

Projektnummer	117832.0001
Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU) Papiermühlestrasse 172 3063 Ittigen Schweiz
Kontaktperson	Herr David Hiltbrunner
Bearbeitung	Wüest Partner AG Alte Börse Bleicherweg 5 8001 Zürich Schweiz T +41 44 289 90 00 wuestpartner.com
Autoren	Dr. Jörg Schläpfer, Markus Kunz, Stefan Meier
Disclaimer	Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.
Zeitraum	November 2019 bis Juni 2020

Wüest Partner ist ein unabhängiges und inhabergeführtes Beratungsunternehmen. Seit 1985 schaffen wir als neutrale Experten und Expertinnen erstklassige Entscheidungsgrundlagen für professionelle Immobilienakteure. Mit einem breiten Leistungsangebot – bestehend aus Beratung, Bewertung, Daten, Applikationen und Publikationen – begleiten wir unsere Kundinnen und Kunden im In- und Ausland. Unser Wissen schafft Transparenz und ebnet neue Wege für die Weiterentwicklung der Immobilienwirtschaft.

Mit einem rund 200-köpfigen, interdisziplinären Beraterteam verfügt das Unternehmen über eine hohe Kompetenz und langjährige Erfahrung. Die Mitarbeitenden stammen aus den Disziplinen Ökonomie, Architektur, Informatik, Ingenieurwesen sowie Sozial- und Naturwissenschaften. Die in Zürich, Genf, Bern, Lugano, Frankfurt am Main, Berlin, Hamburg und München stationierten Beraterteams werden von einem internationalen Netzwerk von Partnerfirmen und regional gut verankerten Fachpersonen unterstützt.

Für Kontinuität, Nachhaltigkeit und Unabhängigkeit der Unternehmensleistungen bürgen die neunzehn Partner, die zugleich Eigentümer der Wüest Partner AG sind: Andreas Ammann, Andreas Bleisch, Jan Bärthel, Patrick Schnorf, Mario Grubemann, Patrik Schmid, Gino Fiorentin, Stefan Meier, Hervé Froidevaux, Ronny Haase, Pascal Marazzi-de Lima, Andreas Keller, Karsten Jungk, Ivan Anton, Fabio Guerra, Alain Chaney, Christine Eugster, Matthias Weber und Jörg Lamster.

Management Summary

Wie die Bau- und Immobilienwirtschaft mit bestehenden Liegenschaften umgeht, ist sehr bedeutsam für die Nachhaltigkeitsziele unserer Gesellschaft. Von den im Rahmen der Agenda 2030 vom Bund definierten 85 Indikatoren im Monitoring der nachhaltigen Entwicklung werden mehrere zentrale Pfeiler direkt durch den Umgang mit Bestandsbauten beeinflusst:

- Verbesserung der Treibhausgasbilanz
- Sparsamer Umgang mit Materialien
- Senkung der Wohnkosten
- Steigerung des Wohlstandes
- Reduktion des Siedlungsflächenverbrauchs pro Person

Einige dieser Nachhaltigkeitsindikatoren lassen sich widerspruchsfrei gleichzeitig anstreben. Angesichts der teilweise divergierenden Interessen in der Bau- und Immobilienwirtschaft sowie der Gesellschaft treten aber auch Zielkonflikte auf. Vor diesem Hintergrund hat sich eine Studie, die Wüest Partner im Auftrag des Bundeamtes für Umwelt (BAFU) ausgearbeitet hat, zum Ziel gesetzt, verschiedene Normstrategien im Umgang mit Bestandsbauten im Hinblick darauf zu evaluieren, wie die Erreichung möglichst vieler Nachhaltigkeitsziele am besten in Einklang gebracht werden kann.

Um eine hohe Repräsentativität zu gewährleisten, hat Wüest Partner für die Berechnungen der sechs Normstrategien ein typisches zweistöckiges Mehrfamilienhaus mit Baujahr 1970 aus einer Grossstadttagglomeration ausgewählt. Rund ein Zwölftel aller heute bestehenden Wohnungen befinden sich in Mehrfamilienhäusern aus den 1960er- oder 1970er-Jahren, die in der Agglomeration eines Grosszentrums stehen. Viele dieser Liegenschaften sind heute sanierungsbedürftig, und es stellt sich die Frage, welche der folgenden strategischen Optionen die passendste ist:

1. Fortführung ohne Eingriffe in die Bestandsbaute
2. Kleine energetische Sanierung
3. Grosse energetische Sanierung
4. Aufstockung von zwei auf vier Stockwerke
5. Ersatzneubau mit gleicher Ausnützung
6. Ersatzneubau mit doppelter Ausnützung

Evaluation der Normstrategien

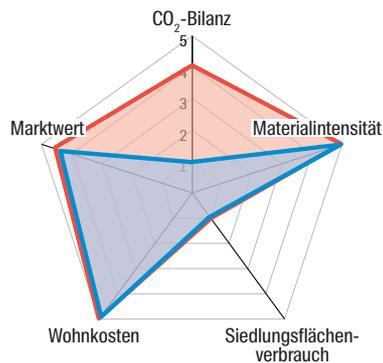
Die Auswirkungen dieser sechs Normstrategien auf fünf wichtige Nachhaltigkeitsziele hat Wüest Partner umfassend ausgewertet. Es zeigt sich, dass in den meisten Fällen eine kleine energetische Sanierung diejenige Normstrategie ist, die der Vielzahl an Nachhaltigkeitszielen besonders gut gerecht wird. Die Mieter können in Fällen mit einem bedeutenden Rückgang der Heizkosten teilweise sogar von tieferen Wohnkosten profitieren, das zeigt eine aktuelle Studie (Wüest Partner, 2020). Zudem verbessert sich die CO₂-Bilanz – einerseits durch den dämmungsbedingten tieferen Wärmebedarf und andererseits durch die Substitution fossiler Energie – um 30 Prozent im Vergleich mit der Option einer blossen Fortführung

ohne Eingriffe. Diese Gegenüberstellung ist auf der linken Seite der ersten Abbildung mit den Netzdiagrammen aufgeführt.

Bewertung von 4 Normstrategien im Hinblick auf die Erfüllung von 5 Nachhaltigkeitszielen
(Bewertungsskala von 1 = sehr schlecht bis 5 = sehr gut)

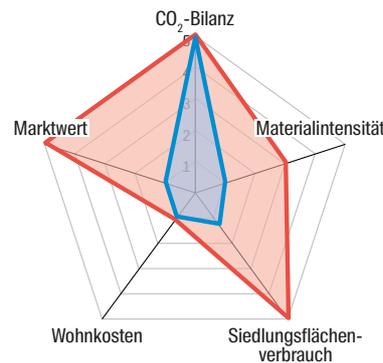
Normstrategien 1 und 2 im Vergleich

- Fortführung ohne Eingriffe
- Kleine energetische Sanierung



Normstrategien 6 und 7 im Vergleich

- Ersatzneubau mit gleicher Ausnützung
- Ersatzneubau mit doppelter Ausnützung



Bewertung von 4 Normstrategien im Hinblick auf die Erfüllung von 5 Nachhaltigkeitszielen.

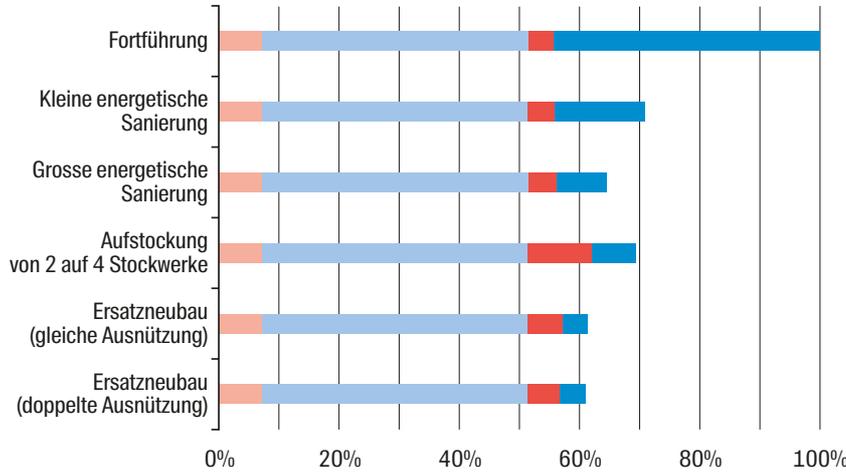
Bewertungsskala von 1 = sehr schlecht bis 5 = sehr gut
Quelle: Wüest Partner

Auf der rechten Seite der Abbildung ist die Analyse der Ersatzneubauten abgebildet. Ersatzneubauten sind diejenigen Normstrategien, welche die durch den Betrieb einer Liegenschaft verursachten CO₂-Emissionen am wirkungsvollsten verringert, weil damit die komplette Liegenschaft den neusten Energievorschriften entspricht. Damit sind Ersatzneubauten auch am besten vereinbar mit dem Ziel «Netto-Null Emissionen» bis 2050, vor allem wenn in Kombination mit einer Photovoltaikanlage auch der Strombedarf bilanziell über das Jahr gedeckt wird. Heizung und Strom verursachen in 50 Jahren Betrieb nach der Ersatzneubaute sogar weniger CO₂-Emissionen als die graue Treibhausgasemissionen, die durch die neu zu verbauenden Materialien verursacht werden. In einer umfassenden Betrachtung sind Ersatzneubauten aber nur dann wirklich nachhaltig, wenn damit gleichzeitig die Wohnfläche bzw. die Anzahl Wohnungen auf dem Areal signifikant erhöht wird. Wenn das der Fall ist, wird der bedeutende Materialeinsatz und der grosse Einsatz an grauen Treibhausgasemissionen durch den tieferen Pro-Kopf-Siedlungsflächenbedarf und die Reduktion der CO₂-Emissionen im Betrieb aufgewogen.

CO₂-Bilanz über den Lebenszyklus

Die folgende Abbildung zeigt die CO₂-Bilanz der verschiedenen Normstrategien. Diese ergibt sich aus der Summe der Emissionen, welche einerseits im Betrieb durch den Bedarf an Wärme und Elektrizität entstehen und blau dargestellt sind. Andererseits gilt es die Emissionen zu berücksichtigen, welche auf den Materialeinsatz zurückzuführen sind und rot dargestellt sind. Ausgegangen wurde dabei von einer Gesamtlebensdauer der Immobilie von 100 Jahren. Die in der Vergangenheit (1970–2020) angefallenen CO₂-Emissionen werden nicht abgeschrieben, sondern in heller Farbe weiterhin dargestellt. Die ab jetzt bis 2070 anfallenden Emissionen sind dunkel eingefärbt.

Treibhausgasemissionen als Folge der verschiedenen Normstrategien im Vergleich
(pro m² Energiebezugsfläche)



Treibhausgasemissionen als Folge der verschiedenen Normstrategien im Vergleich (pro m² Energiebezugsfläche)
Quellen: Durable, Wüest Partner

Treibhausgasemissionen 1970–2020: Baumaterialien (inkl. Haustechnik) (light orange), Betrieb (light blue)
Treibhausgasemissionen 2020–2070: Baumaterialien (inkl. Haustechnik) (red), Betrieb (dark blue)

Quelle: Wüest Partner

Wird ein vor 50 Jahren erstelltes Mehrfamilienhaus nochmals 50 Jahre ohne nennenswerte Eingriffe betrieben, dann fällt der Treibhausgasausstoss in der Fortführung vor allem aus zwei Gründen sehr hoch aus: Erstens geht aufgrund der schlechten Isolation sehr viel Wärme verloren, und zweitens wird diese Wärme weiterhin mittels Verbrennung von fossilen Energieträgern erzeugt. Der Anteil der Baumaterialien ist in diesem Fall hingegen, über den ganzen Lebenszyklus betrachtet, für lediglich 9 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen verantwortlich.

Erkenntnisse

Bei Neubauten verursachen die Materialien typischerweise mehr Treibhausgase als ein Betrieb mit erneuerbarer Energie in den kommenden 50 Jahren. Entsprechend bedeutsam für die CO₂-Bilanz von Ersatzneubauten ist die Wahl der Baumaterialien. Wenn bereits einmal verwendete Materialien verbaut werden, dann schliesst sich der Kreislauf und vermindert die graue Treibhausgasemissionen. Bei Bestandesliegenschaften hingegen wird die CO₂-Bilanz durch den Betrieb geprägt, wodurch der Energiequelle eine entscheidende Bedeutung zukommt. Das zeigt der deutliche Rückgang der Treibhausgase, der sich durch die Substitution der fossilen Wärmegewinnung bei einer energetischen Sanierung im Vergleich zur Fortführung ergibt.

Durch eine limitierte Eingriffstiefe in bestehende Gebäude und eine zurückhaltende Neubautätigkeit werden Materialien im Gebäudepark gehalten, und es wird relativ wenig Abfall produziert. Dies stärkt die Kreislaufwirtschaft. Diese besteht aus den vier Pfeilern «Reduce» (Reduzieren), «Reuse» (Wiederverwenden), «Repair» (Reparieren) und «Recycle» (Wiederverwerten).

Die Studie zeigt auf, wie die Stärkung der Pfeiler «Reduce» und «Reuse» dazu beiträgt, dass gleich mehrere Nachhaltigkeitsziele erreicht werden. Am besten gelingt dies, indem Bestandsbauten mit einem genau auf die jeweilige Situation angepassten Einsatz von Bauteilen zielgerichtet energetisch saniert werden. Gleichzeitig werden im Spannungsfeld zwischen Verdichtung und Umgang mit

der grauen Energie sehr gute Resultate erreicht, wenn Ersatzneubauten dort erstellt werden, wo eine markante Verdichtung erreicht werden kann (z. B. eine Verdoppelung der Anzahl Wohnungen).

Potenzial zur Vertiefung

Bei der Entwicklung des Netzdiagramms zur Evaluation von Normstrategien zeigte sich das Potenzial für zwei vielversprechende Vertiefungen. Erstens bietet sich eine methodisch geschickt gewählte und umfassende Analyse des Zusammenhangs zwischen der Nachhaltigkeit und dem Marktwert von Liegenschaften an.

Zweitens wurden hier idealtypische Normstrategien untersucht. Wünschenswert wäre die Bearbeitung von weiteren Varianten unter Berücksichtigung der konkreten Gegebenheiten einer Liegenschaft wie etwa das Potenzial zur Wiederverwertung von Baumaterialien. Gerade vor einer Festlegung einer Strategie für Bestandsbauten lohnt es sich, die Strategien auf verschiedene Dimensionen der Nachhaltigkeit zu testen. Dabei können die in dieser Studie erarbeiteten Modelle eingesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Kreislaufwirtschaft	10
1.2	Zielsetzung	11
1.3	Vorgehen	11
2	Gebäudepark	12
2.1	Gebäudepark	12
2.2	Anspruchsgruppen und ihre Interessen	14
2.3	Ersatzneubau	15
2.4	Bauabfälle und Materialisierung im Hochbau	18
2.5	Energetische Bilanzierung von Baumaterialien	20
3	Nachhaltigkeitsziele	22
3.1	Ziele	22
3.2	Zielkongruenz und Zielkonflikte	27
4	Exemplarische Normstrategien	29
4.1	Normstrategien im Umgang mit dem Bestand	29
4.2	Fallbeispiel	31
5	CO₂-Bilanzierung der Normstrategien	33
5.1	Quellen der Treibhausgase	33
5.2	Vergleich der Normstrategien	34
5.3	Methodik zur Berechnung der CO ₂ -Emissionen	35
6	Integrale Bewertung der Normstrategien	37
6.1	Analyse in Netzdiagrammen	37
6.2	Zusammenzug	44
7	Diskussion	47
7.1	Reduce	47
7.2	Repair/ Recover	48
7.3	Recycling	48
7.4	Reuse	48
7.5	Erkenntnis	49
8	Literaturverzeichnis	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der 4.5 Mio. Wohneinheiten in der Schweiz nach 5er-Gemeindetypeneinteilung und nach Bauperioden. Quelle: Wüest Partner; BFS	12
Abbildung 2: Eigentübertyp der Mietwohnungen, 2018.	15
Abbildung 3: Anzahl abgebrochene Wohnungen in der Schweiz nach Gemeindetyp und Jahr. Quelle: BFS Statistik der Wohnbautätigkeit.....	16
Abbildung 4: Verteilung der Neubaubewilligungen für Wohnungen auf Hochbauarten nach Gemeindetyp (2017 bis August 2019). Quelle: Bundesamt für Statistik; Wüest Partner.....	17
Abbildung 5: Abbruchquoten im Modell 2015 nach Altersklassen.	18
Abbildung 6: Bauabfälle nach Bauprozessen und -materialien, Stand 2015.....	19
Abbildung 7: Baumaterialien im Gebäudepark nach Nutzungen;	20
Abbildung 8: Auszug aus dem Monitoring der nachhaltigen Entwicklung (MONET).	22
Abbildung 9: Gesamtmenge verursachter Siedlungsabfälle.	24
Abbildung 10: Treibhausgasemissionen in CO ₂ -Äquivalenten ohne Senkenleistung des Waldes und Emissionsminderungszertifikate.	24
Abbildung 11: Treibhausgasemissionen in CO ₂ -Äquivalenten nach Sektor.....	25
Abbildung 12: Siedlungsflächen pro Kopf (Quadratmeter) in drei Arealstatistiken nach Gemeindetyp.	25
Abbildung 13: Siedlungsflächen (in Hektaren) in drei Arealstatistiken nach Gemeindetyp.....	26
Abbildung 14: Anteil der Wohnkosten am Bruttohaushaltseinkommen nach Einkommensklasse.	27
Abbildung 15 : Systematisierung der Quellen der Treibhausgase.	33
Abbildung 16: Angefallene Treibhausgasemissionen (CO ₂ -äq.) in den Jahren 1970 bis 2020 für die Normstrategie Fortführung.....	33
Abbildung 17: Treibhausgasemissionen pro m ² Energiebezugsfläche jeder Normstrategie im Betrachtungs-zeitraum 1970 bis 2070.	34
Abbildung 18: Mehrdimensionale Auswertung der Fortführungsstrategie (FF) ...	38
Abbildung 19: Normstrategie kleine energetische Sanierung (KES) und Fortführung (FF),.....	39
Abbildung 20: Normstrategie grosse energetische Sanierung (GES) und Fortführung (FF), Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien.....	40
Abbildung 21: Normstrategie Aufstockung (AU) und Fortführung (FF).....	41
Abbildung 22: Normstrategie Ersatzneubau mit gleicher Ausnützungsziffer (ENB K) und Fortführung (FF)	42
Abbildung 23: Normstrategie Ersatzneubau mit doppelter Ausnützungsziffer (ENB G) und Fortführung (FF).....	43
Abbildung 24: Zusammenfassung aller Normstrategien,.....	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ökobilanzdaten ausgewählter Baustoffe, Herstellung und Entsorgung zusammengefasst in Totalwerten.	21
Tabelle 2: Jährlicher Materialzufluss von Beton und Stahl ins «Bauwerk Schweiz».	21
Tabelle 3: Bruttoinlandprodukt pro Kopf, Index 1991 = 100 Prozent,.....	22
Tabelle 4: Inländischer Rohstoffverbrauch (RMC).	23
Tabelle 5 : Auswirkungen der Schlagworte Reduce und Reuse auf die den Bausektor betreffenden Nachhaltigkeitsziele.....	27
Tabelle 6: Normstrategien für Bauherren im Umgang mit dem Bestand.	30
Tabelle 7: Kennwerte der Normstrategien, die als Bewertungsgrundlage für die Netzgrafiken dienen.....	45

1 Einleitung

1.1 Kreislaufwirtschaft

In der Kreislaufwirtschaft werden Produkte und Materialien im Umlauf gehalten. Damit werden weniger Primärrohstoffe verbraucht, wodurch der Wert der Produkte länger erhalten bleibt und weniger Abfall entsteht. Es ist ein explizites Ziel des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) die Kreislaufwirtschaft zu stärken. Kreislaufwirtschaft ist ein ganzheitlicher Ansatz, der den gesamten Kreislauf in Betracht zieht (BAFU, 2019).

