

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Fakultät für Chemie und Geowissenschaften
Geographisches Institut

Ökologische Wirkungen suffizienter Wohnpraktiken am Beispiel des Wohnflächenverbrauchs

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
„Master of Science“ (M.Sc.)

Vorgelegt am 27.07.2022
von

Félix Girault
Hauptstraße 135, 69117 Heidelberg
felixgirault@posteo.net
Matrikelnummer: 3361209

Erstgutachterin: Prof. Dr. Ulrike Gerhard
Zweitgutachter: Dr. Lars-Arvid Brischke

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Ausführungen, die anderen veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, habe ich kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Fassung noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

This paper was not previously presented to another examination board and has not been published.

.....

date

.....

signature

Kurzfassung

Die eigene Pro-Kopf-Wohnfläche lässt sich über viele Wege und in verschiedener Ausprägung reduzieren. Diese Wege werden hier als Suffizienzmaßnahmen definiert, die jeweils unterschiedliche (meist positive) ökologische Auswirkungen mit sich bringen. In dieser Arbeit wurde ein Instrument entwickelt, um diese Suffizienzmaßnahmen anhand von drei Indikatoren – Treibhauspotential, Flächeninanspruchnahme der Baustoffe und Bodenversiegelung durch Bebauung – ökologisch zu evaluieren. Über diese Umweltindikatoren sollen die Effekte suffizienter Wohnpraktiken am Beispiel des Wohnflächenverbrauchs auf verschiedene planetare Grenzen verdeutlicht werden.

Abstract

The reduction of living space per person can be achieved through different means and to varying degrees. These paths are defined here as sufficiency measures, each of which entails different (often positive) ecological effects. In this work, an instrument was developed to evaluate the ecological impact of these sufficiency measures based on three indicators: global warming potential, indirect land use related to building materials, as well as soil sealing due to the building itself. These environmental indicators are used to illustrate the effects of sufficiency housing practices (here with a focus on the reduction of living space per capita) on various planetary boundaries.

Résumé

La réduction de la surface habitable par personne peut s'opérer à travers différents moyens et à des degrés divers. Ces stratégies sont des mesures de sobriété par excellence, présentant toutes des effets écologiques (souvents positifs) différents. Dans le cadre de ce travail, un instrument a été développé pour évaluer ces mesures de sobriété sur le plan écologique à l'aide de trois indicateurs: le potentiel de réchauffement global, l'occupation des sols indirecte liés aux matériaux de construction, ainsi que l'imperméabilisation des sols dû au bâti. L'utilisation de ces indicateurs environnementaux permet ainsi d'illustrer les effets des pratiques de logement sobres – ici une faible surface habitable – sur les différentes limites planétaires.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	3
Abstract.....	3
Résumé.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1. Einleitung.....	8
2. Forschungsgegenstand.....	11
2.1. Fragestellung und Forschungsrahmen.....	11
2.2. Zielsetzung.....	12
2.3. Aufbau der Arbeit.....	13
3. Forschungsgrundlagen.....	14
3.1. Begriffsklärung.....	14
3.1.1. Suffizienz.....	14
3.1.2. Wohnfläche.....	16
3.1.3. Ökobilanz.....	17
3.2. Forschungsstand.....	18
3.2.1. Suffizienz im stadtgeographischen Diskurs und in der Stadtplanung.....	18
3.2.2. Ökologische Bewertungen von Wohnflächeneinsparung.....	21
4. Methodische Vorgehensweise: Erarbeitung eines Rechentools.....	26
4.1. Identifikation der Suffizienzmaßnahmen.....	26
4.2. Identifikation der ökologischen Indikatoren.....	32
4.3. Abfragen der Suffizienzmaßnahmen.....	34
4.4. Ökologische Bewertung der Suffizienzmaßnahmen: Treibhauspotential.....	36
4.4.1. Emissionen im Betrieb.....	37
4.4.2. Graue Emissionen.....	38
4.5. Ökologische Bewertung der Suffizienzmaßnahmen: Flächenrucksack der Baustoffen.....	50
4.6. Ökologische Bewertung der Suffizienzmaßnahmen: Bodenversiegelung.....	52
5. Ergebnisse.....	54
5.1. Indikatoren.....	54
5.1.1. Treibhauspotential.....	54
5.1.2. Flächenrucksack der Baustoffen.....	56
5.1.3. Bodenversiegelung.....	58

5.2. Suffizienzmaßnahmen.....	59
5.2.1. Beispielszenario „EFH-to-EFH“	59
5.2.2. Beispielszenario „Aufstockung EFH“	64
5.2.3. Beispielszenario „Single-to-Cluster“.....	67
6. Diskussion.....	72
6.1. Bewertung der Ergebnisse.....	72
6.2. Plausibilitätsprüfung der Indikatorwerte.....	74
6.2.1. Graue Emissionen.....	74
6.2.2. Bodenversiegelung.....	77
6.3. Annahmen, Limitationen und Forschungsdesiderata.....	79
6.3.1. Allgemeine Annahmen und Limitationen.....	79
6.3.2. Materialbilanzen.....	82
6.3.3. Treibhauspotential.....	82
6.3.4. Flächenrucksack.....	84
6.3.5. Bodenversiegelung.....	84
7. Fazit.....	86
8. Ausblick.....	87
Literaturverzeichnis.....	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Raumwärmebedarf pro Kopf in Deutschland. Vergleich mit dem Raumwärmebedarf pro Quadratmeter sowie mit der Wohnfläche pro Kopf (Wuppertal Institut, 2015).....	9
Abbildung 2: Hemmnisse und Chancen der persönlichen Wohnflächenreduktion (In Anlehnung an Kenkmann et al., 2019, S.16).....	19
Abbildung 3: Identifizierte Suffizienzmaßnahmen, Auszug aus dem Rechner (eigene Darstellung).....	27
Abbildung 4: Beispielgrundriss einer Clusterwohnung (In Anlehnung an Urban Coop Berlin, 2016, © Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk1, Zürich).....	31
Abbildung 5: Aufstockung eines Einfamilienhauses mit Holz (Besser mit Holz, 2022, © Lappi & Lappi Holzbau).....	32
Abbildung 6: Anteil der grauen Emissionen an den gesamten Emissionen von Neubauten (DENA, 2021, S.64).....	36
Abbildung 7: Benutzer-Oberfläche des Webtools TABULA (IWU, 2022).....	38
Abbildung 8: Workflow zur Berechnung der ausgestoßenen und eingesparten grauen Emissionen der jeweiligen Suffizienzmaßnahmen (eigene Darstellung).....	40
Abbildung 9: Vergleich der THG-Emissionen im Betrieb für Einfamilienhäuser je Gebäudealter und Sanierungsstand/ Energiestandard, pro Quadratmeter Wohnraum (eigene Darstellung, nach TABULA-Webtool und Mahler et al. 2019).....	54

Abbildung 10: Vergleich der grauen Emissionswerte für ausgewählte Baumaßnahmen je m ² Wohnraum (eigene Darstellung).....	55
Abbildung 11: Vergleich der jährlichen Flächenbelegungswerte der Baustoffen für ausgewählte Baumaßnahmen, in Naturfernepotential, je m ² Wohnraum (eigene Darstellung).....	57
Abbildung 12: Vergleich der von Baustoffen verursachten Flächennutzungsänderungen für ausgewählte Baumaßnahmen, in Naturfernepotential, je m ² Wohnraum (eigene Darstellung).....	57
Abbildung 13: Bodenversiegelung je Gebäudetypen unter Annahme einer durchschnittlichen Wohnfläche von 47 m ² (eigene Darstellung).....	58
Abbildung 14: Eintrag der Ausgangsdaten im SuPraRechner, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	60
Abbildung 15: Eintrag der neuen Wohnfläche nach Standardwerte, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	61
Abbildung 16: Pro-Kopf-Wohnfläche und Wohnflächeneinsparung im Vergleich, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	61
Abbildung 17: Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen und -einsparung im Vergleich, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	62
Abbildung 18: Pro-Kopf-Flächenbelegung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	62
Abbildung 19: Pro-Kopf-Flächennutzungsänderung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	63
Abbildung 20: Pro-Kopf-Bodenversiegelung, neu und eingespart, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung).....	63
Abbildung 21: Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen und -einsparung im Vergleich, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung).....	65
Abbildung 22: Pro-Kopf-Flächenbelegung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung).....	66
Abbildung 23: Pro-Kopf-Flächennutzungsänderung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung).....	66
Abbildung 24: Pro-Kopf-Bodenversiegelung, neu und eingespart, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung).....	67
Abbildung 25: Pro-Kopf-Wohnfläche und Wohnflächeneinsparung im Vergleich, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 26: Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen und -einsparung im Vergleich, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 27: Pro-Kopf-Flächenbelegung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung).....	70
Abbildung 28: Pro-Kopf-Flächennutzungsänderung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung).....	70
Abbildung 29: Pro-Kopf-Bodenneuersiegelung, neu und eingespart, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 30: Kreise mit gedecktem Wohnraumbedarf, 2016 – 2018 (Henger & Voigtländer, 2019)...	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wohnflächenwerte, die für exemplarische Zwecke genutzt wurden (eigene Darstellung).....	35
Tabelle 2: Typologisierung der Suffizienzmaßnahmen nach Baumaßnahme (eigene Darstellung).....	41

Tabelle 3: Gewichtung der Baustoffdatensätze je Materialgruppe (eigene Darstellung).....	46
Tabelle 4: Im SuPraRechner betrachtete Module einer Gebäude-Lebenszykulanalyse (in Anlehnung an DGNB, 2018, S.60).....	48
Tabelle 5: Anteil fertiggestellter Wohnfläche in Wohnungen nach der Gebäudeart für 2020 (Statistisches Bundesamt, 2021) und Vereinfachungen für die Berechnung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen je Baumaßnahme (Bund deutscher Zimmermeister, 2021; eigene Berechnung).....	49
Tabelle 6: Anteile der Materialgruppen an den gesamten Treibhausgasemissionen für ein Mehrfamilienhaus im Massivbau. Vergleich zwischen SuPraRechner und DENA (2021, S.67) (eigene Darstellung).....	75
Tabelle 7: Vergleich der grauen Emissionswerte je Baumaßnahmen mit ausgewählten Studien (eigene Darstellung).....	76

Abkürzungsverzeichnis

BBSR: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung

BMWSB: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen

EFH: Einfamilienhaus

ENEV: Energieeinsparverordnung

GWP: Treibhauspotential (engl. Global Warming Potential)

IÖR: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung

IWU: Institut Wohnen und Umwelt

MFH: Mehrfamilienhaus

SuPraStadt: Forschungsprojekt „Lebensqualität, Teilhabe und Ressourcenschonung durch soziale Diffusion von Suffizienzpraktiken in Stadtquartiere“

THG: Treibhausgase

TGA: Technische Gebäudeausrüstung

UBA: Umweltbundesamt

WG: Wohngemeinschaft

1. Einleitung

Spätestens mit der weltweiten Protestbewegung „Fridays For Future“ wurde der Klimawandel von (Teilen) der breiten Öffentlichkeit als gravierende Gefahr für die Menschheit erkannt. Weniger präsent in der deutschsprachigen Öffentlichkeit sind andere planetare Belastungsgrenzen wie z. B. die Flächennutzungsänderung, der Biodiversitätsverlust oder die Veränderung biogeochemischer Kreisläufe – Grenzen die zum Teil längst überschritten sind (Steffen et al., 2015). Für die Einhaltung der planetaren Grenzen spielt der Gebäudesektor eine bedeutende Rolle. Im Hinblick auf den Klimawandel müssen Treibhausgasemissionen sowohl im Betrieb als auch in der Herstellung von Gebäuden reduziert werden, wobei Letztere einen zunehmenden Anteil an den Sektoremissionen einnehmen (DENA, 2021). In Deutschland hat jedoch der Gebäudesektor 2020 und 2021 die Emissionsziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes beide Jahre um etwa zwei Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente verfehlt (UBA, 2021a & 2022a). Neben dem Klimawandel stellt die Bodenversiegelung durch Neubebauung ein oft unterschätztes ökologisches Problem dar, da sie die Versickerung insbesondere im urbanen Raum massiv beeinträchtigt (Lage & Leuser, 2019) und mit der horizontalen Ausdehnung von Städten fruchtbare Böden zunichtemacht, die als eine endliche Ressource gelten (Chemnitz & Weigelt, 2015). Die Bodenversiegelungsrate – mit Versiegelung ist Bebauung, Betonierung, Asphaltierung, Pflasterung u.ä. gemeint – hat in den letzten Jahren in Deutschland leicht zugenommen (UBA, 2020a). Die Zielsetzung der Bundesregierung, die tägliche Neuinanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2020 auf 30 Hektar zu reduzieren, wurde auf das Jahr 2030 verschoben (Beckmann & Dosch, 2018). Im Hinblick auf die Biodiversität sind die Auswirkungen vom Bauaktivitäten eher indirekter Natur, dennoch nicht unbedeutend: Baumaßnahmen führen sowohl zu Flächenversiegelung als auch zu Flächennutzungsänderungen durch die hohe Rohstoffinanspruchnahme (Deilmann et al., 2017; Fehrenbach et al., 2021a, 2021b, 2021c). Die Flächenversiegelung bzw. -nutzungsänderung und die damit einhergehende Fragmentierung und der Verlust von Habitaten sind eine der Hauptursachen für die derzeit extrem hohe Aussterberate von Flora und Fauna weltweit (Balvanera et al., 2019), die von einigen Wissenschaftler*innen sogar als das sechste Massenaussterben bezeichnet wird (Ceballos et al., 2020).

Um diesen multiplen ökologischen Herausforderungen gerecht zu werden, müssen also die Energie-, Flächen- und Rohstoffverbräuche beim Wohnen und Bauen drastisch reduziert werden. Trotz deutlicher Reduktion des Raumwärmebedarfs pro m² Wohnraum ist jedoch der Raumwärmebedarf pro Kopf in

Deutschland seit 1970 auf ähnlichem Niveau geblieben (ca. 7.000 – 7.500 kWh pro Kopf und Jahr), was auf die stetige Zunahme der Wohnfläche pro Kopf zurückzuführen ist (vgl. Abb. 1).

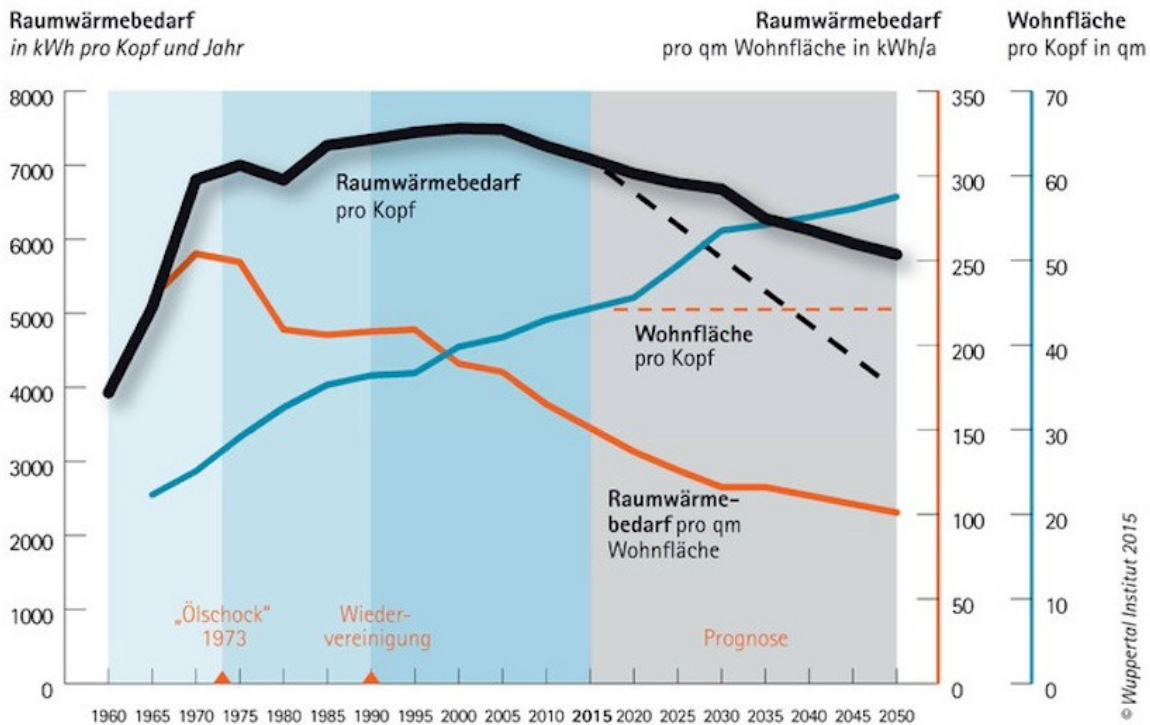


Abbildung 1: Raumwärmebedarf pro Kopf in Deutschland. Vergleich mit dem Raumwärmebedarf pro Quadratmeter sowie mit der Wohnfläche pro Kopf (Wuppertal Institut, 2015)

Eine zentrale Stellschraube zur Energieverbrauchsminderung liegt bei der Suffizienz und insbesondere beim Wohnflächenverbrauch (Purr et al., 2021, S. 26 & 29; DENA, 2021, S. 78). Der Wohnflächenverbrauch je Einwohner in Deutschland lag im Jahr 2020 bei 47,4 m² und ist in den letzten 30 Jahren um ca. 12,5 m² gestiegen (Statistisches Bundesamt, 2021a; UBA, 2021b). Dies liegt unter anderem an der Verbreitung des Einfamilienhauses, der Zunahme der Single-Haushalte sowie an dem sogenannten „Remanenz-Effekt“: der Verbleib (älterer) Menschen in großen Wohnungen bzw. Einfamilienhäusern nach Auszug der Kinder bzw. Haushaltsmitglieder (Lage & Leuser, 2019). Neben dem Energieverbrauch können Flächen- und Rohstoffverbräuche durch die Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche ebenfalls maßgeblich gemindert werden: je höher der Wohnflächenverbrauch, desto mehr Fläche und Baustoffe werden benötigt, um diesen Wohnraum zur Verfügung zu stellen. Und obwohl bis zu 4,3 Mio. Wohnungen in Deutschlands Bestandsgebäuden durch Umbauten und Aufstockungen

erschlossen werden könnten (Walberg et al., 2022), wurde im Jahr 2020 weiterhin 88% der fertiggestellte Wohnfläche in Deutschland durch den flächen- und ressourcenintensiven Neubau geschaffen (Statistisches Bundesamt, 2021a). Dies ist auch zu erwarten für die von der neuen Bundesregierung angekündigten jährliche Neuschaffung von 400.000 Wohnungen (Deutsche Bundesregierung, 2022).

Bisher wurden die ökologischen Wirkungen der Fertigstellung von Wohnfläche durch Umbau- und Aufstockungsmaßnahmen selten quantifiziert bzw. mit den ökologischen Wirkungen von Neubaumaßnahmen verglichen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2022). Auch die Auswirkungen von Suffizienzmaßnahmen im Gebäudebereich, insbesondere die ökologischen Einsparungen durch die Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche wurden bisher kaum quantifiziert (Zimmermann, 2018). Im Allgemeinen gelten die Auswirkungen von Suffizienzmaßnahmen als schwer messbar (Steffen, 2012), was die Einbettung in die Gesetzgebung oder in Förderkriterien erschwert. Suffizienz, die lange vernachlässigte Nachhaltigkeitsstrategie, findet jedoch zunehmend Aufmerksamkeit (vgl. 3.2.1.), insbesondere im Bausektor.

2. Forschungsgegenstand

2.1. Fragestellung und Forschungsrahmen

Aufgrund der multiplen ökologischen Herausforderungen und der zuvor geschilderten Forschungslücke soll diese Arbeit Suffizienzmaßnahmen im Handlungssektor Bauen und Wohnen sichtbar machen und deren unterschiedlichen ökologischen Wirkungen bewerten. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Augenmerk auf individuellen Suffizienzmaßnahmen, die zur Reduktion des Wohnflächenverbrauchs führen. Bisher fehlt eine quantitative Darstellung der ökologischen Wirkungen von Maßnahmen, die zu einer geringeren Pro-Kopf-Wohnfläche führen. Dies könnte mit einem Bilanzierungsinstrument berechnet und die entsprechenden Effekten dargestellt und verglichen werden. Daher widmet sich diese Arbeit folgenden Forschungsfragen:

Wie kann die Reduktion des Wohnflächenverbrauchs als individuelle Suffizienzpraktik hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkung bewertet werden? Welche unterschiedliche Maßnahmen stehen für diese Praktik zur Verfügung und wie können sie ökologisch bilanziert werden?

Damit wird an die bestehende Suffizienzforschung, insb. an den Arbeiten von Schoop (2017), Zimmermann (2018) sowie an das Forschungsprojekt „Lebensräume“ (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg – ifeu, 2020) angeknüpft. Zudem findet diese Arbeit im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes „SuPraStadt – Lebensqualität, Teilhabe und Ressourcenschonung durch soziale Diffusion von Suffizienzpraktiken in Stadtquartieren“ statt und ergänzt zwei weitere Bilanzierungsmodule (hier „SuPraRechner“ genannt) zur Ernährung und zur Mobilität. Das transdisziplinäre Forschungsvorhaben soll „eine systematische, wissenschaftlich fundierte Identifikation und Analyse von Suffizienzpraktiken in Stadtquartieren, der Ermittlung und Bewertung ihrer ökologischen und sozialen Wirkungen“ erarbeiten (ifeu, 2022). Insbesondere die Diffusion von Suffizienzpraktiken auf kommunaler Ebene durch drei Reallabore steht im Vordergrund des Forschungsprojektes. In diesem Kontext widmet sich diese Arbeit der Ermittlung und Bewertung der ökologischen Wirkungen von Suffizienzpraktiken im Handlungssektor Bauen und Wohnen.

2.2. Zielsetzung

Im Rahmen dieser Untersuchung werden Suffizienzmaßnahmen zuerst auf individueller Ebene betrachtet (hier: eine Änderung der persönlichen Wohnsituation). Dies bedeutet jedoch weder, dass nach Meinung des Autors die Verantwortung einzig dem Individuum zusteht, noch, dass individuelle Maßnahmen für die Einhaltung der planetaren Grenzen ausreichend sind. Im Gegenteil: diese Arbeit soll den Weg ebnen für die Entwicklung von Suffizienz-Szenarien auf der Ebene von (Stadt-)Quartieren. Sie soll Informationen darüber liefern, welche Suffizienzmaßnahmen ökologisch besonders sinnvoll sind – und dies auch messbar machen. Damit könnte in einem weiteren Schritt eine Suffizienz-Strategie in der Stadtplanung angewandt werden, dessen ökologischen Leistungen messbar sind.

Die Bilanzierung der ökologischen Wirkungen bestimmter Produkte, Dienstleistungen oder Baumaßnahmen nach den Regeln der klassischen Ökobilanz ist sehr umfassend und nicht geeignet für dieses Vorhaben (vgl. 3.1.3.). Daher handelt es sich hier nicht um eine ausführliche Ökobilanzierung, sondern um die Suche nach einer vereinfachten Methode, die mit möglichst wenig Daten möglichst präzise Ergebnisse liefern soll. Das Ziel ist, den Nutzer*innen des SuPraRechners eine Größenordnung der Umweltwirkungen ihrer Wohnpraktiken zu vermitteln. Diese Simplifizierung schlägt sich sowohl in der Auswahl der ökologischen Indikatoren (Fokus auf drei Indikatoren) als auch in der Auswahl der Daten nieder. Gleichzeitig sollen bislang eher vernachlässigte Aspekte von Ökobilanzierungen in den Vordergrund rücken, um den aktuellen ökologischen Herausforderungen gerecht zu werden. Im Hinblick auf den Klimaschutz bekommen die Treibhausgasemissionen zur Herstellung und Sanierung von Gebäuden („graue Emissionen“) eine besondere Aufmerksamkeit. Zudem wurden weiteren planetaren Grenzen neben dem Klimawandel Rechnung getragen, insbesondere denjenigen der Landnutzungsänderungen und des Biodiversitätsverlusts (vgl. 4.2.).

Langfristiger Zweck des SuPraRechners ist eine pädagogische Vermittlung der Inhalte, damit der Rechner nicht nur Expert*innen zur Verfügung steht. Die Webanwendung und Benutzerfreundlichkeit wird allerdings im Anschlussvorhaben des Forschungsprojektes entwickelt; in dieser Projektlaufphase (und damit in dieser Arbeit) soll es um die Erstellung der Datenbasis und die Entwicklung der Inhalte

gehen. Zudem soll der Rechner weiterentwickelt und mit weiteren Daten ergänzt oder aktualisiert werden können.

2.3. Aufbau der Arbeit

Nach einer kurzen Erläuterung der Kernbegriffe bzw. der Begriffe, die einer genauen Aufklärung bedürfen, erfolgt eine synthetische Darlegung der aktuellen Forschung zu Suffizienz in der Stadtentwicklung und der bisherigen ökologischen Bewertungen von Wohnflächeneinsparungen (Kapitel 3). Anschließend wird auf die Entwicklung des SuPraRechners detailliert eingegangen, insbesondere auf das Vorgehen zur Bewertung der Suffizienzmaßnahmen, strukturiert nach den drei Indikatoren (Kapitel 4). Daraufhin werden die Ergebnisse vorgestellt, sowohl im Hinblick auf die verwendeten Indikatoren als auch auf die Suffizienzmaßnahmen (Kapitel 5). Dafür werden drei für realistisch gehaltene Szenarien durchgeführt und vorgestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse bewertet und diskutiert (Kapitel 6). Dabei erfolgt u. a. eine Plausibilisierung der Ergebniswerte mit Werten vergleichbarer Studien (sofern vorhanden) sowie eine Reflexion über die Annahmen, Limitationen und Forschungsdesiderata dieser Arbeit. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf die weitere Forschung gegeben.

3. Forschungsgrundlagen

3.1. Begriffsklärung

3.1.1. Suffizienz

Neben der Effizienz und der Konsistenz bildet die Suffizienz die dritte Nachhaltigkeitsstrategie, wobei alle drei Strategien in der Nachhaltigkeitsdebatte als unabdingbar für eine nachhaltige Entwicklung gelten (Huber, 1995; Linz et al., 2002; Fischer et al., 2013). Auf den Begriff der Nachhaltigkeit kann hier nur kurz eingegangen werden. Zentral dabei ist, dass nach den meisten Definitionen die ökologische Nachhaltigkeit nur einen Aspekt des Konzepts der Nachhaltigkeit bildet (Lexikon der Nachhaltigkeit, 2015), hier jedoch von einem sog. starken Nachhaltigkeitskonzept ausgegangen wird, bei dem die Ökologie als Fundament gilt, wie z. B. im Konzept von Ott & Döring (2011). Daher und aufgrund des begrenzten Rahmens dieser Arbeit wird die Suffizienz v.a. im Hinblick auf ihre ökologischen Aspekte betrachtet. Während die Effizienz-Strategie zu einer Verbesserung des Input-Output Verhältnisses durch technische Optimierung der Ressourcennutzung führt und die Konsistenz-Strategie eine Schließung der Stoffkreisläufe erstrebt, z. B. durch den Ersatz fossiler durch nachwachsender Rohstoffe, zielt die Suffizienz-Strategie darauf ab, den Ressourcenverbrauch durch Konsum-, Verhaltens- und Lebensstiländerungen zu reduzieren (Fischer et al., 2013). Auf ein Gebäude übertragen wäre die Erhöhung des Dämmstandards oder die technische Optimierung der Lüftungsanlage eine Effizienz-Strategie, die Nutzung von Stroh als Baumaterial oder von erneuerbarer Energie für den Strom- und Heizenergieverbrauch eine Konsistenz-Strategie und die Reduzierung der Raumtemperatur oder der Wohnfläche eine Suffizienz-Strategie. Diese Strategien schließen sich gegenseitig nicht aus und sollten auch zusammen gedacht werden (vgl. 6.1.). Zudem sind diese drei Strategien eher als analytische Werkzeuge denn als starre Konzepte zu sehen, da komplexere Maßnahmen selten nur einer Nachhaltigkeitsstrategie zuzuordnen sind (Fischer et al., 2013) und Grenzen zwischen den Begrifflichkeiten zum Teil fließend sind. Die Vermietung eines bisher wenig benutzten Raums kann z. B. sowohl als Suffizienz definiert (die Reduktion des eigenen Wohnflächenverbrauchs) als auch als „Wohnflächeneffizienz“ verstanden werden (die möglichst effiziente Nutzung von Wohnraum). An dieser Stelle bedarf es also einer genaueren Erläuterung dessen, was in dieser Arbeit als Suffizienz verstanden wird. Eine kurze und präzise Definition liefern Fischer et al. (2013, S.10):

„Unter Suffizienz verstehen wir Änderungen in Konsummustern, die helfen, innerhalb der ökologischen Tragfähigkeit der Erde zu bleiben, wobei sich Nutzenaspekte des Konsums ändern.“

Hierzu betonen die Autor*innen, dass diese Änderung der Nutzenaspekte zwar als Verzicht oder Einschränkung empfunden werden können, dies aber nicht zwangsläufig der Fall ist. Die Suffizienz kann durchaus die „elegantere Lösung darstellen“ (Fischer et al., 2013), indem positive Nebeneffekte für den oder die Nutzer*in eintreten, sei es durch eine Zunahme der sozialen Interaktion und des Gefühls der Selbstwirksamkeit (Best et al., 2013), die Erfahrung von „Zeitwohlstand“ (Brischke & Over, 2020) oder der „Entrümpelung“ (Sachs, 1993) und damit der Befreiung von materiellem Überfluss. Bei der Suffizienz werden die (vermeintliche) Bedürfnisse selbst hinterfragt („brauche ich das wirklich?“). Es geht zugleich auch darum, die Bedürfnisse anders – also mit weniger Ressourcenverbrauch – zu befriedigen (gemeinschaftliche Nutzung von Räumen, Zugangsrechte statt Privateigentum, etc.).

Eine Suffizienzstrategie kann demnach unterschiedliche Formen annehmen, wie z. B.:

- Der Verzicht oder die Reduzierung umweltschädlicher/ressourcenintensiver Güter und Handlungen;
- Eine Größen-, Mengen- oder Funktionsreduzierung bestimmter Güter oder Dienstleistungen;
- Der Ersatz von Gütern durch umweltschonende Alternativen, die eine ähnliche Funktion besitzen;
- Die Verlängerung der Nutzungsdauer von Gütern (wobei Effizienz Aspekte zu beachten sind);
- Die Eigenproduktion von Gütern (sofern dies nicht zur Last der ökologischen Effizienz geht);
- Die gemeinsame Nutzung von Gütern und Ressourcen durch Praktiken des Tauschens und Teilens.

(Nach Fischer et al., 2013 und Brischke et al., 2022)

Die Suffizienz ist flankierend zur Effizienz und Konsistenz zu denken, da sie die Gefahr von Rebound-Effekten minimiert. Beispielsweise können Effizienzsteigerungen sinkende Kosten verursachen und damit einen höheren Ressourcenverbrauch. Auch können psychologische Rebound-Effekte sowie Verlagerungseffekte dazu führen, dass der absolute Ressourcenverbrauch nicht in dem Maße sinkt wie erwartet, bzw. stagniert oder gar steigt. Der Ansatz der Suffizienz hilft, um nicht nur eine relative Ressourceneinsparung – z. B. je Quadratmeter –, sondern auch eine absolute Ressourceneinsparung zu

erreichen (Fischer et al., 2013; Paech, 2012). Ein gutes Beispiel hierfür ist die Vermeidung der steigenden Pro-Kopf-Wohnfläche trotz sinkenden Raumwärmebedarfs pro m² Wohnraum, um den Raumwärmebedarf pro Kopf in ausreichenden Maße zu reduzieren (vgl. Abb. 1). Dennoch schließt eine Suffizienzstrategie keine Rebound-Effekte aus, etwa wenn die individuelle Pro-Kopf-Wohnfläche reduziert wird, dafür aber neugebaut wurde; oder wenn eine energetische Sanierung nicht mehr finanziell oder ökologisch so dringend wird, nachdem ein Teil der Wohnung vermietet wurde. Das hier entwickelte Bilanzierungsinstrument versucht daher solche Effekte sichtbar zu machen.

Zur genaueren Begriffsklärung soll auch erläutert werden, was in der vorliegenden Arbeit mit *Suffizienzpraktik* und *Suffizienzmaßnahme* gemeint ist. Unter *Suffizienzpraktiken* werden hier Konsummuster, Alltagsroutinen, kontinuierlich oder regelmäßig stattfindende soziale und kulturelle Praktiken verstanden, z. B. eine vegane Ernährung oder die regelmäßige Nutzung des Fahrrads. Im Fall des Wohnflächenverbrauchs ist damit die allgemeine Beachtung einer niedrigen Pro-Kopf-Wohnfläche bzw. beheizte Wohnfläche gemeint, die ggf. mit einem gewissen Lebensstil einhergeht. Unter *Suffizienzmaßnahme* ist eine punktuelle Handlung, ein Schritt oder eine Entscheidung gemeint, die zur Suffizienz beiträgt. In dieser Arbeit ist dies die Änderung der Wohnsituation, wenn dabei eine Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche einhergeht. Diese Maßnahme beschränkt sich hier auf die individuelle Ebene, kann aber auch auf die Ebene mehrerer Haushalte oder eines Quartiers erweitert werden – in letzterem Fall würde es sich sogar um eine *Suffizienzpolitik* handeln.

3.1.2. Wohnfläche

Die Wohnfläche umfasst laut statistischem Bundesamt „die Grundfläche der Räume, die ausschließlich zu [einer] Wohnung gehören, also die Flächen von Wohn- und Schlafräumen, Küchen und Nebenräumen (z. B. Dielen, Abstellräume und Bad) innerhalb [einer] Wohnung“ (Statistisches Bundesamt, 2021a, S.3). Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der Wohnflächenverordnung (BGBl. I, S. 2346). Außerdem werden anteilig die Grundflächen von Balkonen, Loggien und Terrassen, die einer Wohnung eindeutig zur alleinigen Nutzung zur Verfügung stehen berücksichtigt. Boden-, Keller- und Wirtschaftsräume, die nicht zum Wohnen bestimmt sind, bleiben unberücksichtigt.

