009) Using Q Method to Reveal Social Perspectives in Environmental Research
- Wernet G, Bauer C, Steubing B, et al (2016) The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int J Life Cycle Assess* 21:1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
- Wohlin C (2014) Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. ACM, New York, NY, USA, pp 1–10
- World Bank (2021) State and Trends of Carbon Pricing 2021. The World Bank

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.

Anhang A: Handlungsempfehlungen für Entscheidungstragende in der öffentlichen Gebäudebeschaffung am Weg zur Klimaneutralität

Passer, A., Kreiner, H., Scherz, M., Truger, B., Kriechbaum, M., Getzinger, G., Nabernegg, S., Steininger, K. (2023) Handlungsempfehlungen für Entscheidungstragende in der öffentlichen Gebäudebeschaffung am Weg zur Klimaneutralität

Anhang B: Leitfaden für die nachhaltige Beschaffung von öffentlichen Gebäuden – Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus Systems

Scherz, M., Kreiner, H., Passer, A. (2023) Leitfaden für die nachhaltige Beschaffung von öffentlichen Gebäuden – Anwendung des THG-Emissions-Bonus/Malus Systems.