

Grundlagenbericht, November 2019

«Energie Performance Gap in Neubauten»

Grundlagen aus der Forschung
für die Praxis



energieschweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Dr. Sabine Perch-Nielsen

Nana von Felten

Dr. Michel Müller

EBP Schweiz AG

Zollikerstrasse 65

8702 Zollikon

Schweiz

Telefon +41 44 395 11 11

info@ebp.ch

www.ebp.ch

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz und der Stadt Zürich erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Vorwort

Wieviel Energie brauchen Neubauten in der Schweiz für Raumwärme und Warmwasser? Entspricht der reale Verbrauch den berechneten Werten? Liegt er höher oder tiefer? Wieso? In den letzten Jahren wurde in der Schweiz viel zu diesen Fragen geforscht. Die Resultate werden in Fachkreisen kontrovers diskutiert: Gibt es einen «Gap» oder nicht? Wenn ja wieso, in welche Richtung und gibt es Handlungsbedarf? Im Rahmen eines von EnergieSchweiz und der Stadt Zürich finanzierten Projektes wurden Resultate aus der Forschung Ende 2018 zusammengefasst. Im ersten Halbjahr 2019 wurde in zwei Workshops mit Branchenakteuren den zentralen Fragen nachgegangen. Der vorliegende Bericht fasst die Recherche zu bestehenden Grundlagen aus der Forschung in der Schweiz zusammen und dokumentiert die Diskussionen in den beiden Workshops.

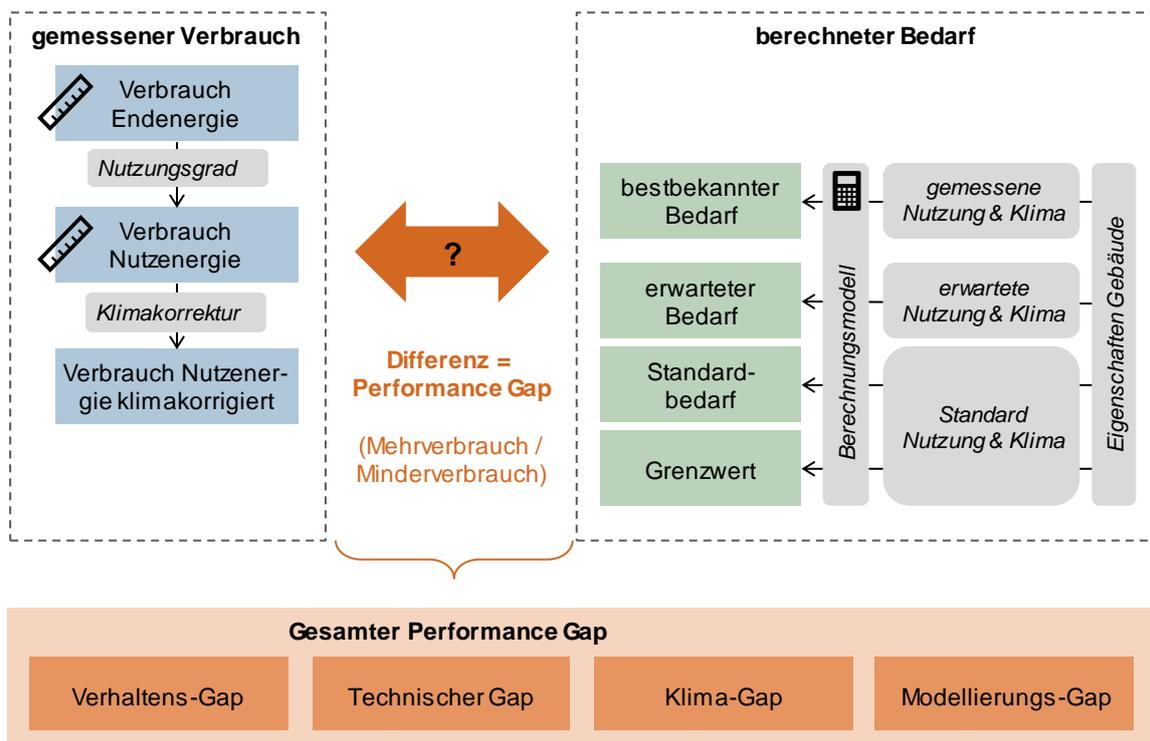
Teilnehmende Akteure an den Workshops

- Gebäudehülle Schweiz: André Schreyer
- HEV Schweiz: Thomas Ammann
- IG Passivhaus: Alfons de Stefani
- Kanton Neuenburg: Marc-Hermann Schaffner
- Konferenz kantonaler Energiedirektoren: Olivier Brenner
- Losinger Marazzi: Sigrid Schmierl
- Minergie: Andreas Meyer
- SIA: Luca Pirovino
- suissetec: Gregor Mangold
- Bundesamt für Energie (Auftraggeber): Claudio Menn
- Stadt Zürich (Auftraggeber): Franz Sprecher
- FHNW (fachliche Begleitung): Monika Hall

Zusammenfassung

Was ist ein Performance Gap?

In dieser Studie geht es beim Performance Gap explizit nur um Neubauten und nur um Energie für Raumwärme und Warmwasser. Ein Performance Gap liegt vor, wenn der gemessene Energieverbrauch eines Neubaus höher oder tiefer liegt als der berechnete Energiebedarf (Mehrverbrauch / Minderverbrauch). Dies klingt simpel und eindeutig, ist es jedoch nicht, denn schon sowohl beim Verbrauch (links in der Abbildung in blau) als auch beim Bedarf (rechts in der Abbildung in grün) gibt es mehrere Varianten.