Abweichend von der Wohnflächenverordnung werden Loggien, Terrassen und Balkone aufgrund des begrenzten Rahmens dieser Arbeit hier nicht mitberücksichtigt. Da diese in der Wohnflächenverordnung nur zu einem Viertel angerechnet werden, und sie im Durchschnitt 1,2 m² pro Kopf ausmachen (Schoop, 2017, S.33) betragen diese Flächen im Durchschnitt 0,6% der Wohnfläche pro Kopf und sind damit vernachlässigbar. Auch sind sie unbeheizt, was ihre Bedeutung in der ökologische Bilanzierung weiter schmälert. Allerdings wird hier die Wohnfläche, die nicht eindeutig einer Wohnung zuzuordnen ist (z. B. ein Gemeinschaftsraum in einem Wohnprojekt) mitberücksichtigt. Im Rechner wird zudem die „selten oder unbeheizte Wohnfläche“ sowie die „gemeinschaftliche Wohnfläche“ abgefragt. Selten oder unbeheizte Wohnflächen können z. B. Gästezimmer, selten benutzte Toiletten, nicht benutzte Zimmer etc. sein. Im Falle gemeinschaftlicher Wohnprojekte können es z. B. auch unbeheizte Gemeinschaftsräume, Hobbyräume, selten benutzte Gästewohnungen etc. sein. Mit gemeinschaftliche Wohnfläche ist die Wohnfläche gemeint, die mit anderen Menschen außerhalb des eigenen Haushalts geteilt wird; beispielsweise ein Gemeinschaftsraum, der von mehreren Haushalten, Familien oder Wohngemeinschaften verwendet wird.

3.1.3. Ökobilanz

Die Ökobilanz (engl.: Life Cycle Assessment) ist eine nach den DIN EN ISO 14044 und DIN EN ISO 14040 genormte Methode, um die (potenziellen) ökologischen Wirkungen eines Produkts, Verfahrens oder einer Dienstleistung zu bewerten. Im Bauwesen kann es sich sowohl um ein einzelnes Bauteil als auch um ein gesamtes Gebäude handeln (Wittstock et al., 2009). Die Bewertung der Auswirkungen eines Gebäudes auf die Umwelt erfolgt meistens anhand einer Nachhaltigkeitsbewertung, wobei die Ökobilanz nur einen Teil der Gesamtbewertung darstellt (Nisse & Armbrrecht, 2020). Für Wohngebäude gibt es beispielsweise verschiedene Zertifizierungssysteme, wie die des NaWoh (Nachhaltiger Wohnungsbau), des BNK (Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnhausbau) und der DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). Trotz normativer Vorschriften können die Ökobilanzen, die in den Nachhaltigkeitsbewertungen von Gebäuden einfließen, sich stark voneinander unterscheiden (Nisse & Armbrrecht, 2020). Die Ökobilanz beurteilt die potenziellen Umweltwirkungen (z. B. Treibhauspotential von Treibhausgasemissionen) eines Produktsystems über seinen gesamten Lebensweg, von der Produktion bis zur Beseitigung, inkl. Nutzung und Recycling (Fehrenbach et al., 2021a).

Die Ökobilanz erfolgt anhand von vier Phasen: die Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung; zur Darstellung der Ergebnisse werden die potenziellen Umweltwirkungen auf eine funktionelle Einheit bezogen (DIN EN ISO 14040).

Die Methode der Ökobilanz ist für Produktsysteme entwickelt worden, daher ist die Übertragung auf die Suffizienzmaßnahmen, welche in dieser Arbeit untersucht werden, ein komplexes Unterfangen. Wie bereits unter 2.2. erwähnt, kann und soll diese Arbeit keine Ökobilanz für die untersuchten Suffizienzmaßnahmen leisten, sondern ein vereinfachtes Verfahren für die Abschätzung der Umweltauswirkungen dieser Maßnahmen liefern. Daher wird die Begrifflichkeit „Ökobilanz“ vermieden, da der Begriff ein genormtes Verfahren bezeichnet, das diese Arbeit nicht verfolgt. Nichtsdestotrotz orientiert sich die Bewertung der Suffizienzmaßnahmen in dieser Arbeit zum Teil an den üblichen Methoden der Ökobilanz. Zudem wird versucht, neue Umweltindikatoren einzubeziehen, die eventuell zukünftig Eingang in die Ökobilanz finden könnten (vgl. 3.2.2.).

3.2. Forschungsstand

3.2.1. Suffizienz im stadtgeographischen Diskurs und in der Stadtplanung

Ob *green growth* oder *degrowth*, technologische oder sozio-politische Innovationen, ob marktwirtschaftliche Lösungen oder Gemeingüter und öffentliche Infrastruktur, top-down geplante Ökoquartiere oder bottom-up initiierte *transition towns*: die Frage des Umgangs mit den planetaren Grenzen und insbesondere mit dem Klimawandel hat längst die Stadtplanung und Stadtpolitik erreicht. Beim Ringen um verschiedene Lösungsansätze hat sich im deutschsprachigen Diskurs zunehmend das Konzept der Suffizienz etabliert, mit einer jungen Forschungslandschaft, die Stadtentwicklung und Wohnfläche als einer ihrer Kernthemen erkannt hat (Eichhorn et al., 2019). Während Best et al. (2013) den Begriff der „Urbane[n] Suffizienz“ eingeführt haben, Siedle (2020) von „Flächensuffizienz“ redet, Brischke et al. (2016) die „Energiesuffizienz“ auf das Bauen und Wohnen anwenden und Drebes (2020) die „bauliche Suffizienz“ bzw. „Gebäude-Suffizienz“ untersucht, kreisen weitere Autor*innen um andere, jedoch eng verwandte Konzepte wie etwa die „Urbane Subsistenz“ (Dahm & Scherhorn, 2021), die „Postwachstumsstadt“ (Brokow-Loga & Eckardt, 2020), die „resiliente Stadt“ (Fekkek et al., 2016) sowie um Überlegungen zu „Postwachstum und Raumentwicklung“ (ARL, 2021). Im Städtebau dreht

sich die Forschung zur Suffizienz v.a. um den Umgang mit der Wohn- und Gewerbefläche, mit den Forschungsschwerpunkten Flächensparsamkeit (Kenkmann et al., 2019), Reduktion von Neubauf Flächen (Schmitt et al., 2015; Siedle, 2020), Wohnkonzepte zur ressourcensparsamen Wohnflächennutzung (Bierwirth & Thomas, 2015; Schoop, 2017; Over et al., 2021), Nutzungsverdichtung und Mehrfachnutzung (Siedle, 2020), (ökologische) Potentiale der Wohnflächeneinsparung (Böcker et al., 2020; Kenkmann et al., 2019; Steinbach & Deurer, 2021), Hemmnisse zur Verkleinerung der Wohnfläche (Kenkmann et al., 2019) sowie politische, fiskalische und rechtliche Zwänge, die eine kommunale Suffizienzpolitik erschweren (Böcker et al., 2020;). In diesem Zusammenhang erwähnenswert sind u. a. die von Kenkmann et al. (2019) identifizierten Hemmnisse und Chancen zur Verkleinerung der persönlichen Wohnfläche (Abb. 2).

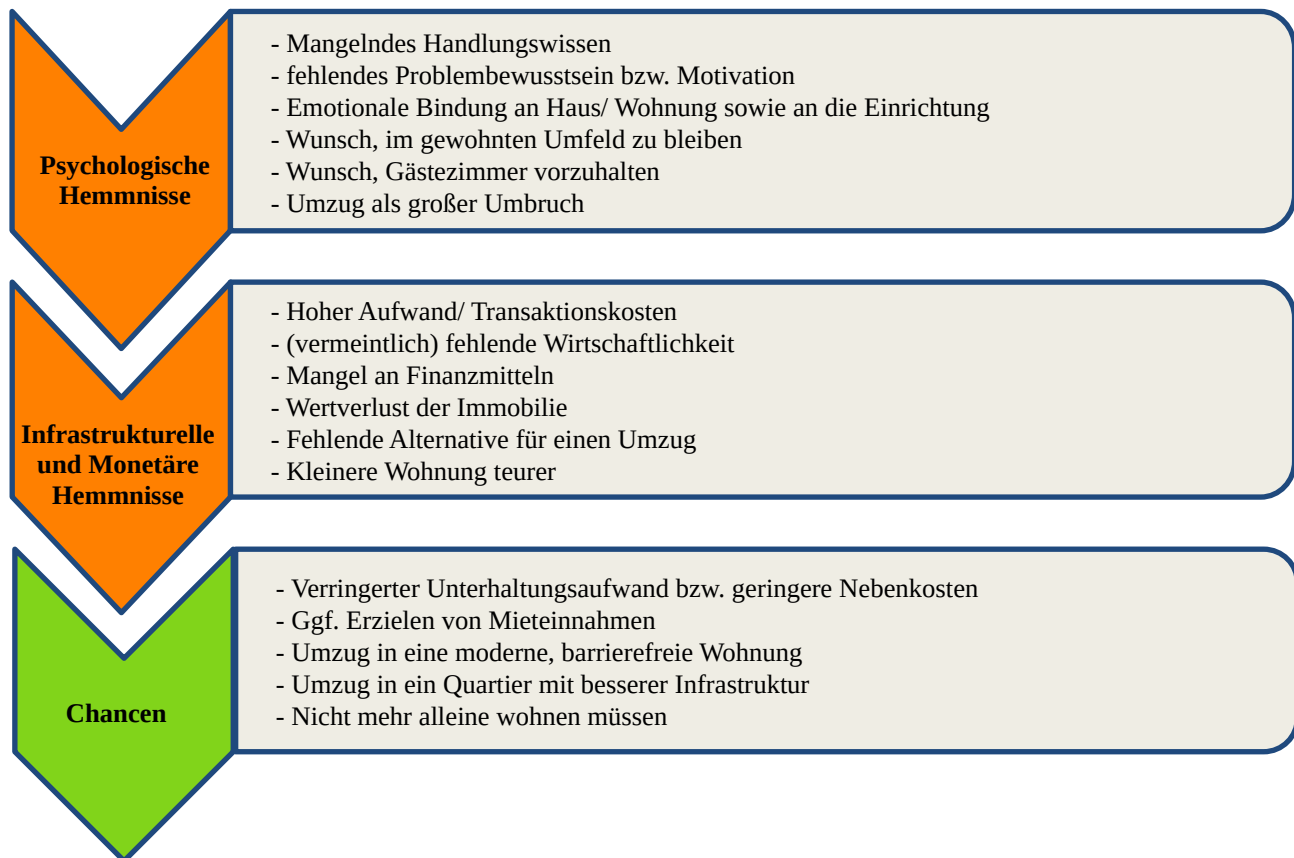


Abbildung 2: Hemmnisse und Chancen der persönlichen Wohnflächenreduktion (In Anlehnung an Kenkmann et al., 2019, S.16)

Ergänzend zu dieser städtebaulichen Perspektive findet auch eine Forschung zu Suffizienz auf Gebäudeebene statt, bei der eher architektonische Aspekte im Vordergrund rücken (Zimmermann, 2018; Weißenberger, 2016; Drebes, 2020). Drebes (2020) schlägt zum Beispiel das Konzept der „Gebäude-Suffizienz“ vor, die sich aus der Raumsuffizienz (angemessene Wohnfläche bzw. -Volumen), der Nutzungssuffizienz (angemessenes Wohnverhalten) und der Techniksuffizienz (angemessene Gebäudetechnik) zusammensetzt. Neben dem Bauen und Wohnen beziehen sich aber auch einige Arbeiten und Forschungsprojekte zu Suffizienz in Kommunen und Stadtquartieren auf andere Konsum- und Handlungsfelder, wie z. B. Ernährung oder Mobilität, die ebenfalls Gegenstand stadtplanerischer Prozesse sein können (Brischke et al., 2015; ifeu, 2022). Schließlich ist die Berücksichtigung bzw. Bevorzugung von Suffizienz in der Stadtplanung stetig Teil politischer Auseinandersetzungen und somit finden sich Überschneidungen in der Forschung zur (kommunalen) Suffizienz und zur (kommunalen) Suffizienzpolitik (Christ & Lage, 2020; Gamberini, 2020; Best et al., 2013; Schneidewind & Zahrnt, 2013). Gleichzeitig plädieren Autor*innen wie Brokow-Loga & Neßler (2020) für eine stärkere Berücksichtigung von sozial-ökonomischen Aspekten und insbesondere von Verteilungsfragen in der Debatte zur Suffizienz, indem von Flächengerechtigkeit statt Flächensuffizienz gesprochen wird. Verzicht und Reduktion wird dabei aus einem anderen (gesamtgesellschaftlichen und machtkritischen) Blickwinkel betrachtet: „Die Frage, ob nicht bereits genug Wohnfläche vorhanden ist, drängt sich [...] nahezu auf. Explizit verstehen wir dieses ‚genug‘ in gesamtgesellschaftlicher Bedeutung und nicht als Appell nach individuellem Verzicht“ (Brokow-Loga & Neßler, 2020, S. 186). Damit öffnen sie einen Spannungsfeld zwischen Suffizienz als individuelle Praxis und Suffizienz (-politik) als gesellschaftliche Aufgabe.

Mittlerweile beschränkt sich die Debatte um Suffizienz nicht mehr nur auf Zeitschriften zu kritischer Stadtforschung oder auf Konferenzen zur Postwachstumsgesellschaft. Sie findet Eingang in Förderprogramme (ENSU¹, EHSS², SuPraStadt³), in Architektenkammern (Stein, 2014) und im Verband Privater Bauherren (VPB, 2020). Sie ist ebenfalls als Schwerpunkt der deutsche Bauzeitung (dB, 2022) sowie als Kernthema des Deutschen Städtetag (2021) und der Initiative „Neues Europäisches Bauhaus“ (BBSR/ BMI) anzutreffen. In einem Memorandum zahlreicher BMBF-Förderinitiativen wird die Post-Corona-Stadt wie folgt bezeichnet: „nicht nur resilient, sondern vor

¹<https://energysufficiency.de/>

²<https://www.uni-flensburg.de/nec/forschung/ehss-2/ehss-i>

³<https://www.uni-flensburg.de/nec/forschung/ehss-2/ehss-i>

allem suffizient“ (Libbe et al, 2020, S.4). Interessanterweise wird aber der Begriff *sufficiency* in der englischsprachigen Literatur kaum verwendet. Vielmehr lässt sich das Konzept der Suffizienz eher unausgesprochen in Diskussionen rund um *climate urbanism* (Pickerill, 2020; Broto & Robin, 2021), *urban commons* (Eidelman & Safransky, 2020), *urban densification* (Knuth, Stehlin & Milington, 2020) und natürlich in der *degrowth*-Debatte (siehe z. B. Nelson & Schneider, 2018; Savini, 2021; Xue, 2022) wiederfinden. Unter *climate urbanism* werden beispielsweise sowohl negative soziale Auswirkungen („Öko-Gentrifizierung“, Verschärfung von Ungleichheiten...) als auch positive soziale Aspekte (Reduzierung von Ungleichheiten durch Zugang zu mehr Gemeinschaftsgütern, Zeitwohlstand, Teilung von Ressourcen...) diskutiert (Pickerill, 2020; Broto & Robin, 2021). Dennoch bleibt die Bewertung der ökologischen Effekte meist qualitativ (wenn diese Effekte nicht einfach vorausgesetzt werden), was eine Unklarheit in Bezug auf den tatsächlichen Grad der ökologischen Auswirkungen sowie auf die zu priorisierenden Maßnahmen und Praktiken schafft.

3.2.2. Ökologische Bewertungen von Wohnflächeneinsparung

Grundsätzlich lassen sich die ökologischen Effekte einer Wohnflächeneinsparung auf verschiedenen Ebenen darstellen, z. B. auf der Ebene des Individuums über eine persönliche Ökobilanz (CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes⁴) oder eines Objektes über eine Gebäude-Ökobilanz; sowie auf größerer räumlicher Ebene, wie z. B. auf Quartiers-, kommunale (Steinbach & Deurer, 2021), Landes- oder Bundesebene (Kenkmann et al. 2019). Eine Gebäude-Ökobilanz ist allerdings quadratmeterbezogen, d. h., dass die Personenanzahl und damit die Pro-Kopf-Wohnfläche keine Rolle spielt – es wird lediglich die Baumaßnahme bilanziert. Der SuPraRechner widmet sich der personenbezogenen Wohnflächeneinsparung und dessen Effekten. Dafür muss eine entsprechende funktionelle Einheit gewählt werden, in dem Fall je m² Wohnraum pro Person, ggf. pro Jahr. Gebäude-Ökobilanzen, dessen Umweltbilanzen auf Pro-Kopf-Werte heruntergerechnet werden, sind bisher Mangelware (Zimmermann, 2018). Laut Zimmermann (2018) „mangelt es allgemein an Forschungsarbeiten zu ökobilanziellen Berechnungen zur Gebäude-Suffizienz“ (S.131), da Gebäudeökobilanzen bisher eher den Effizienz-Ansatz als den Suffizienz-Ansatz verfolgen. Zwar gibt es persönliche Fußabdruck- oder CO₂-Rechner (wie der CO₂-Rechner vom UBA), doch unterscheiden sie sich in ihren

⁴https://uba.co2-rechner.de/de_DE

Untersuchungsrahmen und Systemgrenzen von einer Pro-Kopf-Bilanzierung einer Baumaßnahme (Zimmermann, 2018).

Der CO₂-Rechner vom UBA ermöglicht beispielsweise unter dem Reiter „Wohnen“ die Eingabe der Wohnfläche und damit einen direkten Vergleich der Treibhausgasemissionen (erst nach mehrfacher Daten-Eingabe). Allerdings werden nur Treibhausgase und keine weitere Umweltindikatoren angegeben. Auch wird lediglich der Ist-Zustand erfasst: der Rechner ist nicht dafür ausgelegt, verschiedene Suffizienz-Szenarien zu berechnen, z. B. die Effekte einer Wohnflächeneinsparung bei gleichzeitiger Wohnraumaufteilung/Aufstockung/Neubaumaßnahme etc. Zudem ist das Potential der Suffizienz schwer greifbar, da nicht unterschieden wird zwischen Gewinnen durch Wohnraumeinsparung bzw. sonstigen Verhaltensänderungen, und Gewinnen durch technische Optimierung.

Mittlerweile widmen sich jedoch einige Forschungsvorhaben dem ökologischen Potential der Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche. Beispielsweise werden in dem Arbeitspaket „Flächensparend Wohnen“ des UBA-Forschungsprojektes „Möglichkeiten der Instrumentierung von Energieverbrauchsreduktion durch Verhaltensänderung“⁵ Energie- und Treibhausgaseinsparungen durch Wohnflächeneinsparung auf Bundes- und regionale Ebene kalkuliert, Hemmnisse für die Wohnflächeneinsparung erkannt und Politikinstrumente ausgearbeitet (Kenkmann et al., 2019). Die sogenannten „grauen Emissionen“ wurden allerdings nicht mitberechnet, genauso wie weitere Umweltauswirkungen: „die weiteren positiven Effekte einer Verringerung der Wohnfläche pro Person für Umwelt, Stadtentwicklung und Gesellschaft können hier nicht quantifiziert werden, diese sind jedoch ebenfalls erheblich, insbesondere aufgrund des verringerten Bedarfs an Neubauten und Neubaugebieten“ (ibid, S.93). Eine weitere Studie im Auftrag des UBA, „Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus“, untersucht wiederum die Treibhausgasemissionen von verschiedenen Gebäudetypen und Energiekonzepten über ihren gesamten Lebenszyklus, wobei die Effekte der Wohnflächeneinsparung in dem Rahmen nicht thematisiert wurden. Mit dieser ganzheitlichen Betrachtung wird neben der Nutzungsphase auch die Herstellung, Instandhaltung und das Lebensende der Gebäudekonstruktion in der Treibhausgasbilanz berechnet, und zwar für sechs Gebäudetypen im Neubau und Bestand (Mahler et al., 2019). Das berechnete Treibhauspotential pro m²

⁵<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/instrumentierung-energieverbrauchsreduktion>

Wohnfläche für Neubauten und Sanierungen in Ein- und Mehrfamilienhäuser wird für die Plausibilisierung des Rechners im späteren Verlauf der Arbeit verwendet (vgl. 6.2.1.). Eine weitere Forschungsarbeit, die Treibhausgaseinsparungen durch Wohnflächeneinsparung quantifiziert (diesmal auf städtischer Ebene) ist die von der Hansestadt Bremen beauftragte Studie „Bewertung des CO₂-Reduktionspotenzials ausgewählter Maßnahmen im Bereich Gebäude & Wohnen für das Land Bremen“ (Steinbach & Deurer, 2021). Als eine von elf Einzelmaßnahmen wird die Maßnahme „Effizientere Nutzung von Wohnflächen (Suffizienz Wohnfläche)“ untersucht – was die Diskussion rund um die Abgrenzung der Begriffe Suffizienz und Effizienz aufgreift, vgl. 3.1.1. –, welche auf „die bessere Nutzung und Auslastung von vorhandenem Wohnraum bzw. Bestandsbauten und dadurch eine Reduktion von Neubauten“ abzielt (ibid, S.32). Die Maßnahme soll eine bessere Auslastung der Wohnflächen erreichen „durch unterschiedliche Angebote, wie Programme zum Tausch von Wohnungen, Förderprogramme zum Umbau von Einfamilienhäusern und Wohnungen“. Die Wirkungsabschätzung der Maßnahme betrachtet auch die eingesparten grauen Emissionen, die oft vernachlässigt werden. Jedoch beschränkt sich die Studie auf Treibhausgasemissionen, andere Umweltindikatoren werden nicht herangezogen.

Wie an den oben genannten Beispielen zu sehen ist, orientiert sich derzeit die Ausarbeitung von Politikinstrumenten und die angewandte Forschung zu Wohnflächeneinsparung sehr stark an den Klimaschutzziele und an dem Indikator des Treibhauspotentials. Hier stellt sich also die Frage, ob und inwiefern auch weitere positive Umweltauswirkungen der Wohnflächeneinsparung berechnet und dargestellt werden können. Ökobilanzen, wie sie im Kapitel 3.1.3. beschrieben wurden, versuchen z. B. den zahlreichen planetaren Belastungsgrenzen Rechnung zu tragen, indem sie verschiedene Indikatoren bzw. Wirkungskategorien verwenden. In Gebäude-Ökobilanzen (z. B. von der DGNB) sowie in Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte werden folgende Indikatoren für die Wirkungsabschätzung für das jeweilige Umweltproblem verwendet (BBSR, 2019, S.12):

- Treibhauspotential (GWP) – Klimawandel;
- Ozonschichtabbaupotential (ODP) – Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht;
- Ozonbildungspotential (POCP) – Sommersmog/ bodennahes Ozon;
- Versauerungspotential (AP) – Bodenversäuerung, Wald- und Fischsterben;
- Überdüngungspotential (EP) – Überdüngung von Gewässern;
- Potential für den abiotischen Abbau nicht-fossiler Ressourcen (ADPE) – Ressourceninanspruchnahme;

- Potential für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) – Ressourceninanspruchnahme.

Zudem werden weitere Indikatoren in der Sachbilanz verwendet, wie z. B. der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf, der Gesamtprimärenergiebedarf, der Anteil erneuerbarer Primärenergie und der Frischwasserverbrauch (DGNB, 2018, S.79). Künftig sollen Ökobilanzen sogar weitere Umweltwirkungen abbilden, „wenn Quantifizierungs- und Charakterisierungsmethoden verfügbar sind, für die ein breiter Konsens in der Fachwelt gefunden wurde und für die in Ökobilanz-Datensätzen geeignete Daten verfügbar sind [...]. Beispiele hierfür sind Ökotoxizität, Naturrauminanspruchnahme und Biodiversität“ (DGNB, 2018, S.46). Wie in der Einleitung dargestellt wurde, ist die Überschreitung planetarer Belastungsgrenzen wie die des Biodiversitätsverlusts oder der weltweiten Flächennutzungsänderungen ähnlich gravierend und akut wie der anthropogene Klimawandel. Dennoch konnten trotz internationaler Bemühungen bestimmte Umweltkategorien wie Naturrauminanspruchnahme und Biodiversität – beide eng miteinander verbunden – bisher keinen Eingang in Ökobilanzen finden. Die Forschung zu Biodiversitätsbewertung in Ökobilanzen zeigt z. B. eine Vielzahl an Ansätzen (Geier et al. 2013), wobei einige Ansätze die Quantität und Qualität der Naturraumbeanspruchung als indirekte Variablen (Proxy) verwenden (Lindner et al., 2019). Ein Beispiel für diese methodische Entwicklung ist der Hemerobie-Ansatz, der den anthropogenen Einfluss auf eine Fläche und die Naturnähe als Ergebnis spezifischer Landnutzungen misst (Fehrenbach et al., 2015). Dabei wird die potenziell natürliche Vegetation mit der modifizierte Situationen verglichen und sowohl die temporäre Flächenbelegung als auch die Flächennutzungsänderung hinsichtlich ihrer ökologischen Qualität bemessen (Fehrenbach et al., 2021a). Fehrenbach et al. (2021a,b,c) haben kürzlich in einem UBA-Forschungsprojekt Methoden und Datensätze vorgeschlagen, um diese Naturraumbeanspruchung – hier „Flächenrucksack von Gütern und Dienstleistungen“ genannt – zu berechnen. Diese Forschungsergebnisse finden in dem SuPraRechner eine exemplarische Anwendung (vgl. 4.2.); zu beachten ist jedoch, dass derzeit noch kein wissenschaftlicher Konsens zur Nutzung dieser Methode in Ökobilanzen bzw. Lebenszyklusanalysen besteht.

Schließlich müssen also zwei Forschungszweige zusammengeführt werden, um ein ganzheitliches Bild der ökologischen Effekte einer Wohnflächeneinsparung zeichnen zu können:

(1) Eine eher junge Forschungslandschaft zu Wohnflächeneinsparung bzw. Wohnraum-Suffizienz, die bisher v.a. qualitative Aussagen zu sozial-ökologische Effekte trifft und nun zunehmend auch

quantitative Bewertungen, wobei sich diese oftmals auf die Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase beschränken;

(2) Ein Forschungsfeld zu Gebäude-Ökobilanzen, welches einen direkten Zugang zur Baupraxis durch die Gebäude-Zertifizierungssysteme genießt, selbst in der größeren Ökobilanz-Forschung eingebettet ist und in dem eine zunehmende Anzahl an Umweltkategorien beachtet werden.

4. Methodische Vorgehensweise: Erarbeitung eines Rechentools

Für die ökologische Bilanzierung der Suffizienzmaßnahmen wurde ein Excel-basiertes Tool erstellt, der „SuPraRechner“. Das Rechentool ist so aufgebaut, dass die Suffizienzmaßnahme, die Charakteristiken des Gebäudes, die privat- und gemeinschaftliche Wohnfläche sowie die Anzahl an Personen im Haushalt bzw. im Gebäude ausgewählt werden können und die Ergebnisse direkt in dem Ergebnisblatt angezeigt werden. Zudem wurden Standardwerte für die ausgewählten Maßnahmen ausgearbeitet, die neben der manuellen Datenangabe eine einfache Alternative anbieten. Der Rechner soll sowohl Expert*innen zur Verfügung stehen (z. B. für die Ausarbeitung von Suffizienzmaßnahmen auf Quartiersebene), als auch es Bürger*innen ermöglichen, die ökologische Wirkungen ihrer persönlichen Wohnpraktiken zu beziffern, zu vergleichen und zu bewerten. Damit soll die zukünftige Webanwendung vom SuPraRechner zu suffizienterem Verhalten und Lebensstil anregen und motivieren. Die Herausforderung in der Entwicklung des Bilanzierungstools lag insbesondere darin, belastbare Ergebnisse anhand begrenzter Informationen und zeitlicher Kapazitäten zu bekommen. Daher ist das Ziel des Rechners in erster Linie Größenordnungen zu vermitteln und Vergleiche zu ermöglichen.

4.1. Identifikation der Suffizienzmaßnahmen

Die untersuchten Maßnahmen für Suffizienz im Handlungsfeld „Wohnen und Bauen“ mussten Maßnahmen sein, auf die das einzelne Individuum direkten Einfluss hat (auch wenn es im Fall veränderte Wohnformen längerfristige Entscheidungen sind als im Feld „Mobilität“ oder „Ernährung“). Daher kristallisierte sich zu Beginn der Arbeit der Fokus auf die Wohnflächenreduktion durch eine Veränderung der persönlichen Wohnsituation heraus. Das alltägliche Wohnverhalten (Änderung der Raumlufttemperatur, des Strom- und Warmwasserverbrauchs, des Lüftungsverhaltens...) konnte im Rahmen dieser Arbeit aus zeitlichen Gründen nicht mitberücksichtigt werden. Auch wurden Suffizienzmaßnahmen im Bau, wie sie in der Arbeit von Zimmermann (2018) ausgearbeitet wurden, nicht miteinbezogen, da diese nur bedingt vom Individuum selbst bestimmt werden können; insbesondere im Fall von Mietwohnungen, bei denen die Bewohner*innen nicht selbst Bauherren sind. Zudem sind die Umweltwirkungen dieser Planungs- und Baumaßnahmen schwer quantifizierbar, da sie

sehr vom Einzelfall abhängig sind und entweder grobe Annahmen oder eine hohe Datenmenge erfordern.

Aufgrund der dargestellten Faktoren wurden Maßnahmen ausgewählt, die zu einer Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche führen (oder führen können). Zur Festlegung der Maßnahmen wurden Literatur (Schader Stiftung, 2013; Fuhrhop et al., 2020; ifeu, 2020) sowie Expert*innen-Meinungen herangezogen (Lars Brischke, ifeu; Patrick Zimmermann, ifeu). Die zehn Suffizienzmaßnahmen (Abb. 3) werden im Folgenden kurz vorgestellt (im Rechner werden sie von Anmerkungen begleitet). Es ist zu beachten, dass diese Maßnahmen nur als Suffizienzmaßnahmen gelten, wenn die Pro-Kopf-Wohnfläche im Vergleich zum früheren Wohnzustand tatsächlich sinkt.

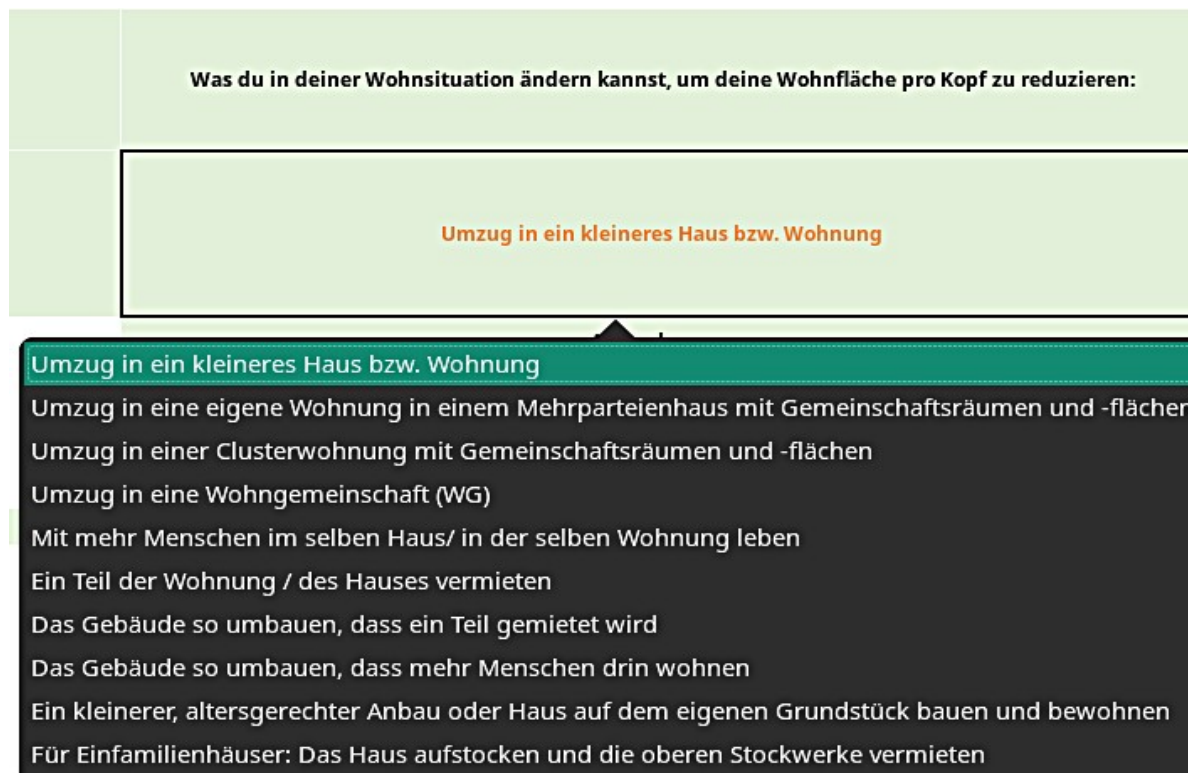


Abbildung 3: Identifizierte Suffizienzmaßnahmen, Auszug aus dem Rechner (eigene Darstellung)

1. Umzug in ein kleineres Haus bzw. Wohnung:

Die Person zieht in ein kleineres Haus oder in eine kleinere Wohnung um. Diese neue Wohnsituation kann durchaus an ihre Bedürfnissen besser angepasst sein (z. B. altersgerecht). Die Lage des Hauses/

der Wohnung spielt keine Rolle; auch kann der Umzug im Rahmen eines Wohnungstausches stattgefunden haben.

2. Umzug in eine eigene Wohnung in einem Mehrparteienhaus mit Gemeinschaftsräumen und -flächen:

Die Person zieht in ein Gebäude (oder Gebäudekomplex) mit mehreren Haushalten, die sich einige Räume und Flächen teilen. Dieses Mehrparteienhaus kann unterschiedliche Formen annehmen (Wohnprojekt, Wohnheim, genossenschaftliches Wohnen, enge Nachbarschaft etc.), die hier nicht weiter ausgeführt werden. Mit Gemeinschaftsräumen sind Veranstaltungsräume, Spiel-, Arbeits-, Gästezimmer usw. gemeint (Wohnfläche); mit Gemeinschaftsflächen sind Keller, Waschkeller, Garten, Dachterrasse usw. gemeint (diese gelten hier nicht als Wohnfläche).