Damit Produkte und Materialien länger im Kreislauf verbleiben, wird das **Konzept der 4R** verwendet (vgl. Kirchherr, Reichert, Hekkert 2017). Bei dessen Umsetzung spielt die Bau- und Immobilienwirtschaft eine Schlüsselrolle, wie die nachfolgende Beschreibung der 4R für die Bau- und Immobilienwirtschaft zeigt:

- **Reduce (Reduzieren):** Reduce ist das mächtigste Schlagwort in der Kreislaufwirtschaft. Die Reduktion von Baumaterialien führt zu weniger Ressourcenverbrauch, Abfall, Energieverbrauch und damit zu einer gesamthaft geringeren Umweltbelastung.
- **Repair/Recover (Reparieren):** Je häufiger Bauteile repariert werden, desto länger bleiben sie dem Materialkreislauf erhalten. Dies reduziert den Ressourcenverbrauch und hat Potenzial für finanzielle Vorteile.
- **Reuse (Wiederverwendung):** In der Produktion von Baumaterialien steckt viel Energie, darunter ein erheblicher Anteil nicht erneuerbarer Energie. Die Baumaterialien müssen daher möglichst lange in ihrer ursprünglichen Funktion eingesetzt werden. Eine Wiederverwendung von Bauteilen wie etwa von Stahlstützen hat den Vorteil, dass keine zusätzliche Energie für das Downcycling und Recycling (z. B. Einschmelzen von Stahlstützen und Produktion neuer Metallbauteile aus den einstigen Stahlstützen) aufgewendet wird. Durch eine Wiederverwendung von Materialien verbleibt das Material im Einsatz und der Kreislauf damit geschlossen. Abfälle fallen dabei nicht an.
- **Recycle (Wiederverwertung):** Wenn Baumaterialien in ihrer ursprünglichen Form nicht mehr verwendet werden, können zumindest die Teile davon erneut zum Einsatz kommen. Unter Energieaufwand werden sie mittels Recycling wiederaufbereitet und für eine weitere Nutzung vorgesehen. Dies hat eine tiefe Materialintensität zur Folge, und der Kreislauf wird geschlossen.

Derzeit findet in der Bauwirtschaft das Recycling erst spärlich Anwendung. Ein Problem ist unter anderem der sortenreine Abbruch von Baumaterialien, was eine Voraussetzung für die Weiterverarbeitung darstellt. **Ein mächtiger Ansatz zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft im Bau liegt beim Reduce-Ansatz. Dieser steht im Zentrum dieser Studie.** Reduce bedeutet auch: Die Materialien jedes Gebäudes, das nicht abgerissen wird, behalten ihre Funktionalität und stärken so die Kreislaufwirtschaft.

Zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft braucht es eine Sensibilisierung und ein Umdenken aller Akteure (BAFU, 2019). Für die Immobilienwirtschaft heisst dies, dass neben der Politik auch Planer, Architekten, Entwickler, Liegenschaftsbesitzer und Nutzer (z. B. Mieter) dazu beitragen können, die Kreislaufwirtschaft zu stärken.

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Auftragsstudie zuhanden des Bundeamtes für Umwelt (BAFU) hat zum Ziel, Strategien für eine verminderte Abfallproduktion im Bausektor aufzuzeigen. Kernpunkt der Strategien: Es sollen diejenigen Gebäude erhalten werden, die erstens einen wesentlichen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten und zweitens möglichst wenig Konflikte mit anderen Nachhaltigkeitszielen ergeben. Diese Gebäude sollen so instandgesetzt werden, dass wiederum möglichst viele der Nachhaltigkeitsziele erreicht werden: Die Untersuchungen der Normstrategien im Umgang mit dem Bestand umfassen insbesondere folgende Themenfelder:

- Graue Treibhausgasemissionen der Baumaterialien
- CO₂-Emissionen im laufenden Betrieb
- Wohnkosten
- Siedlungsentwicklung nach innen

Diese Interessen lassen sich in der Bau- und Immobilienwirtschaft teilweise, aber nicht immer vereinen.

1.3 Vorgehen

Zur richtigen Priorisierung der Massnahmen in diesem Spannungsfeld ist eine Auslegeordnung zweckdienlich. Dafür wird ein mehrstufiges Vorgehen gewählt.

Die einzelnen Schritte sind nachfolgend erläutert. In Kapitel 2 wird das Mengengerüst des Gebäudeparks Schweiz aufgezeigt – namentlich dessen Materialisierung. Wichtige Handlungsfelder im Zusammenhang mit den 23 Nachhaltigkeitszielen des Bundes werden in Kapitel 3 genannt, wovon rund 1/3 die Bau- und Immobilienwirtschaft betreffen. Dies sind der inländische Rohstoffverbrauch, die Materialintensität, die Gesamtmenge der verursachten Siedlungsabfälle (Thematik Bauabfälle), die Wohnkosten, der Energieverbrauch pro Kopf, die Siedlungsfläche pro Kopf und die Treibhausgasemissionen.

Als zusätzlicher Schritt werden in Kapitel 4 Normstrategien eingeführt, welche Veränderungen einer Bestandsliegenschaft zugunsten einer verbesserten Kreislaufwirtschaft ermöglichen; dazu zählen Sanierung, Erweiterung oder ein Abbruch und in dessen Folge ein Ersatzneubau. Die Auswirkungen der Normstrategien auf die verschiedenen Anspruchsgruppen werden in dieser Studie anhand einer fiktiven Liegenschaft in verschiedenen Szenarien aufgezeigt. Dabei handelt es sich um einen typischen Wohnbau in einer Schweizer Agglomeration. Die Auswirkungen der Normstrategien auf die Kreislaufwirtschaft werden in Bezug auf ausgewählte Aspekte mittels Datenbenchmarks bewertet und in den Kontext der Nachhaltigkeitsziele des Bundes gesetzt. In Kapitel 5 wird ein Fokus auf die Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus gelegt und in Kapitel 6 verschiedene Dimensionen der Nachhaltigkeit evaluiert.

Basierend auf den Resultaten werden – je nach Gewichtung der Beurteilungsaspekte – unterschiedliche Strategien im Umgang mit dem Gebäudebestand aufgezeigt. Die Handlungsempfehlungen in Kapitel 7 beinhalten Kriterien, welche den Entscheidungsträgern helfen, im Sinne der Nachhaltigkeitsziele und der Interessen der einzelnen Akteure die bestmögliche Strategie zu wählen.

2 Gebäudepark

In diesem Kapitel wird das Mengengerüst des Gebäudeparks aufgezeigt. Relevant im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft sind die bestehende Struktur des Gebäudeparks bezüglich Lage und Bauperiode sowie seine Veränderung. Das heisst, es wird zusätzlich festgestellt, welcher Materialfluss jährlich dazu kommt und welche Bauabfälle dabei entstehen.

2.1 Gebäudepark

Der Gebäudepark Schweiz umfasste im Jahr 2013 nach Schätzungen von Wüest Partner ein Volumen von über 4.1 Milliarden Kubikmeter (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015). Der Grossteil davon entfiel auf «umbautes Raumvolumen» und 21 Prozent auf Baumaterialien. Bei Letzteren ist die Tendenz steigend, denn die Entwicklung neuer Baumaterialien und Bauweisen führt zu einer wesentlich höheren Dichte in neuen Bauten. So liegt der durchschnittliche Materialanteil für Gebäude ab Baujahr 2000 bereits bei rund 26 Prozent (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015).

Das Durchschnittsvolumen des Schweizer Gebäudeparks umfasst rund 497 Kubikmeter pro Person. In Kantonen mit einer grossen touristischen Infrastruktur (z. B. Graubünden) werden Werte von bis zu 680 Kubikmeter pro Person erreicht, in den Städten dagegen fallen die Werte deutlich tiefer aus, so zum Beispiel in Genf auf 372 Kubikmeter pro Person (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015). Rund 62 Prozent der gebundenen Baumaterialien finden sich heute in Wohngebäuden, allein 44 Prozent in Mehrfamilienhäusern. Diese Aufschlüsselung ist in Abbildung 7 wiedergegeben.

Mittlerweile wurde mehr als die Hälfte des heutigen Schweizer Wohnungsparks nach 1970 erstellt. Beim durchschnittlichen Gebäudealter gibt es kantonal bedeutende Unterschiede. Stark wachsende Kantone (wie z. B. Zug, Schwyz, Genf) weisen eine hohe Neubautätigkeit und damit viele Bauten neueren Datums auf. Hingegen verzeichnen ländliche Kantone (z. B. Uri, Glarus) oder städtische Kantone mit wenig verfügbarer Baufläche und schwierigen Rahmenbedingungen grössere Anteile an alter Bausubstanz.

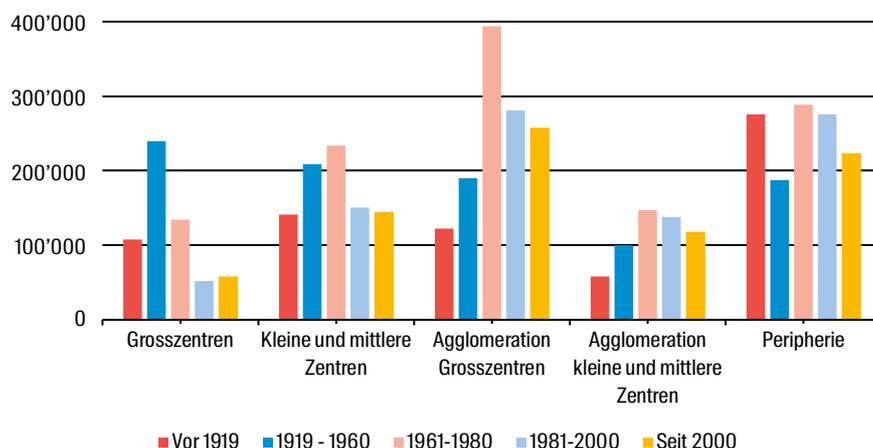


Abbildung 1: Aufteilung der 4.5 Mio. Wohneinheiten in der Schweiz nach 5er-Gemeindetypeneinteilung und nach Bauperioden. Quelle: Wüest Partner; BFS

Mehr als jede zwölfte der zurzeit 4.53 Millionen Schweizer Wohneinheiten wurde in den 1960er- und 1970er-Jahren in den Agglomerationen der Grosszentren gebaut. Gemäss Abbildung 1 handelt es sich dabei um insgesamt 394'000 Wohnungen. Viele dieser Bauten wurden in den Jahren 1955 bis 1965 geplant. In den 1950er- und 1960er-Jahren stieg die ständige Wohnbevölkerung der Schweiz um 27.9 Prozent an. Um das Wachstum aufzufangen, wurde Wohnraum auf freien Baufeldern erstellt, von denen es in der Agglomeration der Grosszentren zu jener Zeit viele gab. Diese Neubauaktivitäten gingen Hand in Hand mit einer laufend besseren Erschliessung der Wirtschaftszentren.

Der Gebäudebestand jeder Bauperiode unterscheidet sich in der Erscheinung und Materialisierung wesentlich von den vorangehenden. Die nachfolgende Tabelle führt stichwortartig die Merkmale und Besonderheiten der Wohnbauten in denjenigen Baualterstufen auf, die heute vorwiegend renoviert, abgerissen, erweitert oder umgebaut werden (Baunetz Wissen, 2019).

Referenz	Baujahr	Merkmale
	Vor 1900	<ul style="list-style-type: none"> - Bevorzugte Innerstädtische Wohnlage mit besonderem Flair - Massive Mauerwerksbauten mit grossen Aussenwandstärken - Geschossdecken als Holzbalkendecken - Grosse Wohnungen mit grossen Geschosshöhen - Sanierungsschwerpunkte: Erneuerung Haustechnik, Feuchtigkeitsschäden im Keller- und Sockelbereich, Fassadensanierung, Erneuerung Dacheindeckung, Verbesserung Wärme- und Schallschutz
	1920 – 1930	<ul style="list-style-type: none"> - Ehemalige Stadtrandgebiete - Stahlbetondecken mit z. T. sehr geringer Stärke - Schall- und Wärmedämmung nur sehr beschränkt - Kleine Wohnungen und Grundrisse - Sanierungsschwerpunkte: Verbesserung von Wärme- und Schallschutz, Fassadensanierung, Erneuerung Dacheindeckung, Feuchtigkeitsschäden im Keller- und Sockelbereich, Erneuerung Haustechnik
	1950er	<ul style="list-style-type: none"> - Bauweise geprägt durch Materialknappheit und Sparsamkeit - Massivdecken mit Verbundestrich/ Holzbalkendecken - Keine Wärmedämmung - Einfache bis beengte Wohnungsverhältnisse - Sanierungsschwerpunkte: Verbesserung von Wärme- und Schallschutz, Fassadensanierung, Erneuerung Dacheindeckung, Feuchtigkeitsschäden im Keller- und Sockelbereich, Erneuerung Haustechnik

	<p>1960er</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Funktional ausgerichtete Architektur, stark konstruktiv ausgerichtete Gestaltung - Massivdecken mit schwimmendem Estrich - Praktisch kein konstruktiver Wärmeschutz - Grosszügige Wohnungen mit modernen Raumschnitten und grossen Fensteröffnungen <ul style="list-style-type: none"> - Sanierungsschwerpunkte: Verbesserung von Wärme- und Schallschutz, Fassadensanierung, Erneuerung Dacheindeckung, Erneuerung Haustechnik
	<p>1970er</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Z. T. stark experimenteller Charakter mit standardisierten Bauteilen (Beginn Vorfertigung) - Wenig bis keine Wärmedämmung, schlechter Schallschutz - Teilweise schwierige Wohnungszuschnitte mit kleinen Räumen <ul style="list-style-type: none"> - Sanierungsschwerpunkte: Verbesserung von Wärme- und Schallschutz, Fassadensanierung, Erneuerung Dacheindeckung, Erneuerung Haustechnik, Erneuerung Fahrstühle, Verbesserung äussere Gestaltung (schlechtes Image)
	<p>1980er</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Architektur als Gegenbewegung zum nüchternen, sachlichen Funktionalismus - Massivdecken mit schwimmendem Estrich - Erste Normvorgaben betr. Schall- und Wärmedämmung: mittelmässige Schall- und Wärmedämmung an Gebäuden - Grundrisse häufig auf Nutzungsschema «Familie mit Kind» ausgerichtet mit winzigen Kinderzimmern <ul style="list-style-type: none"> - Sanierungsschwerpunkte: Verbesserung von Wärme- und Schallschutz, Warmwasseraufbereitung (Ersetzen von dezentralen Boiler, Durchlauferhitzer), asbesthaltige Altlastensanierung

2.2 Anspruchsgruppen und ihre Interessen

Die relevanten Akteure für die Kreislaufwirtschaft des Schweizer Gebäudeparks stammen aus den Anspruchsgruppen der Bau- und Immobilienwirtschaft. Die Entscheidung, welche Normstrategien für eine bestehende Liegenschaft gewählt wird, fällt nicht zwingend in der Material- oder der Bauwirtschaft an. Für viele Liegenschaftsstrategien fungieren Akteure aus der Immobilienwirtschaft als die relevanten Entscheidungsträger.

Dazu gehören zuallererst die Privatnutzer des Gebäudeparks: Wohnungsmieter, aber auch Eigentümer von selbst genutzten Liegenschaften sowie Besitzer von Renditeliegenschaften. Beim Segment der Mietwohnungen weist das Bundesamt für Statistik den hohen Anteil von 47.0 Prozent aus, die Privatperson gehören. Wohnbaugenossenschaften kommen auf einen Anteil von 8.3 Prozent, die öffentliche Hand auf 4.2 Prozent. Der Anteil der übrigen Eigentümer betrug im Jahr 2018 33.3 Prozent; dieser steigt deutlich an. Institutionelle Anleger wie Pensionskassen, Versicherungen, Immobilienfonds, Anlagestiftungen und kotierte Immobiliengesellschaften erwerben laufend zusätzliche Liegenschaften (BFS, 2019).

Rund 67 Prozent der Geschäftsliegenschaften im Schweizer Gebäudepark und damit der grösste Anteil wird von Firmen und anderen Eigentümern gehalten. Dieser Wert geht aus einer nach dem Marktwert gewichteten Schätzung von Wüest Partner hervor. Auf Private entfallen rund 14 Prozent, auf institutionelle Anleger rund 9 Prozent und auf den Staat rund 10 Prozent aller Geschäftsliegenschaften (Wüest Partner, Institutionelle Investoren Schweiz, Customer Journey, 2015).

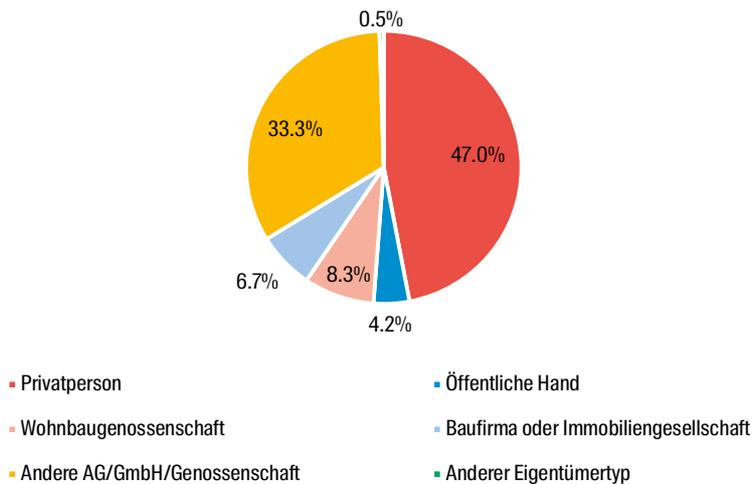


Abbildung 2: Eigentübertyp der Mietwohnungen, 2018.
Quelle: BFS

Die oben genannten Akteure verfolgen mit ihren Verantwortlichkeiten und Interessen unterschiedliche Ziele. Während mit dem Bestreben nach einer nachhaltigen ökologischen Entwicklung bei den Eigentümern der möglichst lange Betrieb von Bestandsbauten im Vordergrund steht (lange Bindung der grauen Energie im Bestand), ist die Bauwirtschaft als wesentliches Standbein des Bruttoinlandproduktes (5.3 Prozent der Bruttowertschöpfung im Jahr 2018) auf kontinuierliche Aufträge respektive Investitionen angewiesen.

Die Eigentümer sind an einer bestmöglichen Rendite und an einem geringen Anlagerisiko und die Mieter etwa an einem grösstmöglichen Nutzwert der Wohnung sowie tiefen Mieten interessiert. Aus gesellschaftlicher Sicht sind indes die Innenentwicklung und der Erhalt von preisgünstigem Wohnraum bei möglichst geringem Verbrauch von fossiler Energie relevant.

Die Gesellschaft gibt über die Politik und der Staat über die Verwaltung die Rahmenbedingungen für die Immobilieneigentümer vor. Als bedeutsam zeigte sich hier insbesondere die Forderung einer nach innen gerichteten Siedlungsentwicklung, der Bereitstellung und des Erhalts von günstigem Wohnraum sowie der Ruf nach der Förderung eines nachhaltigen Gebäudeparks.