3. Umzug in eine Clusterwohnung mit Gemeinschaftsräumen und -flächen:

Die Person zieht in ein Gebäude (oder Gebäudekomplex) mit mehreren Haushalten, die sich einen Teil der Räume und Flächen teilen (vgl. Abb. 4). Clusterwohnungen können diverse Formen annehmen (Schoop, 2017), in der hier vorgestellten Variante gelten Zimmer, Bad und Kochnische als privater Bereich; die Gemeinschaftsräume beinhalten Wohnzimmer und Großküche sowie evt. auch Spiel-, Arbeits- und Gästezimmer, Hobbyräume usw.

4. Umzug in einer Wohngemeinschaft (WG):

Die Person zieht in eine Wohngemeinschaft ein. In diesem Fall gilt nur das Zimmer als privater Bereich, alle andere Flächen (typischerweise Wohnküche und Bad; evt. auch Wohn-, Spiel-, Arbeits-, Gästezimmer usw.) sind Gemeinschaftsflächen.

5. Mit mehr Menschen im selben Haus/in derselben Wohnung leben:

Eine oder mehrere Personen ziehen in die Wohnung ein, z. B. die ältere oder jüngere Generation einer Familie, oder im Fall von Wohngemeinschaften zusätzliche Mitbewohner*innen. Es finden keine oder nur geringfügige bauliche Änderungen und keine energetischen Maßnahmen statt.

6. Einen Teil der Wohnung / des Hauses vermieten:

Diese Möglichkeit entspricht aus ökologischer Perspektive der 5. Suffizienzmaßnahme, nur wird hiermit aufgezeigt, dass auch eine (Unter-)Vermietung bei gleichbleibender Wohnfläche eine

Suffizienzmaßnahme darstellen kann. Diese Option ist auszuwählen, wenn das Haus schon für eine solche Nutzung ausgestattet ist (gesonderter Zugang, Bad- und Kochinfrastruktur usw.).

7. Das Gebäude so umbauen, dass ein Teil gemietet wird:

Diese Variante der Suffizienzmaßnahme 6 beinhaltet Umbaumaßnahmen für eine Nutzungsänderung (Grundrissänderung, Leitungsverlegung usw.). Hier wird auch angenommen, dass die Nutzungsänderung mit energetischen Maßnahmen gekoppelt wird (Dämmung, Fensteraustausch etc.), sollte diese erforderlich sein.

8. Das Gebäude so umbauen, dass mehr Menschen drin wohnen:

Diese Variante der Suffizienzmaßnahme 5 beinhaltet Umbaumaßnahmen für eine Nutzungsänderung (Grundrissänderung, Leitungsverlegung usw.). Hier wird auch angenommen, dass die Nutzungsänderung mit energetischen Maßnahmen gekoppelt wird (Dämmung, Fensteraustausch etc.), sollte diese erforderlich sein.

9. Ein kleinerer, altersgerechter Anbau oder Haus auf dem eigenen Grundstück bauen und bewohnen:

Diese Suffizienzmaßnahme ist insbesondere für Hauseigentümer*innen von Ein- und Zweifamilienhäusern relevant. Das ursprüngliche Haus wird von einem anderen Haushalt bewohnt bzw. vermietet. Diese Maßnahme soll verdeutlichen, dass ein Umzug nicht zwangsläufig mit einem Standortwechsel verknüpft werden muss, welcher insbesondere ältere Menschen aus ihrem gewohnten Umfeld und ihrer Nachbarschaft trennt. Zudem wird abgefragt, ob es sich um einen Anbau handelt, da dieser weniger Wärmeverluste als ein freistehendes Haus aufweist und damit weniger Energie verbraucht.

10. Das Haus aufstocken und die oberen Stockwerke vermieten:

Hier findet ebenfalls kein Umzug statt, sondern eine Beschränkung der Wohnfläche auf ein Stockwerk. Das Haus wird aufgestockt (vgl. Abb. 5), ein gesonderter Zugang wird für die oberen Etagen geschaffen und ermöglicht eine getrennte Nutzung (von einem anderen Haushalt). Der energetische Zustand des gesamten Hauses wird im Zuge der Aufstockung verbessert. Typischerweise würde diese Maßnahme von Einfamilienhaus-Besitzer*innen in Anspruch genommen werden, deren Kinder bereits ausgezogen sind, die auf einen barrierefreien Wohnraum angewiesen sind und damit nur noch das

Erdgeschoss bewohnen können. Eine junge Familie oder eine Wohngemeinschaft könnte in den oberen Stockwerken einziehen.

Es ist zu beachten, dass diese Maßnahmen nur einige unter vielen Möglichkeiten aufzeigen und dass eine Vielzahl unterschiedlicher Wohnformen, ob gemeinschaftlich oder individuell, zu einer Wohnflächenreduktion führen können. Um eine zu hohe Komplexität in der Auswahl und der Ergebnisberechnung zu vermeiden, wurden also diese zehn Handlungsmöglichkeiten exemplarisch dargestellt. Zudem wurden im Fall gemeinschaftlicher Wohnformen andere ökologisch positive Nebeneffekte weder benannt noch berechnet, wie z. B. die gemeinsame Nutzung von Haus- und Versorgungstechnik; die Reduktion des Stromverbrauchs durch gemeinsame Aktivitäten, die gemeinschaftliche Nutzung von Gegenständen, usw. In dem Sinne werden die ökologischen Effekte gemeinschaftlicher Wohnformen in diesem Rechner vermutlich unterschätzt (vgl. Brischke et al., 2022). Einige Suffizienzmaßnahmen (7, 8 und 10) werden von Effizienzmaßnahmen flankiert, indem Baumaßnahmen im Bestand systematisch mit einer energetischen Verbesserung des Gebäudes mit einhergehen. Dies wird in der Ergebnisdarstellung beachtet. Damit wird gezeigt, wie Suffizienz und Effizienz Hand in Hand gehen können (vgl. Abb. 21 & 26). Auch Maßnahme 9 könnte mit einer energetischen Sanierung des Bestands mit einhergehen, insbesondere wenn es sich nicht um ein freistehendes Haus, sondern um einen Anbau am Bestand handelt. Dies wurde jedoch hier nicht standardmäßig mitberechnet.



Abbildung 4: Beispielgrundriss einer Clusterwohnung (In Anlehnung an Urban Coop Berlin, 2016, © Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk1, Zürich)



Abbildung 5: Aufstockung eines Einfamilienhauses mit Holz (Besser mit Holz, 2022, © Lappi & Lappi Holzbau)

4.2. Identifikation der ökologischen Indikatoren

Wie bereits weiter oben aufgeführt (vgl. 1., 3.2.2.) soll der SuPraRechner neben den Treibhausgasemissionen weitere positive Umweltauswirkungen der Wohnflächeneinsparung berechnen und darstellen. Die Auswahl der Indikatoren orientierte sich an dem Ansatz der planetaren Grenzen (Steffen et al., 2015). Obwohl grundsätzlich alle planetare Grenzen für den Bausektor direkt oder indirekt relevant sind, wurden aufgrund einer notwendigen Simplifizierung des Rechners drei Indikatoren ausgewählt, mit denen vier Grenzen abgedeckt wurden:

1. **Treibhausgasemissionen** (Bezugseinheit: CO₂-Äq.); dient als Indikator für die planetare Grenze des Klimawandels und indirekt für die Versauerung der Ozeane.
2. **Flächenrucksack der Baustoffe**, aufgeteilt in temporäre Flächenbelegung (Bezugseinheit: m² aF-Äq.) und Flächennutzungsänderung (Bezugseinheit: m² aF-Äq./ Jahr); dient als Indikator für Landnutzungsänderungen und indirekt für den Biodiversitätsverlust.
3. **Flächenneuversiegelung durch Baumaßnahmen** (Bezugseinheit: m²); dient als Indikator für Landnutzungsänderungen und indirekt für den Biodiversitätsverlust.

Diese drei Indikatoren bzw. vier planetaren Grenzen wurden ausgewählt, da der „sichere Handlungsraum“ (Steffen et al., 2015) der Menschheit in diesen Bereichen schon verlassen wurde: das Risiko gravierender Folgen aufgrund des Klimawandels, des Artenverlustes und des Landnutzungswandel ist bereits hoch bis sehr hoch. Eine weitere (überschrittene) planetare Belastungsgrenze, die zukünftig Eingang in dem Rechner finden könnte, ist die Veränderung biogeochemischer Flüsse (insb. Stickstoff und Phosphor). Aufgrund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit wurde jedoch das Versauerungspotential von Boden und Wasser (AP) sowie das Eutrophierungspotential (EP) vorerst nicht als Indikator mit aufgenommen. Ebenfalls wurden die planetaren Grenzen der Süßwassernutzung, des Ozonverlustes in der Stratosphäre, des Aerosolgehaltes in der Atmosphäre sowie der neuen Substanzen und modifizierten Lebensformen ausgelassen (planetare Grenzen nach Steffen et al., 2015). Nicht nur für die Entwicklung, sondern auch für die Bedienbarkeit des SuPraRechners war die Eingrenzung auf eine kleine Anzahl an Indikatoren wichtig. Diese drei Indikatoren wurden zudem identifiziert, weil sie verschiedene Umweltproblematiken abdecken. Indikator 1. ist nämlich auch ein indirekter Indikator für die Versauerung der Ozeane. Die Versauerung der Ozeane ist auf den steigenden atmosphärischen CO₂-Partialdruck (in April 2022 ca. 418 ppm; Global Monitoring Laboratory, 2022) zurückzuführen, der zu einer Lösung des Kohlenstoffdioxids im Meereswasser führt und zur Bildung von Kohlensäure führt. Somit stehen hier die Treibhausgasemissionen als eine Art „Nebenindikator“ für die Versauerung der Ozeane, die verheerende Folgen auf marine Lebewesen und das menschliche Dasein birgt (World Ocean Review, 2021). Unter den Treibhausgasemissionen zählen zwar neben den Kohlenstoffdioxid-Emissionen auch die Emissionen weiterer Gase wie z. B. Methan, Lachgas und fluorierte Gase (HFKW, FKW, SF₆, NF₃). Dennoch bilden die CO₂-Emissionen den überwiegenden Anteil der Treibhausgasemissionen in Deutschland (87,1% laut UBA, 2021c). Methan und Lachgas (jeweils 6,5% und 4,6% der deutschen

THG-Emissionen, *ibid*) sind vor allem dem Landwirtschaftssektor zuzuordnen (UBA, 2021c), während fluorierte Gase zwar als Kühlmittel oder für den Schallschutz im Baubereich verwendet werden (UBA, 2021c), aber insgesamt für diese Arbeit vernachlässigbar sind. Somit wird angenommen, dass die Treibhausgasemissionen, die im SuPraRechner berechnet werden (in CO₂-Äquivalente), überwiegend CO₂-Emissionen entsprechen und daher auch als Nebenindikator für die Versauerung der Ozeane fungieren können.

In der Einleitung sowie in Kapitel 3.2.3. wurde bereits erläutert, inwiefern die Flächeninanspruchnahme – sei es durch Bebauung oder für die Herstellung der Baustoffe – ein Treiber für den Biodiversitätsverlust bildet und damit Indikatoren 2. und 3. indirekte Indikatoren für die Integrität der Biosphäre darstellen. Dennoch werden hiermit die Auswirkungen auf die Biodiversität nicht vollumfänglich quantifiziert. Es bedarf noch weiterer Forschung, bevor die Methode von Fehrenbach et al. (2021) oder vergleichbare Methoden einen Eingang in Ökobilanzen finden (Lindner et al., 2019).

4.3. Abfragen der Suffizienzmaßnahmen

Bei der Nutzung des Rechners wird zuerst die aktuelle Wohnsituation eingegeben (Blatt 1), gefolgt von der Wohnsituation nach dem „Suffizienz-Check“ (Blatt 2), also der fiktiven, geplanten oder erfolgten Änderung der Wohnsituation, die zu einer Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche führt: die „Suffizienzmaßnahme“. In Blatt 1 müssen in allen orange markierten Zellen die Daten eingegeben werden. In Blatt 2 erfolgt die Daten-Eingabe über zwei Wege: entweder manuell, d. h. die Angaben zu privaten und gemeinschaftlichen Wohnflächen werden selbst eingetragen; oder nach Standardwerten. Wichtig hierbei ist, dass die Standardwerte für exemplarische Zwecke erstellt wurden, also um die Bedienbarkeit des Rechners zu vereinfachen. Diese Standardwerte wurden für die Nutzung des Rechners festgelegt und bilden weder statistische Mittelwerte, noch aus sozial-ökologischer Perspektive optimale bzw. wünschenswerte Wohnflächenwerte. Die Standardwerte entsprechen groben Annahmen zu durchschnittlichen Wohnflächenwerten für die einzelnen Wohnformen. Sie orientieren sich nach Einzelfällen und Einzelstudien, u. a. basierend auf den Arbeiten von Schoop (2017), Dingeldey et al. (2022), Zimmermann (2018) und des Wuppertal Instituts (2021) (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Wohnflächenwerte, die für exemplarische Zwecke genutzt wurden (eigene Darstellung)

Wohnform/ Flächentyp	Fläche Pro Kopf in Quadratmeter („Standardwert“, Gewichtung 1,0)
Mehrparteienhaus	
Gemeinschaftsflächen	4 m ²
Cluster-Wohnung	
Gemeinschaftsflächen	15 m ²
Private Flächen	30 m ²
WG	
Gemeinschaftsflächen	12 m ²
Private Flächen	17 m ²

Die getroffenen Annahmen zur Bestimmung der Standardwerte für die Optionen „Mehrparteienhaus“, „Clusterwohnung“ und „WG“ befinden sich in Blatt 4 des Rechners (Zeilen 33-47). Weitere Annahmen befinden sich in den Zellenkommentaren (siehe insb. Blatt 4, Spalten D, E, H). Die Standard-Werte dienen der Orientierung, dabei wurden drei Gewichtungen festgelegt (vgl. Blatt 2, D22):

- „Standardwerte/ Gleich wie zuvor“: hier wird die Gewichtung 1,0 angesetzt. Die Wohnflächenwerte entsprechen also den in Tabelle 1 aufgelisteten Werten, bzw. in einigen Fällen den in Blatt 1 angegebenen Wohnflächenwerten.
- „Suffizient“: hier wird die Gewichtung 0,7 gesetzt. Die Wohnflächenwerte insgesamt entsprechen hiermit für die Option „Clusterwohnung“ standardmäßig 32,2m²/ Kopf und für die Option „WG“ 20,3m²/ Kopf. Für die Option „Mehrparteienhaus“ liegt demnach der Anteil an Gemeinschaftsfläche pro Kopf bei 3,5 m². In den anderen Fällen beruhen die Werte auf den in Blatt 1 angegebenen Wohnflächenwerten, multipliziert mit der Gewichtung 0,7. Womöglich könnten also bei einer in Blatt 1 angegebene sehr hohen Pro-Kopf-Wohnfläche die Ergebniswerte nach Anwendung der Gewichtung weiterhin hoch bleiben.
- „Minimalistisch“: hier wird die Gewichtung 0,5 angesetzt. Meistens entsprechen die Wohnflächenwerte nach Anwendung der Gewichtungen eher den Werten spartanischer Wohnformen, z. B. Wohnheimen oder Tiny-Houses, wobei hier auch die Wohnflächenwerte in einigen Fällen von den Angaben in Blatt 1 abhängig sind.

Diese Gewichtungen werden nur für die Standardwerte als Orientierung verwendet. Wählt der/die Nutzer*in die manuelle Eingabe (Blatt 2, B22), kann sie nach individueller Vorliebe private vs. gemeinschaftliche sowie beheizte vs. unbeheizte Wohnflächenwerte auswählen.

4.4. Ökologische Bewertung der Suffizienzmaßnahmen: Treibhauspotential

Grundsätzlich lassen sich die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zwischen sogenannten „Betriebsemissionen“, die in der Nutzungsphase anfallen, und „grauen Emissionen“, die in der Herstellung, Instandhaltung und dem Rückbau von Gebäuden entstehen, unterscheiden. Seit dem Energieeinsparungsgesetz 1976 (BBSR, O.J.) und der Energieeinsparverordnung (BGBL, 2001) lag der Fokus des deutschen Klimaschutzes im Bausektor insbesondere bei der Raumwärme und beim Warmwasserverbrauch. Erst in den letzten Jahren wurde allmählich der gesamte Lebenszyklus der Gebäude und damit die Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung und den Rückbau von Bauteilen und ganzer Gebäude anfallen, systematisch mitbetrachtet (DENA, 2021). Angesichts der steigenden Bedeutung der grauen Emissionen ist dies eine dringende Notwendigkeit (vgl. Abb. 6) – und dennoch fehlen weitgehend gute Datengrundlagen hierzu. Während für die Betriebsemissionen ganze Datenbanken zur Verfügung stehen (vgl. 4.4.1.), sind bisher bei den grauen Emissionen v.a. einzelne Gebäude-Ökobilanzen nutzbar, die sich meistens aus Modellvorhaben – also besonders ökologische Gebäude – speisen (vgl. DGNB, 2021).

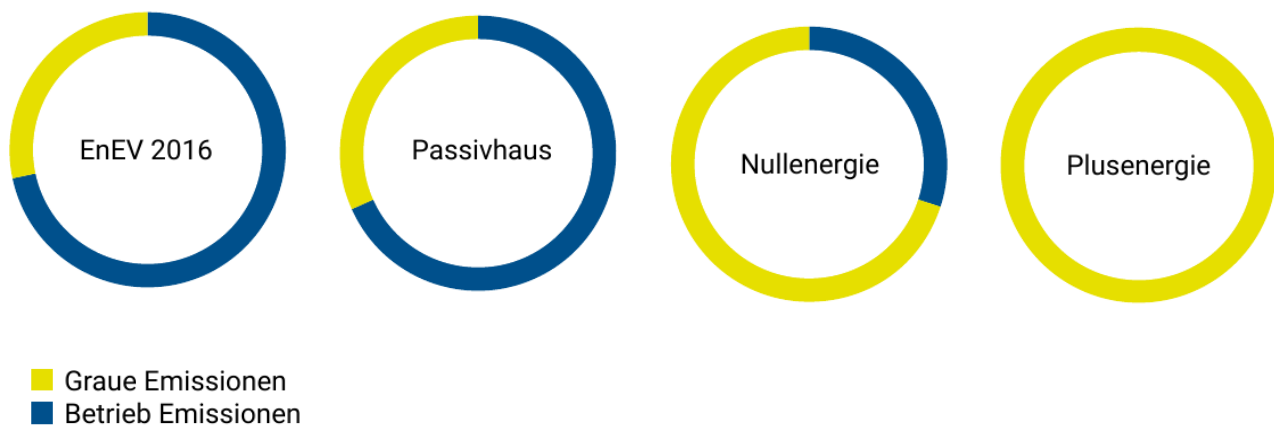


Abbildung 6: Anteil der grauen Emissionen an den gesamten Emissionen von Neubauten (DENA, 2021, S.64)

Im SuPraRechner werden sowohl graue als auch Betriebsemissionen berücksichtigt und dargestellt, jedoch nicht aufeinander addiert. Der Hintergrund dieser gesonderten Betrachtung liegt an den unterschiedlichen Ansätzen. Während die THG-Einsparungen aus der Nutzung in die persönliche Bilanz einfließen („durch Wohnflächeneinsparung muss ich x weniger heizen und damit y weniger THG ausstoßen“) werden die Einsparungen an grauen Emissionen gesamtgesellschaftlich errechnet (durch Wohnflächeneinsparung entsteht x verfügbaren Wohnraum und damit -x Neubaubedarf, was zu y Baustoffeinsparung und z THG-Einsparungen führt). Demnach werden nicht die (schon erfolgten) Umweltwirkungen vom Bestand in diesem Rechner bilanziert, sondern die THG-Einsparungen beim Energieverbrauch sowie die Umweltwirkungen von Neu- und Umbaumaßnahmen. Einsparungen bei den Messgrößen graue Emissionen, Flächenrucksack der Baustoffen und Bodenneuversiegelung werden somit gesamtgesellschaftlich berechnet, und nicht im Vergleich zur früheren Wohnsituation. Aus diesem Grund werden diese Messgrößen in Blatt 1 auch nicht mitberechnet.

4.4.1. Emissionen im Betrieb

Für die Berechnung der THG-Einsparungen im Betrieb wurde auf eine oft genutzten Datenbank zurückgegriffen: das Tabula-Webtool⁶ des „Institut Wohnen und Umwelt“ (IWU). Die Tabula-Datenbank enthält eine Wohngebäudetypologie mit Beispielgebäuden aus 20 Ländern; für Deutschland sind es 10 bis 20 Wohngebäudekategorien, jeweils mit Angaben zum Heizenergiebedarf und zu den THG-Emissionen, da für jede Gebäudekategorie ein bestimmter Heizungsmix angenommen wird. Es wird zwischen Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienhaus, Hochhaus), zwischen Gebäudealter und zwischen Sanierungsstand unterschieden (vgl. Abb. 7). Diese Daten wurden direkt übernommen (im Blatt 5) und ermöglichen eine grobe Angabe zu den THG-Emissionen im Betrieb, nachdem die/der Nutzer*in Angaben zum Gebäudetyp, -Alter und Sanierungszustand bzw. Energiestandard sowie natürlich zur Wohnfläche gemacht hat. Für ganz neue Gebäude, also für die Option „ich möchte Neubauen“ wurden Daten von Mahler et al. (2019) verwendet, basierend auf der Energieeinsparverordnung von 2016 (vgl. Kommentar im Rechner Blatt 5, B14).

Eine genauere Abfrage der Heizungsart und des Jahresverbrauchs findet daher nicht statt. Auch wird nicht zwischen Zentral-, Etagen- oder Zusatzheizungen weiter differenziert. Die Ergebnisse in Blatt 5 liegen sowohl in CO₂-Äq. pro m² pro Jahr als auch in kWh pro m² pro Jahr. Es ist zu beachten, dass

⁶<https://webtool.building-typology.eu/#bm>

hier nur der Energieverbrauch für Heiz- und Lüftungssysteme berücksichtigt wurde: die Energie bzw. Emissionen für Klimaanlage sowie für den Warmwasser- und Stromverbrauch wurden hier ausgelassen. Dies liegt zum Einen am begrenzten Rahmen dieser Arbeit. Zum Anderen ist die Nutzung von Klimaanlage bisher die Ausnahme im Wohngebäudebestand, auch wenn sich dies im Zuge des Klimawandels, der wachsenden Komfort-Ansprüche und einer alternden Bevölkerung zukünftig ändern könnte (UBA, 2020b). Die Warmwasser- und Stromverbräuche sind wiederum weitgehend unabhängig von der Wohnfläche, sondern v.a. vom individuellen Verhalten sowie von der Anzahl an Geräten abhängig: potenzielle Einsparungen durch Suffizienz, die aber nicht Gegenstand dieser Arbeit sind.

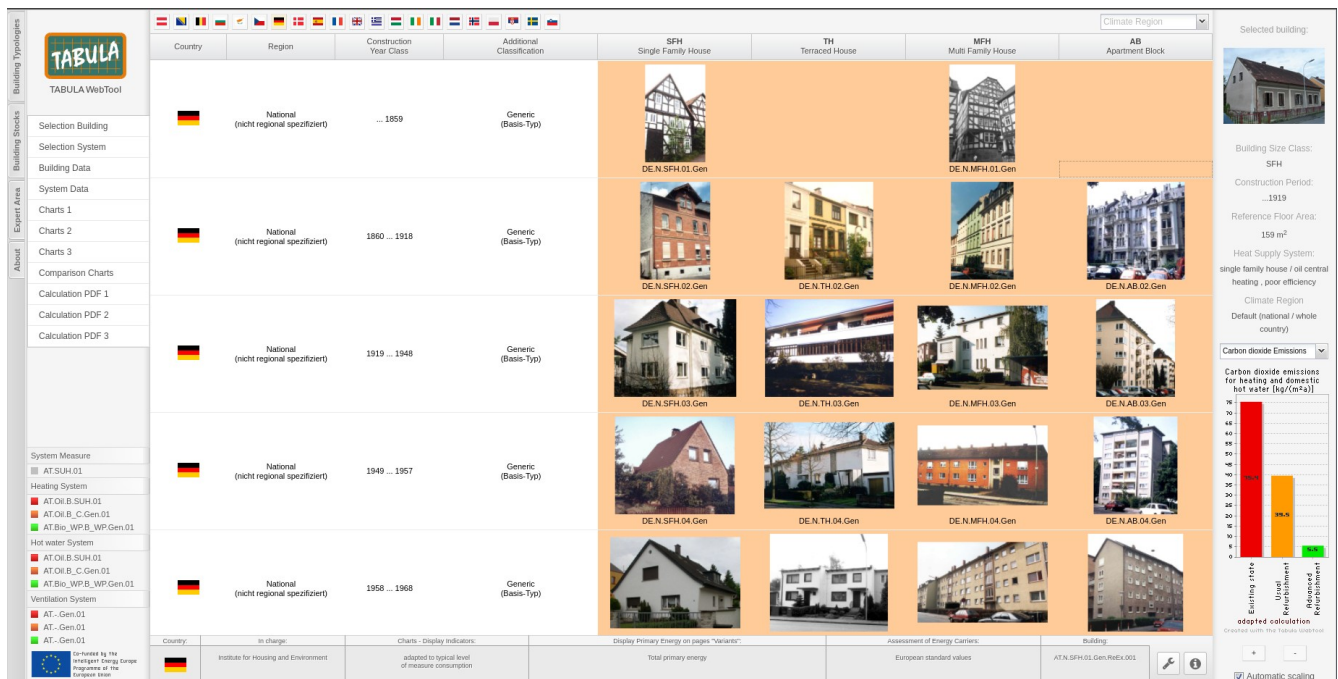


Abbildung 7: Benutzer-Oberfläche des Webtools TABULA (IWU, 2022)

4.4.2. Graue Emissionen

Wie bereits erläutert werden die grauen Emissionen vom Bestand nicht bilanziert, sondern lediglich die grauen Emissionen von Neu- und Umbaumaßnahmen sowie die Emissionseinsparungen durch die gesamtgesellschaftliche Einsparung von Wohnraum (und damit von Baustoffen). Daraus wird ein Saldo errechnet. Da wenige Daten zu Materialbilanzen und zu den grauen Emissionen der verschiedenen Baumaßnahmen vorlagen, musste eine eigene Datengrundlage dafür geschaffen und geprüft werden (siehe Plausibilisierung), was einen bedeutenden Teil dieser Arbeit ausmacht. Zwar konnten einige

Daten der Literatur entnommen werden (vgl. 3.2.2.), dennoch enthält der SuPraRechner aus verschiedenen Gründen eine eigene Berechnung der grauen Emissionen und der dafür nötige Materialbilanzen:

(1) Die Materialbilanzen werden nicht nur für die Berechnung der grauen Emissionen verwendet, sondern sind auch für die spätere Berechnung des Flächenrucksacks nötig. Da für den Flächenrucksack aber keine Vergleichswerte vorliegen, weil es sich um eine erste Anwendung dieser Methode handelt, kann keine Plausibilisierung der Flächenrucksack-Werte erfolgen. Daher ist es wichtig, dass die Materialbilanzen selbst kontrolliert werden – dies erfolgt indirekt über die Plausibilisierung der grauen Emissionen (vgl. 6.2.). Auch sind Materialbilanzen wichtig, sollte der Rechner mit anderen Wirkungskategorien (Überdüngungspotential, Frischwasserverbrauch, usw.) ergänzt werden.

(2) Für Aufstockungsmaßnahmen liefern Kenkmann et al. (2019) keine Werte zu den grauen Emissionen. Auch für die Differenzierung zwischen Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern sind kaum Daten vorhanden.

(3) Eine eigene Berechnung der grauen Emissionen inkl. Materialbilanz ermöglicht einen zukünftigen Ausbau des Rechners. Beispielsweise könnten verschiedene Sanierungsstufen je nach Materialverbrauch dargestellt werden, sowie Strohballenhäuser als zusätzliche Option für eine Neubaumaßnahme aufgenommen werden.

Das Vorgehen zur Berechnung der ausgestoßenen und eingesparten grauen Emissionen wird in Abb. 8 zusammenfassend dargestellt. Die dort abgebildeten Schritte werden im Folgenden kurz erläutert.

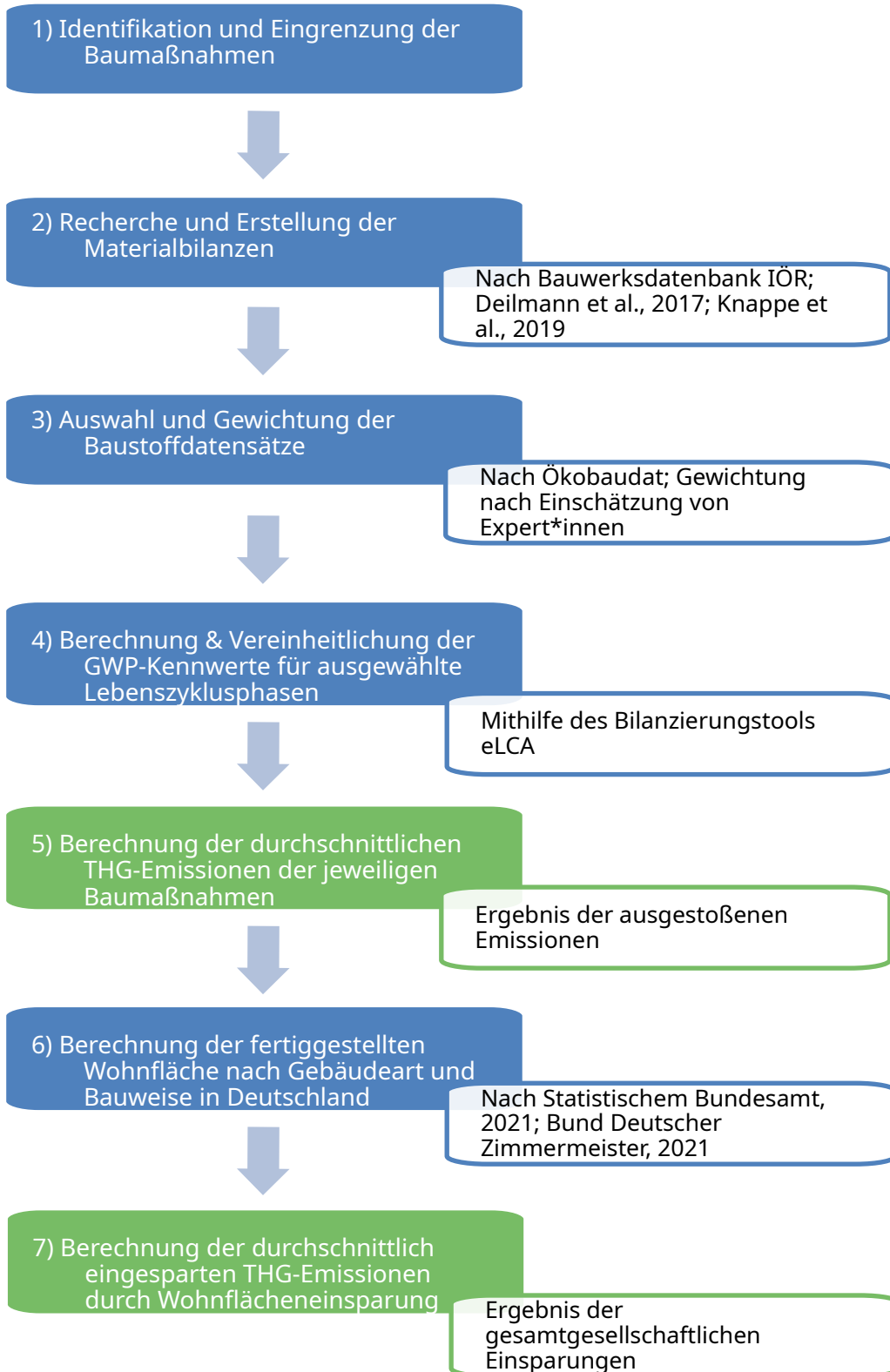


Abbildung 8: Workflow zur Berechnung der ausgestoßenen und eingesparten grauen Emissionen der jeweiligen Suffizienzmaßnahmen (eigene Darstellung)

1) Identifikation und Eingrenzung der Baumaßnahmen:

Aus den zehn verschiedenen Suffizienzmaßnahmen ergeben sich folgende Baumaßnahmen: ein Umbau oder eine Aufstockung des bestehenden Hauses/der Wohnung, sowie einen Umzug in einen Neubau oder Anbau (vgl. Tabelle 2). Im Falle eines Umzugs in einen Altbau werden keine zusätzlichen grauen Emissionen berechnet. Auch werden keine grauen Emissionen angerechnet, wenn keine Baumaßnahme stattfindet, weil z. B. mit dem Einzug zusätzlicher Menschen in die bestehende Wohnung die Pro-Kopf-Wohnfläche sinkt. Die Herstellung neuer Möbel sowie kleinere Umbaumaßnahmen werden hier vernachlässigt.

Tabelle 2: Typologisierung der Suffizienzmaßnahmen nach Baumaßnahme (eigene Darstellung)

Suffizienzmaßnahme	Art der Maßnahme
Umzug in ein kleineres Haus bzw. Wohnung	Umzug (Neu- oder Altbau)
Umzug in eine eigene Wohnung in einem Mehrparteienhaus mit Gemeinschaftsräumen und -flächen	Umzug (Neu- oder Altbau)
Umzug in einer Clusterwohnung mit Gemeinschaftsräumen und -flächen	Umzug (Neu- oder Altbau)
Umzug in eine Wohngemeinschaft (WG)	Umzug (Neu- oder Altbau)
Mit mehr Menschen im selben Haus/in der selben Wohnung leben	<i>Keine Baumaßnahme</i>
Ein Teil der Wohnung/des Hauses vermieten	<i>Keine Baumaßnahme</i>
Das Gebäude so umbauen, dass ein Teil gemietet wird	Umbau
Das Gebäude so umbauen, dass mehr Menschen darin wohnen	Umbau
Ein kleinerer, altersgerechter Anbau oder Haus auf dem eigenen Grundstück bauen und bewohnen	Umzug (Neubau)
Für Einfamilienhäuser: Das Haus aufstocken und die oberen Stockwerke vermieten	Aufstockung

Die Baumaßnahmen wurden für die Berechnung der grauen Emissionen fünf Kategorien zugeordnet:

- Neubau Einfamilienhaus (Massivbauweise)
- Neubau Mehrfamilienhaus (Massivbauweise)
- Sanierung (Einfamilienhaus)
- Neubau Mehrfamilienhaus (Holzbauweise)
- Aufstockung Einfamilienhaus (Holzbauweise)

Es wurde also zwischen zwei verschiedene Konstruktionstypen differenziert: mineralische Rohstoffe, d. h. Massivbauweise mit Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein; und nachwachsende Rohstoffe, in diesem Fall Holzbauweise mit erhöhten Anteil an nachwachsenden Rohstoffen in der Dämmung und im Bodenbelag. Außerdem wurde beim Massivbau zwischen zwei verschiedene Gebäudetypen differenziert (Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus), da der Materialeinsatz sich qualitativ (z. B. in Bezug auf den Stahlbetonverbrauch) sowie quantitativ (durch Skaleneffekte) unterscheidet (IÖR, O.J.). Grund für diese Differenzierung ist zudem, dass dafür Daten zur Verfügung standen. Die Bauwerksdaten vom IÖR lieferten eine Materialbilanz sowohl für ein Einfamilienhaus als auch für ein Mehrfamilienhaus (siehe Schritt 2). Es wurde angenommen, dass die Treibhausgasemissionen für die Herstellung eines Anbaus, eines Zweifamilienhauses oder eines Reihenhauses sich (auf den m² Wohnraum heruntergerechnet) nur wenig von einem durchschnittlichen Einfamilienhaus unterscheiden, weshalb sie in einer Kategorie zusammengefasst wurden. Ebenso wurde für Hochhäuser angenommen, dass die grauen Emissionen pro m² Wohnraum denen eines Mehrfamilienhauses ähneln, da es sich meistens um mehrstöckige Gebäude der Gebäudeklasse 4 oder 5 handelt und damit die Konstruktionsart bzw. der Anteil an Stahlbeton ähnlich sind. Für die Holzbauweise wurde aufgrund der geringen Datengrundlage keine Differenzierung zwischen Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) unternommen, wobei die Materialbilanz sich an einem Mehrfamilienhaus orientiert. Auch für die Sanierung wurde keine weitere Differenzierung unternommen, wobei sich die Berechnung an einem Einfamilienhaus orientiert. Hier ist die Annahme, dass die baulichen Änderungen (Grundrissänderung, Leitungen usw.) mit energetischen Maßnahmen gekoppelt wurden. Diese Annahme ist insofern relevant, als dass die grauen Emissionen einer Sanierung in der höheren Spanne liegen (siehe Plausibilisierung, 6.2.), aber die Betriebsemissionen deutlich sinken. Für die Aufstockung wurde angenommen, dass sie mit einer Holzkonstruktion erfolgt, da dies aufgrund der Leichtigkeit des Baustoffes meistens der Fall ist (FNR, 2022). Zudem werden die grauen Emissionen der Haussanierung anteilig mitberechnet, da die Aufstockung mit einer energetischen Sanierung des Hauses gekoppelt wird. Die Aufstockung als Suffizienzmaßnahme wird nur für Einfamilienhäuser angeboten. Die Annahme dahinter ist, dass eine Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche durch die Neuaufteilung vom Wohnraum dabei erfolgen kann. In Mehrfamilienhäuser ist es äußerst unwahrscheinlich, dass im Zuge einer Aufstockung eine Neuaufteilung des bestehenden Wohnraums stattfindet.

Diese Kategorisierung ermöglicht eine genauere Berechnung der grauen Emissionen je nach Baumaßnahme. Eine weitere Ausdifferenzierung dieser Kategorien ist natürlich möglich, z. B. in

verschiedene Arten der Sanierung, oder weitere Bauweisen wie dem Strohballenbau. Allerdings wurden aufgrund des begrenzten Rahmens dieser Arbeit sowie der fehlenden Datengrundlage erstmal nur fünf Kategorien der Baumaßnahmen ausgearbeitet. Zudem liegt der Fokus dieser Arbeit in der Bewertung von Wohnflächeneinsparung und nicht in der Betrachtung der Konsistenz- oder Effizienzgewinne der jeweiligen Baumaßnahmen.

2) Recherche und Erstellung der Materialbilanzen

Für diese fünf oben definierten Kategorien der Baumaßnahmen wurden Materialbilanzen recherchiert bzw. wenn nötig erstellt oder ergänzt. Die virtuelle Materialbilanz der beiden Massivbauweisen (EFH & MFH) wurden mithilfe der Bauwerksdatenbank des IÖR (O.J.) sowie der Studie vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR) „Materialströme im Hochbau“ (Deilmann et al., 2017) erstellt. Die Materialbilanz vom IÖR bildet „synthetische“ Gebäude ab: sie wird aus einer Anzahl an Gebäude-Repräsentanten mit ähnlichen Merkmalsausprägungen aggregiert. Dabei wurden die Mengen (in Tonnen) bestimmter Materialgruppen (Beton, Ziegel, Eisenmetalle, usw.) auf ein Gebäude – dessen Wohnfläche angegeben wird – heruntergerechnet. Da allerdings diese Daten nicht aufgeschlüsselt genug waren und einen älteren Zeitraum als erwünscht abbildeten (1991 – 2010), wurden sie noch mit aktuelleren Daten (Deilmann et al., 2017) ergänzt. Letztere wurden nach einem Top-down Ansatz berechnet, d. h. der Anteil bestimmter Materialströmen bundesweit wurde auf der Gebäude-Ebene heruntergerechnet. Es wurden hierfür 16 Materialgruppen ausgehend von der Datenlage definiert (Tabelle 3).

Für Gebäude-Sanierungen wurde keine Materialbilanz-Datenbank, die auf einer statistisch relevante Anzahl an Sanierungsmaßnahmen beruht, gefunden. Auch Deilmann et al. (2017, S. 16) räumen ein, dass „eine Betrachtung von Sanierungen und Modernisierungen sowie von Abbruch und Abgang von Gebäuden beziehungsweise Wohneinheiten [schwieriger ist]. Diese Bautätigkeiten werden in der Statistik unvollständig erfasst“. Zudem wurden Materialbilanzen zu typischen Sanierungen bei Architekturbüros angefragt. Jedoch kam die Rückmeldung, dass die Bauvorhaben in der Hinsicht sehr variabel seien und eine Extrapolierung basierend auf den Materialbilanzen einzelner Gebäude nicht zielführend sei. Daher erfolgte nach Absprachen mit Experten (Corvin Veith, ifeu; Joachim Reinhardt, ifeu) die Materialbilanz der Kategorie „Sanierung“ pauschal, orientiert an der EFH-Massivbau-

Berechnung. Angenommen wurde eine energetische Sanierung sowie leichte Grundrissänderungen. Daher entspricht die Menge an verwendetem Gips, Dämmmaterial und Flachglas der eines Neubauvorhabens. Für alle weiteren Materialgruppen wurden 5% der Masse an eingesetzten Materialien für einen Neubau angenommen. Dieser Wert orientiert sich an den Angaben der BBSR-Studie von Deilmann et al. (2017, S. 20), wonach der Material-Input einer Sanierung ca. 3,5 bis 5,5 % eines Neubauvorhabens beträgt.

Auch für Holzbauten und Aufstockungen wurden keine Materialbilanz-Daten gefunden nach dem Modell der Bauwerksdatenbank des IÖR. Deshalb wurde die Materialbilanz für die Kategorie „Holzbauweise“ nach einem Referenzgebäude ausgerichtet, bei dem Korrekturen und Ergänzungen getroffen wurden. Das Referenzgebäude ist ein Schulgebäude, bilanziert von Knappe et al. (2019), die Korrekturen und Ergänzungen orientieren sich an einem Mehrfamilienhaus.⁷ Ähnlich wie bei der Sanierung erfolgte die Materialbilanz der Aufstockung pauschal, orientiert am Holzneubau. Dabei wurden mit ähnlichem Materialaufwand wie bei einem Holzneubau berechnet, außer beim Beton – da kein Fundament benötigt wird –, bei den Eisenmetallen – da kein oder kaum Bewehrungsstahl benötigt wird – und bei den sonstigen Metallen – da weniger Versorgungsanschlüsse bzw. Mengen benötigt werden.

Schließlich wurden die Massen je Materialgruppe auf ein Quadratmeter Wohnraum übertragen, basierend auf der Angabe der Gesamtwohnfläche für die synthetische Gebäude (Massivbau) sowie für das Referenzgebäude (Holzbau).

3) Auswahl und Gewichtung der Baustoffdatensätzen

Liegt die Materialbilanz aufgeschlüsselt nach Materialgruppen vor, müssen Angaben zu den durchschnittlichen Treibhausgasemissionen dieser Materialien gemacht werden. Hierfür wurden Baustoffdatensätzen der ÖKOBAUDAT⁸ verwendet. Diese Ökobilanzdatenbank wird vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) bereitgestellt und dient der Bilanzierung von Bauteilen und Gebäuden. Als Datenbank wurde die ÖKOBAUDAT verwendet, da die Daten kostenfrei zugänglich sind, regelmäßig aktualisiert werden und es sich um eine gängige und

⁷ Für die genauere Materialbilanz sowie die vorgenommenen Anpassungen, siehe Blatt 7 des SuPraRechner, Zeilen 35 bis 76.

⁸ <https://www.oekobaudat.de/>

umfangreiche Datenbank handelt. Die ÖKOBAUDAT bietet neben den firmen- oder verbandsspezifische Datensätze sogenannte generische Datensätze an, die nicht produktspezifisch sind. Für die Treibhausgasbilanzierung in dieser Arbeit wurden soweit wie möglich generische Datensätze verwendet. Für die meisten Materialgruppen mussten allerdings mehrere Baustoffdatensätze verwendet und gewichtet werden. Dies liegt daran, dass eine Aufschlüsselung der Materialbilanzen nach 16 Materialgruppen sehr grob ist (Beton, Ziegel, Eisenmetalle, Kalksandstein, Gips, usw.) und diese ggf. weiter spezifiziert werden müssen. Diese weitere Aufschlüsselung und Gewichtung ist umso wichtiger, je stärker die GWP-Kennwerte von einander abweichen. Beispielsweise sind für die Materialgruppe „Ziegel“ die GWP-Kennwerte des Baustoffdatensatzes „Keramische Fliesen und Platten“ mehr als doppelt so hoch wie die GWP-Kennwerte des Baustoffdatensatzes „Vormauerziegel“. Aus diesem Grund fand unter der Berücksichtigung der anteiligen Massen eine Gewichtung ausgewählter Baustoffdatensätze statt (Tabelle 3). Die Auswahl und Gewichtung der Datensätze erfolgte mithilfe der Einschätzung von Experten vom ifeu (Corvin Veith und Joachim Reinhardt). Die Quellen zu den einzelnen Datensätzen werden im Rechner angegeben (Blatt 6, Spalte I).

Tabelle 3: Gewichtung der Baustoffdatensätze je Materialgruppe (eigene Darstellung)

Materialgruppe nach IÖR und Deilmann et al. 2017	Baustoff-Datensatz (aus der Ökobaudat)	Gewichtung der Datensätze
Beton	Beton-Mauerstein	33 %
	Transportbeton	33 %
	Betonfertigteile-Wand	33 %
Ziegel	Vormauerziegel	50 %
	Keramische Fliesen und Platten	20 %
	Dachziegel	30 %
Eisenmetalle	Bewehrungsstahl	100 %
Holz	Konstruktionsvollholz	33 %
	Schnittholz (Fichte)	33 %
	Spanplatte	33 %
Kalksandstein	Kalksandstein (Mix)	100 %
Porenbeton	Porenbeton (unbewehrt)	100 %
Gips	Gipskartonplatten	50 %
	Gipsfaserplatten	30 %
	Gipswandbauplatten	20 %
Glas	Isolierglas 2-Scheiben	100 %
Natursteine	Natursteinplatte, weich, Innenboden	50 %
	Natursteinplatte, hart, Außenbereich	50 %
Mineralische Dämmstoffe	Mineralwolle	100 %
Kunststoff-Dämmstoffe	Expandiertes Polystyrol (EPS)	100 %
Kunststoff-Fenster/-Türen	Fensterrahmen (PVC)	100 %
Sonst. Kunststoffe	Abwasserrohr (PVC)	60 %
	Kunststoffprofil (CR)	20 %
	PTFE-Folie (Dach und Fassade)	10 %
	PE-Noppenfolie (Abdichtung)	10 %
Sonst. Metalle	Aluminium	50 %
	Kupfer	50 %
Sonst. Mineralisches	Zementestrich	35 %
	Kalkzementmörtel	30 %
	Kalkputzmörtel	30 %
	Bitumen	5 %
Sonst. Nachwachsende (Holzbau)	Holzwolle-Leichtbauplatte	33 %
	Holzfaserdämmplatte	33 %
	Linoleum	33 %

4) Berechnung und Vereinheitlichung der GWP-Kennwerte für ausgewählte Lebenszyklusphasen

Zunächst wurden die Kennwerte zum Treibhauspotential mithilfe des Bilanzierungstool eLCA vereinheitlicht, damit:

- alle GWP-Kennwerte in kg CO₂-Äq. pro Tonne Baustoffe vorliegen (teilweise geben die Baustoffdatensätze nur Angaben in kg CO₂-Äq. pro kg oder m³ Baustoff an);
- der Betrachtungszeitraum auf 50 Jahre für jeden Datensatz vereinheitlicht wird;
- die ausgewählten Lebenszyklusphasen ebenfalls konsistent sind.

Das online-Bilanzierungstool eLCA⁹ wird vom BBSR entwickelt, dient der Berechnung von Lebenszyklusanalysen für Bauteile und Gebäude, wobei u. a. Datensätze der ÖKOBAUDAT eingesetzt werden. Die GWP-Angaben mussten pro Tonnen Material umgerechnet werden, da die Materialbilanzen in Tonnen vorliegen. Die Lebensdauer von Bauteilen wurde auf 50 Jahre vereinheitlicht, da dieser dem Betrachtungszeitraum entspricht. Diese Vereinheitlichung der Lebensdauer, d. h. die Ausklammerung des Austausches von Bauteilen, weicht von der gängigen Methodik ab, wie sie z. B. von der DGNB angewandt wird (DGNB, 2018, S.60). Allerdings wurde dies nach Einschätzung der o.g. ifeu-Experten empfohlen, da sonst die GWP-Kennwerte für einzelne Bauteile unrealistisch hoch gewesen wären. Die betrachteten Lebenszyklusphasen (Tabelle 4) entsprechen denen der gängigen DGNB-Systematik: Herstellung (A1-A3), Nutzung (B1, B6) – gesondert behandelt unter „Betriebsemissionen“ –, Abfallbehandlung und Beseitigung (C3, C4) sowie Potentiale für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling (D). Da die Bewertung des Moduls D teilweise umstritten ist, weil das Recycling-Potential bisher in der Baupraxis meist nicht ausgeschöpft wird, wurden die Ergebnisse auf Blatt 6 sowohl mit als auch ohne Modul D berechnet. In den Gesamtergebnissen wird Modul D mitbetrachtet, da mit einem optimistischen Szenario einer in Zukunft weitverbreitete Praxis der Wiederverwendung von Baumaterialien und Bauteilen gerechnet wird. Die Module A4-5, B2-5, B7 sowie C1-2 wurden demnach entsprechend der gängigen DGNB-Methodik nicht betrachtet (Tabelle 4). Diese Methodik ist üblich, da der Einbau und der Rückbau vernachlässigbar sind und der Transport zu und von der Baustelle abhängig vom Ort der Baustelle ist. Dafür wird meist der Transportrechner der eLCA verwendet, wobei dies für allgemeine Bilanzierungen wie die im SuPraRechner vernachlässigt werden kann (Corvin Veith, ifeu; pers. Mitteilung). Es ist

⁹ www.bauteileditor.de

dennoch anzumerken, dass je nach Herkunft der Baustoffen die Treibhausgasbilanz erheblich steigen kann (z. B. Holzimporte aus anderen Kontinenten) und dies hier nicht abgebildet wird.

Tabelle 4: Im SuPraRechner betrachtete Module einer Gebäude-Lebenszykulanalyse (in Anlehnung an DGNB, 2018, S.60)

Lebenszyklusphasen	A 1-3			A 4-5		B 1-7						C 1-4				D	
	Herstellung			Errichtung		Nutzung						Ende des Lebenszyklus				Gutschriften/ Lasten	
Module gemäß DIN EN 15978	Rohstoffbereitstellung	Transport zur Produktionsstelle	Herstellung	Transport zur Baustelle	Errichtung/ Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau/ Abriss	Transport zur Entsorgungsstelle	Abfallverwertung	Entsorgung	Potential für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling
Ausgewählte Module (grün)	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

5) Berechnung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen der jeweiligen Baumaßnahmen

Nach Gewichtung und Vereinheitlichung der Baustoffdatensätze liegen durchschnittliche Treibhausgaswerte in kg. CO₂-Äq./ t Materialgruppe vor. Über die Materialbilanz konnten die Massen der jeweiligen Materialgruppen auf den m² Wohnraum übertragen werden, sodass die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen der jeweiligen Baumaßnahmen in kg CO₂-Äq./m² Wohnraum umgerechnet und summiert werden konnten. Schließlich wird die Treibhausgasbilanz in jährlichen Emissionen ausgedrückt – also in kg CO₂-Äq./(m²*a) – da dies der üblichen DGNB-

Systematik entspricht (DGNB, 2018). Angenommen wird dabei standardmäßig eine durchschnittliche Gebäude-Lebensdauer von 50 Jahren. Für die (Zwischen-)Ergebnisse, siehe 5.1.1., Abb 10.

6) Berechnung der fertiggestellte Wohnfläche nach Gebäudeart und Bauweise in Deutschland

Um die Klimaschutzeffekte der Wohnflächeneinsparung zu quantifizieren, musste noch recherchiert werden, wie neuer Wohnraum in Deutschland hergestellt wird. Daraus ergeben sich die eingesparten Emissionen durch Wohnflächeneinsparung, da angenommen wird, dass der (Neu-)Baubedarf reduziert wird (vgl. Diskussion unter 6.3.1.). Der Anteil fertiggestellter Wohnfläche in Wohnungen nach der Gebäudeart und Bauweise ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Anteil fertiggestellter Wohnfläche in Wohnungen nach der Gebäudeart für 2020 (Statistisches Bundesamt, 2021) und Vereinfachungen für die Berechnung der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen je Baumaßnahme (Bund deutscher Zimmermeister, 2021; eigene Berechnung)

Anteil fertiggestellte Wohnfläche		Vereinfachungen		
mit 1 Wohnung	42 %	Einfamilienhaus	vereinfacht EFH =	EFH-Massivbau = ca. 40%
mit 2 Wohnungen	7 %	Reihenhaus/Zweifamilienhaus	50%	
mit 3 oder mehr Wohnungen	37 %	Mehrfamilienhaus/Hochhaus	vereinfacht MFH=	MFH-Massivbau = ca. 30%
in Wohnheimen	1 %	Wohnheime	38%	
Nichtwohngebäuden	1 %	vernachlässigbar	-	-
Baumaßnahmen an Bestand	12 %	Sanierungen	Sanierung= 12%	Sanierung= 12%
				Aufstockungen: -

Dabei wurden Vereinfachungen unternommen, um die Bautätigkeiten in den fünf unter (1) definierten Kategorien einzuordnen. Wohnraum, der aus der Umwidmung von Nicht-Wohngebäuden fertiggestellt wurde, entspricht 1% der fertiggestellten Wohnfläche und wurde demnach vernachlässigt. Einfamilienhäuser, Zweifamilienhäuser und Reihenhäuser wurden in einer Kategorie zusammengefasst; während Mehrfamilienhäuser, Hochhäuser und Wohnheime einer anderen Kategorie zugeordnet wurden. Wohnraum, der durch Gebäude-Aufstockungen fertiggestellt wurde, wird vom Statistischen Amt nicht explizit erwähnt und ist vermutlich unter „Baumaßnahmen in bestehenden Gebäuden“ mit einbegriffen. Aufgrund der bisher geringen Relevanz dieser Bautätigkeit findet daher keine weitere Differenzierung statt. Der Anteil an Holzbauten unter der Neubauten liegt mittlerweile bei ca. 20% der genehmigten Neubauten (Bund deutscher Zimmermeister, 2021). Vereinfacht wird also von ca. 20% an fertiggestellte Wohnfläche mit Holzkonstruktion für die Neubaumaßnahmen ausgegangen (Tabelle 5).

7) Berechnung der durchschnittlichen eingesparten Emissionen durch Wohnflächeneinsparung

Schließlich werden die Treibhausgasemissionen der jeweiligen Baumaßnahmen entsprechend ihrem Anteil an der bundesweiten Bautätigkeit gewichtet, um daraus die eingesparten THG-Emissionen pro eingesparten Quadratmeter Wohnraum zu kalkulieren. Dies lässt sich anhand folgender Formel zusammenfassen (Blatt 6, C-L56):

$$\begin{aligned} & \text{Eingesparte grauen Emissionen für Wohnflächeneinsparung} = \\ & [(\text{GWP EFH-Massivbau}) \cdot 0,4 + (\text{GWP MFH-Massivbau}) \cdot 0,3 + (\text{GWP Holzbau}) \cdot 0,18 + (\text{GWP-} \\ & \text{Sanierung}) \cdot 0,12] \cdot \text{Wohnflächeneinsparung} \end{aligned}$$

Die Ergebnisse liegen in kg CO₂-Äq. pro Jahr und werden unter 5.1.1. vorgestellt und unter 6.2. diskutiert.

4.5. Ökologische Bewertung der Suffizienzmaßnahmen: Flächenrucksack der Baustoffen

Die Flächenrucksack-Werte basieren auf die Daten der UBA-Studie „Flächenrucksäcke von Gütern oder Dienstleistungen“ (Fehrenbach et al., 2021a,,b,c). Dabei werden zwei Dimensionen der Flächennutzung betrachtet: die temporäre Flächenbelegung in m² artifizielle Flächenäquivalent (aF-Äq.) pro Jahr pro Bezugseinheit; und die Flächennutzungsänderung in m² artifizielle Flächenäquivalent pro Bezugseinheit. Beide Dimensionen werden mit dem Indikatorwert „Naturfernepotential“ in artifizielle Flächenäquivalent (aF-Äq.) ausgedrückt. Dieser aggregierter Indikatorwert soll die unterschiedlichen Intensitäten der Naturraumbeanspruchung in einer vergleichbaren Einheit abbilden. Die Naturraumbeanspruchung setzt sich aus der Flächenmenge und der Flächenqualität zusammen – diese Flächenqualität wird in sog. Hemerobie-Klassen ausgedrückt (Fehrenbach et al., 2021a, S.64, 65, 94). Um das Naturfernepotential aus den Hemerobieklassen abzuleiten, wird ein Charakterisierungsfaktor verwendet. Dieser fungiert als Koeffizient, wobei 1,0 einer vollständig artifiziellen, naturfernen Fläche entspricht (z. B. vollständig versiegelt); während Werte, die gegen 0

tendieren, einer naturnahen Fläche entsprechen. Mit dem Naturfernepotential können also Eingriffe unterschiedlicher Schwere in einer vergleichbaren Einheit dargestellt werden – ähnlich wie das Treibhauspotential, das sich in CO₂-Äq. und nicht CO₂ ausdrückt, und damit den potenziellen Treibhauseffekt anderer Gase wie Methan, Lachgas usw. miteinbezieht.

Dieses Naturfernepotential wird sowohl für die temporär genutzte Fläche (Flächenbelegung) als auch für die umgewandelte Fläche (Flächennutzungsänderung) kalkuliert; zwei unterschiedliche Dimensionen des „Flächenrucksacks“ von Gütern und Dienstleistungen. Wichtig ist dabei zu beachten, dass der Flächenrucksack hier lediglich für die Baustoffe berechnet wurde – inklusive der Energie, die zur Herstellung der Baustoffe selbst benötigt wird. Der Flächenrucksack könnte genauso für den Energieverbrauch im Hausbetrieb angewandt werden (vgl. 6.3.4.), allerdings wurde dies im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Die Systemgrenze liegt hier bei der Herstellung der Baustoffe: der Strom- und Brennstoffverbrauch für die Herstellung der Baustoffen wird mitbilanziert, jedoch nicht der Transport. Auch Sekundärbrennstoffe (z. B. bei der Zement-Herstellung) werden entsprechend der üblichen Ökobilanz-Berechnungen nicht mitbilanziert, da angenommen wird, dass sie bereits an anderer Stelle bilanziert wurden. Hinter den Datensätzen von Fehrenbach et al. (2021c) steht zudem die Annahme, dass die meisten Materialien außer Brennstoffe und Metalle in Deutschland produziert bzw. extrahiert werden (Horst Fehrenbach, ifeu; pers. Mitteilung).

Für die Berechnung der eingesparten Flächenbelegung bzw. -nutzungsänderung musste zuerst eine Materialbilanz errechnet werden, die jedoch bereits für die grauen Emissionen berechnet wurde (vgl. 4.4.2.). Diese Materialbilanzen mit Massen je Materialgruppen (Beton, Ziegel, Eisenmetalle...) mussten an die bestehenden Datensätze von Fehrenbach et al. (2021c) angepasst werden durch eine zusätzliche Differenzierung, d. h. eine Aufschlüsselung der Zusammensetzung der jeweiligen Baustoffe. Dies wurde bereits exemplarisch für den Stahlbeton in der o. g. Studie gemacht (Fehrenbach et al., 2021b, S.85) und wurde dann im SuPraRechner systematisch für die zwölf Materialgruppen durchgeführt. Aufgrund der geringen Anzahl von Datensätzen, die zur Verfügung standen, wurden allerdings an einigen Stellen grobe Vereinfachungen vorgenommen (z. B. für die Materialgruppe „nachwachsende Rohstoffe“ bzw. für den Baustoff Linoleum). Anschließend mussten die Daten zur Flächenbelegung und zur Flächennutzungsänderung teilweise vereinheitlicht werden, da sie u. a. pro kg (bei Mineralien und Weizen) oder pro m³ (bei Holz) statt pro Tonne vorlagen.¹⁰ Zum Schluss wurden,

¹⁰Für weitere Details und Quellen zu den Umrechnungen ist auf den SuPraRechner (Blatt 8) und insbesondere auf die Kommentare in den Zellen zu verweisen.

vergleichbar mit Schritten 5), 6), 7) der Berechnung der grauen Emissionen (vgl. 4.4.2.) die Flächenrucksäcke der jeweiligen Baumaßnahmen sowie die Einsparungen beim Flächenrucksack durch Wohnflächeneinsparung berechnet. Da diese Schritte vergleichbar sind mit der o. g. Methodik, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

4.6. Ökologische Bewertung der Suffizienzmaßnahmen: Bodenversiegelung

Die direkte Bodenversiegelung durch Neubebauung sowie die eingesparte Bodenversiegelung wurden von der Wohnfläche abgeleitet. Hier wird nur die versiegelte Grundstücksfläche betrachtet und die Versiegelung durch Stellplätze, Erschließung und weitere Infrastruktur nicht berechnet. Bei einer Suffizienzmaßnahme im Bestand (Umbau, Aufstockung) wird also lediglich die eingesparte Versiegelung durch eingesparte Wohnfläche dargestellt. Bei einer Neubaumaßnahme (inkl. Anbau am Bestand) wird die neuversiegelte Fläche mit der eingesparten Versiegelung (durch Wohnflächeneinsparung) bilanziert. Um die neue sowie die eingesparte Versiegelung zu berechnen, wurde zuerst die Brutto-Grundfläche (BGF) von der Wohnfläche abgeleitet. Anlage 24 II zum Bewertungsgesetz nennt nur für Mehrfamilienwohnhäusern einen Umrechnungsfaktor zwischen BGF und Wohnfläche: $BGF = 1,55 \times \text{Wohnfläche}$. Bei Einfamilienhäusern wird meist als Faustregel 70-73% von der BGF als Wohnfläche berechnet (Patrick Zimmermann, ifeu; pers. Mitteilung). Konservativ gerechnet (mit 70%) ist dadurch der Umrechnungsfaktor $BGF/\text{Wohnfläche} = 1,43$. Ausgehend von der Brutto-Grundfläche wird die versiegelte Grundstücksfläche vereinfacht über die Stockwerksanzahl der Gebäuden kalkuliert. Für Einfamilienhäuser und Reihenhäuser werden zweistöckige Gebäude angenommen, für Mehrfamilienhäuser wird von einem durchschnittlichen vierstöckigen Gebäude ausgegangen, für Hochhäuser werden achtstöckige Gebäude angenommen. Für die Berechnung der eingesparten Versiegelung wird angenommen, dass von der fertiggestellten Wohnfläche in Deutschland ca. 50% Ein- und Zweifamilienhäuser und ca. 38% Mehrfamilienhäuser bilden (Hochhäuser werden hier vernachlässigt, vgl. Abb. Ghj, 4.4.2)

Die Berechnungen zu Neuversiegelung und eingesparter Versiegelung lassen sich demnach in zwei Formeln zusammenfassen:

$$\text{Neuversiegelung} = (\text{Wohnfläche} * U_E) / S_E$$

$$\text{bzw. } (\text{Wohnfläche} * U_M) / S_M$$

$$\text{bzw. } (\text{Wohnfläche} * U_M) / S_H$$

$$\text{Eingesparte Versiegelung} =$$

$$(\text{BGF}_{\text{ESP}} / S_M) * 0,5 + (\text{BGF}_{\text{ESP}} / S_E) * 0,38$$

$$\text{nachdem } \text{BGF}_{\text{ESP}} =$$

$$(\text{Wohnfläche} * U_M * 0,5) + (\text{Wohnfläche} * U_E * 0,38)$$

Wobei U_E und U_M für die Umrechnungsfaktoren BGF/ Wohnfläche für Ein- und Mehrfamilienhäuser, S_E , S_M und S_H für die Anzahl an angenommenen Stockwerken der jeweiligen Gebäudetypen und BGF_{ESP} für die eingesparte Brutto-Grundfläche stehen.

5. Ergebnisse

5.1. Indikatoren

Die Werte der Indikatoren werden hier als Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse vorgestellt, da zum Teil eine aufwendigere Kalkulation stattfand und die Berechnung einiger Indikatoren selbst einen bedeutenden Teil dieser Arbeit ausmachte.

5.1.1. Treibhauspotential

In Bezug auf die Betriebsemissionen werden die Daten aus der TABULA-Datenbank ohne größere weitere Verarbeitung für die Berechnung der Suffizienzmaßnahmen verwendet. Diese Daten werden für Einfamilienhäuser exemplarisch in Abbildung 9 veranschaulicht.

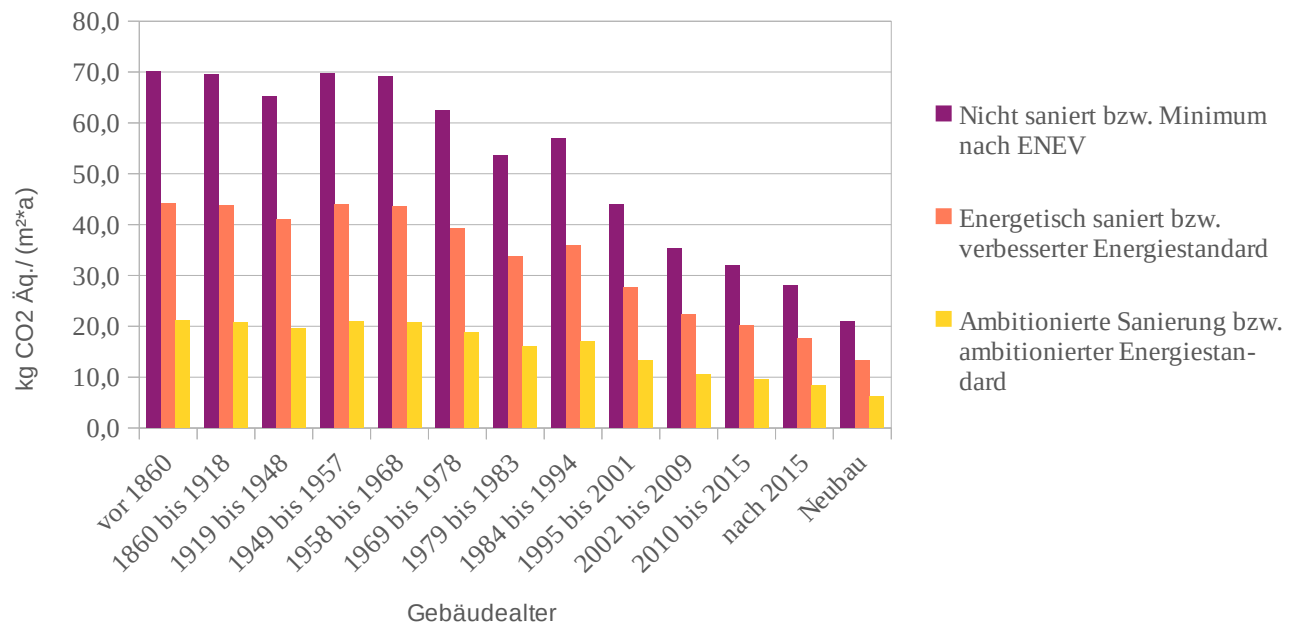


Abbildung 9: Vergleich der THG-Emissionen im Betrieb für Einfamilienhäuser je Gebäudealter und Sanierungsstand/ Energiestandard, pro Quadratmeter Wohnraum (eigene Darstellung, nach TABULA-Webtool und Mahler et al., 2019).

Zusätzlich zu diesen Werten werden im SuPraRechner auch Koeffiziente für andere Gebäudetypen angewandt (Reihenhaus, MFH, Hochhaus). Die in der Einleitung beschriebene gestiegene Gebäudeeffizienz der letzten Jahrzehnten ist dabei sehr gut zu beobachten. Die THG-Emissionen pro Quadratmeter Wohnfläche, die beim Betrieb von Gebäuden anfallen, sind innerhalb der letzten vier Jahrzehnte um ca. zwei Drittel gesunken.

Für die grauen Emissionen fand eine eigene Berechnung statt, weshalb die Ergebnisse dieser Kalkulation für die fünf ausgewählten Baumaßnahmen kurz vorgestellt werden. Diese werden außerdem in Abbildung 10 dargestellt.