2.3 Ersatzneubau

Wie Abbildung 3 und Abbildung 4 illustrieren, werden zunehmend Wohnobjekte abgerissen und durch verdichtete Bauten ersetzt. Parallel zur Zunahme der Abbrüche von Gebäuden gewinnt deshalb auch das Thema Ersatzneubauten an Wichtigkeit. Diese Tendenz erfolgt im Zuge der Bestrebungen, die Siedlungsentwicklung nach innen und die damit verbundene Verdichtung im Bestand voranzutreiben. Spätestens mit der Revision des Raumplanungsgesetzes im Jahr 2013 war abzusehen, dass die Möglichkeiten, auf unbebautem Bauland zu bauen,

schwinden. Das Hauptanliegen der ersten Teilrevision besteht nun darin, die Siedlungsentwicklung nach innen zu fördern und den Verbrauch von unbebautem Boden einzuschränken.

Ungeachtet der Bestrebung der Verdichtung fördert die öffentliche Hand über Subventionen und die steuerliche Praxis die Sanierung bestehender Gebäude. Dies rührt unter anderem daher, dass für energetische Sanierungen eine breite Palette an Förderbeiträgen, direkten Subventionen oder steuerlichen Vergünstigungen bereitsteht. Für den Ersatzneubau sind diese Mittel deutlich spärlicher gesät. Hinzu kommt, dass der Eigenmietwert von Wohneigentumsobjekten vielerorts bei einem Ersatzneubau neu eingeschätzt wird und damit in der Regel höher liegt. Bei Totalsanierungen ist dies nicht der Fall. Der entscheidende Anreiz zum Ersatzneubau besteht darin, die Wertschöpfung des Bodens durch erhebliche Verdichtung zu steigern.

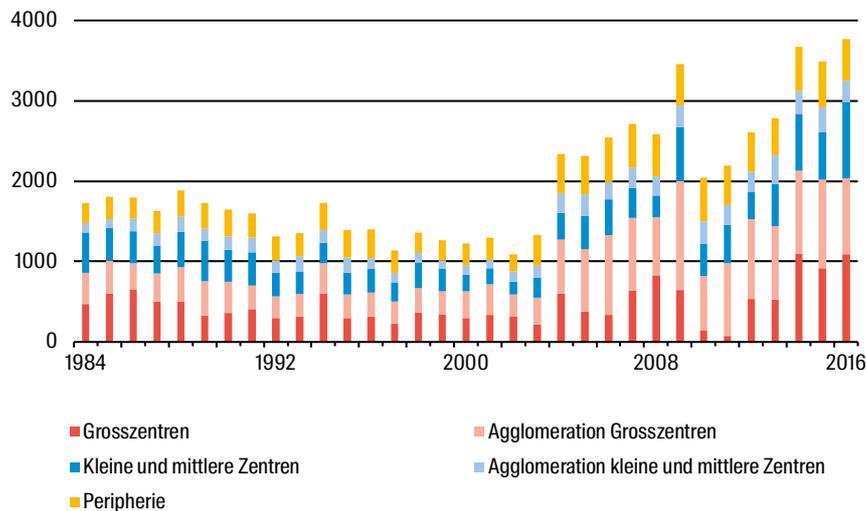


Abbildung 3: Anzahl abgebrochene Wohnungen in der Schweiz nach Gemeindetyp und Jahr. Quelle: BFS Statistik der Wohnbautätigkeit

Die staatlichen Statistiken zu den abgebrochenen Wohnungen in der Schweiz, die für die gesamte Schweiz bis ins Jahr 2016 reichen, deuten darauf hin, dass der Ersatzneubau weiter an Bedeutung gewonnen hat. Um zu ergründen, inwieweit der Ersatzbau in der Schweiz Fuss gefasst hat, hat Wüest Partner die von 2017 bis 2019 bewilligten Wohnneubauprojekte untersucht. Gut 11'000 Baubewilligungen konnten für die Analyse berücksichtigt werden; sie verfügen über hinreichend gute Adressangaben (räumliche Verortung) sowie über alle relevanten Informationen.

Die Ergebnisse offenbaren, dass aktuell rund 37 Prozent der neu gebauten Wohnungen durch Wohnersatzneubau entstehen. Daneben entstehen rund 20 Prozent der Wohnungen durch den Rückbau von Gebäuden und die nachfolgende Umnutzung der Grundstücke. Die Grenze zwischen Wohnersatzbau und Umnutzung nach Abbruch ist dabei fließend, da auch vorwiegend kommerziell genutzte Gebäude einzelne Wohnungen enthalten konnten. Der Anteil der Wohnungen, die auf grüner Wiese entstehen, liegt derzeit noch bei 41 Prozent. Vor allem in einigen urban gelegenen Gemeinden ist der Ersatzneubau inzwischen die häufigste Art der Erstellung neuer Wohnungen. So wies die Stadt Zürich für das Jahr 2014 eine Ersatzneubauquote von 84 Prozent aus. Darüber hinaus handelt es sich beim

Wohnersatzneubau nicht mehr nur um ein urbanes Phänomen: Selbst in den Agglomerationsgemeinden der kleinen und mittelgrossen Zentren – also dort, wo noch zu 50 Prozent auf der grünen Wiese gebaut wird – liegt gemäss Abbildung 4 die Wohnersatzneubauquote mittlerweile bei über 30 Prozent.

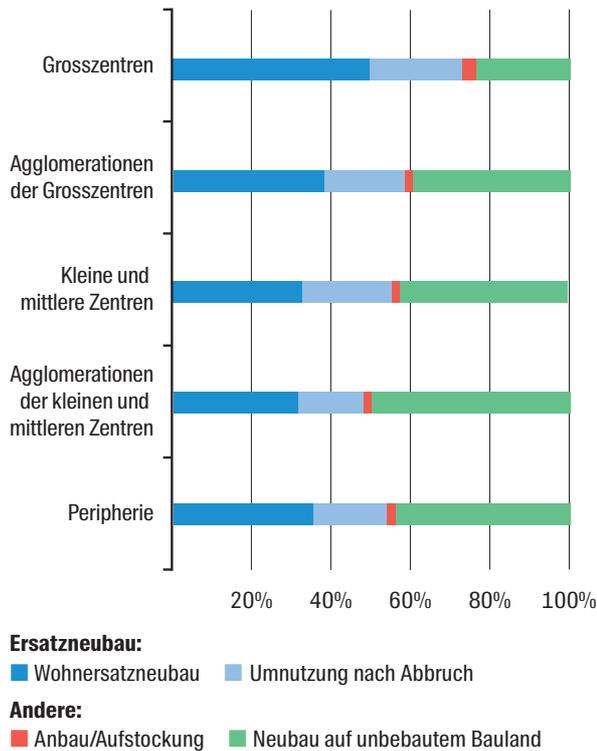


Abbildung 4: Verteilung der Neubaubewilligungen für Wohnungen auf Hochbauarten nach Gemeindetyp (2017 bis August 2019). Quelle: Bundesamt für Statistik; Wüest Partner

Das Abbrechen von Gebäuden verursacht viele Bauabfälle. Im Jahr 2015 schätzte Wüest Partner im Rahmen einer Studie das jährliche Abbruchvolumen auf rund 10 Millionen Kubikmeter umbautes Gebäudevolumen – mit steigender Tendenz. Gemäss Modellrechnungen dürften die jährlichen Bauabfälle aus dem Hochbau bis ins Jahr 2025 um 20 Prozent und damit auf rund 12 Millionen Kubikmeter umbautes Gebäudevolumen ansteigen. Dieser Anstieg bezieht sich allerdings auf einzelne Gebäudenutzungen und einzelne Bauperioden (Wüest Partner, 2015).

Für das Segment der Industriebauten wird bis ins Jahr 2025 mit einer Zunahme der Abbruchquote von rund 60 bis 70 Prozent gerechnet. Der Grund für diesen starken Anstieg liegt im Strukturwandel der Wirtschaft. Bereits heute verzeichnen die Industriebauten mit 0.55 Prozent die grössten Abbruchquoten aller Segmente. Doch während sich der Strukturwandel bei den Industriegebäuden niederschlägt, bleiben landwirtschaftliche Bauten davor gefeit; sie stellen vielmehr die einzige Nutzungsart dar, bei der Wüest Partner eine nachlassende Abbruchtätigkeit erwartet. Gemäss Abbildung 5 geht Wüest Partner davon aus, dass in naher Zukunft vermehrt Gebäude mit den Baujahren 1947 bis 1975 abgebrochen werden. Bei den Gebäuden aus den Nachkriegsjahren wird mittlerweile jährlich mehr als ein halbes Prozent des Volumens abgebrochen.

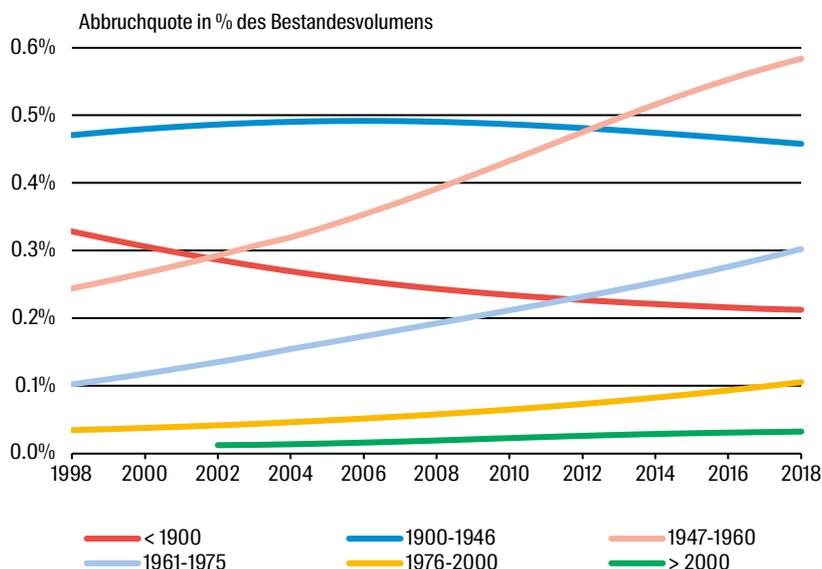


Abbildung 5: Abbruchquoten im Modell 2015 nach Altersklassen.
Quelle: (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015)

Wenn eine Liegenschaft abgebrochen wird, stellt sich die mit Blick auf die Kreislaufwirtschaft entscheidende Frage, ob die Materialien weiterverwendet werden können oder zerstört werden müssen. Nur durch einen «Reuse» lässt sich der Kreislauf schliessen; wird das Material hingegen verbrannt oder vernichtet gehen damit auch die darin enthaltene graue Treibhausgasemissionen verloren. Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) schätzte 2016 die Recyclingquote von Kies und Sand, Asphalt, Mauerwerk und Beton auf hohe 80 Prozent (Empa, 2016). Im Vergleich dazu errechnet das KAR-Modell nach (Schneider & Rubli, 2020) einen Recyclinganteil von ca. 2/3. Das Ergebnis basiert auf der Auswertung der Materialflüsse von neun Kantonen. Brennbare Materialien wie Plastik werden gemäss Empa dagegen nur zu 28 Prozent recycelt, der grösste Anteil von 64 Prozent wird in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) entsorgt. Der Baustoff Holz wird nur zu rund einem Zehntel recycelt, 87 Prozent werden in der KVA entsorgt (Wärmelieferant). Metalle gelangen in der Schweiz dafür fast vollständig, nämlich zu rund 98 Prozent ins Recycling.

Trotz Bemühungen im Bereich des Recyclings ist heutzutage für alle Baustoffe noch grosses Potenzial vorhanden. Holzbaustoffe oder auf dem Bau anfallende Plastikabfälle werden praktisch nicht recycelt. Gründe dagegen können sowohl technische, wie auch ökonomische Überlegungen sein. In Anbetracht der Materialintensität und des Landverbrauchs durch z. B. Deponien spricht alles für ein maximales Recycling. Wird dagegen die energetische Bilanzierung der wiederaufbereiteten Materialien in Betracht gezogen, schneidet das Recycling unter Umständen weniger vorteilhaft ab. Eine generelle Aussage zum Recycling kann darum nur schwer getroffen werden und für eine gesamtheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung muss jeder Baustoff (und für z. B. Holz sogar jedes Bauteil) gesondert untersucht werden.

2.4 Bauabfälle und Materialisierung im Hochbau

Für das Jahr 2015 ergaben sich rund 7.5 Millionen Tonnen Bauabfälle aus dem Hochbau (inkl. Strassenausbruch und Ausbausphal). Mehr als die Hälfte, rund 55 Prozent, entfielen dabei auf die Abbruchtätigkeit.

Mit 2.6 Millionen beziehungsweise 1.2 Millionen Tonnen stellen der Beton- und Mischabbruch knapp die Hälfte aller Bauabfälle dar, die vorwiegend aus der Abbruchtätigkeit stammen, dar. Der Grund liegt darin, dass diese Baumaterialien primär in der Tragkonstruktion von Gebäuden (Rohbau) eingesetzt werden und somit als Bauabfall meist erst bei einem Abbruch entstehen. Sekundäre Bauteile wie Bodenbeläge, Verkleidungen, Fenster werden hingegen vorwiegend bei Erneuerungen ausgetauscht und fallen entsprechend vorwiegend bei solchen Tätigkeiten an. Betroffen sind hier Baumaterialien wie Keramik, Gips, Glas (Zuordnung zur mineralischen Fraktion), aber auch Holz, Metalle und brennbare Materialien (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015).

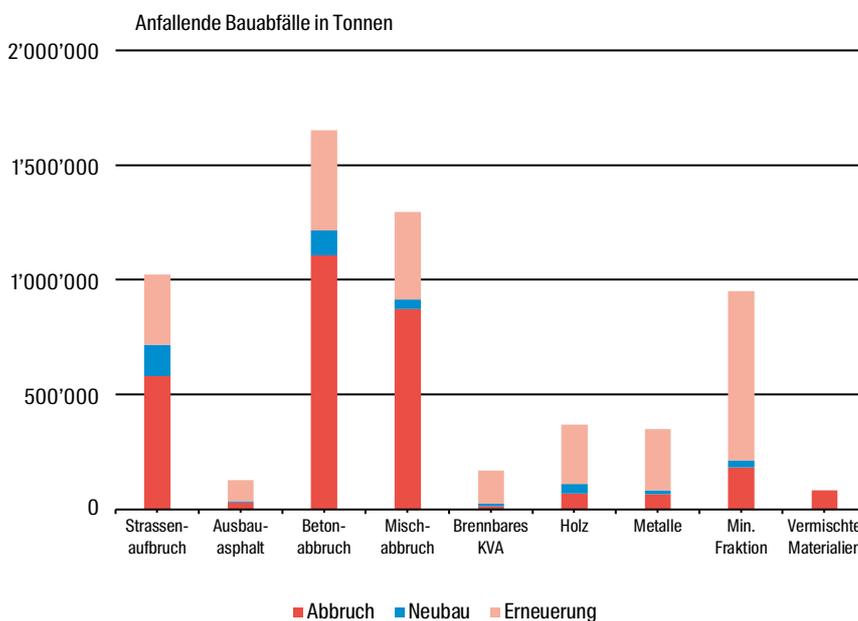


Abbildung 6: Bauabfälle nach Bauprozessen und -materialien, Stand 2015.

Σ Erneuerung: 2.9 Mio. t
 Σ Neubau: 0.4 Mio. t
 Σ Abbruch: 4.1 Mio. t

Quelle: (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015)

Nicht jedes Baumaterial eignet sich gleich gut für Recycling. Holz könnte beispielsweise gut wiederverwendet werden, da es sich über verschiedene Stufen (Kaskadennutzung) und mittels Downcycling mehrfach nutzen lässt. So kann beispielsweise ein nicht mehr verwendeter Vollholzträger in Bretter zerkleinert und zu einer Brettschichtholzplatte verklebt werden. Und gegen Ende seines Lebenszyklus lässt sich das Holz wiederum in Späne zerkleinern, woraus faserbasierte Baumaterialien wie OSB-Platten erzeugt werden können. Eine nicht mehr benötigte OSB-Platte kann durch Verbrennen schliesslich in Energie und Wärme umgewandelt werden. Derzeit beschäftigt sich die Forschung ausserdem unter anderem mit der effizienten Herstellung von Biokerosin (Ethanol) aus der Zellulose von Holz. Auch andere Chemikalien wie Milchsäure und Buttersäure lassen sich aus Zellulose herstellen, wodurch das Potenzial von Holz auch am scheinbaren Ende seines Lebenszyklus nochmals nutzbar wird. Dass heute jedoch nur so wenig Holz recycelt wird, liegt an der chemischen Behandlung. Diese verunmöglicht in vielen Fällen eine Wiederverwendung und Wiederverwertung, sodass die Verbrennung und Energiegewinnung die einzige Option darstellt.

Beton wird vermehrt recycelt: Bei einem sortenreinen Abbruch von bestehenden Gebäuden wird der Beton in die gewünschten Kies- und Sandfraktionen gebrochen und von Fremdstoffen wie Holz, Plastik oder Metall befreit. Mit Zement und

Wasser vermischt ergibt sich daraus ein Recyclingbeton, der den diversen statischen Ansprüchen (z. B. Festigkeit und Exposition) genügt und sich praktisch überall erneut einsetzen lässt.

Im Gebäudepark Schweiz steht Beton beim Baumaterial an erster Stelle, gefolgt von Mauerwerk (siehe Abbildung 7). Allerdings hat der Anteil an brennbaren Materialien (vorwiegend nicht rezykliertes Plastik für Abdichtungen, Dämmungen, Sanitärleitungen etc.) in den letzten Jahren stark zugenommen und beträgt bei den Gebäuden ab Baujahr 2000 rund 22 Prozent des verbauten Materialvolumens. Zum Vergleich: In älteren Bauten wurden lediglich 5 Prozent brennbare Materialien eingesetzt).

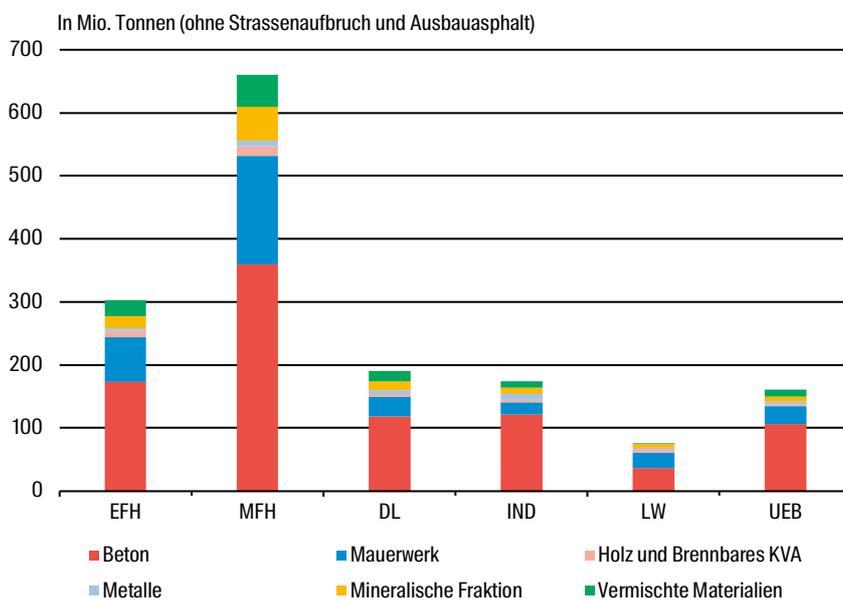


Abbildung 7: Baumaterialien im Gebäudepark nach Nutzungen;
 Legende:
 EFH Einfamilienhäuser
 MFH Mehrfamilienhäuser
 DL Dienstleistungsgebäude
 IND Industriegebäude
 LW Landwirtschaftsgebäude
 UEB Übrige Gebäude
 Quelle (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015)

2.5 Energetische Bilanzierung von Baumaterialien

Um die Auswirkungen von Baumaterialien auf die Umwelt zu eruieren, werden sowohl die Primärenergie, die für deren Herstellung und Entsorgung benötigt wird, wie auch die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), die dabei erfolgen, betrachtet. Diese Unterteilung stützt sich auf die Richtlinien der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB). Die Primärenergie setzt sich aus einem erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil zusammen (in der Schweiz auch als «Graue Energie» bezeichnet).