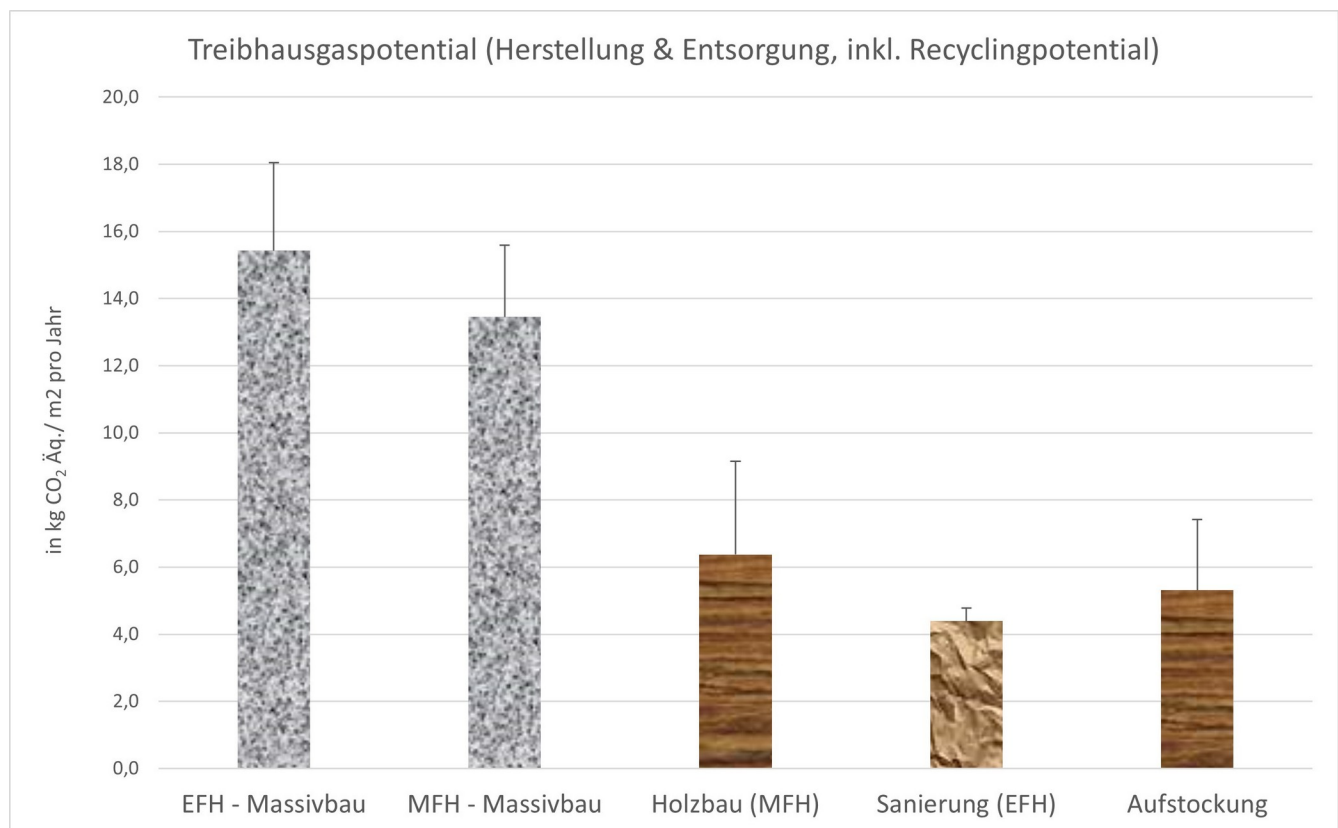


Abbildung 10: Vergleich der grauen Emissionswerte für ausgewählte Baumaßnahmen je m² Wohnraum (eigene Darstellung)

Nicht überraschend fällt auf, dass die THG-Emissionen für die Herstellung und den Rückbau von Massivbauten die höchsten Werte pro Quadratmeter aufweisen, im Vergleich zur Holzkonstruktionen oder zu Gebäudesanierungen. Zudem ist anzumerken, dass die Herstellung und der Rückbau von Mehrfamilienhäusern ca. 13% weniger THG-Emissionen pro m² Wohnfläche verursachen als für

Einfamilienhäuser. Während Holz-Aufstockungen leicht geringere Werte als Holz-Neubauten aufweisen, schneidet die (energetische) Sanierung am besten ab mit 4,4 kg CO₂-Äq./m² Wohnfläche. Wird Modul D nicht mitbetrachtet (Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotential) liegen die Werte allesamt etwas höher (vgl. Fehlerindikatoren, Abb. 10). Der Unterschied zwischen den beiden Berechnungen (mit und ohne Wiederverwendung bzw. Recycling) ist jedoch bei der Maßnahme „Sanierung“ am geringsten. In anderen Worten: nach den Berechnungen dieser Arbeit sind Sanierungsmaßnahmen weniger auf Kreislauffähigkeit angewiesen als Neubaumaßnahmen, um niedrige graue Emissionswerte pro m² Wohnfläche zu erreichen.

5.1.2. Flächenrucksack der Baustoffen

Die temporäre Flächenbelegung der Baustoffe, ausgedrückt in Naturfernepotential, ist für Holzkonstruktionen höher als für Massivbauten (Abb. 11). Die Herstellung eines Holzbaus – dessen Massenbilanz sich hier an der eines Mehrfamilienhauses orientiert – benötigt 17,9 m² artifizielle Äquivalente pro Jahr je m² Wohnfläche, während ein Mehrfamilienhaus in Massivbauweise eine Flächenbelegung von 13,7 m² aF-Äq. * a/ m² Wohnfläche aufweist. Wohlgermerkt ist die absolut belegte Fläche in Quadratmetern deutlich höher; hier handelt es sich um das Naturfernepotential, welches eine Vergleichbarkeit zwischen der Schwere der Nutzungseingriffe (und damit den Auswirkungen auf die Biodiversität) schaffen soll. Auch die Aufstockung eines Gebäudes zeigt etwas höhere Flächenbelegungswerte pro m² Wohnfläche als Massivbauweisen. Vergleichbar sehr gute Werte erreicht die Sanierung. Mit einer temporären Flächenbelegung von 0,8 m² aF-Äq.*a/ m² Wohnfläche liegt sie bei ca. einem Zwanzigstel der Neubauwerte, was dem reduzierten Einsatz von Stahl und Holz sowie einer insgesamt schlankeren Materialbilanz zu verdanken ist.

Im Bezug auf die von den Baustoffen verursachten Flächennutzungsänderungen schneiden allerdings die Neubauten aus mineralischen Rohstoffen deutlich schlechter ab (vgl. Abb. 12). Die Flächennutzungsänderung der Baustoffe für das Mehrfamilienhaus aus Massivbau ist mit 0,07 m² aF-Äq./ m² Wohnfläche ca. fünfmal höher als für das Mehrfamilienhaus aus Holzbau. Dies ist u. a. auf die gravierenden Landnutzungsänderungen, die bei der Produktion von Beton und Stahl anfallen, zurückzuführen. Und auch bei diesem Indikator weist wieder die Sanierung die niedrigsten Werte auf, mit einer in Naturfernepotential ausgedrückten Flächennutzungsänderung von 0,008 m² aF-Äq./ m² Wohnfläche.

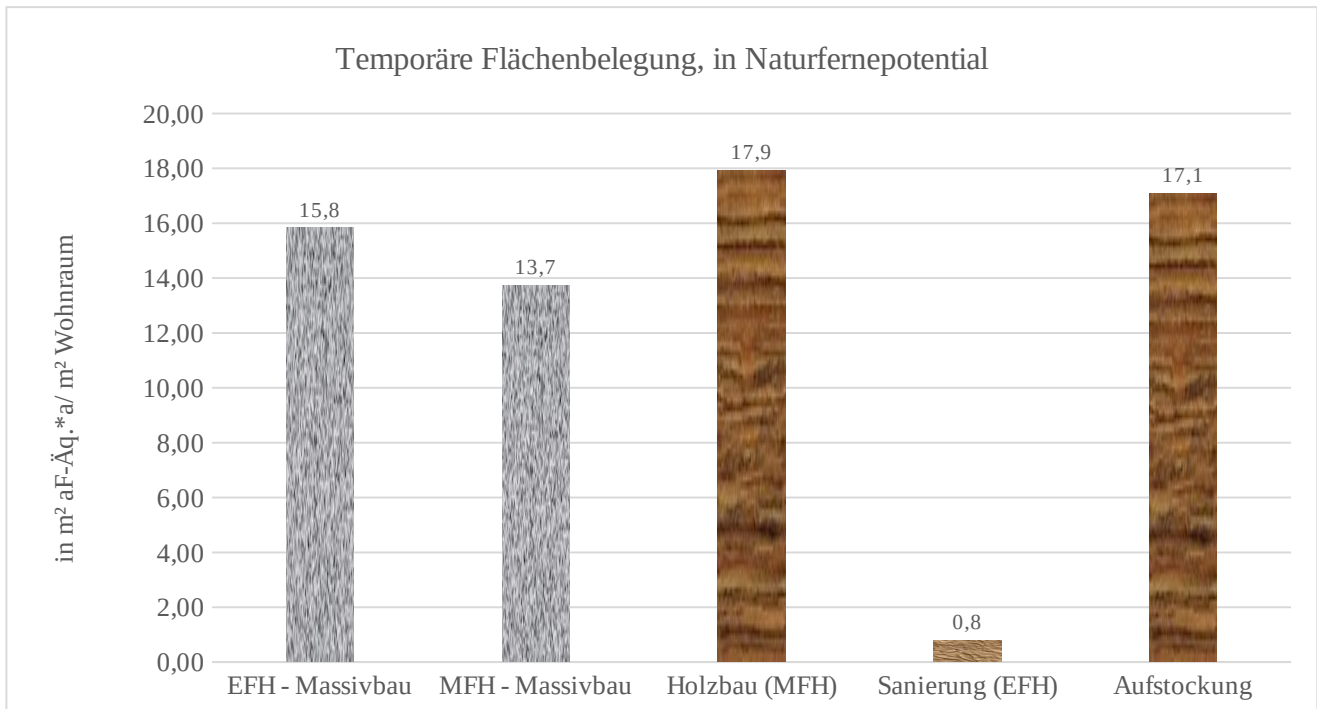


Abbildung 11: Vergleich der jährlichen Flächenbelegungswerte der Baustoffen für ausgewählte Baumaßnahmen, in Naturfernepotential, je m² Wohnraum (eigene Darstellung)

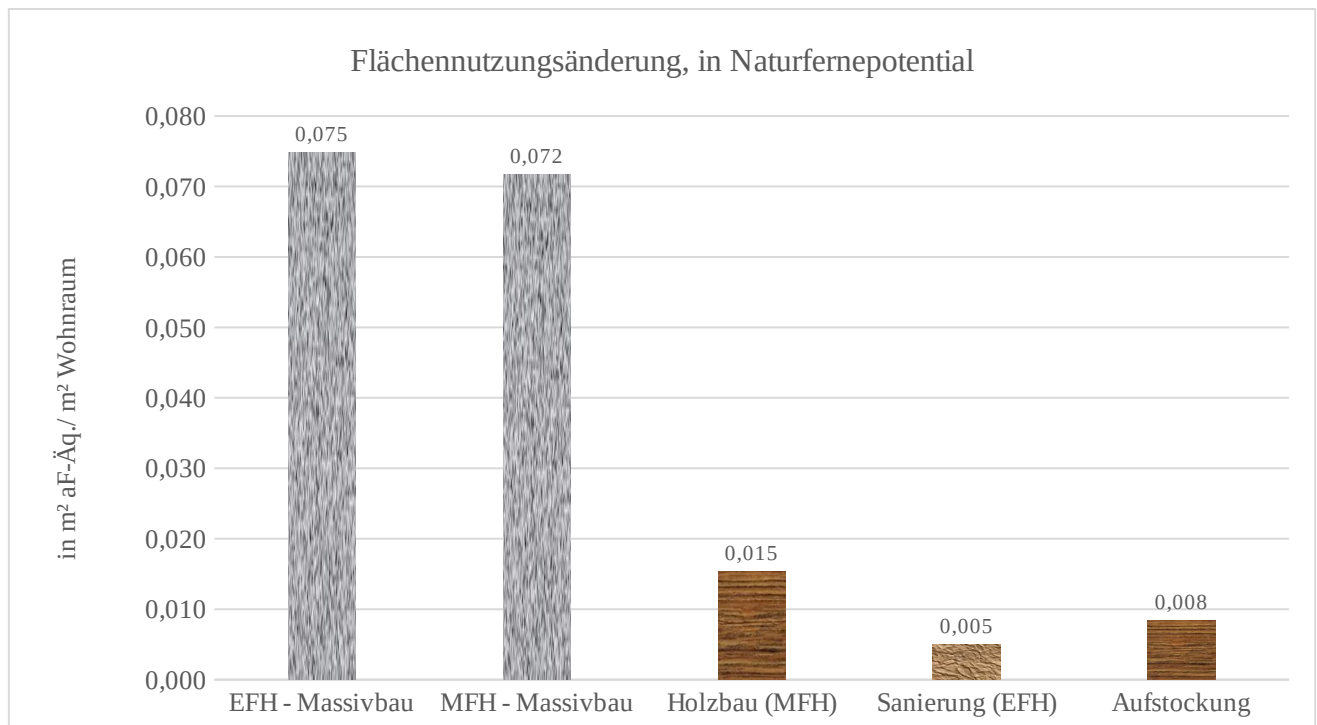


Abbildung 12: Vergleich der von Baustoffen verursachten Flächennutzungsänderungen für ausgewählte Baumaßnahmen, in Naturfernepotential, je m² Wohnraum (eigene Darstellung)

5.1.3. Bodenversiegelung

Entsprechend der unter 4.6. beschriebenen Methodik wurde die Bodenversiegelung stark simplifiziert, bezieht sich lediglich auf die direkte Versiegelung durch das Gebäude, beruht auf grobe Annahmen in Bezug auf die Stockwerksanzahl und betrachtet nicht den Ausgangszustand der Fläche (vgl. Diskussion unter 6.3.5.). Aus diesen Gründen zeigen die Baumaßnahmen „Sanierung“ und „Aufstockungen“ im SuPraRechner eine Bodenneuversiegelung gleich null (angenommen es werden keine weitere Stellplätze gebaut, vgl. 6.3.5.). Neubauten, ob aus Massivbau oder aus Holz, sowie Anbauten werden gleich behandelt. Die Bodenneuversiegelung unterscheidet sich jedoch nach Gebäudetypen (vgl. Abb. 13), wobei erwartungsgemäß die Bodenversiegelung eines Einfamilienhauses höher ist als die eines Mehrfamilienhauses bzw. Hochhauses. Zur besseren Veranschaulichung wurde in der untenstehenden Abbildung von der durchschnittlichen Pro-Kopf-Wohnfläche in Deutschland ausgegangen. Allerdings soll hier darauf hingewiesen werden, dass die Pro-Kopf-Wohnfläche in einem Einfamilienhaus standardmäßig erheblich höher ist als in einem Mehrfamilienhaus (Statistisches Bundesamt, 2021b). Neben der Bodenneuversiegelung wird durch Wohnflächeneinsparung auch Bodenversiegelung eingespart bzw. vermieden. Durch die o.g. angesetzte Formel entspricht die Einsparung von 1 m² Wohnfläche einer gesamtgesellschaftlichen Einsparung von 0,5 m² Bodenversiegelung.

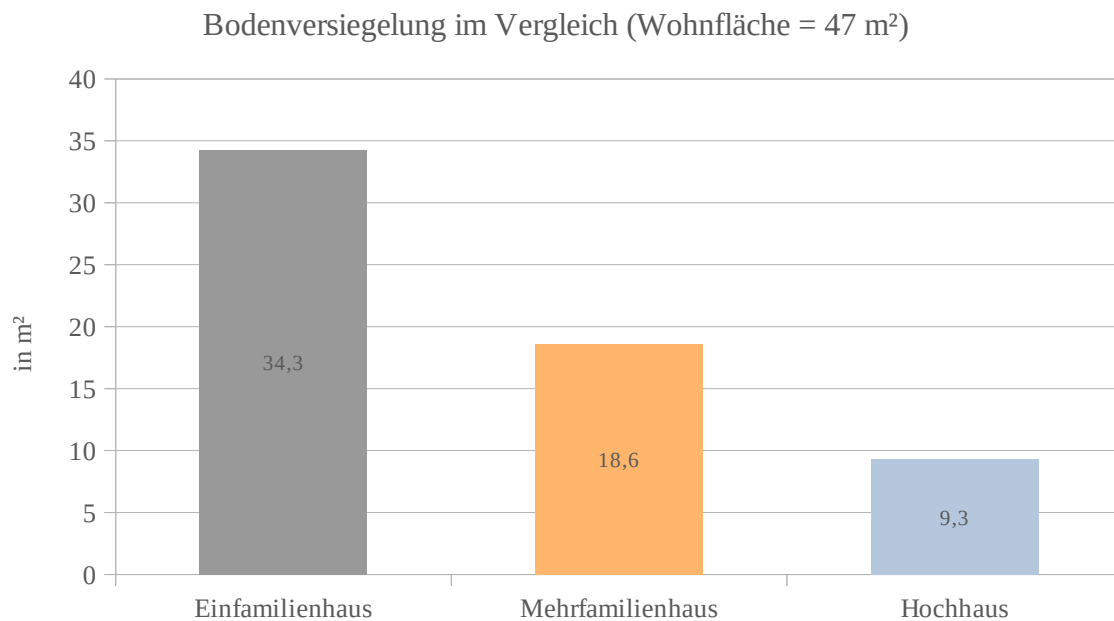


Abbildung 13: Bodenversiegelung je Gebäudetypen unter Annahme einer durchschnittlichen Wohnfläche von 47 m² (eigene Darstellung)

5.2. Suffizienzmaßnahmen

Um die Anwendungsmöglichkeiten des SuPraRechners greifbarer zu machen wurden drei für realistisch gehaltene Szenarien durchgeführt. Diese Szenarien bzw. deren Ergebnisse werden im Folgenden kurz vorgestellt. Es handelt sich hierbei um Anwendungsbeispiele, d. h. sowohl die Ausgangslage, die Suffizienzmaßnahme und die eingegebene Wohnflächenwerte können beliebig geändert werden. Für die Berechnung der Szenarien wurden die unter 4.2. vorgestellten Standardwerte verwendet. Diese Szenarien und die ausgewählten Standardwerte sollen lediglich die Anwendungsmöglichkeiten des Rechners darstellen. Sie sollen keine normative Aussagen treffen über die Höhe der Lebensqualität oder was für die Einhaltung planetarer Grenze erforderlich ist – sondern dienen der Beantwortung der Fragestellung (vgl. 2.1.), ob und wie individuelle Maßnahmen zur Wohnflächenreduktion hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen bilanziert werden können. Weitere Szenarien sind denkbar und können mit dem Rechner bilanziert bzw. verglichen werden.

5.2.1. Beispielszenario „EFH-to-EFH“

Das erste Szenario bildet die in Deutschland mittlerweile klassische Situation eines älteren Ehepaares, das ein für sie zu groß gewordenenes Einfamilienhaus nach dem Auszug ihrer Kinder bewohnt. Hier wurde von einer Wohnfläche von 180 m² ausgegangen, etwas höher als die durchschnittliche Wohnfläche eines deutschen freistehenden Einfamilienhauses (157 m² ; Statistisches Bundesamt, 2021b). In dem Szenario ist sich das Ehepaar bereits seines Energieverbrauchs bewusst und heizt die beiden Kinderzimmer nicht mehr (insg. 30 m²; vgl. Abb. 14). Aus dieser Situation heraus entscheidet es sich, in ein kleineres Einfamilienhaus in der Nachbarschaft umzuziehen (z. B. aus ökologischen Bewusstsein und/oder um Instandhaltungs- und Energiekosten zu sparen). Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, wird hier für beide Gebäude vom selben Gebäudealter und Sanierungszustand ausgegangen. Die Wohnfläche des neuen Hauses wird hier nach den Standardwerten und nach dem Faktor „Minimalistisch“ eingetragen, was einer Halbierung der beheizten Wohnfläche entspricht (vgl. Abb. 15). Da die unbeheizte Wohnfläche pauschal auf 2,5 m² pro Kopf gesetzt wurde, entspricht sie in dem Fall 5 m². Durch diese Wohnflächenreduktion entspricht die Pro-Kopf-Wohnfläche des Ehepaares

„nur noch“ 40 m², was sich zwischen dem deutschen Durchschnitt und der von Zimmermann (2018, S. 45-49) festgelegten Suffizienz-Schwelle von 35 m² bewegt (Abb. 16).

Hierdurch ergibt sich eine erhebliche Einsparung von Treibhausgasemissionen, die für die Beheizung des Wohnraums nötig ist (vgl. Abb. 17): von 2,53 t CO₂-Äq./Jahr auf 1,27 t. Zum Vergleich: der deutsche CO₂-Ausstoß pro Kopf liegt derzeit bei 10,78 t CO₂-Äq./Jahr und 2,70 t für den Bereich „Wohnen und Strom“ laut UBA-CO₂-Rechner (UBA, 2022b). Je nach Berechnungen soll der Gesamt-Pro-Kopf-Ausstoß auf unter 2 t CO₂-Äq./Jahr bis 2050 sinken: Dittrich et al. (unveröff.) setzen z. B. die Grenze für pro-Kopf THG-Ausstöße in allen Sektoren außer Ernährung auf 0,15 t CO₂-Äq./Jahr, um ab 2050 weiterhin innerhalb der planetaren Grenzen zu liegen.

Zudem ergibt sich in diesem Szenario eine THG-Einsparung von 0,71 t CO₂-Äq./Jahr im Bereich der grauen Emissionen, d. h. mit der Annahme, dass eine Wohnflächeneinsparung eine Reduktion der Neubautätigkeiten entspricht (Abb. 17). Ebenso ergeben sich signifikante Einsparungen beim Flächenrucksack (Abb. 18 & 19) und bei der Bodenversiegelung (Abb. 20). Da keine Baumaßnahmen stattfanden und die Umweltfolgen des Umzugs vernachlässigt wurden, entsprechen die Einsparungen dem „Saldo“, also der Gesamtheit der Ressourcenverbräuche und -einsparungen.

Wohnsituation		
Gebäudetyp	Gebäudealter	Energetischer Standard
		Sanierungszustand <i>(Nur für Gebäude >25 Jahre)</i>
Einfamilienhaus	1979 bis 1983	normal energetisch saniert

Wohnflächenverbrauch		
Private Wohnfläche; in m ²		Personenanzahl im eigenen Haushalt/ für diese Fläche
Beheizt	Unbeheizte oder sehr selten beheizt	
150	30	2

Abbildung 14: Eintrag der Ausgangsdaten im SuPraRechner, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

Wohnflächenverbrauch nach "Suffizienz-Check"

Eintrag der Wohnfläche	Wohnflächenverbrauch	Private Wohnfläche; in m ²	Personenanzahl im eigenen Haushalt
nach Standardwerten	Minimalistisch	75	2

Falls gemeinschaftliche oder gemietete Wohnfläche vorhanden ist:	Gemeinschaftliche oder gemietete (beheizte) Wohnfläche; in m ²	Falls Wohnflächen nicht beheizt werden (Gästezimmer, Jokerzimmer...):	Selten oder unbeheizte Wohnfläche; in m ²
	0		5

Abbildung 15: Eintrag der neuen Wohnfläche nach Standardwerte, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

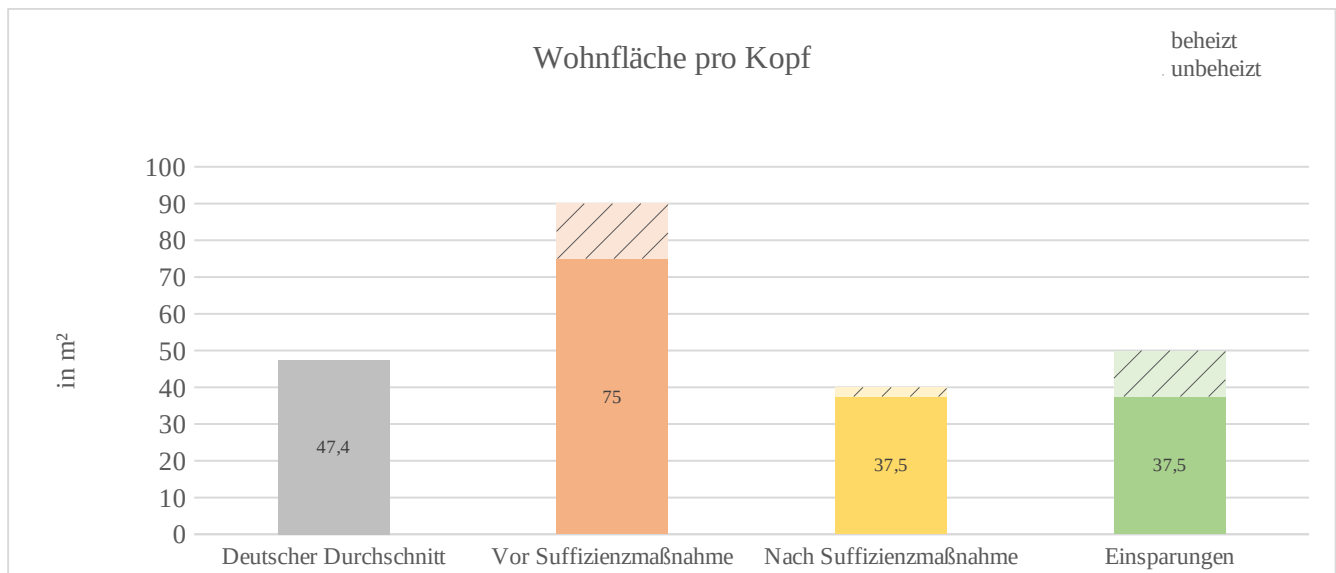


Abbildung 16: Pro-Kopf-Wohnfläche und Wohnflächeneinsparung im Vergleich, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

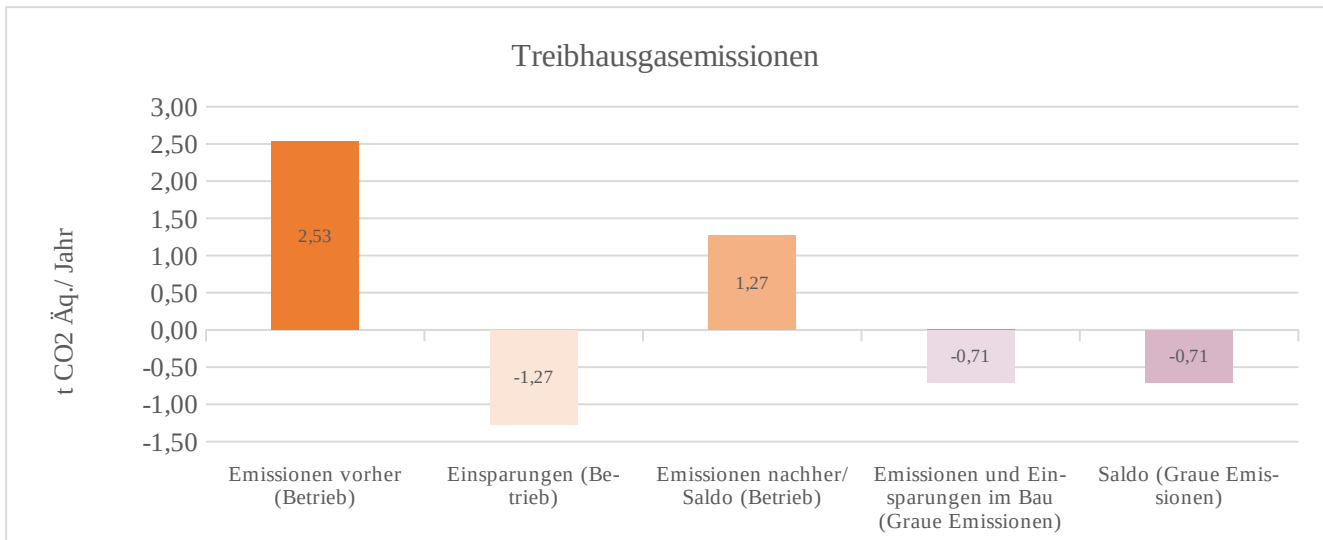


Abbildung 17: Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen und -einsparung im Vergleich, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

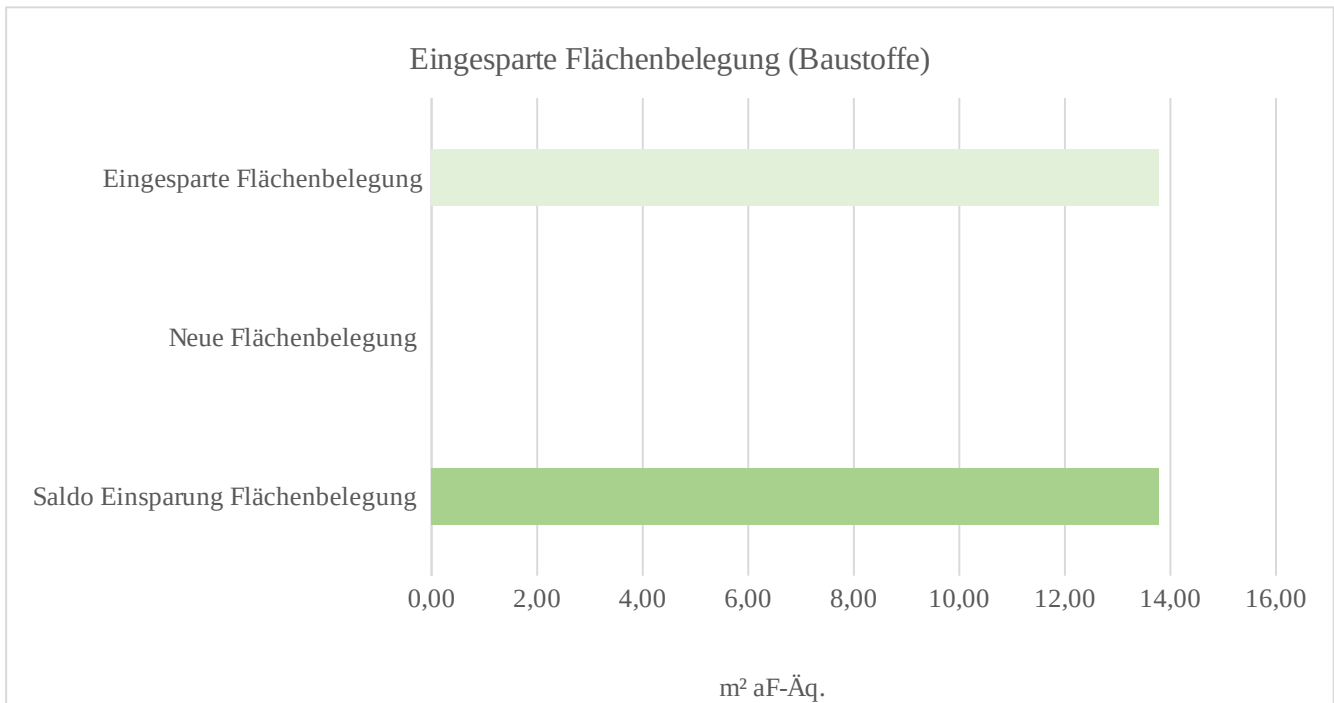


Abbildung 18: Pro-Kopf-Flächenbelegung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

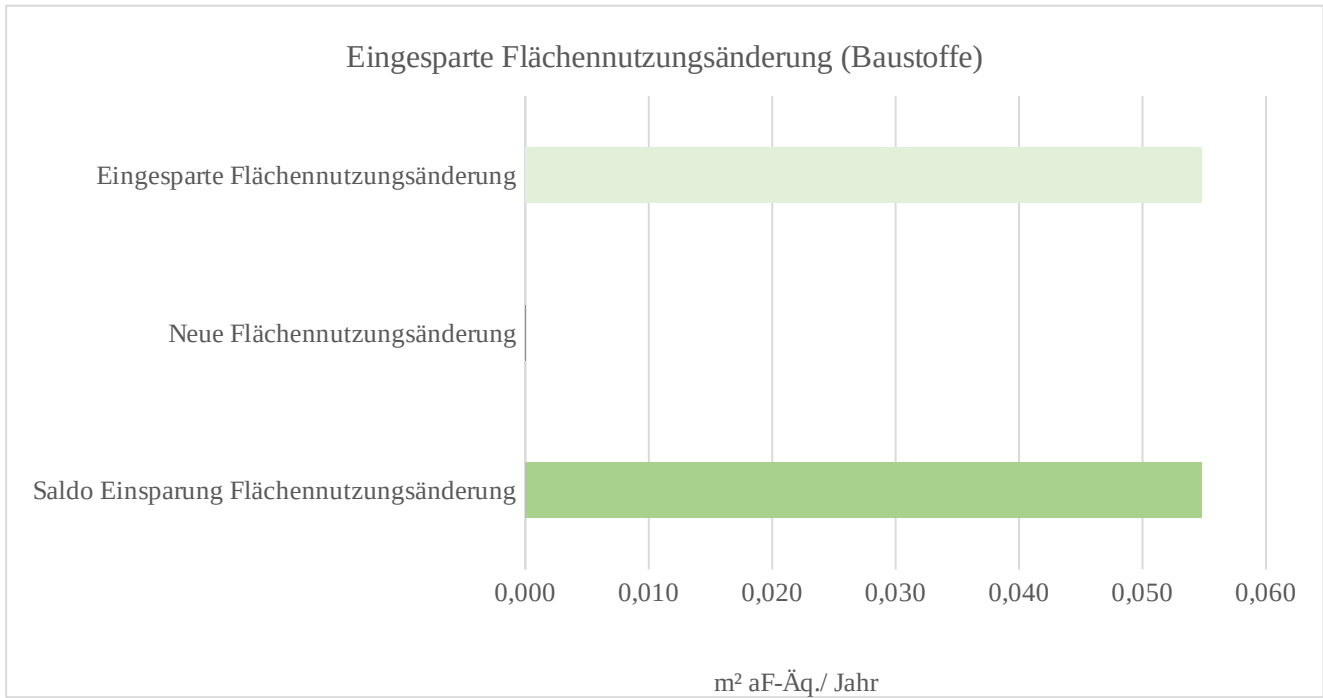


Abbildung 19: Pro-Kopf-Flächennutzungsänderung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

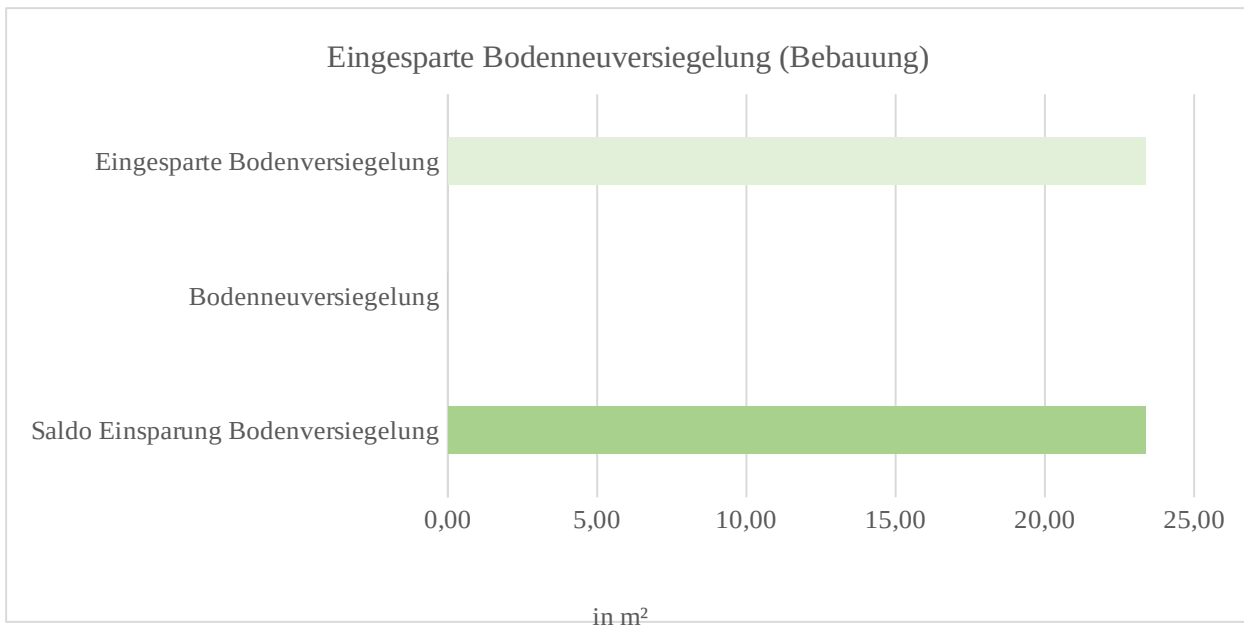


Abbildung 20: Pro-Kopf-Bodenversiegelung, neu und eingespart, Szenario „EFH-to-EFH“ (eigene Darstellung)

5.2.2. Beispielszenario „Aufstockung EFH“

Das folgende Szenario geht ebenfalls von einem Paar im Einfamilienhaus aus, dessen Kinder ausgezogen sind. Die Wohnfläche des Hauses beträgt 150 m² (vergleichbar mit der beheizten Wohnfläche im Szenario „EFH-to-EFH“). Das Paar möchte nicht ausziehen, sondern sein Haus aufstocken und die oberen Stockwerke vermieten. Ausschlaggebende Gründe können vielfältig sein, z. B. benötigt das älter werdende Ehepaar nur noch das barrierefreie Erdgeschoss, sehnt sich nach mehr Gemeinschaft, möchte finanzielle Einkünfte über die Vermietung beziehen oder möchte die eigene Wohnfläche aus ökologischem Bewusstsein bzw. aufgrund der Heizkosten reduzieren. Entsprechend der hier definierten Aufstockung (vgl. 4.1.) wird das Haus um einen Stockwerk erhöht, die zwei oberen Stockwerke (150 m²) an eine vierköpfigen Familie bzw. WG vermietet, ein gesonderter Zugang für die oberen Stockwerke geschaffen und das Erdgeschoss barrierefrei umgestaltet. Das Haus, welches in einem schlechten energetischen Zustand war, wird im selben Zuge energetisch saniert.

Die Pro-Kopf-Wohnfläche des älteren Paar entspricht nach der Suffizienzmaßnahme 37,5 m² statt 75 m², was zu THG-Einsparungen in Bezug auf den Betrieb (0,6 t CO₂-Äq./Jahr) und die grauen Emissionen (0,53 t) führt (Abb. 21). Erhebliche Einsparungen (2,81 t) werden durch die energetische Sanierung des Hauses erzielt. Durch die Sanierung (Effizienzmaßnahme) und die Wohnflächeneinsparung (Suffizienzmaßnahme) sind die jährlichen Emissionen im Betrieb (und damit auch die Heizkosten) um ca. 85% gesunken. Die neu emittierten Treibhausgase für die Herstellung des Wohnraums (Holz-Aufstockung) beträgt 0,17 t CO₂-Äq./Jahr – vergleichbare niedrige graue Emissionen, die durch die Wohnflächeneinsparung kompensiert werden. Im Bereich der grauen Emissionen ist also das Saldo negativ, d. h. es wurden (gesamtgesellschaftlich betrachtet) mehr Treibhausgase eingespart als ausgestoßen. Im Bereich des Flächenrucksacks der Baustoffe ergibt sich ein etwas ambivalentes Bild: bei der Flächennutzungsänderung kommt es zu deutlich mehr Umweltentlastung als -belastung (Abb. 23). In Bezug auf die Flächenbelegung kommt es aber – trotz Wohnflächeneinsparung – durch die Holzbebauung zu einer insgesamt höheren Umweltbelastung als zuvor (vgl. Abb. 22). Es ist allerdings anzumerken, dass nur der Flächenrucksack der Baustoffe betrachtet wird – und nicht der Flächenrucksack für die Energieeinsparungen im Betrieb (vgl. 6.3.). Schließlich zeigt der Indikator der Bodenversiegelung mit einer eingesparten Versiegelung von 17,5 m²

pro Person sehr gute Werte (Abb. 24) – da hier angenommen wird, dass keine zusätzliche Versiegelung für Stellplätze o.ä. stattfindet.

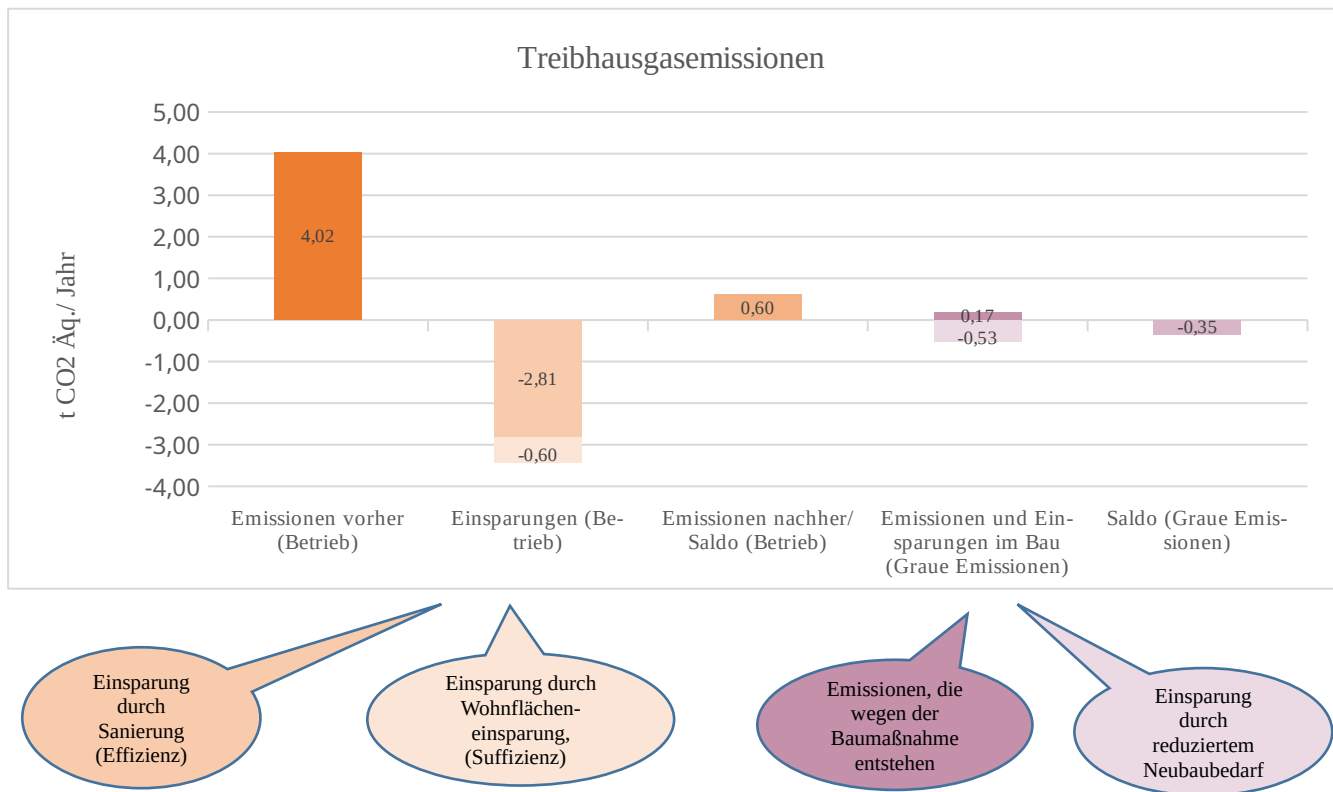


Abbildung 21: Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen und -einsparung im Vergleich, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung)

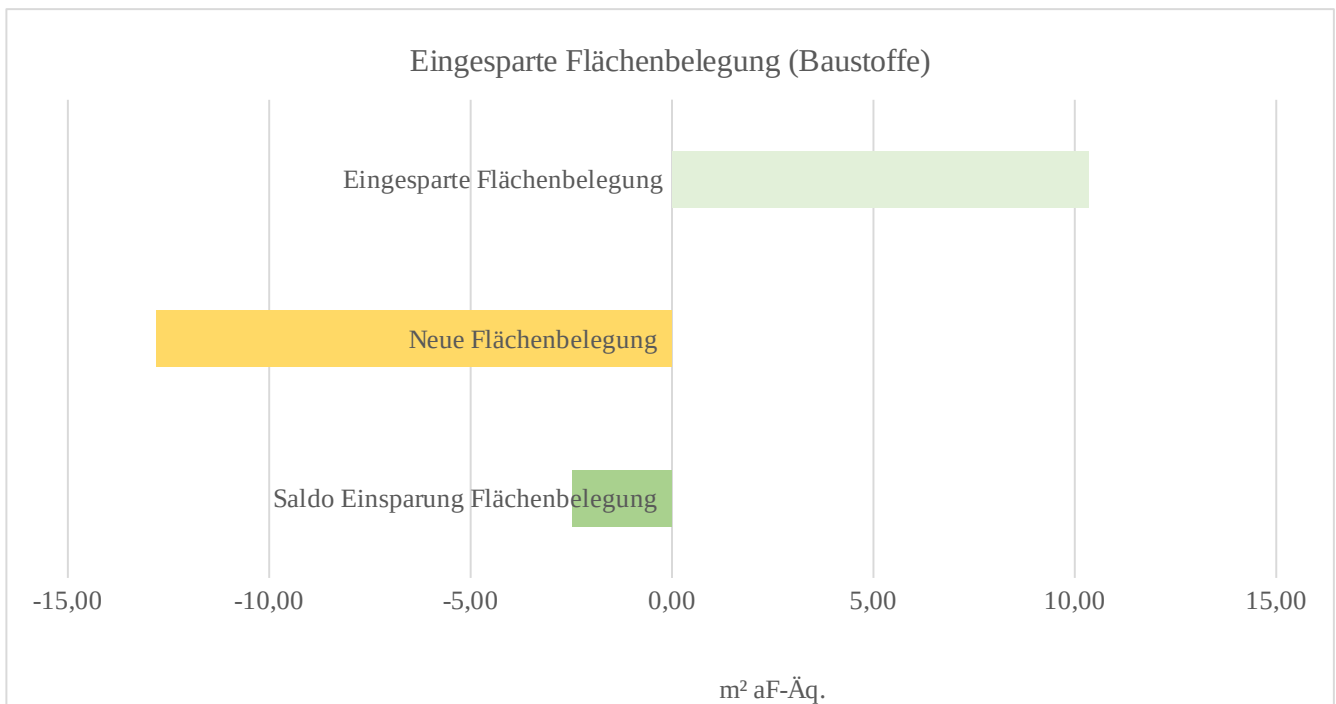


Abbildung 22: Pro-Kopf-Flächenbelegung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung)

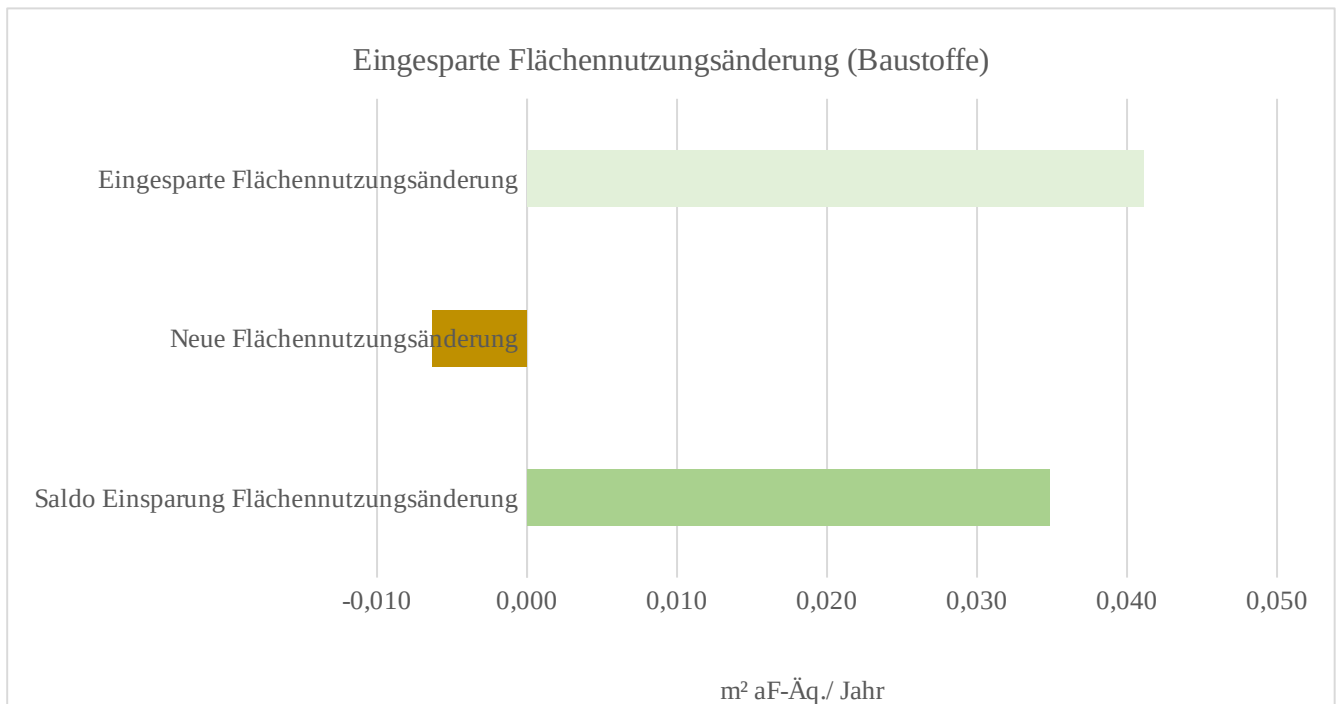


Abbildung 23: Pro-Kopf-Flächennutzungsänderung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung)

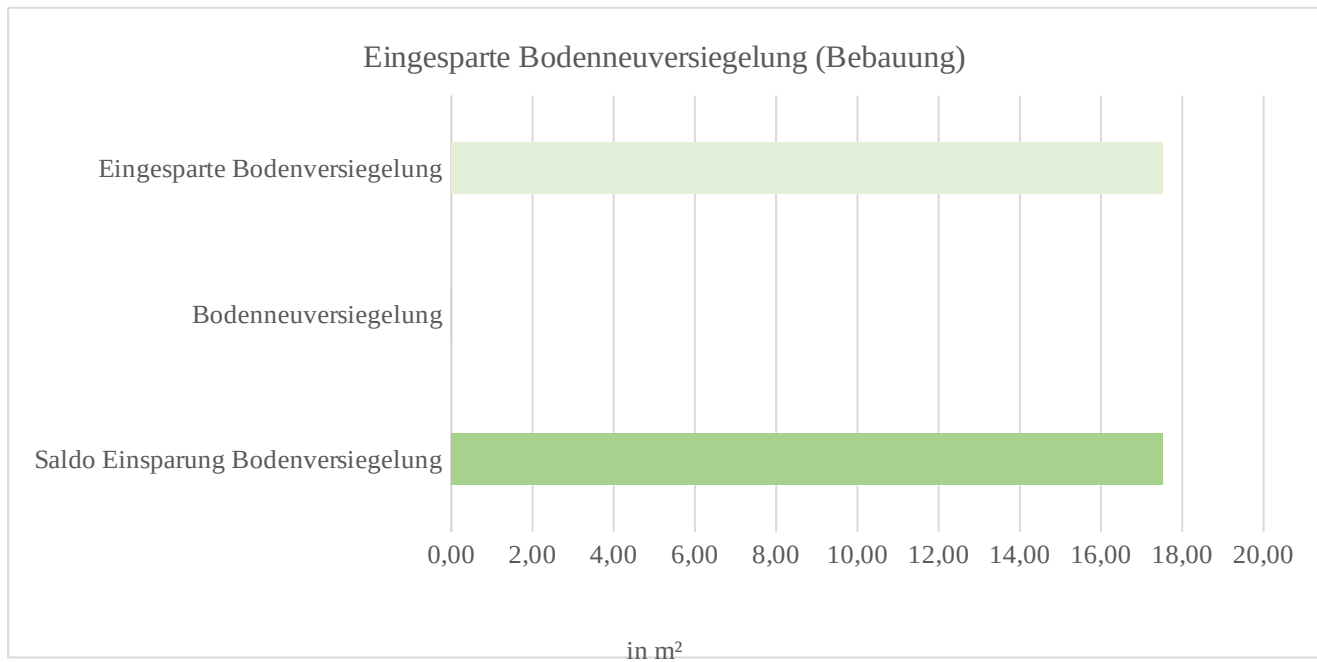


Abbildung 24: Pro-Kopf-Bodenversiegelung, neu und eingespart, Szenario „Aufstockung EFH“ (eigene Darstellung)

5.2.3. Beispielszenario „Single-to-Cluster“

Das dritte Szenario befasst sich mit der zunehmenden Anzahl an Single-Haushalten (Lage & Leuser, 2019) und mit dem gleichzeitigen Trend zum gemeinschaftlichen Wohnen (Schoop, 2017). Dabei zieht eine alleinstehende Person (z. B. eine junge berufstätige Person) aus ihrer Single-Wohnung in eine Clusterwohnung mit einer Wohngruppe bestehend aus 23 weiteren Menschen. Ihre ursprüngliche Wohnung ist 70 m² groß, was etwa dem Durchschnitt für Single-Haushalte entspricht (Lage & Leuser, 2019), angesiedelt in einem 20-jähriges Hochhaus mit einem für die damalige Norm relativ guten Energiestandard. Zusammen mit der Wohngruppe möchte sie neu bauen: sie entscheiden sich für ein Mehrfamilienhaus in Holzkonstruktion, mit ambitioniertem Energiestandard, aufgeteilt in Clusterwohnungen. Sie haben einen ökologischen Anspruch und setzen Wert auf eine nicht zu hohe Pro-Kopf-Wohnfläche, was ebenfalls den Baukosten zu Gute kommt – mit den Standardwerten des SuPraRechners wird dies durch die Suffizienz-Gewichtung 0,7 ausgedrückt (vgl. 4.3.). Der private Bereich dieser jungen berufstätigen Person besteht aus einem Zimmer, einem Bad sowie einer

Kochnische und umfasst 21 m². Allerdings hat sie noch Zugang zu 252 m² Gemeinschaftsfläche, die aus zwei Gemeinschaftsküchen, einem großen Wohnzimmer, mehrere Arbeitsräume, einem Gästezimmer und einem Spielzimmer für die Kinder besteht. Hinzu kommt noch ein unbeheizter Raum, der als Hobbyraum fungiert. Dadurch liegt ihre Pro-Kopf-Wohnfläche bei 32,2 m² (Abb. 25) und damit unter 35 m²/Kopf, was den Zielen des suffizienten Wohnens entspricht (Zimmermann, 2018) sowie unter der durchschnittlichen Pro-Kopf-Wohnfläche in deutschen Großstädten liegt, die zwischen 35 m² und 40 m² liegt (Schoop, 2017).

Die THG-Ausstoße pro Kopf, die im Betrieb anfallen, werden auch hier durch die Änderung der Wohnsituation erheblich reduziert (Abb. 26). Ungefähr ein Viertel dieser Reduktion ist der kleineren Wohnfläche zu verdanken (0,32 t CO₂-Äq./Jahr), während ca. drei Viertel dieser Minderung auf den besseren energetischen Standard des Neubaus zurückzuführen ist (0,93 t). Ähnlich wie im Szenario „Aufstockung EFH“ entstehen zwar THG-Emissionen durch die Baumaßnahme (0,21 t CO₂-Äq./Jahr), über die Wohnflächeneinsparung werden aber mehr graue Emissionen eingespart als emittiert. Der im Kapitel 4.4. beschriebene Trend lässt sich hier gut beobachten: die Emissionen für die Herstellung eines Gebäudes (graue Emissionen, hier 0,21 t CO₂-Äq./Jahr pro Person) entsprechen bei Neubauten etwa den Emissionen, die für den Betrieb des Gebäudes nötig sind (hier 0,26 t CO₂-Äq./Jahr pro Person). Dies unterstreicht die Relevanz der in Klimabilanzen und in der Gesetzgebung noch vernachlässigten grauen Emissionen (Architects For Future, 2021). Die Ergebnisse des Flächenrucksacks sind vergleichbar mit dem Szenario „Aufstockung EFH“: in Bezug auf die Flächenbelegung ist die Umweltbelastung der Baustoffnutzung höher als zuvor (vgl. Abb. 27), während die von den Baustoffen verursachten Flächennutzungsänderungen durch die Wohnflächen- (und damit Baustoff-) Einsparung überkompensiert wurde, was insgesamt zu einer Umweltentlastung führt (vgl. Abb. 28). Dieses Szenario unterscheidet sich aber auch von den beiden oberen Szenarien im Bezug auf die Bodenversiegelung durch die Neubebauung. Wie in der Abb. 29 verdeutlicht wird, kommt es zwar zu einer Bodenneuversiegelung (12,5 m²/Kopf), jedoch ist die eingesparte Bodenversiegelung höher (17,7 m²/Kopf). An dieser Stelle ist es nochmal wichtig zu betonen, dass es sich bei dieser Einsparung um eine „potentielle Vermeidung“ von Bodenneuversiegelung handelt, unter der Annahme, dass die Wohnflächeneinsparung und der dadurch frei gewordene Wohnraum zu einer Abnahme der Bautätigkeit führt (für eine Kritik dieser Annahme vgl. 6.3.). Zudem wird auch hier die Schaffung neuer Stellplätze in der Berechnung der Bodenversiegelung nicht miteinbezogen.

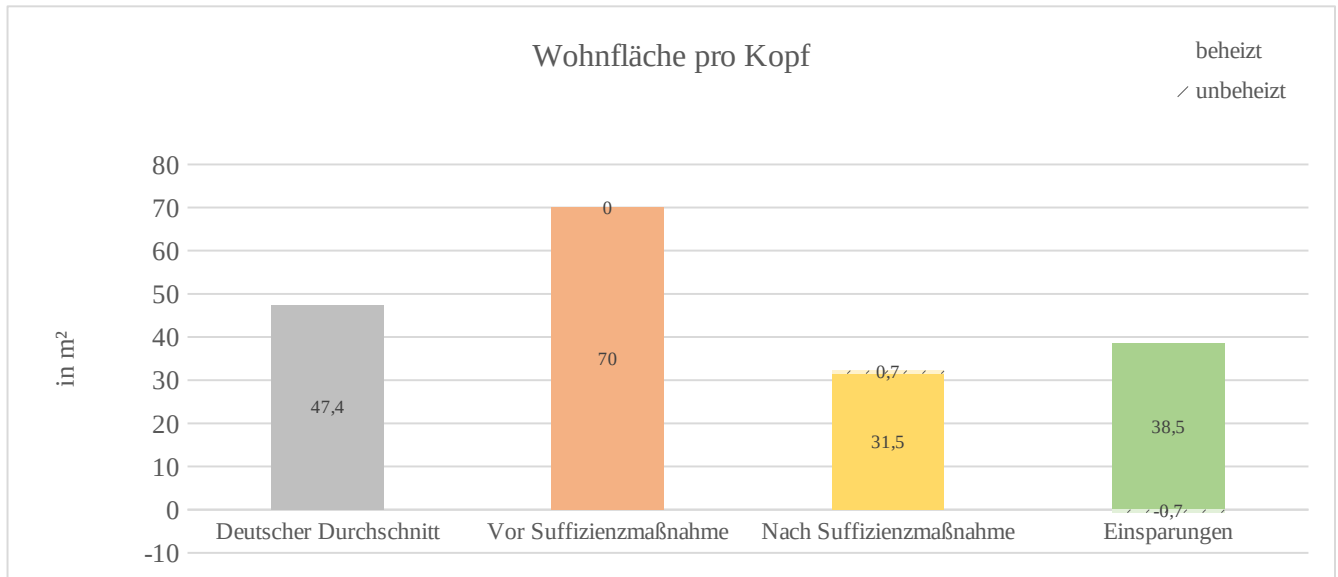


Abbildung 25: Pro-Kopf-Wohnfläche und Wohnflächeneinsparung im Vergleich, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung)

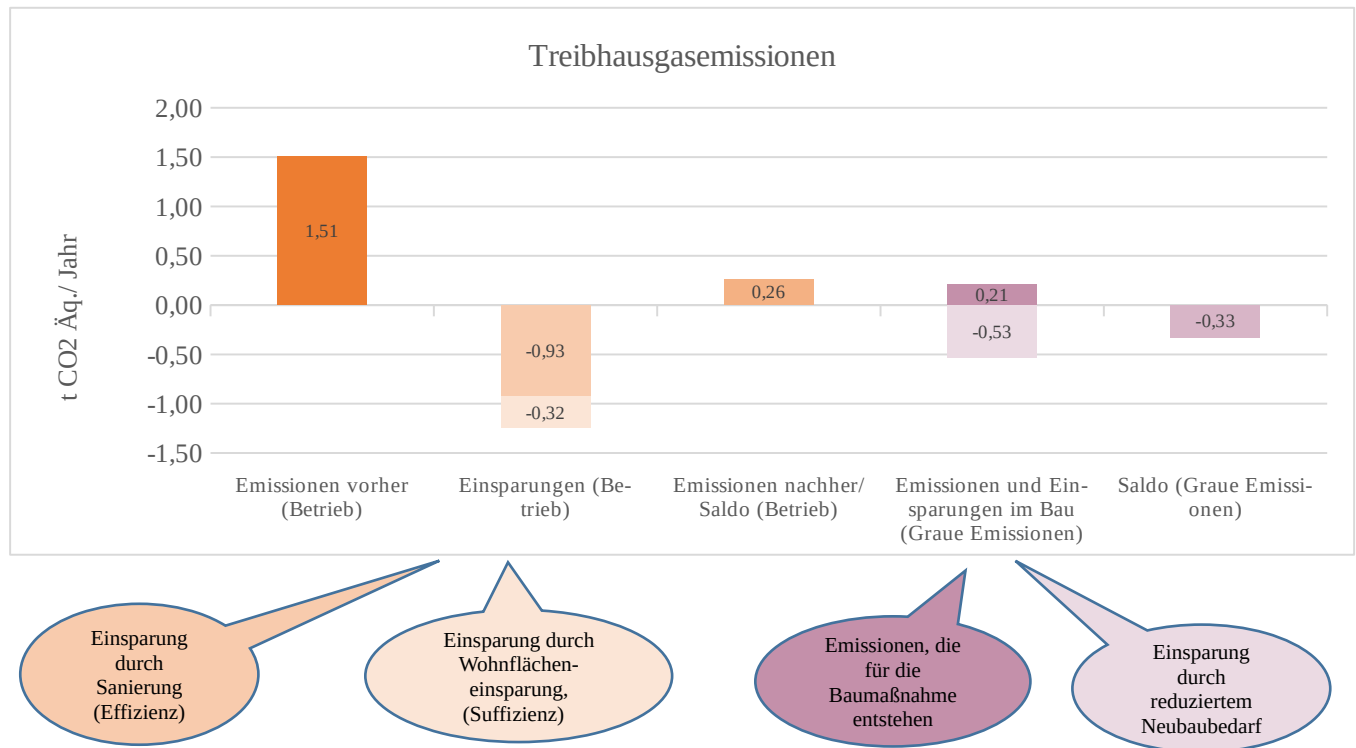


Abbildung 26: Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen und -einsparung im Vergleich, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung)

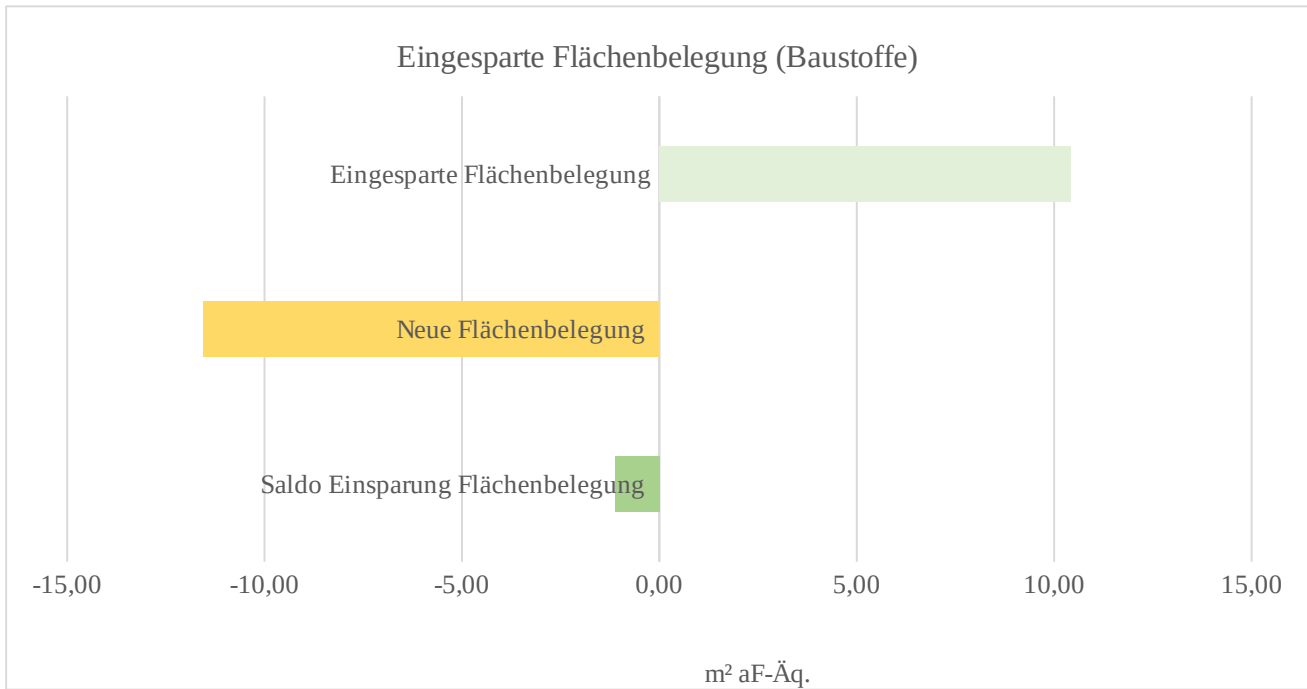


Abbildung 27: Pro-Kopf-Flächenbelegung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung)

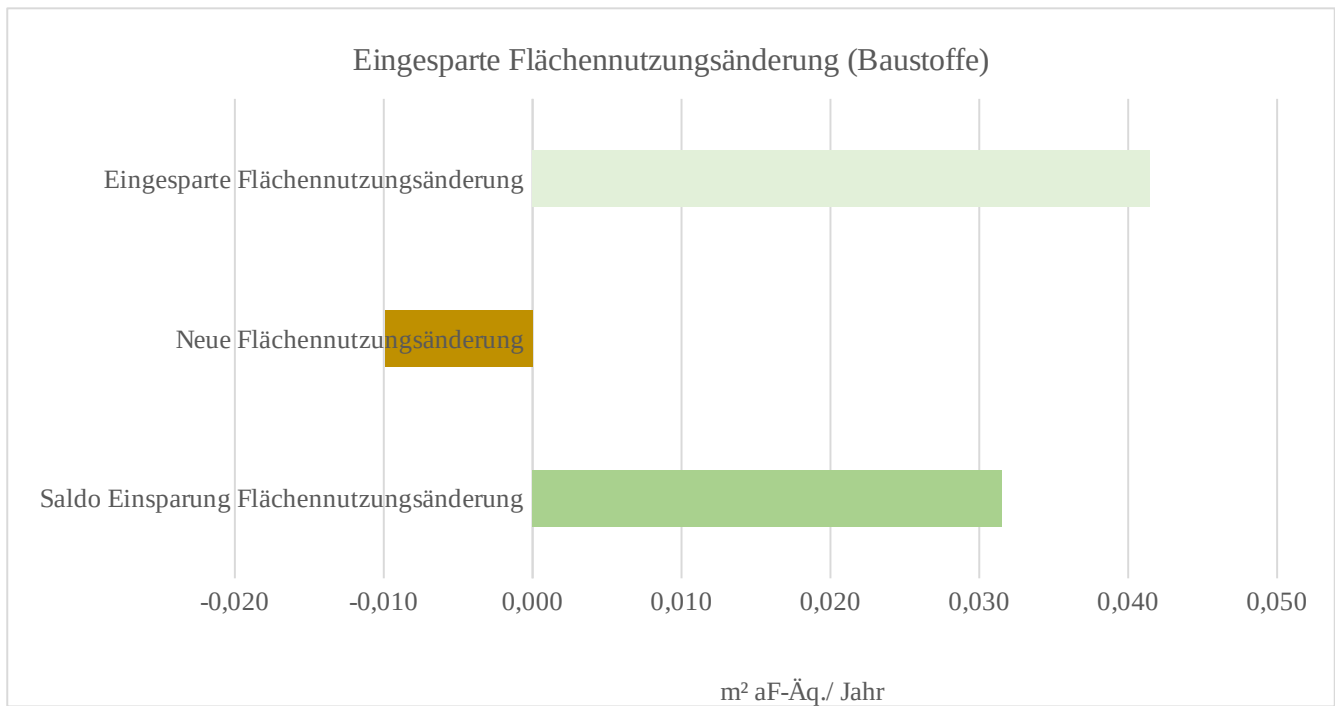


Abbildung 28: Pro-Kopf-Flächennutzungsänderung für Baustoffe, neu und eingespart, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung)