Die kumulierte Wirkung verschiedener Treibhausgase werden in Bezug auf die Leitsubstanz CO₂ als Treibhausgasemissionen quantifiziert. Dafür werden die Treibhauspotenziale der im Kyoto-Protokoll festgehaltenen Treibhausgase Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) gemäss dem 5. Sachstandsbericht des IPCC (2013) auf das Treibhausgaspotenzial von CO₂ umgerechnet.

Die energetische Bilanzierung fällt je nach Baumaterial unterschiedlich aus. Die Ökobilanzdaten für häufig verwendete Baustoffe werden in der nachfolgenden Tabelle exemplarisch festgehalten:

ID	Baustoff	Bezug	Primärenergie [kWh Öl-äq.]		THG-Emissionen [kg CO ₂ -äq.]
			Erneuerbar	Nicht erneuerbar	
01.002	Hochbaubeton	Kg	0.013	0.201	0.099
02.001	Backstein	Kg	0.078	0.791	0.258
06.003	Armierungsstahl	Kg	0.211	3.55	0.682
07.003	Brettschichtholz	Kg	8.70	2.45	0.485
10.004	EPS (Dämmung)	Kg	0.36	29.8	7.64
05.022	Fassade Alu 4mm	m ²	24.5	200	44.3

Tabelle 1: Ökobilanzdaten ausgewählter Baustoffe, Herstellung und Entsorgung zusammengefasst in Totalwerten.

Quelle: (KBOB, 2016)

Die Tabelle 1 listet verschiedene Baustoffe in einer «isolierten» Materialbetrachtung auf. Rückschlüsse auf unterschiedliche Bauweisen wie die Stahlbeton- oder Holzbauweise können nicht direkt gemacht werden. Holzbauten fallen generell nämlich deutlich leichter aus als Massivbauten, da Holz rund 4- bis 5-mal leichter ist als Beton. Holzbauteile können dafür sehr viele Treibhausgasemissionen in der Erstellung verursachen, sodass sich der Gewichtsvorteil (die Verbaute Menge an Material) wieder z.T. kompensiert. In den Schweizer Gebäudepark werden jährlich grosse Mengen an Material verbaut und Energie eingesetzt. 2015 waren dies 56.05 Tonnen Material und 7.41 Tonnen Energie (Einheit in Öl-äq.). Das mit Abstand bedeutendste Baumaterial stellt Beton dar mit jährlich fast 40 Millionen Tonnen.

Der Treibhausgaseffekt (Einheit: CO₂-äq.) aller Baumaterialien hat einen Anteil von 30 Prozent am gesamten Ausstoss (70 Prozent davon entfällt auf Energieträger und davon rund 56 Prozent auf Brennstoffe). In der Betrachtung einer gesamtheitlichen Umweltbilanz (Gesamtumweltbilanz, UBP) von Baumaterialien steigt ihr Anteil auf 44 Prozent an (Empa, 2016).

	Materialfluss		Treibhauseffekt		Graue Energie		Umweltbelastung (UBP)	
	Mio. t/a	Relativ	Mio. t CO ₂ -äq.	Relativ	TJ/a	Relativ	Mio. UBP/a	Relativ
Beton	39.79	63%	3.15	8%	22'350	2%	3'672'565	6%
Holz	0.86	1%	0.32	1%	4'614	0%	677'671	1%
Glas, Keramik	3.15	5%	1.41	4%	16'978	2%	1'731'122	3%
Mauerwerk	2.90	5%	0.89	2%	7'589	1%	809'784	1%
Metalle	1.39	2%	3.94	11%	43'021	5%	16'424'108	29%

Tabelle 2: Jährlicher Materialzufluss von Beton und Stahl ins «Bauwerk Schweiz». Absolute und relative Werte
Quelle: (Empa, 2016)

Die Auswertung verschiedener Baumaterialien zeigt, dass ein hoher Materialfluss nicht unbedingt mit dessen Auswirkung auf die Umwelt korreliert. Dies macht ein Vergleich von Beton mit Metall deutlich: Beton verantwortet 63 Prozent des gesamten Materialflusses – der Energiebedarf (nicht erneuerbare Primärenergie) zu seiner Herstellung und Nutzung beträgt jedoch nur rund 2 Prozent des Energiebedarfs des gesamten Schweizer Gebäudeparks. Die Gesamtumweltbelastung (UBP) von Beton ist mit einem 6-Prozent-Anteil vergleichsweise gering. Umgekehrt beträgt der Anteil der Metalle am Materialfluss nur 2 Prozent. Die sehr energieintensiven Herstellungsverfahren führen hier jedoch zu einem Anteil von rund 5 Prozent am jährlichen Energiefluss, was somit dem rund 2.5-Fachen des Betonanteils entspricht. Kombiniert mit dem Treibhauseffekt, der bei den Metallen mit 11 Prozent ebenfalls hoch ausfällt, machen diese rund 29 Prozent der Gesamtumweltbelastung (UBP) von Seiten des Schweizer Gebäudeparks aus – und damit fast fünfmal mehr als Beton.

3 Nachhaltigkeitsziele

3.1 Ziele

Der Gebäudepark spielt aufgrund seiner schieren Grösse in Sachen Nachhaltigkeit eine entscheidende Rolle. Und das nicht nur bezüglich der Emissionen im laufenden Betrieb, welche derzeit angesichts des Klimawandels in der politischen Debatte im Vordergrund stehen. Für eine umfassende Messung der Nachhaltigkeit verfügt die Schweiz seit 2003 über ein System, mit welchem sich ein qualitatives Monitoring der nachhaltigen Entwicklung sicherstellt: das Indikatorsystem MONET (Monitoring der nachhaltigen Entwicklung). Damit werden neben den Emissionen im laufenden Betrieb noch weitere Dimensionen erfasst, die für das derzeit in der Wahrnehmung dominierende Thema der Treibhausgasemissionen wichtig sind. So enthält MONET 85 Indikatoren, die in verschiedene ökologische, ökonomische, gesellschaftliche und politische Kategorien aufgeteilt sind. Die Baubranche beeinflusst direkt die Entwicklung von mehreren dieser Indikatoren; sie werden in Abbildung 8 aufgeführt (BfS, 2018).

Indikator	Ziel-Nr.	Vorgabe	Trend
<input checked="" type="checkbox"/> Bruttoinlandprodukt pro Kopf	8	↑	↑
<input type="checkbox"/> Inländischer Rohstoffverbrauch	9	↓	↑
<input checked="" type="checkbox"/> Materialintensität	9	↓	↓
<input type="checkbox"/> Wohnkosten	11	↓	→
<input type="checkbox"/> Gesamtmenge verursachter Siedlungsabfälle inkl. Recycling	12	↓	↑
<input checked="" type="checkbox"/> Energieverbrauch pro Kopf	13	↓	↓
<input checked="" type="checkbox"/> Treibhausgasemissionen pro BIP	13	↓	↓
<input type="checkbox"/> Treibhausgasemissionen absolut	13	↓	→
<input checked="" type="checkbox"/> Siedlungsfläche pro Person	15	→	→

Abbildung 8: Auszug aus dem Monitoring der nachhaltigen Entwicklung (MONET).

Wüest Partner hat den Trend zu den Wohnkosten und der Siedlungsfläche pro Person gegenüber dem BFS angepasst.

Quellen: Bfs 2018; Wüest Partner

Entwicklung Wirtschaft, Rohstoffe und Materialien

Die Erfüllung der Nachhaltigkeitsziele des Bundes ist unterschiedlich weit vorangeschritten. Positiv entwickelt sich das Bruttoinlandprodukt pro Kopf seit 1991 und verzeichnet seither einen Anstieg von 48 Prozent. Besonders deutlich fiel der Anstieg zwischen den Jahren 1996 und 2007. Seither war der Anstieg in der Wertschöpfung in absoluten Zahlen weiterhin erfreulich, fiel bei den Pro-Kopf Werten aber bescheiden aus. Gerade in dieser letzten Phase erwies sich die Bau- und Immobilienwirtschaft als wichtige Stütze der Wirtschaft.

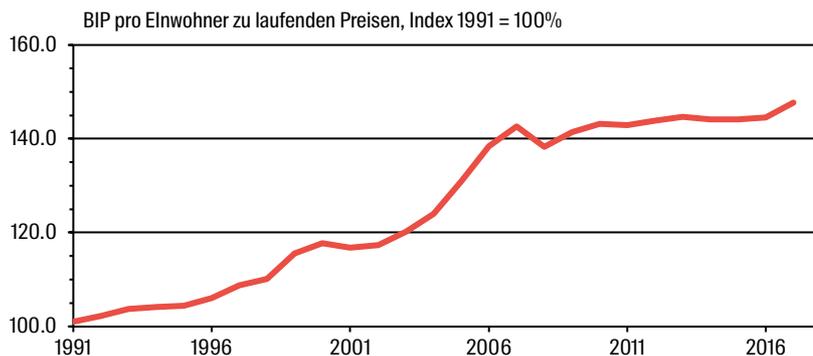


Tabelle 3: Bruttoinlandprodukt pro Kopf, Index 1991 = 100 Prozent, Quelle: BFS - ESPOP, STATPOP, VGR

Negativ schneiden der noch immer wachsende inländische Rohstoffverbrauch und die Gesamtmenge der verursachten Siedlungsabfälle inklusive Recycling ab.

Der Materialfussabdruck wird anhand des inländischen Rohstoffverbrauchs gemessen. Dieser ist leicht ansteigend, weil auch der Anteil der eingesetzten Mineralien zugenommen hat. Zu den mineralischen Stoffen werden unter anderem zementgebundene Baustoffe wie Beton, aber auch Glas und Keramik gezählt. Gemäss Auswertung der Materialisierung von Gebäuden aus verschiedenen Bauepochen (Wüest Partner, Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, 2015) weisen Neubauten einen grossen Betonanteil und allgemein einen Mehrverbrauch an Baumaterialien auf. Die schweizweit intensiven baulichen Tätigkeiten der letzten Jahre trugen sicherlich erheblich zum erhöhten inländischen Rohstoffverbrauch bei.

Zur Beurteilung der Materialintensität wird der inländische Rohstoffverbrauch ins Verhältnis zum Bruttoinlandprodukt (BIP) gesetzt. Nebst der in der Schweiz gewonnenen Rohstoffe werden auch die im Ausland aufgewendeten Rohstoffe für die in der Schweiz verbrauchten Güter und Dienstleistungen verwendet. Seit dem Jahr 2000 ist die Materialintensität um 16.2 Prozent zurückgegangen. Das Wachstum des BIP ist entsprechend stärker ausgefallen als derjenige des Rohstoffverbrauchs.

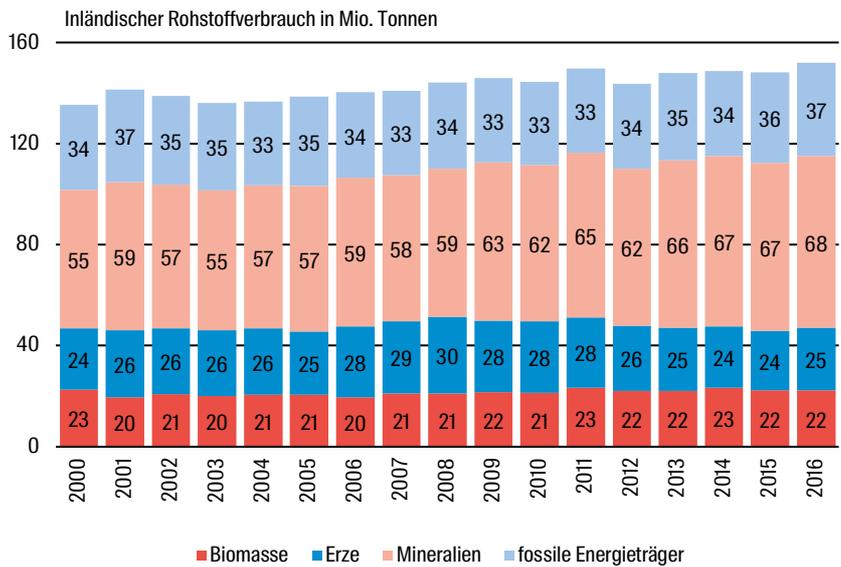


Tabelle 4: Inländischer Rohstoffverbrauch (RMC).
Quelle: BFS – Umweltgesamtrechnung, 2019

Im Jahr 2016 wurden 6.1 Millionen Tonnen Siedlungsabfälle produziert; der Anstieg betrug seit 2000 bis 2016 rund 28.1 Prozent, eine Trendumkehr zeichnet sich nicht ab.

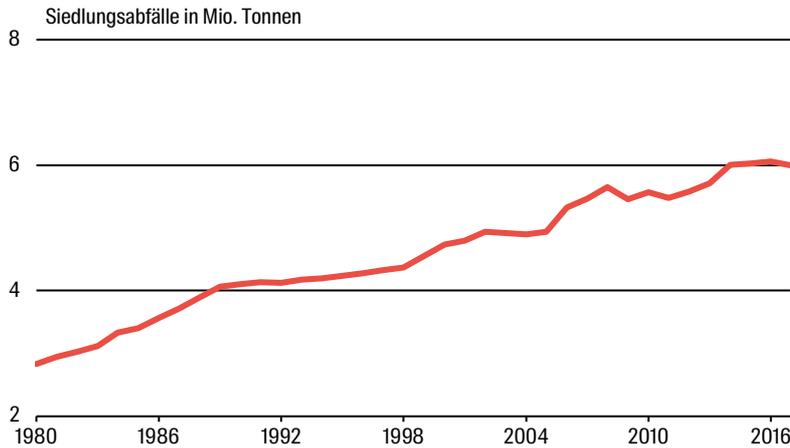


Abbildung 9: Gesamtmenge verursachter Siedlungsabfälle.
Quelle: BAFU – Abfallstatistik, 2019

Als Siedlungsabfälle werden Abfälle aus Haushalten sowie andere Abfälle vergleichbarere Zusammensetzung aus Industrie und Gewerbe definiert. Der Abfall wird verbrannt und die Schlacke deponiert oder recycelt. Mit einem Anteil von 52.5 Prozent werden mehr als die Hälfte der Siedlungsabfälle recycelt.

Entwicklung Treibhausgase

Andere Indikatoren wie die Materialintensität oder die Treibhausgasemissionen (im Vergleich mit dem BIP) entwickeln sich gemäss den Vorgaben des Bundes.

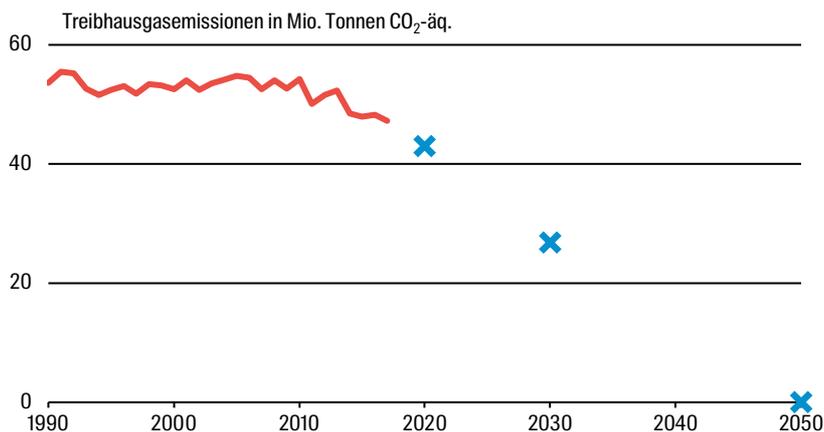


Abbildung 10: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten ohne Senkenleistung des Waldes und Emissionsminderungszertifikate.
Quelle: BAFU – Treibhausgasinventar, 2018

Blaue Kreuze: Zielwerte 2020/2030/2050 (inkl. Abzug der Senkenleistung).

Zum Beispiel sind die Treibhausgasemissionen absolut betrachtet seit 1990 (Referenzjahr für das CO₂-Gesetz) um 9.9 Prozent auf total 48.3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente gesunken. Dies reicht jedoch nicht ganz aus, um die im CO₂-Gesetz festgelegten Ziele auf Ende 2020 zu erreichen.

Im Rahmen des Pariser Klimaabkommens hat sich die Schweiz dazu verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Stand von 1990 zu halbieren.

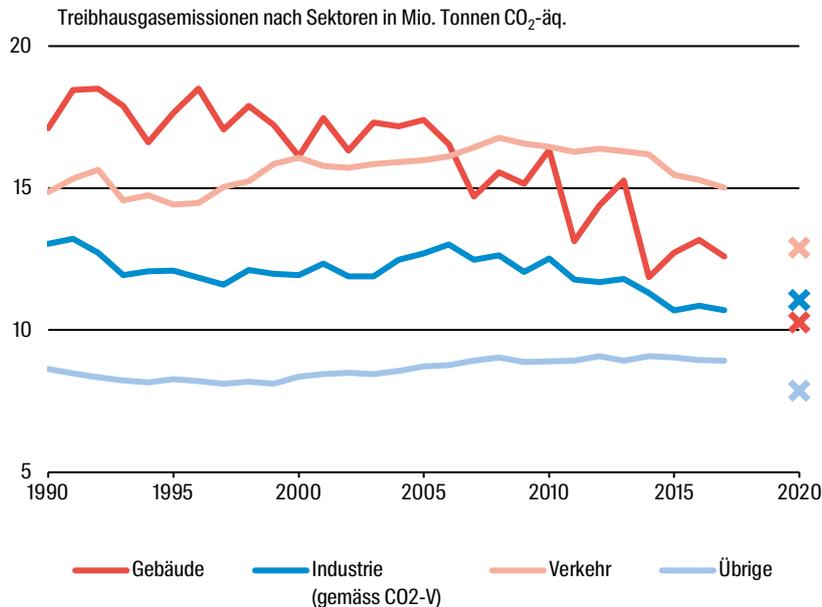


Abbildung 11: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten nach Sektor. Quelle: BAFU – Treibhausgasinventar

Kreuze: Zielwerte 2020 nach Sektor.

Ab dem Jahr 2050 will die Schweiz unter dem Strich neutral werden, was den Nettotreibhausgasausstoss betrifft. Dabei wird der Gebäudepark eine bedeutende Rolle spielen, denn dessen Betrieb verursacht zurzeit 26 Prozent der im Treibhausgasinventar aufgeführten Emissionen.

Entwicklung der Siedlungsfläche

Bei der Siedlungsfläche pro Person weist das BFS noch keine negative Entwicklung aus. Allerdings ist die angestrebte Trendwende in Griffnähe – das zeigen provisorische Auswertungen der neusten Arealstatistiken. Diese liegen allerdings noch nicht ganz flächendeckend vor: Bis Dezember 2019 wurden 2094 der 2256 Gemeinden ausgewertet.