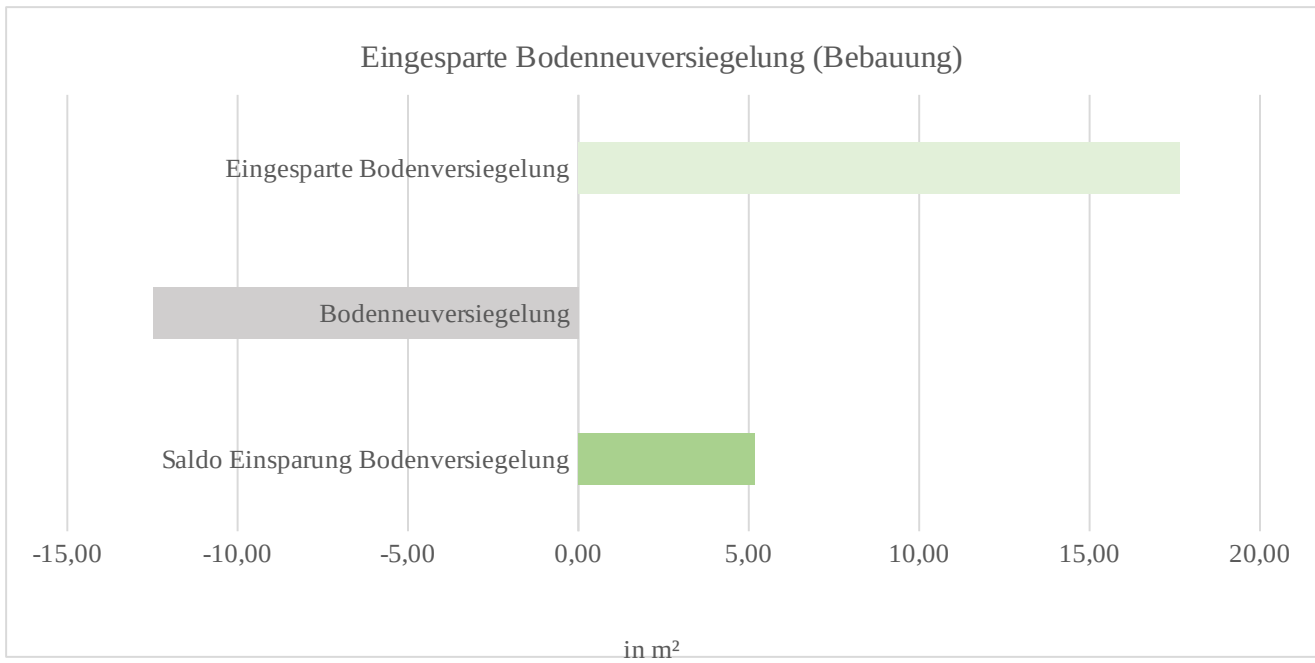


Abbildung 29: Pro-Kopf-Bodenneuversiegelung, neu und eingespart, Szenario „Single-to-Cluster“ (eigene Darstellung)

6. Diskussion

6.1. Bewertung der Ergebnisse

Insgesamt zeigt der SuPraRechner, dass die ökologischen Wirkungen individueller Suffizienzmaßnahmen durchaus messbar sind und miteinander verglichen werden können. Es wurde eine Vielzahl an Maßnahmen definiert, die zusammen mit den verschiedenen Ausgangslagen und die benutzerdefinierten Angaben eine große Anzahl an Szenarien ergeben, die analysiert werden könnten. Ebenfalls war der Versuch, mit verschiedenen Indikatoren auch mehrere planetare Grenzen abzudecken, erfolgreich – wobei nicht sämtliche planetare Grenzen abgebildet werden konnten. Eine detaillierte Betrachtung der Indikatoren „Treibhauspotential“ und „Flächenrucksack“, indem jeweils zwei Dimensionen untersucht werden (Betriebs- und graue Emissionen, sowie Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung), ermöglicht eine differenzierte und präzise Analyse der Umweltwirkungen. Beispielsweise zeigen die Szenarien „Aufstockung-EFH“ und „Single-to-Cluster“, dass Baumaßnahmen mit dem Rohstoff Holz, sofern es zu einer relevanten Wohnflächeneinsparung kommt, insgesamt positive Umweltauswirkungen in Bezug auf die Flächennutzungsänderung aufweisen. Durch die Wohnflächeneinsparung wird insgesamt weniger gebaut und damit auch weniger mit mineralischen Rohstoffen gebaut, was den Umwelteingriff extraktivistischer Aktivitäten reduziert. Allerdings kommt es in den beiden o.g. Szenarien trotz Wohnflächeneinsparung zu einer zusätzlichen Umweltbelastung im Bereich der Flächenbelegung: die Holzverwendung erfordert viel Fläche, die zwar eine eher geringe Intensität der Naturraumbeanspruchung mit sich bringt (Charakterisierungsfaktor für die Hemerobie der umgewandelten Waldflächen ist nach Fehrenbach et al. (2021c) gleich 0,125), aber insgesamt doch zu einer leichten Umweltbelastung führt.

Es gilt also, die verschiedenen Umweltentlastungen und -belastungen (sowie soziale und ökonomische Faktoren) abzuwägen, um eine sinnvolle Entscheidung zu treffen. Diese Abwägung gilt insbesondere für Neubaumaßnahmen, da bei einer Wohnflächeneinsparung, die eine Sanierung oder gar keine Baumaßnahmen erfordert, meist alle Umweltindikatoren positive Werte aufzeigen. Der SuPraRechner kann also insbesondere Fragen beantworten, wie: „ab wie viel Wohnflächeneinsparung lohnt sich [ökologisch gesehen] ein Neubau?“. Er ist aber auch ein Plädoyer für Umzüge in kleineren Wohnungen, für das Zusammenziehen und für den Erhalt der Bausubstanz, da schnell eindeutig wird, dass Sanierungen mit Neuaufteilung von Wohnraum die besseren Suffizienzmaßnahmen darstellen.

Die hier vorgestellten Szenarien sind besonders interessant, nicht weil sie die größten Umweltentlastungen mit sich bringen, sondern weil sie durchaus realistisch sind, sie auf eine größere Anzahl an Personen zutreffen könnten, sie ein vergleichsweise hohes ökologisches Einsparpotential mit sich bringen, sie sozial verträglich oder sogar attraktiv sind und sie aus ökonomischer Sicht für die Akteure auch umsetzbar bzw. attraktiv sein könnten.

Es gäbe aber durchaus auch Szenarien, bei denen die gesonderte Betrachtung von Effizienz oder Suffizienz zu scheinbar widersprüchlichen Ergebnissen führen kann. Beispielsweise wäre der Umzug von einem gut gedämmten Neubau in einem unsanierten Altbau bei gleichzeitiger Wohnflächeneinsparung gesamtgesellschaftlich gesehen eine sinnvolle Suffizienzmaßnahme. Dennoch könnten die individuellen THG-Emissionen (Betrieb) steigen, da der Energieverbrauch trotz Wohnflächenreduktion sehr wahrscheinlich steigen würde. Hier ist es also wichtig, sowohl die gesamtgesellschaftliche Situation zu betrachten (eine effizientere Nutzung von Wohnfläche ist unabhängig von der Energieeffizienz erstrebenswert), als auch die Effizienz-Aspekte anzugehen (die energetische Sanierung hat hier höchste Priorität, eine Reduktion der Wohnfläche ersetzt keine Dämmmaßnahmen). Umgekehrt scheint aus Sicht der Betriebsemissionen ein Umzug von einem schlecht gedämmten Altbau in einen gut gedämmten Neubau auch bei höheren Wohnflächenverbrauch sich ökologisch zu lohnen. Hier hilft der Blick auf die anderen Indikatoren: es würden dabei graue Emissionen entstehen, Naturraum für die Baustoffe beansprucht und Boden neu versiegelt. Suffizienz-, Effizienz- und Konsistenzmaßnahmen gehen also Hand in Hand. Im Idealfall werden Bestandsgebäude mit nachwachsenden Rohstoffen und auf hohem Energiestandard saniert und/oder aufgestockt; während im selben Zuge die Pro-Kopf-Wohnfläche durch eine neue Raumaufteilung oder Nutzung reduziert wird.

Im Hinblick auf den Biodiversitätsverlust bzw. auf die Landnutzungsänderung ist die Versuchung groß, beide Indikatoren „Flächennutzungsänderung“ (Baustoffe) und „Bodenversiegelung“ (Bebauung) miteinander zu vergleichen, zumal letztere deutlich höhere Werte aufzuzeigen scheint. Dennoch sind diese Indikatoren nicht direkt miteinander vergleichbar, da (1) die Bodenversiegelung in absoluten Werten vorliegt, während die Flächennutzungsänderung pro Jahr (mit Annahme einer Gebäude-Lebensdauer von 50 Jahre) dargestellt wird; (2) es sich um zwei unterschiedliche Messgrößen handelt (m^2 und $m^2 \text{ aF-Äq.}$), da die Flächennutzungsänderung nach Hemerobie normiert wurde; (3) die Systemgrenze des Flächenrucksacks eng gefasst ist und die Berechnung damit konservativ ist (vgl.

6.3.4.). Die über die Baustoffe „importierte“ Landnutzungsänderung ist also keinesfalls zu vernachlässigen und genauso zu berücksichtigen wie die Landnutzungsänderung durch Neubebauung.

6.2. Plausibilitätsprüfung der Indikatorwerte

Die Stärke des hier entwickelten Rechners besteht in einem konsistenten Vergleich zwischen den verschiedenen Suffizienzmaßnahmen. Damit aber auch die absoluten Werte belastbar sind, wurde – sofern nötig und möglich – eine Plausibilitätsprüfung der Ergebniswerte für die Indikatoren unternommen. Es wurden sowohl die Daten zu den grauen Emissionen als auch zur Bodenversiegelung auf ihre Plausibilität geprüft. Die Betriebsemissionen mussten nicht plausibilisiert werden, da sie auf den anerkannten und weitverbreiteten Datengrundlage des IWU beruhen. Für den Indikator des Flächenrucksacks liegen derzeit keine vergleichbaren Daten vor, da es sich um eine Erstanwendung dieser Methode handelt. Dennoch wurde an der Stelle dieselben Annahmen zu Materialbilanzen getroffen wie für die grauen Emissionen. Mit einer Plausibilitätsprüfung der grauen Emissionswerte erfolgt also eine indirekte Prüfung der Materialbilanzen. Da der Flächenrucksack neben den Daten von Fehrenbach et al. (2021c) auf diesen Materialbilanzen basiert, wird dadurch eine zusätzliche Datensicherheit erzeugt. Nichtsdestotrotz wären hier vergleichbare Studien zu Flächenrucksäcken von Baustoffen und Gebäuden im Sinne einer Plausibilisierung der Ergebniswerte hochwillkommen.

6.2.1. Graue Emissionen

Zuerst wurden sowohl die GWP-Werte der einzelnen Baustoffen als auch die Anteile der Emissionen der Materialgruppen in Bezug auf die Gesamtemissionen der Baumaßnahmen von Expert*innen geprüft und ggf. angepasst (Joachim Reinhardt, Corvin Veith, Jasmin Schoon, Patrick Zimmermann; ifeu). Die Anteile der Materialgruppen an den gesamten Treibhausgasemissionen der Baumaßnahme wurden zudem mit den Daten vom DENA (2021) verglichen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Anteile der Materialgruppen an den gesamten Treibhausgasemissionen für ein Mehrfamilienhaus im Massivbau. Vergleich zwischen SuPraRechner und DENA (2021, S.67) (eigene Darstellung)

Materialgruppe	Anteile an den THG-Emissionen im Hochbau (Dena-Gebäudereport)	Anteile an den THG-Emissionen für ein MFH-Massivbau (SuPraRechner)
Beton/Zement	36%	25%
Fenster, Türen und Glas	25%	14%
Dämmstoffe	11%	11%
Stahl	9%	11%
Bodenbeläge	7,5%	8%
Dach- und Mauerziegel	7,5%	8%
Kalksandstein	3%	5%
Gips	1%	1%
Sonst. Kunststoffe	Nicht berechnet	4%
Sonst. Metalle	Nicht berechnet	13%

Beim Vergleich mit den Daten des DENA-Gebäudereports fällt auf, dass die Kategorien „Beton/Zement“ und „Fenster, Türen, Glas“ einen geringeren Anteil an den Gesamtemissionen in der SuPraRechner-Kalkulation ausmachen als nach Angaben des DENA-Gebäudereports. Gleichzeitig zeigen fünf weitere Kategorien vergleichbare Werte (Dämmstoffe, Stahl, Bodenbeläge, Ziegel, Gips), was für eine gewisse Konsistenz spricht. Zudem ist anzumerken, dass die Materialbilanzen im SuPraRechner und damit die Berechnungen der grauen Emissionen auch die Gebäudetechnik mitintegrieren. Diese sind insbesondere in der Kategorie „Sonstige Kunststoffe“ und „Sonstige Metalle“ dargestellt – welche nicht Teil der Berechnung im DENA-Gebäudereport ist. Dieser integrierte Ansatz im SuPraRechner, wodurch auch die grauen Emissionen der Gebäudetechnik abgebildet werden, erklärt u. a. die Abweichung gegenüber des DENA-Gebäudereports.

Als weiterer Schritt für die Plausibilisierung der grauen Emissionswerte wurden die Ergebnisse für die jeweiligen Baumaßnahmen (vgl. Abb. 10) überprüft. Dies erfolgte über einen Vergleich mit Angaben aus der Literatur (Tabelle 7).

Tabelle 7: Vergleich der grauen Emissionswerte je Baumaßnahmen mit ausgewählten Studien (eigene Darstellung).

Studie	GWP für Massivbau, in kg CO ₂ -Äq./ m ² * Jahr	GWP für Sanierung, in kg CO ₂ -Äq./ m ² * Jahr	GWP für Holzbau, in kg CO ₂ -Äq./ m ² * Jahr	GWP für Aufstockung, in kg CO ₂ -Äq./ m ² * Jahr	Anmerkungen
Hochbauamt Zürich (Pöll, 2020) ¹¹	11 Bandbreite: 8,6 – 13,0 (15 Objekte)	4, 1 Bandbreite 2,6 – 5,7 (10 Objekte)	-	-	Unklar, ob mit Rückbau; mehrgeschossige Bauten (keine EFH), TGA vermutlich nicht berücksichtigt
Mahler et al., 2019, S. 71, 80, 89, 98	-	3 – 9 (EFH) 3 – 5 (MFH)	-	-	Verschiedene Varianten für EFH & MFH, TGA wird berücksichtigt
DGNB, 2021, S. 12	8,7 Bandbreite 6,5 – 11,9 (50 Objekte)	-	-	-	Büro-Gebäude, Nur Modellvorhaben, TGA nicht berücksichtigt
Dittrich et al., unveröff., S.55	8,8	-	-	-	Mit Materialbilanz vom IÖR, Datenbank von ecoinvent. Gebäude-Lebensdauer 75 Jahre , kein Rückbau, TGA kaum berücksichtigt
Pehnt et al., 2021, S. 124	-	-	-	3,8 – 4,9	(Herstellung Module + TGA; Nutzfläche = 107 m ²) Bandbreite variiert je nach technische Gebäudeausrüstung.
SuPraRechner	15 (EFH); 13,5 (MFH)	4,4 (EFH)	6,4 (MFH)	5,3	Materialbilanz vgl. 4.4.2; Datenbank Ökobaudat; keine Modellvorhaben, mit Rückbau inkl. Recyclingpotential, Lebensdauer 50 Jahre, TGA pauschal berücksichtigt

¹¹Erfahrungswerte des Hochbauamts der Stadt Zürich für den Zeitraum 2012 – 2024.

Anhand der Tabelle wird deutlich, dass Daten zu den grauen Emissionen spezifischer Baumaßnahmen eher rar sind. Diese sind meist wenig differenziert, z. B. findet keine Differenzierung zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern statt. Auch divergieren die Annahmen enorm, beispielsweise führt eine Annahme von 75 Jahren als Gebäude-Lebensdauer zu deutlich niedrigeren Werten als nach der üblichen Annahme von 50 Jahren. Zudem sind oft Modellvorhaben, also besonders ökologische Gebäude, Gegenstand von Lebenszyklusanalysen (z. B. im Rahmen einer Zertifizierung). Dies ist einer der Gründe, weshalb die GWP-Angaben für den Massivbau im SuPraRechner etwas höher sind als die des Hochbauamts Zürich oder der DGNB-Benchmark-Studie. Schließlich ist auch der Umgang mit der technischen Gebäudeausstattung entscheidend, da diese schätzungsweise ca. 20% der Gesamtemissionen eines Gebäudes ausmacht (DGNB, 2021, S. 13). Zusammenfassend liegen also die Ergebnisse des SuPraRechners in der richtigen Größenordnung: die Werte sind vergleichbar mit den Werten, die in der Literatur zu finden sind; wobei Annahmen und Vorgehen zum Teil stark divergieren. Die Ergebnisse im SuPraRechner sind hierdurch eher konservativ berechnet: mit der Berücksichtigung der technischen Gebäudeausstattung, des Rückbaus und einer Lebensdauer von 50 Jahren sind die grauen Emissionen eher höher als in manchen Studien angesetzt.

6.2.2. Bodenversiegelung

Die Bodenversiegelung wurde von der Pro-Kopf-Wohnfläche abgeleitet und bezieht sich lediglich auf die Versiegelung, die das Gebäude verursacht. Es handelt sich demnach um einen „bottom-up“-Ansatz, der in der Literatur nicht wiedergefunden werden konnte. Stattdessen wird meist die Bodenversiegelung pro Einwohner in Deutschland „top-down“, also fernerkundungsbasiert und/oder nach Katasterdaten berechnet (Beckmann & Dosch, 2018). Grundsätzlich ist aber weder der Pro-Kopf-Ansatz noch die Bodenversiegelung je Quadratmeter Wohnfläche üblich; vielmehr wird die jährliche Bodenneversiegelung im Hinblick auf das 30-ha Ziel (vgl. Einleitung) gemessen. Demnach musste die Plausibilisierung der Ergebnisse des SuPraRechners indirekt u. a. mit Angaben des Statistischen Bundesamtes erfolgen.

Laut Statistischem Bundesamt beansprucht 2017 „jeder Einwohner in Deutschland rechnerisch 618 m² Siedlungs- und Verkehrsfläche“ (Statistisches Bundesamt, 2017), wobei Siedlungs- und Verkehrsflächen im Bundesdurchschnitt jedoch nur knapp zur Hälfte versiegelt sind (Beckmann & Dosch, 2018, S. 9). Dies liegt daran, dass zu den Siedlungs- und Verkehrsflächen folgende

Nutzungsarten gehören: Gebäude- und Freiflächen, Betriebsflächen, Erholungsflächen, Verkehrsflächen, Friedhöfe sowie Bergbauflächen und Steinbrüche. Auch Hausgärten werden beispielsweise nach dieser Definition zu Siedlungs- und Verkehrsflächen mitgerechnet (Beckmann & Dosch, 2018, S. 7). Dem Statistischen Bundesamt nach lag die Siedlungsfläche 2015 bei 32.770 km², wobei 42% auf die Wohnbaufläche entfällt (Statistisches Bundesamt, 2017). Wird von einer Einwohneranzahl von 83,2 Mio. Menschen ausgegangen (Statistisches Bundesamt, 2022) und angenommen, dass ca. die Hälfte der Siedlungsfläche tatsächlich versiegelt ist (Beckmann & Dosch, 2018), ergibt dies eine durchschnittliche Versiegelung von ca. 82 m² für die Wohnbaufläche pro Einwohner in Deutschland. Damit liegen die Ergebniswerte aus Kapitel 5.1.3. (Abb. 13), bei dem für ein Einfamilienhaus mit durchschnittlicher Wohnfläche die Pro-Kopf-Versiegelung 34,3 m² beträgt, in der richtigen Größenordnung. Auch Ergebnisse aus der vermiedenen Bodenversiegelung, wie z. B. im Szenario „EFH-to-EFH“, bei dem 23,26 m² Bodenversiegelung pro Kopf eingespart wird, erscheinen realistisch. Dennoch sind hiermit die Ergebniswerte der Pro-Kopf-Bodenversiegelung für das Wohnen im SuPraRechner zu niedrig. Dies liegt u. a. daran, dass Stellplätze, versiegelte Flächen im Außenbereich etc. nicht miteinberechnet wurden, was die Differenz zu den o.g. 82m² ausmacht. Abgesehen davon muss darauf hingewiesen werden, dass zu den versiegelten Flächen auch Verkehrsflächen zählen und dass Siedlungsflächen neben den Wohnungsbau auch Gewerbe, Industrie und öffentliche Einrichtungen beinhalten.

Die gesamte Pro-Kopf-Bodenversiegelung ist also deutlich höher und liegt im dreistelligen Bereich, wie eine Studie des Bayerischen Landesamts für Umwelt zeigt. In dieser Studie werden die Bodenversiegelungsdaten pro Einwohner satellitengestützt erfasst. Für das Jahr 2015 lag demnach die durchschnittliche Pro-Kopf-Versiegelung für das Bundesland Bayern bei 330 m² (Üreyen & Thiel, 2017, S.60). Diese Versiegelung pro Kopf zeigt je nach Gemeinden eine große Variabilität: sie reicht von 73 m² in München bis hin zu 3.203 m² in einzelnen ländlichen Gemeinden. Dabei wird die tatsächliche Versiegelung der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf die Einwohner der Gemeinden runtergerechnet, ohne Differenzierung zwischen Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie zwischen Wohnbaufläche und Industrie, Gewerbe oder öffentliche Einrichtungen. Die Versiegelung durch das eigene Wohngebäude und dessen Wohnfläche, wie sie im SuPraRechner berechnet wird, stellt daher nur einen kleineren Anteil der tatsächlichen Pro-Kopf-Versiegelung dar.

6.3. Annahmen, Limitationen und Forschungsdesiderata

6.3.1. Allgemeine Annahmen und Limitationen

Im Rahmen dieser Arbeit konnten die Umweltwirkungen einer hier als Suffizienzmaßnahme definierten individuelle Wohnflächenreduktion untersucht werden. Allerdings wurden die Umweltwirkungen anhand von nur drei Indikatoren untersucht. Zudem muss darauf hingewiesen werden, dass eine detaillierte Abfrage des Heizenergieverbrauchs und des Wohnverhaltens im Rahmen dieser Arbeit auch nicht erfolgen konnte. Dabei ist zu beachten, dass bei selbiger Wohnfläche und Dämmstandard das Heiz- und Lüftungsverhalten zu sehr unterschiedlichen Energieverbräuchen führen kann (Kornadt et al., 2021). Im Rahmen dieser Suffizienzmaßnahmen wurden mögliche Baumaßnahmen nach fünf Kategorien unterteilt und bilanziert (EFH-Massivbau, MFH-Massivbau, Sanierung, MFH-Holzbau, Holz-Aufstockung). Diese Baumaßnahmen zeigen jedoch eine hohe Variabilität, sowohl in Hinsicht auf die Baustoffe sowie den Grad und die Art der Konstruktion. Zudem wurden alternative Baustoffe wie Stroh oder Lehm hier nicht als Option angeboten, obwohl Baustroh beispielsweise sehr gute GWP-Werte aufzeigt (vgl. Rechner Blatt 6, Zeile 42, Angaben aus der ÖKOBAUDAT). An dieser Stelle könnte der Rechner mit mehr Materialbilanzen bzw. Materialbilanzen von Strohhäusern erweitert werden, sollten Konsistenz-Aspekte in einer zukünftigen Verwendung des Rechners mehr Beachtung bekommen.

Eine zentrale Annahme dieser Arbeit ist die einer Senkung des Neubaubedarfs proportional zur Höhe der Wohnflächeneinsparung. Diese ist aus mindestens fünf Aspekten kritisch zu betrachten:

(1) Auch bei der Suffizienz können Rebound-Effekte stattfinden. Es ist z. B. durchaus möglich, dass sich die eigene Wohnfläche reduziert, diese eingesparte Wohnfläche aber wiederum von Familienangehörigen, Nachbar*innen, Mitbewohner*innen usw. für eine Vergrößerung des Wohnraums verwendet wird. Wenn diese Akteure nicht vorhatten, durch (Neu-)Baumaßnahmen ihren Wohnraum zu vergrößern, handelt es sich um einen Rebound-Effekt bei der Wohnflächeneinsparung.

(2) Eine Wohnflächeneinsparung führt zu einer tatsächlichen Reduzierung des Neubaubedarfs lediglich in Gebieten, in denen Wohnraum-Nachfrage herrscht. Dies ist der Fall in Regionen mit Bevölkerungswachstum (insb. Ballungsgebiete), trifft jedoch nicht auf das gesamte Gebiet der

Bundesrepublik Deutschland zu (Henger & Voigtländer, 2019). In bestimmten Kreisen ist der Wohnraumbedarf bereits gedeckelt – wobei trotzdem weitergebaut wird (Abb. 30).

(3) Je nachdem, wo eine Wohnflächeneinsparung stattfindet, hat sie unterschiedliche (Umwelt-)Effekte. Die Kalkulationen zu den Umwelteffekten der eingesparten Wohnfläche beruhen auf Annahmen im Bezug auf die Bautätigkeiten in Deutschland (vgl. 4.4.2.). Dabei wurde angenommen, dass ein Großteil der fertiggestellten Wohnfläche über Neubaumaßnahmen erfolgt. Diese auf ganz Deutschland bezogenen Annahmen müssten bei Anwendung des Rechners auf kleinräumiger Ebene differenzierter betrachtet werden. Beispielsweise wird in Metropolregionen der Wohnraumbedarf über Mehrfamilienhäuser und Hochhäuser gedeckt statt über Einfamilienhäuser (BBSR, 2021, S.14) – sowie zukünftig zunehmend über Sanierungen und Aufstockungen (Technische Universität Braunschweig, 2019; Regionalverband FrankfurtRheinMain, 2021; Baunetzwissen, o.J.).

(4) Nicht berücksichtigt werden sozio-kulturelle Aspekte. Der Traum des eigenen Einfamilienhauses – oder in bestimmten Milieus des eigenen Wohnprojektes – kann z. B. zu einem Abriss der bestehenden Bausubstanz und zu einem Neubau führen (ganz nach der persönlichen Traumvorstellung). Auch bei Projektentwickler*innen, Architekt*innen, Fachplaner*innen usw. können sozio-kulturelle Aspekte zu einer Entscheidung für Neubaumaßnahmen und gegen die Nutzung des frei gewordenen Wohnraums führen.

(5) Schließlich können auch eine Vielzahl an weiteren Faktoren (finanzielle, politische, architektonische...) dazu führen, dass neugebaut wird, obwohl Wohnraum bereits vorhanden ist. Beispielsweise können hohe Bodenpreise zu einer relativen Entwertung der vorhandenen Bausubstanz führen und einen Abriss/Neubau begünstigen; oder eine Sanierung für zu aufwendig erklärt werden. Aus verschiedenen Gründen führt also eine Wohnflächeneinsparung insbesondere in Altbauten mit schlechter Bausubstanz nicht zwangsläufig zu einer Reduzierung von Neubaumaßnahmen.

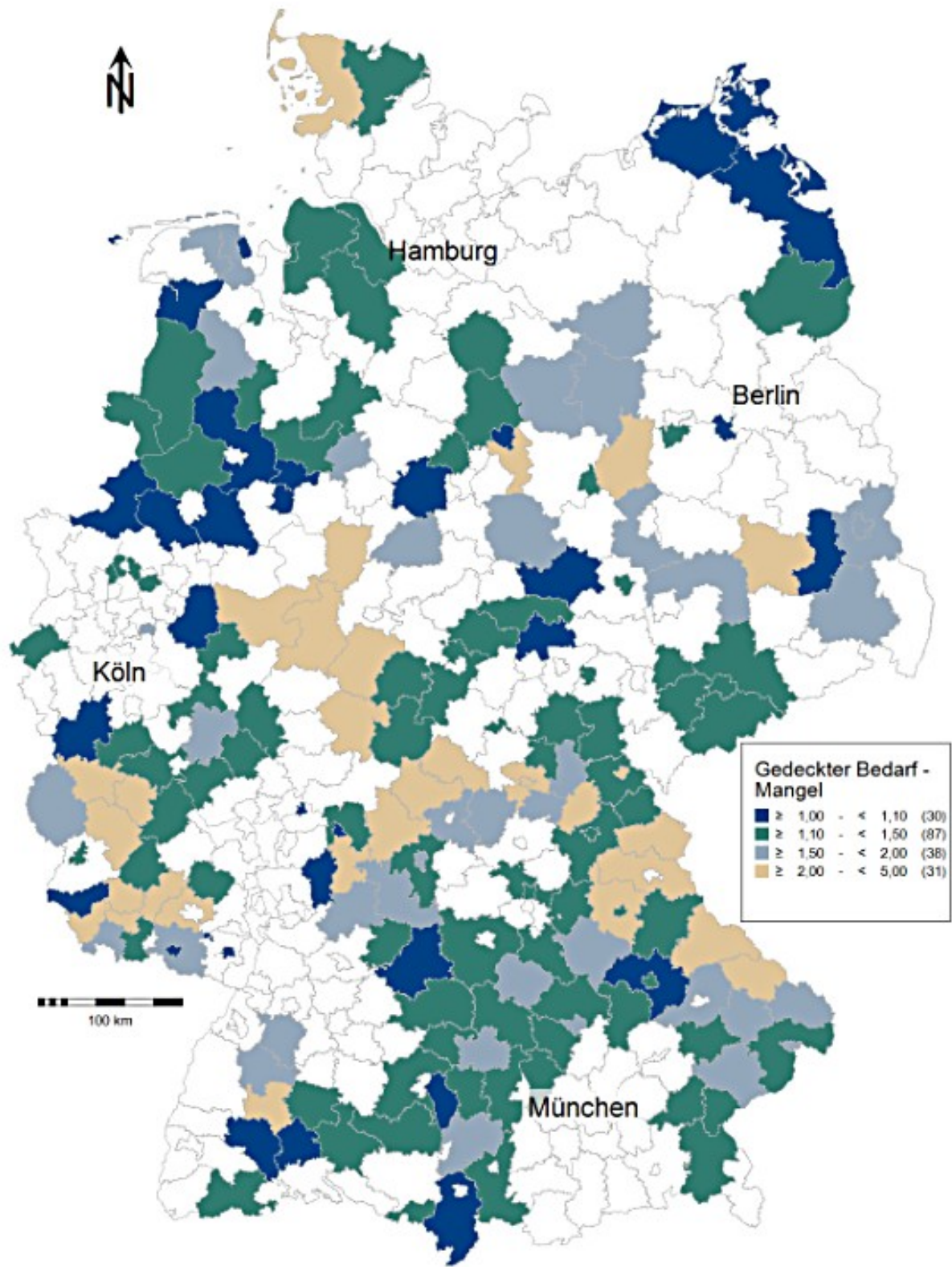


Abbildung 30: Kreise mit gedecktem Wohnraumbedarf, 2016 – 2018 (Henger & Voigtländer, 2019)

Letztendlich berechnet der SuPraRechner nur die eigene Umweltentlastung und nicht die der anderen Personen, die ggf. die jeweiligen Suffizienzmaßnahmen mittragen. Je nach Suffizienzmaßnahme werden auch bei anderen Menschen Emissionen oder Versiegelung eingespart. Beispielsweise führt die gemeinsame Entscheidung als WG, Wohnprojekt oder Familie Wohnfläche einzusparen bei jedem der Beteiligten zu einer Pro-Kopf-Reduktion der Umweltbelastungen (statt nur bei der/dem SuPraRechner-Nutzer*in). Der SuPraRechner hat jedoch erstmal einen individuellen Ansatz, was angesichts des oft gemeinschaftlichen Charakters von Suffizienzmaßnahmen etwas paradox erscheinen mag.

6.3.2. Materialbilanzen

Weitere Limitationen der Arbeit sind die Materialbilanzen, auf denen die Berechnungen der grauen Emissionen und des Flächenrucksacks der Baustoffe beruhen. Die Massivbau-Daten basieren auf den Bauwerksdaten des IÖR, ergänzt von den Daten von Deilmann et al. (2017). Die Materialströme in Deutschland wurden anteilig einem Gebäude bzw. einem m² angerechnet (vgl. 4.4.2.). Diese Materialbilanzen für Massivbauten beruhen daher auf einer Vielzahl von Bauwerken. Anders ist es bei den Materialbilanzen der Sanierung, des Holzbaus und der Aufstockung. Die Materialbilanz der Sanierung erfolgte pauschal, orientiert am Massivbau. Die Materialbilanz des Holzbaus wurde an einem Referenzgebäude ausgerichtet, bei dem Korrekturen und Ergänzungen getroffen wurden. Sie orientiert sich an einem Mehrfamilienhaus ohne Unterkellerung mit Flachdach. Die Materialbilanz der Aufstockung erfolgte pauschal, orientiert am Holzbau. Um die Unsicherheit der Ergebnisse zu reduzieren, wären deswegen Materialbilanzen für Sanierung, Holzbau und Aufstockung, die auf einer Vielzahl von Bauwerksdaten beruhen, nötig. Eventuell wäre auch eine weitere Differenzierung erforderlich (z. B. verschiedene Typen der Gebäudesanierung). Eine solche Datenbank wurde während der Recherche für diese Arbeit jedoch nicht gefunden.