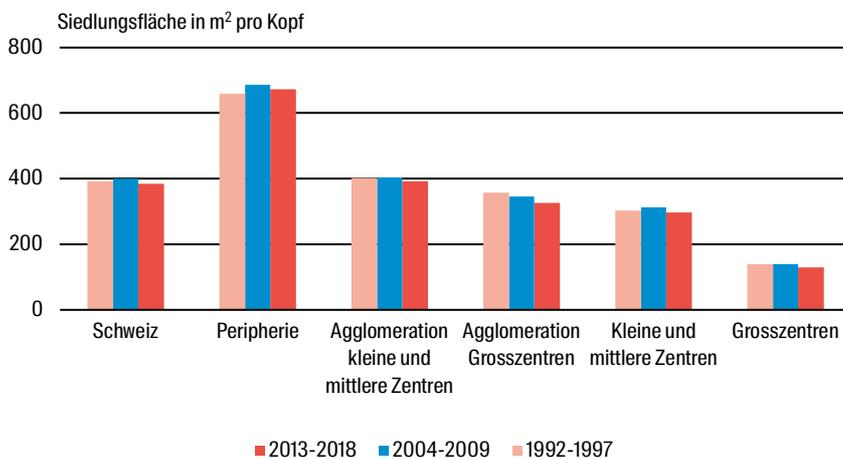


Abbildung 12: Siedlungsflächen pro Kopf (Quadratmeter) in drei Arealstatistiken nach Gemeindetyp. Quelle: BfS; Wüest Partner

Die Erhebung zeigt, dass über die Jahre 2013 bis 2018 die für Siedlungszwecke genutzte Landfläche gegenüber dem Erhebungszeitraum 2004 bis 2009 um 5.9 Prozent angestiegen ist. In der gleichen Zeit ist das Bevölkerungswachstum stärker angestiegen, sodass heute pro Person 4 Prozent weniger Siedlungsfläche verbraucht wird. Dieser Rückgang der Siedlungsfläche pro Person bedeutet eine Trendumkehr gegenüber dem Verlauf früherer Arealstatistiken.

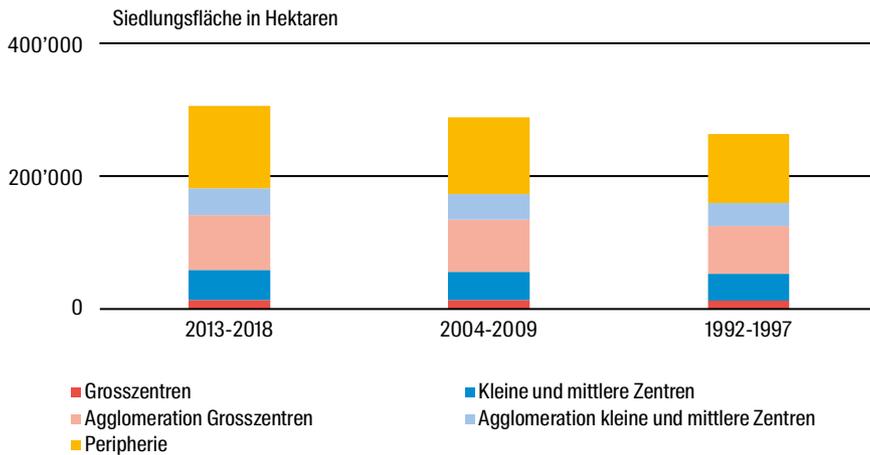


Abbildung 13: Siedlungsflächen (in Hektaren) in drei Arealstatistiken nach Gemeindetyp.
Quelle: BfS; Wüest Partner

Während der letzten 100 Jahre beliefen sich die Ausgaben der Schweizer Bevölkerung für das Wohnen (inklusive Nebenkosten) meist auf weniger als 20 Prozent des Bruttohaushaltseinkommens. Dabei blieb die durchschnittliche Wohnkostenbelastung trotz schwankender Zinsen, volatiler Inflationsraten und sich immer wieder ändernder Mieten und Kaufpreise erstaunlich stabil. Aktuell liegt gemäss Bundesamt für Statistik (Haushaltsbudgeterhebung) der Anteil der Wohnkosten bei 14.9 Prozent der Bruttohaushaltseinkommen. Einen deutlich unstetigeren Verlauf erlebten allerdings die Haushalte in den tiefen Einkommensklassen. Ein Fünftel davon bringt durchschnittlich 1100 Franken pro Monat für das Wohnen auf, was 31 Prozent des Bruttoeinkommens entspricht (Abbildung 14). Nicht überall lässt sich mit dieser Summe heutzutage eine geeignete Wohnung finden. Neben der Höhe des Bruttohaushaltseinkommens sind auch die Wohnform und die Haushaltsgrösse entscheidend dafür, wie schwer die Wohnkostenbelastung wiegt. So geben etwa die Wohneigentümer heute im Schnitt nur 10.8 Prozent ihrer Einkommen für das Wohnen aus. Bei ihnen ist die Budgetbelastung in den letzten Jahren aufgrund der massiv gesunkenen Zinsen stärker zurückgegangen als bei den Mieterhaushalten – dort bewegt sich die Belastung derzeit im Mittel bei 18.9 Prozent der Bruttohaushaltseinkommen.

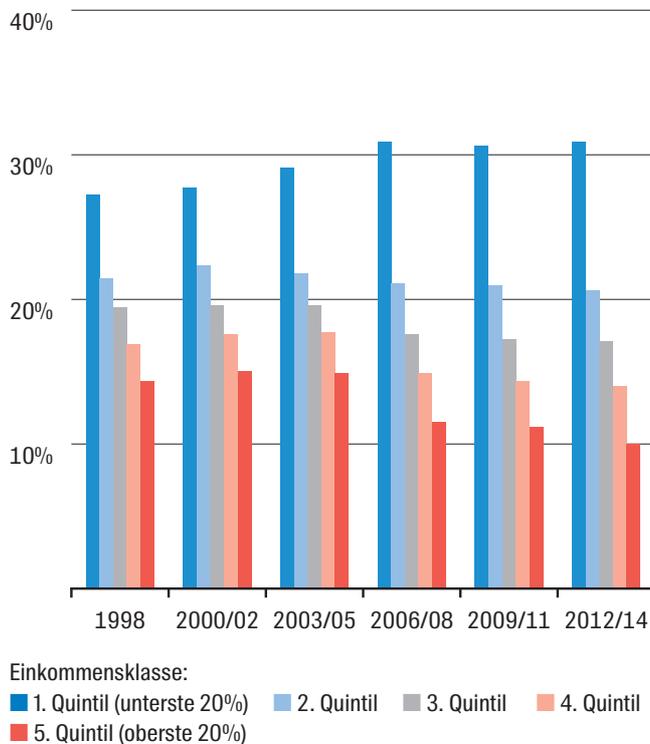


Abbildung 14: Anteil der Wohnkosten am Bruttohaushaltseinkommen nach Einkommensklasse. Quelle: BFS

3.2 Zielkongruenz und Zielkonflikte

Die Stärkung der Faktoren «Reduce» und «Reuse» in der Kreislaufwirtschaft trägt massgeblich dazu bei, dass mehrere der genannten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Die folgende Tabelle zeigt das Potenzial und die Auswirkungen der beiden Schlagwörter auf die Prozesse in der Bauwirtschaft:

	REDUCE	REUSE
Inländischer Rohstoffverbrauch	Je weniger Rohstoffe verbraucht werden, desto kleiner ist deren Auswirkung auf die Umwelt.	Je mehr Baumaterialien wiederverwendet werden, desto weniger Baustoffe müssen von aussen zugeführt werden.
Siedlungsabfälle/Recycling	Je weniger Siedlungsabfälle produziert werden, desto kleiner ist deren Auswirkung auf die Umwelt.	Je länger Rohstoffe wiederverwendet werden (Kaskadennutzung), desto länger bleiben diese im Kreislauf erhalten.
Materialintensität	Je weniger Materialien verwendet werden, desto tiefer fällt die Materialintensität trotz wachsender Bevölkerung aus.	Je länger Materialien wiederverwendet werden, desto tiefer fällt die Materialintensität trotz wachsender Bevölkerung aus.
Energieverbrauch pro Kopf	Je weniger Materialien verwendet werden, desto weniger Primärenergie entsteht bei deren Produktion.	Je mehr Materialien wiederverwendet werden, desto weniger Primärenergie entsteht bei deren Produktion.
Wohnkosten	Ersatzneubauten sind in der Regel mit einem bedeutenden Anstieg der Wohnkosten verbunden. Je mehr Liegenschaften erhalten bleiben, desto tiefer sind tendenziell die Wohnkosten.	Je mehr Gebäudeteile weiterverwendet werden, desto kleiner fallen die Investitionskosten und damit die auf die Mieter überwälzbaren Kosten an. Die Mieter profitieren dadurch von tieferen Wohnkosten.

Tabelle 5 : Auswirkungen der Schlagworte Reduce und Reuse auf die den Bausektor betreffenden Nachhaltigkeitsziele.

Die Stärkung des Faktors Reduce, indem zukünftig weniger Gebäude abgebrochen werden, kann das Erreichen anderer Nachhaltigkeitsziele erschweren. Damit befindet sich die Kreislaufwirtschaft häufig in einem Zielkonflikt. Dieser sieht zum Beispiel im Falle von Ersatzneubauten wie folgt aus: Ersatzneubauten sind ein probates Mittel, um die CO₂-Reduktion im Gebäudepark während der Nutzungsphase zu reduzieren und die Siedlungsentwicklung nach innen voranzutreiben. Wenn mit dem Ersatzneubau zusätzliche Wohnungen gebaut werden, lässt sich ausserdem die Nachfrage nach Wohnraum entschärfen und damit die gesamtschweizerischen Wohnkosten reduzieren. Doch der Bau zusätzlicher Wohnungen geht mit einer sehr hohen Materialintensität einher, welche den inländischen Rohstoffverbrauch steigert und – aufgrund der Materialproduktion – einen grossen primären Energieaufwand darstellt.

Für die Einordnung der Zielkonflikte und Priorisierung der Handlungsalternativen ist es wichtig, die Anspruchsgruppen und deren Interessen zu kennen. Die unterschiedlichen Interessen sind dabei fallweise zu gewichten, um die nachhaltigste Lösung für alle Anspruchsgruppen zu finden.

4 Exemplarische Normstrategien

4.1 Normstrategien im Umgang mit dem Bestand

Bei der Planung von Gebäuden wird meist eine Nutzungsdauer von 50 bis 100 Jahren vorausgesetzt. Regelmässige Sanierungs- und Renovationsarbeiten tragen zum Erhalt der baulichen Substanz bei, welche bei fachgerechtem Unterhalt die geplante Lebensdauer bei Weitem überschreiten kann. Ein Beispiel stellen die Gebäude der vorletzten Jahrhundertwende dar, von denen zahlreiche trotz hohen Alters ihren Zweck noch immer erfüllen.

Der Wandel der Gesellschaft bringt jedoch angepasste Nutzungsanforderungen und Bedürfnisse mit sich, welchen die bauliche Substanz schon vor Erreichen des technischen Lebensendes nicht mehr gerecht wird. Den Entscheidungsträgern stellt sich deshalb oft die Frage nach der geeigneten Normstrategie im Umgang mit dem Bestand.

Nachfolgend werden die wichtigsten Normstrategien beschrieben:

- **Fortführung:** Das unveränderte Fortführen des bestehenden Objekts kann als einfachste Normstrategie aufgefasst werden.
- **Sanierung:** Wenn der ursprüngliche Zweck der Liegenschaft den heutigen Anforderungen jedoch nicht mehr oder nur noch teilweise entspricht, lässt diese sich mittels Sanierung aufwerten. Dabei ist zwischen Innen- und Aussensanierung zu unterscheiden: Bei einer Innensanierung werden vornehmlich die sekundären Bauteile wie Bodenbeläge, Küchen, Bäder etc. ausgetauscht und den heutigen Standards angepasst. Auch werden oftmals die haustechnischen Leitungen wie Sanitär und Strom erneuert. Bei einer Aussensanierung wird das Tragwerk instandgesetzt und eventuell mittels Dämmung und Fensterersatz der Wärmeverbrauch verringert. Im gleichen Zug wird meist auch die Wärmeerzeugung ersetzt. Während die Innensanierung einen direkten Einfluss auf die Attraktivitätssteigerung der Liegenschaft hat, dient die Aussensanierung sowohl der Mieter- als auch der Vermieterseite, da durch tiefere Heizkosten und weniger Instandhaltungsmassnahmen die Betriebs- und Nebenkosten sinken.
- **Erweiterung:** Unter den richtigen Voraussetzungen kann die Erweiterung horizontal oder vertikal stattfinden. Die stärkste Motivation bildet dabei die erwartete grössere Rendite, welche sich durch das Unterfangen erzielen lässt, eine zentrale Rolle können aber auch städtebauliche Aspekte zur verdichteten Bauweise spielen.
- **Ersatzneubau:** Erfüllt eine Bestandsbaute aus baulicher und nutzungstechnischer Sicht seine Aufgabe nicht mehr oder nur noch unzureichend, kann ein Ersatzneubau konzipiert werden. Diese Strategie hat den einen Vorteil, dass sich der Neubau optimal an die zum jeweiligen Zeitpunkt vorherrschenden Bedürfnisse anpassen lässt. Mit einem Bau verbunden sind jedoch meist grosse Investitionen.

An dieser Stelle gilt es anzufügen, dass Geschäftsgebäude, welche für die ursprünglich geplante Nutzung nicht mehr geeignet sind, unter der Voraussetzung einer flexiblen Grundrissstruktur mit mittlerem bis grossem Sanierungsgrad umgenutzt werden. So lassen sich zum Beispiel geeignete Bürogebäude in Mietwohnungen umbauen.

Tabelle 6 fasst die wichtigsten Normstrategien im Umgang mit Bestandsliegenschaften zusammen, zeigt die jeweilige Absicht auf und erörtert die Auswirkungen vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsziele.

Normstrategie	Absicht	Auswirkung
1 Fortführung	± Keine Änderung am Ist-Zustand	+ Keine grossen Investitionen + Wenig Konsequenzen für Bestandsmieter – Höhere Instandhaltungs-/Instandsetzungskosten in Zukunft
	<i>Keine ökologische Überlegung</i>	<i>– Energetischer Gebäudestandard gemäss Ursprungszustand (evtl. schlecht)</i>
2 Sanierung	+ Aufwertung Liegenschaft	+ Rendite: Teilweise Überwälzung Sanierungskosten + Attraktivitätssteigerung + Einsparung Heizwärmebedarf – Höhere Mietpreise
	<i>+ Energetische Sanierung</i>	<i>– Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen bei Materialersatz + Verminderung Energieverbrauch im Betrieb</i>
3 Erweiterung (Aufstockung/ Ergänzung)	+ Verdichtete Bauweise: erhöhte Ausnützung + Renditeerwartung	+ Rendite + Steigerung des Angebots – Hohe Baukosten, Anpassungen im Bestand sind herausfordernd
	<i>+ Energetische Sanierung im Zuge der baulichen Tätigkeiten</i>	<i>– Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen bei Materialersatz/-auftrag + Verminderung Energieverbrauch im Betrieb + Rückhalt der Baustoffe im Kreislauf: kein Recycling</i>
4 Ersatzneubau	+ Aufwertung Liegenschaft + Höhere Renditeerwartung + Nutzungsänderung an Nachfrage	+ Rendite + Verbesserte Bodennutzung – Baukosten – Mietpreise
	<i>+ Energetische Sanierung</i>	<i>– Primärenergie und Treibhausgasemissionen für Materialersatz + Verminderung Energieverbrauch im Betrieb</i>

Tabelle 6: Normstrategien für Bauherren im Umgang mit dem Bestand.

Oben: Ökonomische Aspekte
Unten: Ökologische Aspekte

+ Positive Aspekte
– Negative Aspekte
... Nicht relevant für Strategie

4.2 Fallbeispiel

Zur Veranschaulichung der verschiedenen Normstrategien dient im Folgenden beispielhaft ein typisches Gebäude des Schweizer Gebäudeparks. Es handelt sich um ein Mehrfamilienhaus mit acht Wohneinheiten und Baujahr 1970 in der Agglomeration einer mittelgrossen bis grossen Stadt. Das Mehrfamilienhaus ist eine Plattenbaute mit ungedämmtem Einschalenmauerwerk und Flachdach. Die Wärmeerzeugung wurde hier bis anhin mit einer Gasheizung sichergestellt. Der Wärmebedarf ist aufgrund der fehlenden Isolation sehr hoch.

Diese Tabelle parametrisiert das Beispielgebäude:



Referenzobjekt (exemplarisch), Quelle: (Wenk, 2008)

Kenngrosse	Kennzahl
Baujahr	1970
Bauweise	Mauerwerk
Wärmeerzeugung	Gas
Anzahl Wohnungen	8
Vollgeschosse	4
..davon Untergeschosse	1
Gebäudevolumen, oberirdisch	2'070 m ³
Gebäudevolumen, unterirdisch	520 m ³
Bruttogeschossfläche (GF)	890 m ²
Nettogeschossfläche (HNF)	570 m ²
Gebäudegrundfläche (GGF)	180 m ²
Energiebezugsfläche (EBF)	710 m ²

Für das Gebäude stellt sich heute, nach 50 Jahren Betrieb, die Frage nach der am besten geeigneten Normstrategie.

In der nachfolgenden Tabelle werden sechs mögliche Szenarien für das Fallbeispiel erläutert und parametrisiert. Die Basisbewertung von 1970 bis 2020 bleibt dabei für alle Szenarien dieselbe:

	Basis 1970–2020	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmeerzeugung: Gas – Sehr grosser Wärmebedarf: 220 kWh pro m² EBF und Jahr – Strombezug: CH-Verbrauchermix – Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr
FF	Fortführung	<ul style="list-style-type: none"> – Restlebensdauer: 50 Jahre – Wärmeerzeugung: Gas – Sehr grosser Wärmebedarf: 220 kWh pro m² EBF und Jahr – Strombezug: CH-Verbrauchermix – Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr
KES	Kleine energetische Sanierung	<ul style="list-style-type: none"> – Restlebensdauer: 50 Jahre – Isolation des Dachstocks und der Kellerdecke – Ersatz Gasheizung durch Holzpelletsfeuerung oder Fernwärme, gespeisen von einer Kehrichtverbrennungsanlage – Mittlerer Wärmebedarf: 160–170 kWh pro m² EBF und Jahr (20–30 Prozent Einsparung) – Strombezug: CH-Verbrauchermix – Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr
GES	Grosse energetische Sanierung	<ul style="list-style-type: none"> – Restlebensdauer: 50 Jahre – Isolation des Dachstock Kellerdecke und Fassade – Fensterersatz

		<ul style="list-style-type: none"> - Ersatz Gasheizung durch Holzpelletsfeuerung oder Fernwärme, gespeisen von einer Kehrichtverbrennungsanlage - Mittlerer Wärmebedarf: 75–80 kWh pro m² EBF und Jahr (60–70 Prozent Einsparung) - Strombezug: CH-Verbrauchermix - Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr
AU	Aufstockung um zwei Geschosse mit grosser energetischer Sanierung des Bestandes	<ul style="list-style-type: none"> - Restlebensdauer: 50 Jahre - Isolation des Dachstocks, der Kellerdecke und der Fassade - Fensterersatz - Ersatz Gasheizung durch Holzpelletsfeuerung oder Fernwärme, gespeisen von einer Kehrichtverbrennungsanlage - Mittlere Wärmebedarf: 75–80 kWh pro m² EBF und Jahr für Bestand, 38 kWh pro m² EBF und Jahr für Aufstockung (Minergie-Standard, 2009) - Strombezug: CH-Verbrauchermix - Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr
ENB K	Ersatzneubau mit gleicher Ausnützungsziffer	<ul style="list-style-type: none"> - Restlebensdauer: 100 Jahre - Wärmeerzeugung: Erdsonde - Tiefer Wärmebedarf: 38 kWh pro m² EBF und Jahr (Minergie-Standard, 2009) - Strombezug: CH-Verbrauchermix - Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr
ENB G	Ersatzneubau mit doppelter Ausnützungsziffer	<ul style="list-style-type: none"> - Restlebensdauer: 100 Jahre - Wärmeerzeugung: Erdsonde - Tiefer Wärmebedarf: 38 kWh pro m² EBF und Jahr (Minergie-Standard, 2009) - Strombezug: CH-Verbrauchermix - Strombedarf: 2'750 kWh pro Haushalt und Jahr

5 CO₂-Bilanzierung der Normstrategien

In diesem Kapitel wird für die in Kapitel 4 vorgestellte Beispielliegenschaft die CO₂-Bilanz ausgewiesen. Dabei unterscheiden wir die CO₂-Bilanz für jede der vorhin definierten Normstrategie und unterstellen eine Gesamtlebensdauer von 100 Jahren. Die Treibhausgase werden als CO₂-äquivalente umgerechnet, gestützt auf die SIA-Norm 2032. Die Berechnungsmethodik wird am Schluss dieses Kapitels detailliert dargelegt, weil die Parameterwahl bei der Betrachtung der CO₂-Emissionen von zentraler Bedeutung ist und sich auf die Ergebnisse auswirkt.

5.1 Quellen der Treibhausgase

Liegenschaften emittieren sowohl bei der Herstellung als auch im laufenden Betrieb Treibhausgase. Der laufende Betrieb umfasst die Emissionen aus der Wärmegewinnung und den Elektrizitätsbedarf für den Alltag. Die Materialisierung ergibt sich aus Erstellung, Instandhaltung und Abbruch. Diese Unterscheidung wurde bereits im Kapitel 2 in der Abbildung 6 (Bauabfälle und Bauprozesse) gewählt. Abbildung 11 zeigt die Quellen der Treibhausgase für die verschiedenen Sektoren.

Materialisierung	Betrieb
– Baugrubenaushub Arbeiten	– Betrieb durch Bedarf an Wärme
– Herstellung der Bausubstanz	– Betrieb durch Bedarf an Elektrizität
– Instandsetzung der Bausubstanz (Ersatz)	
– Rückbau der Bausubstanz	
– Instandsetzung und Ersatz der Haustechnik	

Abbildung 15 : Systematisierung der Quellen der Treibhausgase.

Quelle: Wüest Partner

Abbildung 17 zeigt die Wichtigkeit dieser einzelnen Komponenten. Dabei werden für die Beispielliegenschaft die Treibhausgase in CO₂-Äquivalente umgerechnet und für die Jahre 1970 bis 2020 ausgewiesen. Es zeigt sich, dass mit rund 86 Prozent die Mehrheit der Emissionen durch die Nutzwärme entstanden ist. Auf die Elektrizität entfallen rund 5 Prozent der Treibhausgasemissionen. Die Treibhausgasemissionen aus der Erstellung und dem Unterhalt der Baumaterialien sowie aus der Haustechnik summieren sich auf rund 14 Prozent der Gesamtbilanz.

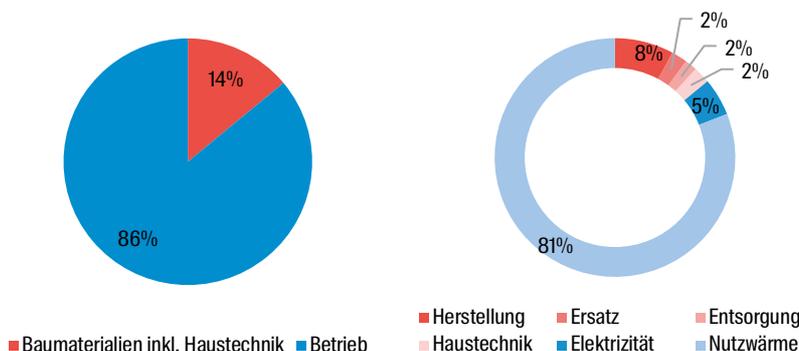


Abbildung 16: Angefallene Treibhausgasemissionen (CO₂-äq.) in den Jahren 1970 bis 2020 für die Normstrategie Fortführung.

Quellen: Durable, Wüest Partner

Diese Werte stehen für eine schlecht isolierte Liegenschaft, die während rund 50 Jahren in ihrer Nutzung keine bauliche Veränderung erfuhr und an welcher nur reguläre Instandsetzungsmassnahmen ausgeführt wurden.

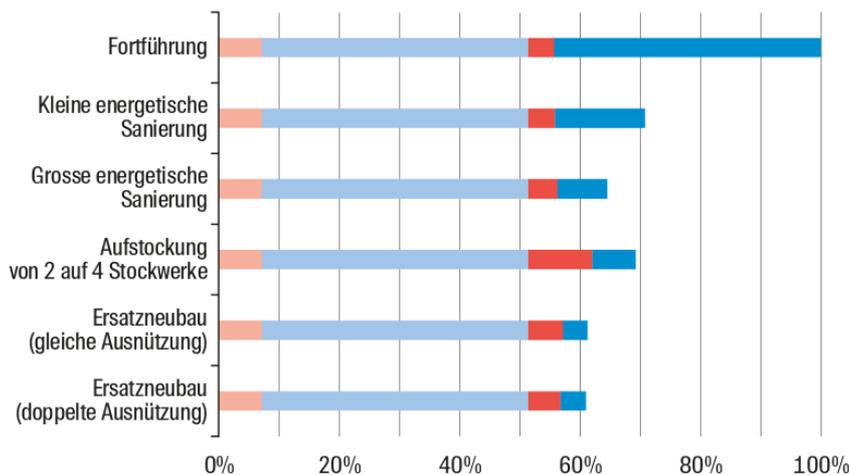
Mittlerweile gibt es aber verschiedene Eingriffsmöglichkeiten, damit die CO₂-Emissionen aus dem laufenden Betrieb in der Zukunft deutlich tiefer ausfallen als in der Vergangenheit. Die in der Abbildung 16 gezeigte überragende Bedeutung des laufenden Betriebs in schlecht sanierten Bauten für die CO₂-Bilanz verdeutlicht die Wichtigkeit von Sanierungsmassnahmen zur Erreichung der Klimaziele.

5.2 Vergleich der Normstrategien

Um das Verhältnis der Umweltbelastung darzustellen, wird für jede Normstrategie eine gestapelte Säule mit den Treibhausgasen gezeigt. Dabei unterscheiden wir der Einfachheit halber vier Komponenten der CO₂-Bilanz.

Einerseits wird zwischen dem laufenden Betrieb (Wärmeerzeugung und Elektrizität) und den Baumaterialien inklusive der Haustechnik unterschieden. Letztere umfassen die Erstellung, Ersatz und Entsorgung im jeweiligen Betrachtungszeitraum und für die eingesetzte Lebensdauer nach SIA 2032. Andererseits wird die Zeitachse unterteilt in die Vergangenheit (1970 bis 2020) sowie in die Zukunft (2020 bis 2070) des Gebäudes mit einer Lebensdauer von 100 Jahren. Diese vier Kategorien werden in der Abbildung 17 farblich differenziert. Rot gefärbt sind die Emissionen aus Baumaterialien, blau gefärbt sind die Emissionen aus dem laufenden Betrieb. Die entscheidungsirrelevanten CO₂-Emissionen sind hell eingefärbt. Die CO₂-Emissionen, welche mit Entscheidungen veränderbar sind, sind dunkel gefärbt.

Treibhausgasemissionen als Folge der verschiedenen Normstrategien im Vergleich
(pro m² Energiebezugsfläche)



Treibhausgasemissionen 1970–2020: ■ Baumaterialien (inkl. Haustechnik) ■ Betrieb
Treibhausgasemissionen 2020–2070: ■ Baumaterialien (inkl. Haustechnik) ■ Betrieb

Quelle: Wüest Partner

Abbildung 17: Treibhausgasemissionen pro m² Energiebezugsfläche jeder Normstrategie im Betrachtungszeitraum 1970 bis 2070.
Quellen: Durable, Wüest Partner

Die Emissionen, die zwischen 1970 und 2020 verursacht wurden, fallen für alle Normstrategien in gleichem Ausmass an. Entsprechend sind diese Emissionen

für die Wahl einer Normstrategie nicht entscheidungsrelevant. Die Normstrategien haben jedoch einen grossen Einfluss auf die Treibhausgasemissionsbilanz der Jahre 2020 bis 2070.

Aus den Ergebnissen der Modellierung kann Folgendes festgehalten werden:

- Eine unsanierte Bestandsbaute weist die schlechteste Energiebilanz aller Normstrategien auf, da hier der Wärmebedarf viele Emissionen freisetzt.
- Jegliche energetische Sanierung verbessert die Energiebilanz von alten Liegenschaften, weil der CO₂-Aufwand der Sanierung durch die Einsparungen im Betrieb schnell kompensiert wird.
- Einen Ersatz der alten Wärmeerzeugung durch eine umweltschonendere Variante (z. B. von Öl oder Gasheizung durch erneuerbare Fernwärme oder eine Pelletheizung) wirkt sich auf die CO₂-Bilanzierung sehr positiv aus, auch wenn das Gebäude immer noch einen hohen Wärmebedarf aufweist.
- Hohe CO₂-Emissionen in der Herstellung von Baumaterialien, welche bei Ersatzneubauten auftreten, lohnen sich insbesondere dann, wenn das Bauwerk eine möglichst lange Lebensdauer hat.
- Die Aufstockung hat unter den Normstrategien die zweitschlechteste Energiebilanz, weil das Fundament und die unteren Stockwerke der Beispielliegenschaft bereits 50 Jahre alt sind. Da wir von einer Nutzungsdauer dieser unteren Stockwerke von gesamthaft 100 Jahren ausgehen, bleibt die Aufstockung nur 50 Jahre bestehen. Die Aufstockung würde besser abschneiden, wenn eine erhöhte Restlebensdauer berücksichtigt worden wäre.
- In den Neubauszenarien wird mit einer Lebensdauer der Bauwerke von 100 Jahren gerechnet. Der Betrachtungszeitraum in dieser Studie erstreckt sich jedoch nur bis ins Jahr 2070. Entsprechend fällt die CO₂-Bilanz für Baumaterialien von Neubauten im Betrachtungszeitraum tiefer aus, da nur die Hälfte der CO₂-Emissionen in dieser Zeit «abgeschrieben» werden.
- Es lässt sich feststellen, dass für Neubauten der Anteil an den zukünftigen Emissionen bei den Baumaterialien (dunkelrot) leicht höher liegt als der Anteil beim Betrieb (dunkelblau). Je länger die Baumaterialien in einem Lebenszyklus erhalten bleiben, desto tiefer fällt die Gesamtbilanz aus.

5.3 Methodik zur Berechnung der CO₂-Emissionen

Die Berechnung der CO₂-Emissionen erfolgt gemäss der SIA-Norm 2032, Korrigenda C1, 2013.

Folgende Annahmen wurden vereinfachend oder abweichend von der SIA-Norm 2032 getroffen:

- Die Lebensdauer der Tragstruktur und des Aushubs wurde bei 100 Jahren angesetzt (gemäss SIA-Norm 2032 wären es 60 Jahre).
- Die Lebensdauer der übrigen Bauteile und der Haustechnik wurden gemäss der Amortisationstabelle in der SIA-Norm angesetzt. Am Ende der Lebensdauer werden sie ersetzt.

Des Weiteren wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die graue Treibhausgasemissionen der Bestandesbauten schreiben wir nicht ab, um die Bilanzierung über den Lebenszyklus abzubilden.
- Inneneinbauten wie Lavabos, Küchen, Einbauschränke, spezielle Oberflächen usw. wurden im Sinne der Einfachheit und Vergleichbarkeit nicht berücksichtigt.

- Der Stromverbrauch pro Wohnung wurde in allen Normstrategien gleich angesetzt, nämlich über die gesamte Lebensdauer: 2'750 kWh pro Wohnung (Durchschnittsverbrauch in einem Zwei-Personen Haushalt) und Jahr (Nipkow, 2013).
- Der Wärmeverbrauch für das Bestandsgebäude mit Baujahr 1970 wurde auf 220 kWh/m² Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr festgesetzt (Energie-Umwelt, 2020).
- Der Wärmeverbrauch nach der kleinen energetischen Sanierung wurde auf 160 bis 170 kWh/m² Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr festgesetzt (Energie-Umwelt, 2020).
- Der Wärmeverbrauch nach der grossen energetischen Sanierung wurde auf 75 bis 80 kWh/m² Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr festgesetzt (Energie-Umwelt, 2020).
- Der Wärmeverbrauch der Ersatzneubauten wurde in Anlehnung an den Minergie-Standard aus dem Jahr 2009 auf 38 kWh/m² Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr festgesetzt (Energiestiftung, 2020)
- Die Lebensdauer vom Bestandsgebäude wird auf 100 Jahre festgelegt. Dies bedeutet für die Sanierungsstrategien eine Restlebensdauer von 50 Jahren, da der Gebäudesockel/ der Bestand heute bereits 50 Jahre alt ist.
- Die Lebensdauer von Neubauszenarien wird auf 100 Jahren festgelegt.

Einfluss der Annahmen

Die CO₂-Bilanz jeder Normstrategie hängt stark von den getroffenen Annahmen ab. Insbesondere folgende Parameter üben einen Einfluss auf die Bilanzierung der verschiedenen Normstrategien aus:

- Die Art der Wärmeerzeugung hat einen grossen Einfluss auf die THG-Emissionen im Betrieb. Die Treibhausgasemission nach KBOB-Tabelle für Erdgas z. B. fällt um den Faktor 12.5 höher aus als derjenige für Holzschnitzel.
- Der Wärmebedarf von Gebäuden kann in Kombination mit der Wärmeerzeugung einen essenziellen Anteil an der CO₂-Bilanz eines Gebäudezyklus haben. Der Wärmebedarf des Referenzobjektes fällt in unserem Beispiel fast viermal höher aus als der Wärmebedarf eines Ersatzneubaus. Diese Annahme übt einen grossen Einfluss auf die Gesamtbilanzierung aus.
- Um den Einfluss der Bauteile auf die CO₂-Bilanz zu minimieren, sollte deren Lebensdauer möglichst lange sein. Für die Aufstockung zeigt sich, dass die THG-Emissionen aus Herstellung/ Ersatz/ Abbruch verhältnismässig viel höher ausfallen, als diejenigen aus den Ersatzneubau-Strategien. Der Grund liegt in der Restlebensdauer, die für die Aufstockung nur 50 Jahre beträgt (der Bestand ist am Ende dieses Betrachtungszeitraumes 100 Jahre alt und am Ende seines Lebenszyklus) und damit halb so gross ausfällt, wie für die Ersatzneubaustrategien.
- Normstrategie Aufstockung: Der Vergleichbarkeit halber wurde eine Aufstockung in Massivbauweise behandelt. Andere Bauweisen, wie z.B. eine Holzrahmenbauweise, können sich für diese Normstrategie vermutlich als vorteilhafter erweisen, da weniger Eingriffe und Verstärkungsmassnahmen am bestehenden Tragwerk notwendig werden (leichtere Konstruktion) und die Treibhausgasbilanz evtl. besser ausfällt.

6 Integrale Bewertung der Normstrategien

Im vorangehenden Kapitel standen die detaillierten Auswirkungen auf die CO₂-Bilanzierung von Normstrategien im Vordergrund. Gerade in der aktuellen Diskussion hat die CO₂-Bilanz einen bedeutenden Stellenwert. Daneben beeinflusst der Gebäudepark weitere Nachhaltigkeitsziele, die in Kapitel 3 aufgeführt sind. Entsprechend wird in diesem Kapitel jede Normstrategie anhand der folgenden Nachhaltigkeitsziele evaluiert:

- CO₂-Bilanzierung: Treibhausgasemissionen gemäss Kapitel 5
- Materialintensität: Verbaute Baumaterialien
- Siedlungsflächenverbrauch: Landverbrauch pro Kopf
- Wohnkosten: Mietzins (brutto) aus Sicht des Mieters
- Marktwert: Marktwertveränderung aus Sicht des Eigentümers und mit Auswirkung auf das BIP pro Kopf.

Die Quantifizierung erfolgt indem wir für die Beispielliegenschaft die Normstrategien simulieren und deren Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsziele berechnen. Dabei ist festzuhalten, dass je nach Ausgangslage die Normstrategien bei einzelnen Nachhaltigkeitszielen auch unterschiedlich gewertet werden könnte. Nachfolgend geht es eine Charakterisierung von repräsentativen Beispielen.

6.1 Analyse in Netzdiagrammen

Die Auswirkungen der Normstrategien auf die Nachhaltigkeitsziele des Bundes, die in Kapitel 3.1 hergeleitet wurden, werden in Netzdiagrammen dargestellt. Bewertet werden die einzelnen Normstrategien im Verhältnis zueinander, das heisst alle Einordnungen sind immer relativ im Vergleich zu den anderen Normstrategien zu verstehen. Die schlechteste Normstrategie in Bezug auf das jeweilige Nachhaltigkeitsziel wird mit der Note 1 (sehr schlecht) bewertet, die beste Normstrategie dagegen mit der Note 5 (sehr gut). Die Abstufung dazwischen erfolgt linear auf Basis der ausgewerteten Kenngrössen.

Fortführung (FF)

Die nachfolgende Grafik zeigt die mehrdimensionale Auswertung der Normstrategie «Fortführung (FF)» in einem Netzdiagramm auf. Dabei fällt auf, dass die Fortführung deutliche Ausprägungen hat: Tiefe Wohnkosten und Materialintensität kontrastieren mit hohen CO₂-Emissionen.

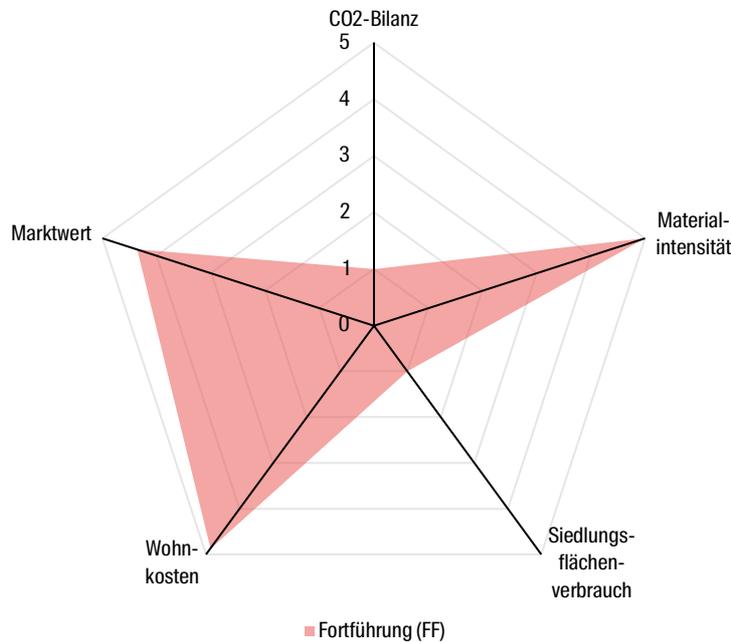


Abbildung 18: Mehrdimensionale Auswertung der Fortführungsstrategie (FF)
Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut)
Quelle: Wüest Partner

- CO₂-Bilanz: Die Fortführungsstrategie weist die schlechteste CO₂-Bilanz aller Normstrategien auf. Dies weil der hohe Heizwärmebedarf, gekoppelt mit der Wärmeerzeugung durch Gas zu grossen THG-Emissionen im Betrieb führt.
- Materialintensität: Abgesehen vom Ersatz von Gebäudeteilen werden keine weiteren Materialien eingesetzt, was sich bei der Materialintensität in der Höchstnote 5 niederschlägt.
- Siedlungsflächenverbrauch: Durch diese Normstrategie wird keine Verdichtung angestrebt, was zu einem höheren Siedlungsflächenverbrauch führt wie bei den Normstrategien mit einer Aufstockung.
- Wohnkosten: Die Bestandsmieten befinden sich auf einem vergleichsweise tiefen Niveau. Da keine wertmehrenden Investitionen getätigt werden, steigen die Wohnkosten nur im Falle eines Mieterwechsels an.
- Marktwert: Die Normstrategie schliesst im Vergleich mit anderen Strategien im Mittelfeld ab. Zwar fallen die Mieteinnahmen relativ tief aus, dafür sind auch die Investitionskosten tief. In der Summe ergeben sich daraus mittlere Netto-Cashflows für den Eigentümer, welche in diesem mittleren Marktwert resultieren.