6.3.3. Treibhauspotential

Für die Berechnung der Betriebsemissionen wurde lediglich der Lüftungs- und Heizenergieverbrauch berücksichtigt. Warmwasser- und Stromverbrauch, sowie die Energie, die ggf. für die Kühlung des Gebäudes benötigt wird, wurden hier nicht berücksichtigt. Dies liegt u. a. daran, dass diese Verbräuche nur bedingt mit der Pro-Kopf-Wohnfläche zusammenhängen (vgl. Zimmermann 2018, S.139-140).

Gleichzeitig sind dadurch die Betriebsemissionen etwas geringer als sie es sein sollten, da für den Gebäudebetrieb weitere Energieverbräuche anfallen.

In Bezug auf die grauen Emissionen wurde versucht, den Herstellungsaufwand der Gebäudetechnik durch bestimmte Materialannahmen (Kunststoffe, Metalle) abzubilden. Oft wird die technische Gebäudeausrüstung (TGA) in Lebenszyklusanalysen vernachlässigt (vgl. 6.2.1.), obwohl ihr Gewicht in der gesamten Ökobilanz eines Gebäudes aufgrund der zunehmenden Automation und Technisierung von Häusern steigt (DGNB, 2018). Die Materialannahmen für die TGA im SuPraRechner sind (vereinfacht) Kunststoff-Rohre und Profile (PVC, CR) sowie Aluminium und Kupfer. Allerdings werden Kunststoffe und Aluminium teilweise auch in der Gebäudehülle verwendet (Abdichtungen, Trockenbau etc.). Für die Kategorie „EFH-Massivbau“ entspricht im SuPraRechner die Materialgruppe „Sonstige Metalle“ ca. 12% und die Materialgruppe „Sonstige Kunststoffe“ ca. 4% der grauen Emissionen des Gebäudes (vgl. Rechner Blatt 6, V28 & V24) – allerdings ist nur ein Teil dieser Materialgruppen der TGA zuzuordnen. Der tatsächliche Anteil bzw. die grauen Emissionen der TGA für hocheffiziente, technisierte Gebäude, ist vermutlich deutlich höher (vgl. Weißenberger, 2016). Beispielsweise macht in der Studie von Lempik et al. (2021, S.124) die Kategorie "Herstellung Haustechnik" bis zu 42% der gesamten grauen Emissionen eines Aufstockungsmoduls für Wohngebäude. Dabei tragen insbesondere Photovoltaik-Anlagen zu höheren grauen Emissionen bei – führen aber auch gleichzeitig zu Emissionsreduktion im Betrieb. Die Berücksichtigung der TGA ist daher im SuPraRechner konservativ: vermutlich sind die grauen Emissionen bei energieeffiziente Neubauten und Aufstockungen höher.

Eine weitere Limitation bezüglich der grauen Emissionen betrifft die Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe wie beispielsweise Holz. Treibhausgasemissionen bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe entstehen v.a. bei der thermischen Verwertung, d. h. bei ihrer Entsorgung nach einer oder mehreren Nutzungsphasen. Eine Schwäche dieser Bilanzierung (und der üblichen Ökobilanzen) ist die Nicht-Berücksichtigung des Zeitpunktes der Emissionen. Die Effekte einer temporären Kohlenstofflagerung im Gebäude in Form von Lignin und Zellulose (z. B. über 50 Jahre, theoretisch auch länger) wird dadurch ignoriert. Diese mittelfristige Kohlenstoffspeicherung hat jedoch eine positive Wirkung für den Klimaschutz, da sie als Puffer fungiert: der Kohlenstoff wird nicht direkt in die Atmosphäre rückgeführt, sondern mit zeitlicher Versetzung. Dies schafft wiederum mehr Zeit für soziale und technische Innovationen im Klimaschutz (Churkina et al., 2020). Die Berücksichtigung

dieses Effektes spricht für Holzneubauten, Holz-Aufstockungen sowie Neubauten und Sanierungen mit nachwachsenden Rohstoffen wie Stroh.

6.3.4. Flächenrucksack

Beim Flächenrucksack ist zu beachten, dass die Flächenbelegung sowie die Flächennutzungsänderung weder für den Heizenergieverbrauch noch für den Strom berechnet wurden, sondern zuerst nur für die (verbrauchten und eingesparten) Baustoffe. Die eingesparte Flächenbelegung und -nutzungsänderung durch Energieeinsparung konnte im Rahmen dieser Arbeit also nicht berechnet werden, ist aber vermutlich signifikant, v.a. bei Strom. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Auch sind die Baustoffdatensätze vereinfacht dargestellt und nur auf die Herstellung bezogen. Der Transport zu und von der Baustelle, sowie der Rückbau, die Entsorgung und das Recycling werden nicht miteinbezogen, was zu konservative Schätzungen führt.

6.3.5. Bodenversiegelung

Wie bereits erwähnt, limitiert sich dieser Indikator auf die Bodenversiegelung, die eine Baumaßnahme direkt verursacht – und dies lediglich im Hinblick auf das Gebäude. Die gesamte Bodenversiegelung pro Person beinhaltet auch andere Arten der Versiegelung (Gewerbe, Verkehr usw.) und liegt daher deutlich höher. Eine weitere Limitation dieses Indikators liegt in der Bestrebung, die Abfrage im Rechner knapp zu halten: im Fall eines Neubaus wird der Ausgangszustand der Flächenversiegelung nicht abgefragt. Allerdings sind die Auswirkungen eines Neubaus auf einer Konversionsfläche, in Baulücken oder auf bereits bebauter Fläche anderer Natur als auf einer bisher unversiegelten oder gar landwirtschaftlichen Fläche. Die Effekte einer Baumaßnahme auf die Bodenversiegelung ist also immer im Einzelfall zu prüfen – z. B. kann eine ökologische Umgestaltung eines Industriegebiets durchaus zu einer Entsiegelung führen. Wichtig ist zudem, dass die hier als „eingesparte Versiegelung“ genannten Größe nicht mit „Entsiegelung“ gleichgesetzt wird. Durch einen Umzug in eine kleinere Wohnung wird eine Neuversiegelung „potentiell vermieden“, es wird allerdings kein Boden entsiegelt.

Zudem wurden sowohl die Stellplätze als auch die nötige Zuwegung, Infrastruktur usw. nicht mitbilanziert. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die meisten Landesbauordnungen (LBO) derzeit die Herstellung von Stellplätzen bei Neuschaffung von Wohnraum, inklusive für Umbauten und Aufstockungen erfordern (Architects for Future, 2021). Dies bedeutet, dass die tatsächliche Bodenversiegelung von der jeweiligen LBO, vom jeweiligen Stellplatzschlüssel und damit vom Mobilitätskonzept sowie von der unter- oder oberirdische Unterbringung der Kfz-Stellplätze abhängt. Die Bodenversiegelung durch eine (Um-)Baumaßnahme wird also in den meisten Fällen höher sein als im Rechner angegeben, inklusive bei Aufstockungen und bei der Schaffung von neuem Wohnraum in Bestandsgebäuden. Da dies jedoch stark vom Einzelfall abhängig ist, wurde dieser Aspekt der Stellplätze und Zuwegung ausgeblendet. Im Hinblick auf die Stellplätze besteht also weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf, um sämtliche Umweltauswirkungen (von Tiefgaragen, oberirdischen Stellplätzen, Quartiersgaragen...) sowie die Hindernisse für suffizientes Wohnen (Bau größerer Wohnungen, Nachverdichtung und Teilung von Wohnungen erschwert...) umfassend darzustellen sowie schließlich zu vermeiden.

7. Fazit

Die erforschte Suffizienzpraktik – die persönliche Reduktion des Wohnflächenverbrauchs – transponiert sich in verschiedenen Suffizienzmaßnahmen, wovon zehn in der vorliegenden Arbeit ausgewählt und untersucht wurden. All diese Maßnahmen ziehen unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt mit sich, abhängig von der Art der Maßnahme und dem Grad der Wohnflächeneinsparung. In dieser Arbeit wurde ein Rechner entwickelt, um anhand von drei Indikatoren – Treibhauspotential, Flächenrucksack der Baustoffe und Bodenversiegelung durch Bebauung – eine ökologische Evaluation dieser Suffizienzmaßnahmen vorzunehmen. Jedoch kann und soll das hier entwickelte SuPraRechner-Modul keine differenzierte Ökobilanzierung einzelner Baumaßnahmen darstellen. Vielmehr soll er zur Handlung befähigen, indem eine Größenordnung der Suffizienzpotentiale verschiedener Wohnmaßnahmen vermittelt wird. Zudem soll der/die Nutzer*in des Rechners verschiedene Suffizienz-Optionen aus ökologischer Perspektive vergleichen können. Der SuPraRechner soll zudem einen Beitrag zur Suffizienzforschung beim Bauen und Wohnen liefern. Ein größerer Teil dieser Arbeit lag in der Ausarbeitung einer Datengrundlage für die grauen Emissionen und für den Flächenrucksack. Ein Vergleich der grauen Emissionen pro m² je nach Baumaßnahme, mit Unterscheidung zwischen Neubau (EFH/MFH und Holzbau/Massivbau), Sanierung und Aufstockung ist in der Literatur kaum zu finden und konnte in dieser Arbeit ansatzweise durchgeführt werden, wobei hier weiterer Forschungsbedarf besteht. Die Anwendung des von Fehrenbach et al. (2021a, 2021b, 2021c) entwickelten Ansatzes und der dazugehörigen Daten aus der Studie „Flächenrucksack von Gütern und Dienstleistungen“ ist ein Versuch, einen Indikator zur Landnutzung und zum Biodiversitätsverlust in die Ökobilanzierung von Baumaßnahmen einfließen zu lassen. Diese Erstanwendung soll exemplarisch darstellen, wie Flächenbelegungen und Flächennutzungsänderungen über Baustoffe „importiert“ werden, und wie diese je nach Wahl der Wohnflächengröße, Baustoffen und Baumaßnahmen variieren. Schließlich wurden die Umwelteffekte von Suffizienzmaßnahmen und insbesondere von Wohnflächeneinsparung bisher selten quantifiziert. Diese Arbeit verdeutlicht, dass Suffizienz messbar bzw. ihre Effekte quantitativ darstellbar sind und sie einen genauso hohen Stellenwert in der Umwelt- und Wohnpolitik bekommen sollte wie andere Nachhaltigkeitsstrategien.

8. Ausblick

Eine zentrale Frage der Wohnsuffizienz ist die Frage nach dem Raum. Was bedeutet eine Reduktion (oder Zunahme) des Pro-Kopf-Wohnraums für andere Räume, die möglicherweise vom eigenen Wohnort weit entfernt sind? Mit dem Ansatz des Flächenrucksacks wurde gezeigt, welche ökologischen, und schließlich auch räumliche Implikationen suffiziente Wohnpraktiken haben können. Die Berücksichtigung der (vermiedenen) Bodenversiegelung liefert uns weitere Informationen über räumlich-ökologische Konsequenzen von Wohnpraktiken. Auch die Angaben zum Treibhauspotential geben uns indirekt einen Hinweis dazu, wie sehr sich *andere Räume* durch die Änderung *unserer (Wohn-)Räume* – aufgrund des Klimawandels – verändern können. Der Suffizienz-Ansatz liefert zu diesen räumlich-ökologischen Herausforderungen eine Antwort: die der Bevorzugung des Optimums vor dem Maximum (Linz et al., 2002). Diese Optimierung darf jedoch nicht nur auf individueller Ebene stattfinden, sondern muss auch auf struktureller Ebene erfolgen: auf der Maßnahmenebene muss eine Instrumentierung folgen, aus dem individuellen Ansatz müssen Quartiersansätze entstehen. Kurz: wir brauchen eine Suffizienzpolitik.

Literaturverzeichnis

ARL – Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft. (Hrsg.) (2021): Postwachstum und Raumentwicklung – Denkanstöße für Wissenschaft und Praxis [Positionspapier]. Hannover.

Balvanera, P., Pfaff, A., Viña, A., García Frapolli, E., Merino, L., Minang, P. A., & Sidorovich, A. (2019). Status and trends– Drivers of change. Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: IPBES.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. (2019). Ökobaudat – Grundlage für die Gebäude-Ökobilanzierung [2. Auflage]. Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.

BBSR. (2021). Faktenblätter zum deutschen Wohnungsmarkt 2021. Berlin: Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat.

Beckmann, G., & Dosch, F. (2018). Monitoring der Siedlungsflächenentwicklung. In *Flächeninanspruchnahme in Deutschland* (pp. 3-24). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

Best, B., Hanke, G. & Richters, O. (2013). Urbane Suffizienz. In P. Schweizer-Ries, J. Hildebrand und I. Rau (Hrsg.): *Klimaschutz & Energienachhaltigkeit : die Energiewende als sozialwissenschaftliche Herausforderung* (105-117). Saarbrücken: Universaar.

Bierwirth, A., & Thomas, S. (2015). Almost best friends: sufficiency and efficiency; can sufficiency maximise efficiency gains in buildings? [ECEEE Summer Study Proceedings]. Stockholm: Europ. Council for an Energy Efficient Economy.

Böcker, M., Brüggemann, H., Christ, M., Knak, A., Lage, J., & Sommer, B. (2020). Wie wird weniger genug?: Suffizienz als Strategie für eine nachhaltige Stadtentwicklung. oekom Verlag.

Brischke, L.-A., Leuser, L., Duscha, M., Thomas, S., Thema, J., & Spitzner, M. (2016): Energiesuffizienz - Strategien und Instrumente für eine technische, systemische und kulturelle Transformation zur nachhaltigen Begrenzung des Energiebedarfs im Konsumfeld Bauen / Wohnen [Endbericht]. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung.

Brischke, L. A., & Over, M. (2020). Wie bauliche und organisatorische Strukturen die Zeitnutzung verändern. *Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift*, (4), 27-29.

Brokow-Loga, A., & Eckardt, F. (Hrsg.) (2020). *Postwachstumsstadt – Konturen einer solidarischen Stadtpolitik*. oekom Verlag.

Brokow-Loga, A., & Neßler, M. (2020). Eine Frage der Flächengerechtigkeit! Kommentar zu Lisa Vollmer und Boris Michel „Wohnen in der Klimakrise. Die Wohnungsfrage als ökologische Frage“. *sub/urban*, 2020 (8), 183-192.

Bund deutscher Zimmermeister. (2021). Lagebericht 2021 – Zimmerer/ Holzbau. *Berlin: Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V.*

Castán Broto, V., & Robin, E. (2021). Climate urbanism as critical urban theory. *Urban Geography*, 42(6), 715-720.

Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Raven, P. H. (2020). Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(24), 13596-13602.

Chemnitz, C., & Weigelt, J. (2015). Bodenatlas. Daten und Fakten über Acker, Land und Erde. *Berlin, Potsdam : Heinrich-Böll Stiftung, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Le Monde diplomatique.*

Christ, M., Lage, J. (2020). Umkämpfte Räume. Suffizienzpolitik als Lösung für sozial-ökologische Probleme in der Stadt? In Brokow-Loga, A., & Eckardt, F. (Hrsg.): *Postwachstumsstadt – Konturen einer solidarischen Stadtpolitik* (184-202). oekom Verlag.

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., ... & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269-276.

Dahm, D., & Scherhorn, G. (2021). *Urbane Subsistenz: die zweite Quelle des Wohlstands*. oekom verlag.

Deilmann, C., Reichenbach, J., Krauß, N. & Gruhler, K. (2017). Materialströme im Hochbau – Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft. *Berlin: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).*

DENA – Deutsche Energie-Agentur. (2021). DENA-Gebäudereport 2022. Zahlen, Daten, Fakten. *Berlin.*

DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. (2018). Kriterienkatalog Gebäude Neubau – Ökologische Qualität. ENV1.1/ Ökobilanz des Gebäudes. *Stuttgart: DGNB GmbH.*

DGNB. (2021). Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. *Stuttgart: DGNB e.V.*

Deutscher Städtetag (2021). Nachhaltiges und suffizientes Bauen in den Städten [Handreichung]. *Berlin & Köln: Deutscher Städtetag.*

DIN – Deutsches Institut für Normung. (2009). DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. *Beuth-Verlag.*

DIN. (2012). DIN EN 15978 – Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. *Beuth-Verlag.*

DIN. (2018). DIN 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. *Beuth-Verlag*.

Dingeldey, M., Brischke, L.-A., Over, M., Girault, F. (2022). Gemeinschaftliche Strukturen in Wohnquartieren – Impulse für mehr Lebensqualität, Klima- und Ressourcenschutz. *Heidelberg: ifeu*.

Dittrich, M., Ewers, B., Liebich, A., Limberger, S., Schoer, K., Müller, J. & Keppner, B. (unveröff.). Die Grenzen des Konsums: Nachhaltiger Konsum unter der Berücksichtigung von Planetaren Grenzen und globalen Wachstumsdynamiken [Zwischenbericht zum AP2]. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.

Drebes, C. (2020). Suffizienz und Interaktion. Energetische Suffizienzpotenziale medialer Interaktion von Wohngebäuden im Kontext veränderter Ansprüche kontemporärer Nutzungsformen [Dissertation]. *Darmstadt: Technische Universität*.

Eidelman, T. A., & Safransky, S. (2021). The urban commons: a keyword essay. *Urban Geography*, 42(6), 792-811.

Fekkak, M., Fleischhauer, M., Greiving, S., Lucas, R., Schinkel, J., & Winterfeld, U. V. (2016). Resiliente Stadt – Zukunftsstadt [Forschungsgutachten]. *Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie*.

Fehrenbach, H., Grahl, B., Giegrich, J., & Busch, M. (2015). Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(11), 1511-1527.

Fehrenbach, H., Busch, M., Bürck, S., Bischoff, M., Theis, S., Reinhardt, J., Blömer, J. & Grahl, B. (2021a) Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen. Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen – Teilbericht I: Methoden. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.

Fehrenbach, H., Busch, M., Bürck, S., Bischoff, M., Theis, S., Reinhardt, J., Blömer, J. & Grahl, B. (2021b) Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen. Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen – Teilbericht II: Fallbeispiele. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.

Fehrenbach, H., Busch, M., Bürck, S., Bischoff, M., Theis, S., Reinhardt, J., Blömer, J. & Grahl, B. (2021c) Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen. Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen – Teilbericht III: Daten. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.

Fischer, C., Grießhammer, R., Barth, R., Brohmann, B., Brunn, C., Heyen, D. A., ... & Wolff, F. (2013). Mehr als nur weniger. Suffizienz: Begriff, Begründung und Potenziale [Working Paper]. *Freiburg: Öko-Institut*.

Gamberini, J. (2020). Postwachstums- versus nachhaltige Stadt? Gemeinsamkeiten, Spannungsfelder und Auswirkungen auf Städte und Stadtforschung. In Brokow-Loga, A., & Eckardt, F. (Hrsg.): *Postwachstumsstadt – Konturen einer solidarischen Stadtpolitik (184-202)*. oekom Verlag.

- Geier, V., Meier, M. & Köpke, U. (2013). Status Quo der Biodiversitätsbewertung in Ökobilanzen. In D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm & U. Köpke (Hrsg.): *Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung* [Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn]. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Henger, R. & Voigtländer, M. (2019). Ist der Wohnungsbau auf dem richtigen Weg? Aktuelle Ergebnisse des IW-Wohnungsbedarfsmodells [IW-Report 28/2019]. *Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln*.
- Huber, J. (1995). Nachhaltige Entwicklung durch Suffizienz, Effizienz und Konsistenz. Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive. *Stuttgart: S. Hirzel*.
- Kenkmann, T., Cludius, J., Fischer, C., Fries, T., Keimeyer, F., Schumacher, K., Brischke, L.-A. & Leuser, L. (2019). Flächensparend Wohnen – Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Wohnfläche“. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.
- Knappe, F., Reinhardt, J. & Veith, C. (2019). Integrierte Sekundarschule IS Mahlsdorf Berlin. Bilanzierung und Bewertung alternativer Bauweisen aus ökogischer Sicht. *Heidelberg: ifeu*.
- Knuth, S., Stehlin, J., & Millington, N. (2020). Rethinking climate futures through urban fabrics:(De) growth, densification, and the politics of scale. *Urban Geography, 41(10)*, 1335-1343.
- Kornadt, O., Carrigan, S., Hartner, M., Schöndube, T., Wilhelm, J., Lachmann, M., Lermen, H., Kissinger, M., Beecken, C. & Becker, S. (2021). Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch [Abschlussbericht]. *Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag*.
- Lage, J., & Leuser, L. (2019). Fläche unter Druck: Sozial-ökologische Dimensionen der Flächennutzung in deutschen Wachstumsregionen. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society, 28(4)*, 365-373.
- Lindner, J.P., Eberle, U., Schmincke, E., ... & Arana, D. (2019). Biodiversität in Ökobilanzen [Abschlussbericht]. *Bonn: Bundesamt für Naturschutz*.
- Linz, M., Bartelmus, P., Hennicke, P., Jungkeit, R., Sachs, W., Scherhorn, G., ... & von Winterfeld, U. (2002). Von nichts zu viel: Suffizienz gehört zur Zukunftsfähigkeit [Arbeitsvorhaben Nr. 125]. *Wuppertal: Wuppertal-Institut*.
- Mahler, B., Idler, S., Nusser, T. & Gantner, J. (2019). Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus [Abschlussbericht]. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.
- Nelson, A., & Schneider, F. (Eds.). (2018). *Housing for degrowth: Principles, models, challenges and opportunities*. Routledge.
- Nisse, J., & Armbrecht, K. (2020). Nachhaltigkeitsaspekte unter der Lupe–Ökobilanzen im Gebäudevergleich. *Mauerwerk, 24(3)*, 118-123.

- Over, M., Zimmermann, P., & Brischke, L. A. (2021). Wie muss man bauen, um suffizientes Wohnen zu ermöglichen? In 26. *Interdisziplinäre Wissenschaftliche Konferenz Mittweida* (No. 002, pp. 204-209). Hochschule Mittweida.
- Ott, K., & Döring, R. (2011). Theorie und praxis starker Nachhaltigkeit. *Weimar: Metropolis*.
- Paech, N. (2012). *Befreiung vom Überfluss: Auf dem Weg in die Postwachstumsökonomie*. oekom Verlag.
- Pehnt, M., Lempik & J., Mellwig, P. (2021). Neue Mitte Kressbronn: Modularer Holzbau im Quartier: Entwicklung vorgefertigter Energiewendemodule für die Sanierung von 1970er Gebäuden [Endbericht]. *Heidelberg: ifeu*.
- Pickerill, J. (2020). Eco-communities as insurgent climate urbanism: radical urban socio-material transformations. *Urban Geography*, 42(6), 738-743.
- Pöll, M. (2020). *Netto-Null im Baubereich: Machbar oder Science-Fiction?* [Vortrag der Fachstelle Nachhaltiges Bauen, Stadt Zürich Amt für Hochbauten]. Energiegespräche im Wenkenhof, Zürich.
- Purr, K., Wehmann, K., Balzer F., Erxleben, F., Hendzlik, M., Kahrl, A., Lange, M., Lünenbürger, B., Steinbrenner, J. & Weyland, M. (2021). Treibhausgasminderung um 70 Prozent bis 2030: So kann es gehen! [Positionspapier]. *Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt*.
- Sachs, W. (1993). Die vier E's - Merkposten für einen maßvollen Wirtschaftsstil. *Politische Ökologie*, 11(33), 69-72.
- Savini, F. (2021). Towards an urban degrowth: Habitability, finity and polycentric autonomism. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 53(5), 1076-1095.
- Schmitt, C., Leuser, L., Brischke, L.-A., Duscha, M. & Jacobsen, S. (2015). Suffizienz-Maßnahmen und -Politiken in kommunalen Klimaschutzkonzepten und Masterplänen – ein Überblick [Arbeitspapier]. *Heidelberg: ifeu*.
- Schneidewind, U., & Zahrnt, A. (2013). Damit gutes Leben einfacher wird: Perspektiven einer Suffizienzpolitik. *oekom Verlag*.
- Schoop, L. (2017). Das Potenzial neuer Wohnformen zur Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche im urbanen Raum [Masterarbeit]. *München: Technische Universität*.
- Siedle, J. (2020). Nutzungsverdichtung im Gebäudebestand – Transformationsstrategien für weniger Neubau. *Raumplanung*, 205(1), 52-55.
- Steffen, A. (2012). Weniger! - Suffizienz als dritter, unabdingbarer Aspekt der Nachhaltigkeit. *deutsche bauzeitung* (05) 62.

- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Steinbach, J. & Deurer, J. (2021). Bewertung des CO₂-Reduktionspotenzials ausgewählter Maßnahmen im Bereich Gebäude & Wohnen für das Land Bremen [Endbericht]. *Karlsruhe: IREES GmbH Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien*.
- Üreyen, S., & Thiel, M. (2017). Satellitengestützte Erfassung der Bodenversiegelung in Bayern 2015. *Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt*.
- Walberg, D., Gniechwitz, T., Paare, K. & Schulze, T. (2022). Wohnungsbau: Die Zukunft des Bestandes [Bauforschungsbericht]. *Kiel: Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.*
- Weißenberger, M. (2016). Lebenszyklusbasierte Analyse der ökologischen Eigenschaften von Niedrigstenergiewohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudetechnik [Dissertation]. *München: Technische Universität*.
- Wittstock, B., Albrecht, S., Colodel, C. M., & Lindner, J. P. (2009). Gebäude aus Lebenszyklusperspektive – Ökobilanzen im Bauwesen. *Bauphysik*, 31(1), 9-17.
- World Ocean Review. (2021). *Lebensgarant Ozean – nachhaltig nutzen, wirksam schützen*. Maribus gGmbH.
- Wuppertal Institut. (2021): Wohnsituation & Wohnqualität. Ergebnisse einer Online-Umfrage im Rahmen des Projekts „OptiWohn“. *Wuppertal*.
- Zimmermann, P. (2018). Bewertbarkeit und ökobilanzieller Einfluss von Suffizienz im Gebäudebereich [Masterarbeit]. *München: Technische Universität*.
- Xue, J. (2022). Urban planning and degrowth: a missing dialogue. *Local Environment*, 27(4), 404-422.

Online-Quellen

- Architects For Future. (2021). *UMBauordnung für Deutschland, damit Bauen klimaneutral werden kann* [Positionspapier]. Abgerufen am 13.07.2022 unter: <https://www.architects4future.de/news/a4f-umbauordnung>
- Baunetzwissen. (o.J.) *Aufstockungen – Gegenwärtige Situation der Ballungsräume*. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://www.baunetzwissen.de/mauerwerk/fachwissen/aufstockungen/gegenwaertige-situation-der-ballungsräume-7544136>

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung/ BMI – Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat. (Hrsg.) (2021). *Neues Europäisches Bauhaus – Positionen zum Beginn des Dialogs in Deutschland*. Abgerufen am 15.07.2021 unter:

<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2021/neues-europaeisches-bauhaus.html>

BBSR. (O.J.). *Energieeinsparungsgesetz (EnEG) 1976*. Abgerufen am 16.07.2021 unter:

https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Archiv/EnEG/EnEG1976/1976_node.html

Besser mit Holz! (2022). *Zubau und Anbau*. Abgerufen am 16.07.2021 unter:

<https://www.bessermitholz.at/holzbau-produkte/zubau.html>

Bewertungsgesetz (BewG). (2015). Ermittlung des Gebäuderegulierungswerts. Abgerufen am 16.07.2021 unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bewg/anlage_24.html

Bundesgesetzblatt (BGBl.) (2003). Abgerufen am 05.07.2022 unter:

https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl103s2346.pdf#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl103s2346.pdf%27%5D_1657009427726

BGBl. (2001). *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)*. Abgerufen am 16.07.2021 unter:

https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl101s3085.pdf%27%5D_1657959004427

dB – Deutsche Bauzeitung. (2022). *Suffizienz in der Baukultur - die dB zeigt Möglichkeiten, anders zu bauen*. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://www.db-bauzeitung.de/suffizienz2-2>

Deutsche Bundesregierung. (2022). *Mehr bezahlbare und klimagerechte Wohnungen schaffen*.

Abgerufen am 27.06.2021 unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/wohnungsbau-bundesregierung-2006224>

Eichhorn, D., Siedle, J., Leuser, L. (2019). *Forschungslandschaft Suffizienz: ein Überblick*. Abgerufen

am 27.06.2021 unter: <https://www.postwachstum.de/forschungslandschaft-suffizienz-ein-ueberblick-20190711>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe – FNR. (2022). *Aufstockung mit Holz: Ressourcenschonend Wohnraum schaffen* [Projektbeschreibung]. Abgerufen am 27.06.2021 unter:

<https://www.fnr.de/projektfoerderung/ausgewaehlte-projekte/projekte/holzauf-aufstockung-mit-holz>

Fuhrhop, D., Kenkmann, T., Siedle, J., ... & Stieß, I. (2020). *Flächensparendes Wohnen for Future* [Eine Ergänzung zur 1,5°-Studie des Wuppertal Instituts für Fridays for Future]. Abgerufen am

16.07.2021 unter:

https://www.researchgate.net/publication/348447850_Flächensparendes_Wohnen_for_Future

Global Monitoring Laboratory. (2022). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Global Monthly Mean*

CO₂. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg – ifeu. (2020). *LebensRäume* [abgeschlossenes Forschungsprojekt]. Abgerufen am 27.06.2021 unter: <https://www.ifeu.de/projekt/lebensraeume-instrumente-zur-beduerfnisorientierten-wohnraumnutzung-in-kommunen/>

Ifeu. (2022). *SuPraStadt – Lebensqualität, Teilhabe und Ressourcenschonung durch soziale Diffusion von Suffizienzpraktiken in Stadtquartiere* [abgeschlossenes Forschungsprojekt]. Abgerufen am 27.06.2021 unter: <https://www.ifeu.de/projekt/suprastadt/>

IÖR – Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (O.J.). *Bauwerksdaten: Wohngebäude*. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <http://ioer-bdat.de/bauwerksdaten/wohngebaeude/>

IWU – Institut für Wohnen und Umwelt. (2022). *TABULA-Webtool*. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://webtool.building-typology.eu/#bm>

Lexikon der Nachhaltigkeit. (2015). *Modelle und Konzepte zur Nachhaltigkeit*. Abgerufen am 25.06.2022 unter: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/modelle_und_konzepte_zur_nachhaltigkeit_2018.htm

Libbe, J., Bendlin, L., Riechel, R., ... & Ferber, U. (2020). *Memorandum Post-Corona-Stadt – Für eine suffiziente und resiliente Entwicklung von Städten und Regionen* [Schlussfolgerungen eines Workshops der BMBF-Förderinitiativen „Umsetzung der Leitinitiative Zukunftsstadt“, „Nachhaltige Transformation urbaner Räume, „Stadt-Land-Plus“, „Kommunen innovativ“ und „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“]. Abgerufen am 15.07.2021 unter: https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/577328/1/20200729_Memorandum_Post-Corona-FINAL_BMBF.pdf

Regionalverband FrankfurtRheinMain. (2021). *Bau-Boom in der Metropolregion FrankfurtRheinMain: Von 2016 bis 2020 entstanden fast 110.000 Wohnungen*. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://www.region-frankfurt.de/Kurzmenü/Startseite/Bau-Boom-in-der-Metropolregion-FrankfurtRheinMain-Von-2016-bis-2020-entstanden-fast-110-000-Wohnungen.php?object=tx.3255.5&ModID=7&FID=3255.770.1>

Schader Stiftung. (2013). *Architektur für Wohnprojekte - Impulse für innovative Wohntypologien?* Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://www.schader-stiftung.de/themen/stadtentwicklung-und-wohnen/fokus/gemeinschaftliches-wohnen/artikel/architektur-fuer-wohnprojekte-impulse-fuer-innovative-wohntypologien/>

Statistisches Bundesamt. (2017). *618 Quadratmeter je Einwohner für Siedlung und Verkehr* [Pressemitteilung]. Abgerufen am 13.07.2022 unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2017/11/PD17_409_412.html

Statistisches Bundesamt. (2021a). *Bauen und Wohnen. Baugenehmigungen / Baufertigstellungen u. a. nach Gebäudeart – Lange Reihen z. T. Ab 1960*. Abgerufen am 13.07.2022 unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautatigkeit/baugenehmigungen-gebaeudeart-pdf-5311102.pdf?blob=publicationFile>

Statistisches Bundesamt. (2021b). *Von Januar bis November 2020 genehmigte Wohnungen: 59 % in Mehrfamilienhäusern* [Pressemitteilung]. Abgerufen am 13.07.2022 unter:
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_N015_44.html

Statistisches Bundesamt. (2022). *Bevölkerungsstand: Amtliche Einwohnerzahl Deutschlands 2021*. Abgerufen am 13.07.2022 unter:
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html

Stein, H.-J. (2014). *Suffizienz - Weniger erreicht mehr*. Abgerufen am 15.07.2021 unter:
<https://www.diearchitekten.org/quicklinks/newsroom/detail/suffizienz-weniger-erreicht-mehr/>

Technische Universität Braunschweig. (2019). *Gebäude aufstocken, Wohnraum schaffen*. Abgerufen am 15.07.2021 unter:
<https://magazin.tu-braunschweig.de/pi-post/gebaeude-aufstocken-wohnraum-schaffen/>

UBA – Umweltbundesamt. (2020a). *Bodenversiegelung*. Abgerufen am 27.06.2021 unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung>

UBA. (2020b). *Gebäudeklimatisierung*. Abgerufen am 27.06.2021 unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>

UBA. (2021a). *Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent* [Pressemitteilung]. Abgerufen am 13.07.2022 unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent>

UBA. (2021b). *Wohnfläche*. Abgerufen am 13.07.2022 unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche>

UBA. (2021c). *Die Treibhausgase*. Abgerufen am 15.07.2021 unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>

UBA. (2022a). *Treibhausgasemissionen stiegen 2021 um 4,5 Prozent* [Pressemitteilung]. Abgerufen am 13.07.2022 unter:
<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-stiegen-2021-um-45-prozent>

UBA. (2022b). *CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes*. Abgerufen am 13.07.2022 unter:
https://uba.co2-rechner.de/de_DE

Urban Coop Berlin. (2016). *Clusterwohnungen*. Abgerufen am 16.07.2021 unter:
<https://www.urbancoopberlin.de/clusterwohnungen/>

VPB – Verband Privater Bauherren. (2020). *Suffizienz - Zukunftstrend Klasse statt Masse*. Abgerufen am 15.07.2021 unter: <https://www.vpb.de/leitfaden-suffizienz.html>

Wuppertal Institut. (2015). *Kommunale Suffizienzpolitik – Ressourcenschutz vor Ort stärken*. Abgerufen am 13.07.2022 unter: <https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/3448/>