Die Auswertungen der nachfolgenden Normstrategien werden grafisch jeweils mit der Fortführung (FF) verglichen, um die Auswirkungen in den einzelnen Teilaspekten besser ersichtlicher zu machen.

Kleine energetische Sanierung (KES)

Durch die KES verbessert sich die CO₂-Bilanz deutlich, während die anderen Nachhaltigkeitsziele ähnlich ausfallen wie bei der Fortführungsbewertung.

- CO₂-Bilanz: Die Bilanz verbessert sich deutlich aufgrund der Einsparungen im verminderten Heizwärmebedarf der Liegenschaft.
- Materialintensität: Durch die kleinen Sanierungsarbeiten werden wenige Materialien neu eingesetzt. Dennoch fällt die Materialintensität dieser Normstrategie weiterhin sehr positiv aus.
- Siedlungsflächenverbrauch: Durch diese Normstrategie wird keine Verdichtung angestrebt, was im Vergleich zu Normstrategien mit höheren Wohngebäuden zu einem Abschlag führt.
- Wohnkosten: Die Bestandsmieten befinden sich auf einen vergleichsweise tiefen Niveau. Die Mietkosten steigen durch die wertmehrende Investition etwas an, verbleiben jedoch noch immer unterhalb der Marktmieten.
- Marktwert: Die Normstrategie schliesst im Vergleich mit anderen Strategien im Mittelfeld ab. Im Vergleich zur Fortführung sind sowohl die Mieterträge wie auch die Investitionen leicht höher. Der daraus resultierende Marktwert liegt zwar höher als bei der Fortführung, fällt im Vergleich zu den übrigen Normstrategien aber relativ tief aus.

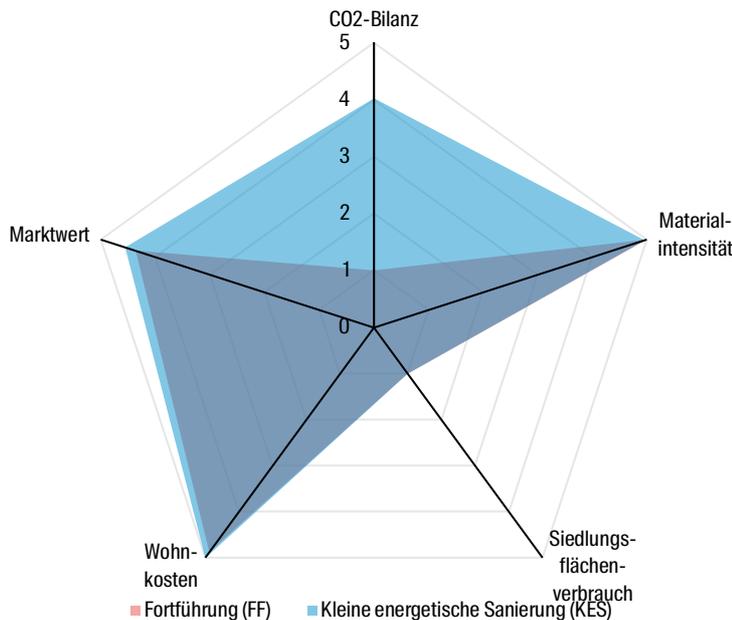


Abbildung 19: Normstrategie kleine energetische Sanierung (KES) und Fortführung (FF), Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien. Quelle: Wüest Partner

Durch eine kleine energetische Sanierung bei einer mit Gas beheizten Wohnliegenschaft in der Agglomeration der Grosszentren verändern sich der Marktwert positiv und die Bruttowohnkosten konnten sogar etwas gesenkt werden. Dies zeigt ebenfalls das Pilotprojekt «Sanierungen – 3 Gewinner» dessen Leitfaden Wüest Partner im Jahr 2020 veröffentlicht (Wüest Partner, 2020). Durch eine optimierte Sanierung konnte in zehn von zwölf Fällen eine Marktwertsteigerung erzielt werden und in elf der zwölf Fälle einen Rückgang der Wohnkosten. Dies weil die Reduktion der Heizkosten stärker ausfällt als der Anstieg in den Bestandsmieten aufgrund der Überwälzung der Investitionskosten auf den Mieter. Falls die Sanierung aber nicht optimiert wird oder die Voraussetzungen nicht förderlich sind, kann die kleine energetische Sanierung auch zu einem Anstieg der Wohnkosten und einem tieferen Marktwert führen.

Grosse energetische Sanierung (GES)

- CO₂-Bilanz: Die Bilanz verbessert sich aufgrund der Einsparungen im verminderten Heizwärmebedarf der Liegenschaft sehr stark.
- Materialintensität: Durch die grosse Sanierungsarbeiten werden im Vergleich zum Bestand immer noch wenige Prozentanteile an Materialien neu eingesetzt, was sich sehr positiv in der Materialintensität dieser Normstrategie auswirkt.
- Siedlungsflächenverbrauch: Durch diese Normstrategie wird keine Verdichtung angestrebt, was im Vergleich zu Normstrategien mit höheren Wohngebäuden zu einem Abschlag führt.
- Wohnkosten: Die Bestandsmieten befinden sich auf einem vergleichsweise tiefen Niveau. Die Nettomieten steigen durch die wertmehrende Investition an und verbleiben nur noch knapp unterhalb der Marktmiete. Auch wenn Einsparungen bei den Nebenkosten erzielt werden, steigen die Wohnkosten an durch die Überwälzung von substantziellen Investitionskosten.
- Marktwert: Die Normstrategie schliesst im Vergleich mit anderen Strategien etwas schlechter ab. Die relativ hohen Investitionskosten führen langfristig nicht zu einer entsprechenden Steigerung der Mietzinspotenziale, wodurch die Netto-Cashflows tiefer ausfallen als etwa bei der KES.

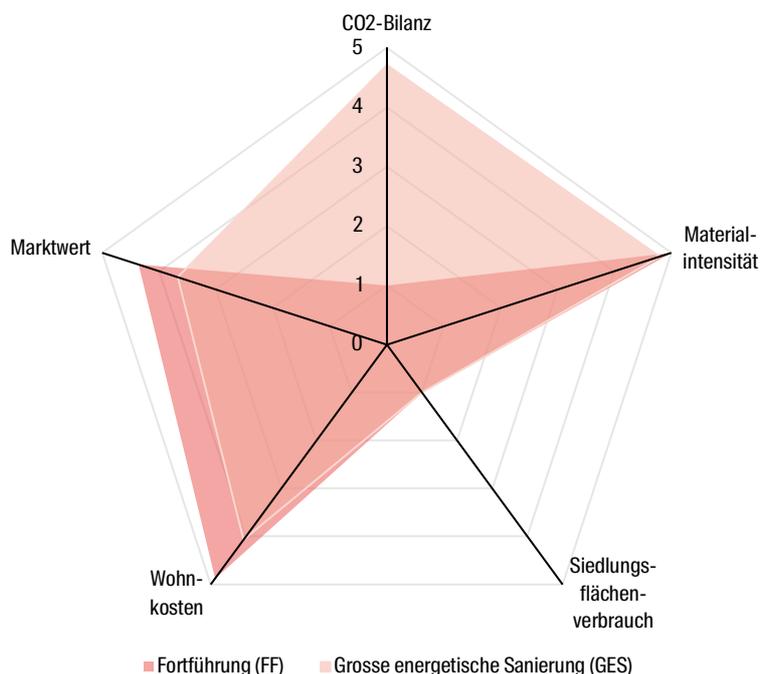


Abbildung 20: Normstrategie grosse energetische Sanierung (GES) und Fortführung (FF), Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien.

Aufstockung (AU)

Die Aufstockung schneidet gut ab bei der Materialintensität und dem Siedlungsflächenverbrauch, bei den anderen Nachhaltigkeitszielen landet sie im Mittelfeld.

- CO₂-Bilanz: Die Aufstockung im baulichen Minergie-Standard kombiniert mit einer grossen energetischen Sanierung im Bestand führt zu einer starken Verbesserung der CO₂-Bilanz.
- Materialintensität: Durch die Nutzung des Bestandes als Gebäudesockel kann Material für Fundation, Baugrube etc. eingespart werden. Die eingesetzten Materialien im Verhältnis zur zusätzlich generierten Wohnfläche fällt daher dennoch sehr gut aus.
- Siedlungsflächenverbrauch: Durch diese Normstrategie wird eine Verdichtung um den Faktor 1.5 angestrebt, was zu einer Verbesserung bei diesem Nachhaltigkeitsziele gegenüber den vielen Normstrategien ohne Aufstockung führt. Allerdings wurde der Siedlungsflächenverbrauch noch nicht maximiert.

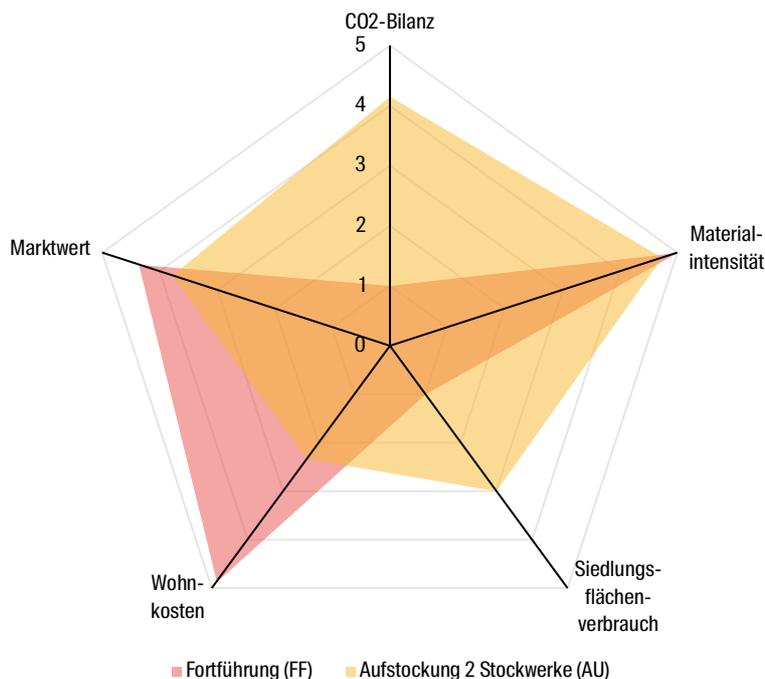


Abbildung 21: Normstrategie Aufstockung (AU) und Fortführung (FF)
Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien.
Quelle: Wüest Partner

- Wohnkosten: Die durchschnittlichen Wohnkosten setzen sich zusammen aus den Bestandsmieten inkl. Überwälzung aus der Sanierungstätigkeit und der Mieten im Neubau zu aktuellen Marktkonditionen. Damit fallen die durchschnittlichen Wohnkosten höher aus als in Normstrategien ohne Neubaucharakter. Da es aber weiterhin Bestandsmieter, die darüber hinaus von einer Reduktion der Nebenkosten profitieren, gibt, liegen die Wohnkosten auch nach der Überwälzung der Neubaukosten tiefer als bei einem Ersatzneubau.
- Marktwert: Die Normstrategie schafft keine positive Veränderung des Marktwertes. Die Wohneinnahmen vermögen die hohen Baukosten für die Aufstockung nicht zu kompensieren und verringern den Marktwert insgesamt. Diese Tatsache ist der Parameterwahl geschuldet und es kann davon ausgegangen werden, dass ein Ersatzneubau unter diesen Voraussetzungen nicht ausgeführt würde.

Ersatzneubau mit gleicher Ausnützungsziffer (ENB K)

Ein Ersatzneubau minimiert zwar die CO₂-Bilanz, schneidet dafür aber bei den anderen Nachhaltigkeitszielen schlecht ab.

- CO₂-Bilanz: Ein Ersatzneubau im baulichen Minergie-Standard führt trotz THG-Emissionen der Baumaterialien dank der tiefen Emissionen aus dem Betrieb zu einer starken Verbesserung der CO₂-Bilanz.
- Materialintensität: Diese Kennziffer fällt für die Normstrategie sehr schlecht aus, da trotz grossem Materialaufwand die Ausnützungsziffer nicht erhöht wird.
- Siedlungsflächenverbrauch: Durch diese Normstrategie wird keine Verdichtung angestrebt, was zu einem höheren Siedlungsflächenverbrauch führt wie bei den Normstrategien mit einer Aufstockung.
- Wohnkosten: Durch den Ersatzneubau wird der bestehende Mietvertrag aufgelöst. Nach dem Einzug in das neue Gebäude gelten in der Regel Marktmieten, wodurch die Wohnkosten höher als bei den anderen Normstrategien ausfallen.
- Marktwert: Die höheren Mieterträge vermögen im Rechenbeispiel die Investitionskosten nicht zu kompensieren, sodass sich der Marktwert der Liegenschaft aufgrund der gewählten Normstrategie sogar negativ verändert und im Vergleich mit den anderen Normstrategien am tiefsten ausfällt. Diese Tatsache ist der Parameterwahl geschuldet und es kann davon ausgegangen werden, dass ein Ersatzneubau unter diesen Voraussetzungen nicht ausgeführt würde.

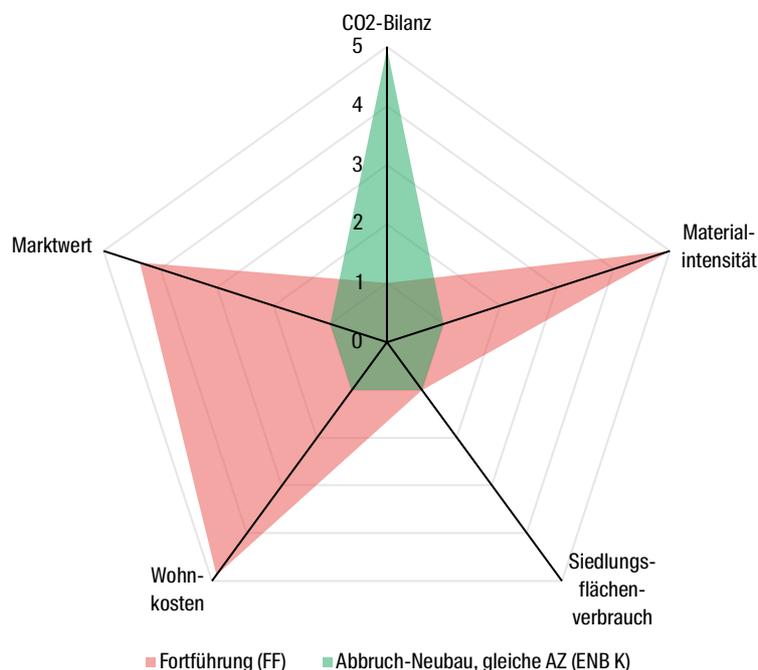


Abbildung 22: Normstrategie Ersatzneubau mit gleicher Ausnützungsziffer (ENB K) und Fortführung (FF)
Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien.
Quelle: Wüest Partner

Ersatzneubau mit doppelter Ausnutzungsziffer (ENB K)

Der Ersatzneubau mit Aufstockung resultiert drei Mal in der Maximalnote. Bei der CO₂-Bilanz, dem Siedlungsflächenverbrauch und dem Marktwert, dafür sind die Wohnkosten hoch.

- CO₂-Bilanz: Ein Ersatzneubau im baulichen Minergie-Standard führt trotz THG-Emissionen der Baumaterialien zu einer starken Verbesserung der CO₂-Bilanz. Im Vergleich mit dem Ersatzneubau mit gleicher Ausnutzungsziffer profitiert diese Normstrategie zusätzlich von einer grösseren Kompaktheit des Gebäudekörpers.
- Materialintensität: Diese Kennziffer fällt für die Normstrategie durchschnittlich aus, da trotz sehr grossem Materialaufwand die Ausnutzungsziffer verdoppelt wird.
- Siedlungsflächenverbrauch: Durch diese Normstrategie wird eine Verdichtung um den Faktor 2 erreicht, was im Vergleich mit anderen Normstrategien sehr gut ausfällt.
- Wohnkosten: Durch den Ersatzneubau wird der bestehende Mietvertrag aufgelöst. Nach dem Einzug in das neue Gebäude gelten Marktmieten, wodurch die Wohnkosten höher als bei den anderen Normstrategien ausfallen.
- Marktwert: Die hohen Mieterträge in Neubauten zusammen mit der Verdoppelung der Wohneinheiten führten zu so deutlichen Mietertragssteigerungen, dass die Investitionskosten gedeckt werden können.

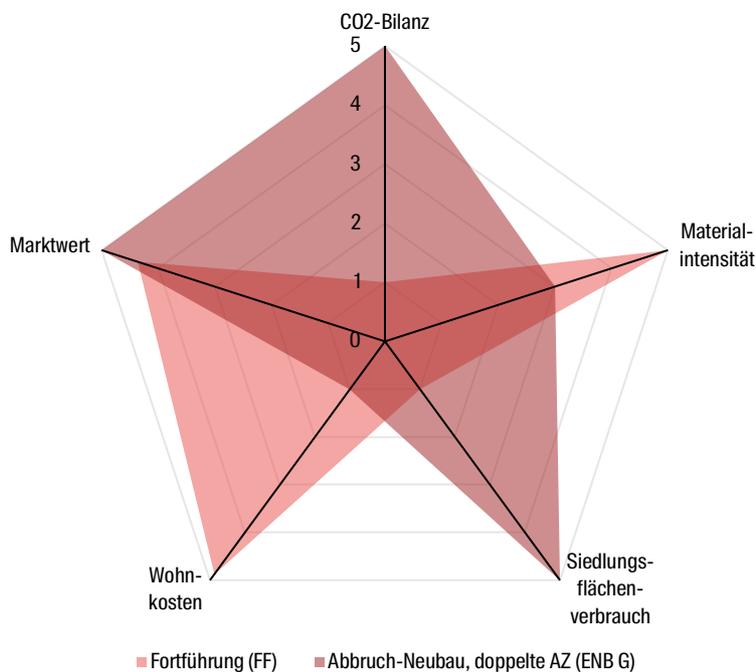


Abbildung 23: Normstrategie Ersatzneubau mit doppelter Ausnutzungsziffer (ENB G) und Fortführung (FF) Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien. Quelle: Wüest Partner

6.2 Zusammenzug

Die verschiedenen Normstrategien schneiden in den verschiedenen Kategorien unterschiedlich ab. Dies war zu erwarten, weil es Zielkonflikte zwischen den Nachhaltigkeitszielen gibt, welche je nach Normstrategie unterschiedlich adressiert werden. Das zeigen einzelne Beispiele:

Ein Ersatzneubau etwa wirkt sich sehr gut auf die CO₂-Bilanz aus, da er aufgrund einer guten Isolation den Heizwärmebedarf stark zu drosseln vermag. Dazu ist aber ein grosser Materialaufwand notwendig, was sich negativ in der Materialintensität auswirkt.

Durch einen Ersatzneubau mit Aufstockung kann der Marktwert einer Liegenschaft markant gesteigert werden. Da gleichzeitig der bestehende Mietvertrag nicht verlängert wird, erhöhen sich die Wohnkosten für den Mieter.

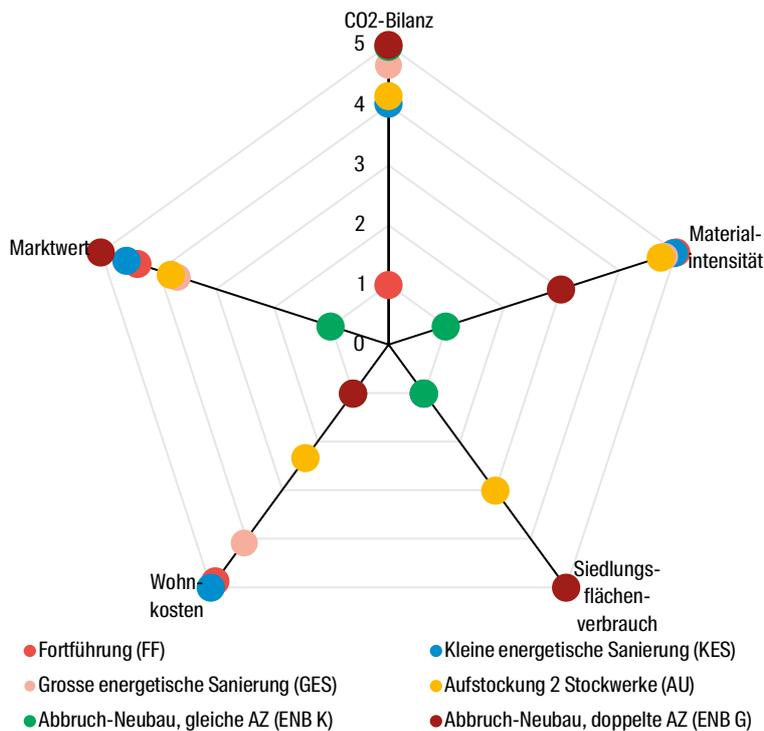


Abbildung 24: Zusammenfassung aller Normstrategien, Bewertungsskala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) im Vergleich zu den anderen Normstrategien. Quelle: Wüest Partner

Teilaspekt	FF	KES	GES	AU	ENB K	ENB G
CO ₂ -Bilanz	1.0	4.0	4.7	4.1	5.0	5.0
Materialintensität	5.0	5.0	4.8	4.7	1.0	3.0
Siedlungsflächenverbrauch	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	5.0
Wohnkosten	4.9	5.0	4.1	2.3	1.0	1.0
Veränderung Marktwert	4.4	4.6	3.7	3.8	1.0	5.0
Durchschnitt	3.2	3.9	3.6	3.6	1.8	3.8

Teilaspekte in Wohngebäude der Agglomeration um Grosszentren nach Normstrategie. Quelle Wüest Partner

Ein Ersatzneubau ohne zusätzlicher deutlicher Flächensteigerung hingegen ist wenig nachhaltig. Nicht nur sind die Wohnkosten hoch, sondern gleichzeitig sind Materialintensität und Siedlungsflächenverbrauch hoch und eine Marktwertsteigerung ist ungewiss.

Die Normstrategie Aufstockung überzeugt in der Auswertung durch einen guten Mittelweg in allen Teilaspekten. Die weitere Verwendung des Bestands führt zu einer kleinen Materialintensität bei gleichzeitiger Reduktion der Siedlungsfläche und der CO₂-Emissionen. Durch die bestehenden Wohnungen steigen die Wohnkosten im Mittel nicht ganz so stark an, wie im Ersatzneubau und trotz hoher Erstellungskosten des Neubauteils konnte eine positive Veränderung des Marktwertes festgestellt werden.

Die beiden Varianten einer kleinen oder grossen Sanierung schneiden besser ab als die Fortführung. Dies zeigt sehr gut, dass sich eine energetische Sanierung einer schlecht isolierten Liegenschaft, wie diese als Referenzobjekt gewählt wurde, mit Investitionen schon zu einer wesentlichen Verbesserung führen kann. Die kleine energetische Sanierung schnitt im Durchschnitt am besten ab. Positiv wirkt sich neben den verbesserten Umweltaspekten v.a. auch die Wohnkosten (Bruttomieten) aus, die unter Umständen sogar minimiert werden können, da die Nebenkosten geringer ausfallen.

Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über einige Kennwerte, die als Grundlage für die Auswertung der Netzgrafiken dienen.¹

Teilaspekt	FF	KES	GES	AU	ENB K	ENB G
CO ₂ -Emissionen im laufenden Betrieb 2020 – 2070 [kg CO ₂ -äq. pro m ² EBF und Jahr]	53	18	10	9	5	5
Wohnkosten, brutto [CHF pro m ² HNF und Jahr]	229	228	238	256	270	270
Marktwert, abzgl. Investitionskosten [Mio. CHF]	2.78	2.78	2.49	2.53	1.39	3.03

Tabelle 7: Kennwerte der Normstrategien, die als Bewertungsgrundlage für die Netzgrafiken dienen. Auswertungen und Quelle: Wüest Partner

Die Tabelle verdeutlicht noch einmal die Zielkonflikte bei der Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien je nach Wahl der Normstrategie. Mit CHF 228 pro Quadratmeter Hauptnutzfläche und Jahr liegen die Wohnkosten in den nicht sanierten Gebäuden mit fossiler Heizung tief. Dafür sind die Emissionen aus dem laufenden Betrieb mit 53 kg CO₂-Äquivalenten pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr sehr hoch. Durch eine energetische Sanierung können die Emissionen auf einen Bruchteil reduziert werden. Unter Umständen können die Wohnkosten sogar sinken. Werden energetische Sanierungen jedoch mit umfassenden Innensanierungen kombiniert, was teilweise so gehandhabt wird, dann steigen die Wohnkosten insgesamt an.

Bei grösseren Sanierungen steigen die Nettomieten etwas an, was nur teilweise durch tiefere Nebenkosten aufgrund verringertem Wärmebedarf reduziert wird.

¹ Es ist festzuhalten, dass sich die Auswertungen in dieser Studie auf ein fiktives Objekt im Agglomerationsraum bezieht und sich nicht 1 zu 1 auf den gesamten Gebäudebestand übertragen lässt. Die jeweilige Ausgangslage und die vorhandenen Randbedingungen können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Bei Neubauten fallen die Wohnkosten mit CHF 270 pro Quadratmeter Hauptnutzfläche und Jahr deutlich höher aus. Der Rückgang der Emissionen im laufenden Betrieb kann zwar die grauen Treibhausgasemissionen des Neubaus in der CO₂-Bilanz innert fünfzig Jahren kompensieren. Dafür fällt die Materialintensität bei Ersatzneubauten höher aus als bei einer Sanierung der Bestandsliegenschaft. Anhand dieser Überlegungen zeigt sich, dass ein bewusster Umgang mit Materialien auch andere Ziele der Nachhaltigkeit erfüllt.

7 Diskussion

Nachhaltigkeit lässt sich in verschiedene Kategorien einteilen. Die ökologische Nachhaltigkeit berücksichtigt die Auswirkungen unseres Handelns auf die Umwelt. In der heutigen Zeit hat dieses Nachhaltigkeitskriterium stark an Bedeutung gewonnen und wird an verschiedensten Konferenzen weltweit diskutiert. Auch die wirtschaftliche Nachhaltigkeit ist bedeutsam, setzt sie sich doch zum Ziel, den Lebensstandard nachhaltig zu fördern. Als drittes Standbein gilt die soziale Nachhaltigkeit, die gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt wie z. B. die Überwindung sozialer Ungleichheit.

Die vorliegende Studie hat sich vor allem mit dem ökologischen und der ökonomischen Nachhaltigkeitsgedanken in der Schweizer Bauwirtschaft befasst. Es wurde aber auch die soziale Nachhaltigkeit mittels Veränderung der Wohnkosten beurteilt. Es konnte gezeigt werden, dass sich gewisse Nachhaltigkeitsziele gegenseitig ausschliessen und dass die verschiedenen Immobilienakteure mit ganz unterschiedlichen Interessen agieren. Ihr Einfluss auf die Nachhaltigkeitsziele ist angesichts der Grösse des Gebäudeparks bedeutsam. Sie können durch die passende Wahl von Normstrategien einen bedeutenden Beitrag zur Erreichung vielfältiger Nachhaltigkeitsziele leisten.

Es hat sich gezeigt, wie eine geschickte Transformation des Gebäudebestandes dessen Nachhaltigkeit stärken. Besonders wenn Nachhaltigkeit ganzheitlich verstanden wird im Sinne einer Gesamtschau mehrerer Indikatoren, wird sie durch die Kreislaufwirtschaft gestärkt. Zum vermehrten Einsatz von «Reduce», «Reuse», «Repair» und «Recycle» können alle Akteure der Bau- und Immobilienwirtschaft mit bewussten Entscheiden beitragen.

7.1 Reduce

Die Auswertung in Kapitel 6 verdeutlicht, dass es Strategien gibt, die in einer Gesamtbetrachtung besser abschneiden als andere. So sollten Liegenschaften mit hohen CO₂-Emissionen aus dem laufenden Betrieb nicht einfach wie bisher fortgeführt werden, sondern energetisch saniert werden, damit sich die CO₂-Bilanz deutlich verbessert. Die initialen Kosten können auf die Mieter überwältigt werden, welche wiederum von tieferen Betriebskosten profitieren. Eine optimierte energetische Sanierung fokussiert bei der Sanierung auf die Abkehr von fossiler Wärmeerzeugung mit limitierten Begleitmassnahmen. Dann sinken im Idealfall die Wohnkosten und es erhöht sich der Marktwert. Die gesteigerte Wohnqualität und der stabile Marktwert sind insbesondere für Hauseigentümer und private Vermieter relevant.

Institutionelle Investoren mit ihren Erwartungen an Renditen überlegen sich Optionen, um die Liegenschaft zu verändern. Die Auswertungen zeigen, dass es nachhaltiger ist, eine Liegenschaft nicht rückzubauen und einen Ersatzneubau zu realisieren, sondern, falls möglich mit Anbauten und Aufstockungen mit einer geringen Materialintensität die angestrebte Verdichtung zu erzielen. Dabei bleiben auch die Wohnkosten für die Bestandsmieter limitiert. Ersatzneubauten sind dann nachhaltig, wenn Ausnutzungsreserven eine substantielle Steigerung der Wohneinheiten ermöglichen.

In diesem zurückhaltenden Umgang mit der Neubautätigkeit und limitierten Eingriffstiefen in bestehende Gebäude widerspiegelt sich «Reduce». Da gar nicht erst neue Materialien verbaut werden, wird ein bedeutender Beitrag zur Steigerung der Kreislaufwirtschaft geleistet.

7.2 Repair/ Recover

Die konsequente Umsetzung des Ansatzes «Reduce» kann primär mit dem zweiten Nachhaltigkeitsbegriff «Repair» erreicht werden. Als klares Gegenstatement zur «Wegwerfgesellschaft» zielt «Repair» auf einen kleinen Materialeinsatz und grösstmögliche Verwendung von bestehenden Strukturen. Werden dabei hochwertige Baumaterialien eingesetzt, die gut instandgehalten und instandgesetzt werden können, dann wird eine lange Lebensdauer erreicht. Eine lange Lebensdauer von Holzbauteilen zeigt den grossen Vorteil, dass das im Holz gespeicherte CO₂ länger zurückgehalten wird. Die CO₂-Emissionen, welche durch Verbrennen/ Verrotten entstehen, fallen dadurch erst langfristig an.

7.3 Recycling

Grosse Bestrebungen in Richtung einer nachhaltigen Wirtschaft werden derzeit im Bereich des «Recycling» getätigt. Allerdings wird dies in der Bauwirtschaft erst spärlich umgesetzt, jedoch mit steigender Tendenz. Das zeigt etwa das Beispiel Recyclingbeton. Durch die Verwendung von Recyclingbeton werden weniger Kiesgruben benötigt, die zum Landverbrauch beitragen. Ausserdem wird dadurch der Abbau der begrenzten Ressource Kies verlangsamt. Durch die Verwendung von Recyclingstahl wird der Abbau der ebenfalls begrenzten Ressource Eisenerz verlangsamt. In dieser verminderten Materialintensität durch die Verlängerung des Kreislaufes zeigt sich aktuell der bedeutendste Nachhaltigkeitsbeitrag von Recyclingmaterial.

Limitiert hingegen ist der Beitrag von Recycling zur verminderten CO₂-Bilanz. Wenn eine Stahlstütze für das Recycling eingeschmolzen werden muss, entstehen wiederum viel graue Treibhausgasemissionen. Bei der Verwendung von Recyclingbeton kann aufgrund der Notwendigkeit eines erhöhten Zementanteils sogar eine Erhöhung der CO₂-Emissionen resultieren. Die Verwertung von Bauholz ist mit Ausnahme von Spannplatten bis heute praktisch ausgeschlossen, da Altholz vielfach chemisch belastet ist und eine weitere Verwendung aus Umweltaüberlegungen nicht zu befürworten ist (Taverna, Hofer, Werner, Kaufmann, & Thürig, 2007).

7.4 Reuse

Der ökologische Fussabdruck von mehrfach verwendeten Baumaterialien fällt dann gering aus, wenn sie in ihrer ursprünglichen Form wiederverwendet werden. Diese im Sinne der Kreislaufwirtschaft optimalste Lösung zeichnet sich durch einen hohen Nutzwert der Baumaterialien mit einem vergleichsweise kleinen Primärenergiebedarf in der Herstellung aus.

Allerdings erschwert die fehlende Standardisierung das («Reuse») erheblich. Aufgrund der vorherrschenden Massivbauweise in Ortbeton² ist die Wiederverwendung von Bauteilen aus den meisten Schweizer Wohnbauten praktisch ausgeschlossen. Dies zeigt sich schon bei vermeintlich einfachen Bauteilen wie Fenster, die millimetergenau ab Werk bestellt werden. Ein zweiter Aspekt, der sich negativ auf die Wiederverwendung auswirkt, ist die integrale Bauweise. Die Baumaterialien werden miteinander verklebt und bilden monolithische Bauteile aus, die sich nicht mehr sortenrein auftrennen lassen. Dies verunmöglicht vielfach eine Wiederverwendung von Baumaterialien, obwohl diese technisch noch in einwandfreiem Zustand wären.

Damit die nächste Generation weniger graue Treibhausgasemissionen produziert, muss das eingesetzte Umdenken in der Planung von Bauwerken weiter vorangehen. Es müssen sich Bauweisen etablieren, die standardisierte und modulare Lösungen bieten, sodass Bauteile möglichst sortenrein auseinandergelöst und wiederverwendet werden können. Rahmenbauweisen aus Holz oder auch Stahl bieten sich an, aber auch vorgefertigte Betonkonstruktionen können zum Einsatz kommen. Mechanische Verbindungsmittel sind dabei unerlässlich, befinden sich derzeit jedoch noch weitestgehend in der Entwicklungsphase («Wie kann eine Duschwanne abgedichtet werden, wenn nichts verklebt ist?», «Wie lässt sich ein Fensterglas luft- und wasserdicht reversibel in einen Fensterrahmen einbauen?», «Wie wird eine Dachabdichtung mechanisch auf eine Unterkonstruktion aufgebracht, sodass diese dauerhaft dicht ist?», ...).

Die Möglichkeiten von «Reuse» zeigen etwa die Installation «Urban Mining & Recycling» am NEST der Empa in Dübendorf. Es handelt sich um eine Wohneinheit, die aus praktisch 100 Prozent wiederverwend- und wiederverwertbaren Ressourcen gebaut wurde. Das Modul versteht sich als temporäres Materiallager, das an seinem Lebensende auseinandergelöst und neuen Nutzungsformen zugeführt wird. Erreicht werden konnte dies durch eine maximale Modularisierung und Vorfertigung und spezielle mechanische Verbindungen aller Art, die eine sortenreine Trennung aller Materialien und Produkte gewährleisten.

7.5 Erkenntnis

Der Gebäudepark wird insbesondere dann umfassend nachhaltiger, wenn Bestandsliegenschaften sanft energetisch saniert werden und Liegenschaften nur dann abgerissen und durch einen Neubau ersetzt werden, wenn gleichzeitig eine Verdichtung erfolgt. Dann wird die Kreislaufwirtschaft gestärkt durch einen sparsamen Einsatz von Bauteilen und der grauen Energie Rechnung getragen.

Zukünftige Forschungsarbeiten können die anhand einer Beispielliegenschaft aus den 1960er Jahren in den Agglomerationen gewonnen Erkenntnisse für andere Gebäudetypen übertragen. Ausserdem kann die Thematik des Recyclings und ihr Einfluss in der Kreislaufwirtschaft umfassender analysiert werden. Insbesondere die graue Energie bei der Aufbereitung von Baumaterialien und Baustoffen stellen ein wichtiger Diskussionspunkt in der nachhaltigen Beurteilung von rezyklierten Bauteilen dar.

² Ortbeton beschreibt eine Bauart, bei der die Betonteile vor Ort (auf der Baustelle) produziert werden. Bauteile werden armiert, geschalt und dann mit Beton ausgegossen. Es lassen sich vielfältige geometrische Abmessungen und Formen produzieren. Im Gegensatz dazu werden vorgefertigte Betonelemente wie z. B. Stützen im Werk gefertigt und auf der Baustelle nur noch eingebaut.

8 Literaturverzeichnis

- Baunetz Wissen. (2019). <https://www.baunetzwissen.de>. (Heinze GmbH)
Abgerufen am 16. 12 2019
- BfS. (2018). *Agenda 2023 in Kürze 2018*. Neuchâtel.
- BFS. (21. 02 2019). *Eigentübertyp der Mietwohnungen*. Abgerufen am 02. 03 2020 von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/aktuell/neue-veroeffentlichungen.assetdetail.7346323.html>
- Empa. (2016). *Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz*. Empa. Von BfS:
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen.assetdetail.346707.html> abgerufen
- Energiestiftung, S. (30. April 2020). *SES Energiestiftung*. Von <https://www.energiestiftung.ch/energieeffizienz-gebaeudestandards.html> abgerufen
- Energie-Umwelt. (Januar 2020). *energie-umwelt.ch*. Abgerufen am 16. Januar 2020 von <https://www.energie-umwelt.ch/haus/renovation-und-heizung/gebaeudeplanung/waermebedarf-und-geak>
- KBOB. (2016). *Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*. Bern.
- Nipkow, J. (2013). *Der typische Haushalt-Stromverbrauch*. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E., Zürich.
- Schneider, T., & Rubli, D. S. (25. März 2020). *Das KAR-Modell*. Abgerufen am März 2020 von Eine Sumulation der Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse: www.kar-modell.ch
- Taverna, R., Hofer, P., Werner, F., Kaufmann, E., & Thürig, E. (2007). *CO2-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz*. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Wüest Partner. (2015). *Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau*. Zürich.
- Wüest Partner. (2015). *Institutionelle Investoren Schweiz, Customer Journey*. Zürich.
- Wüest Partner. (2018). *Siedlungsentwicklung nach innen in den Städten*. Zürich.
- Wüest Partner. (2020). *Sanierungen mit 3 Gewinnern*. Abgerufen am 15.06.2020 von https://blog.wuestpartner.com/wp-content/uploads/2020/06/Sanierungen_mit_3_Gewinnern_Schlussbericht-1.pdf
- Wenk, T. (2008). *Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz*. Bern: Bundesamt für Umwelt.