Eine wichtige Kenngröße ist, welches Nutzerverhalten angenommen wird, also welche Temperaturen in den Räumen eingestellt werden, wie oft gelüftet wird oder wie häufig Sonnenstoren gesenkt werden (graue Kästen rechts in der Graphik). Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs für die Baubewilligung ist der Fall klar. Damit alle gleich behandelt werden, müssen alle das Standardverhalten gemäss der entsprechenden SIA Norm einsetzen. Der so berechnete «Standardbedarf» wird dann mit dem gesetzlichen Grenzwert verglichen. Soll der reale künftige Bedarf möglichst genau geschätzt werden, muss der Bedarf stattdessen mit dem real erwarteten Nutzerverhalten nochmals gerechnet werden («erwarteter Bedarf»). Die unterschiedlichen Werte für den Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 werden ausführlicher in Kapitel 1 in der Tabelle 1 beschrieben.

Je nachdem, welche Werte miteinander verglichen werden, werden unterschiedliche Komponenten des Performance Gaps erfasst (oranger Balken unten in der Abbildung). Der Gap kann entstehen, weil das reale Nutzerverhalten anders ist als angenommen (Verhaltens-Gap), weil das Gebäude nicht nach Plan gebaut und betrieben wurde (technischer Gap), weil das reale Wetter im

betreffenden Jahr anders war als das angenommene Klima (Klima-Gap) oder weil das Berechnungstool die Realität nicht perfekt abbildet (Modellierungs-Gap).

Gibt es bei Neubauten in der Schweiz einen Performance Gap?

Diverse Studien haben in den letzten Jahren den Energieverbrauch von Neubauten untersucht. Es ist schwierig, eine klare Schlussfolgerung zu ziehen, da sich Systemgrenzen und Methoden unterscheiden. Der gemessene Verbrauch wird teilweise klimakorrigiert, teilweise nicht, er wird verglichen mit dem Standardbedarf oder aber dem Grenzwert, der Verbrauch wird teilweise als solcher verglichen, teilweise aber auch als gewichtete Energiekennzahl, die wiederum keine direkten Rückschlüsse auf die Heizwärme zulässt. Zusammengefasst zeigen die Studien, dass der reale Wärmeverbrauch von Mehrfamilienhäusern im Durchschnitt höher ist als der berechnete Bedarf im Energienachweis. Bei Minergie-Einfamilienhäusern ist es genau umgekehrt, die realen Energieverbräuche liegen mehrheitlich unter den Grenzwerten. Es besteht also ein Performance Gap, und zwar in beide Richtungen.

Diverse Studien zeigen, dass unabhängig vom Durchschnitt über alle Gebäude einzelne Gebäude sehr hohe Verbräuche ausweisen und die Grenzwerte teilweise massiv überschreiten und andere Gebäude sehr tiefe Verbräuche ausweisen.

Welches sind die Ursachen?

Der wichtigste Grund für den Mehrverbrauch ist das Nutzerverhalten. Hier zeigen Studien, dass Bewohner und Bewohnerinnen von neuen Mehrfamilienhäusern höhere Raumtemperaturen einstellen, die Fenster häufiger öffnen und den Sonnenschutz häufiger nutzen als in der Standardnutzung gemäss SIA-Norm. Ob neben dem Verhaltens-Gap auch der technische Gap zu einem Mehrverbrauch führt, ist den bestehenden Studien nicht klar zu entnehmen. In der Tendenz scheint es, dass auch der technische Gap im Durchschnitt zu Mehrverbrauch führt. Die Praxisakteure sehen aus ihren eigenen Erfahrungen einen Gap im Bereich Gebäudetechnik, bei der Gebäudehülle gehen die Meinungen auseinander. Die beiden übrigen Gaps (Modellierung und Klima) spielen eine untergeordnete Rolle.

Verhaltens-Gap



Das reale Nutzerverhalten ist anders als angenommen. *Beispiel: Man heizt auf 23°C statt gemäss Norm auf 20°C.*

Technischer Gap



Das Gebäude wird nicht nach Plan gebaut und betrieben. *Beispiel: Die Wärmepumpe ist schlecht eingestellt und hat daher einen schlechteren Wirkungsgrad.*

Klima-Gap



Das reale Wetter war im betreffenden Jahr anders als das angenommene Klima. *Beispiel: Der Herbst und Winter waren wärmer als in der Norm hinterlegt.*

Modellierungs-Gap



Das Berechnungstool bildet die Realität nicht perfekt ab.

Inhalt

1	Was ist ein energetischer Performance Gap?	7
2	Gibt es einen Performance Gap?	10
2.1	Gemessener Verbrauch vs. Grenzwert und Standardwert	10
2.2	Erwarteter vs. Standardbedarf	14
2.3	Erwarteter Bedarf vs. gemessener Verbrauch	15
2.4	Übersicht aller Studien	15
2.5	Durchschnitt vs. Einzelfall	16
3	Welches sind die Ursachen?	18
3.1	Verhaltens-Gap	18
3.2	Technischer Gap	21
3.3	Klima-Gap	22
3.4	Modellierungs-Gap	22
3.5	Andere Ursachen für Unterschiede	22
3.6	Bedeutung der verschiedenen Ursachen	24
4	Zentrale Aussagen	25
4.1	Zusammenfassung der aktuellen Studien	25
4.2	Erfahrungswissen der Akteure	26
5	Handlungsbedarf	27
5.1	Probleme und Ziele	27
5.2	Handlungsfelder	28
5.3	Wünsche an die Forschung	29
6	Literaturverzeichnis	31

1 Was ist ein energetischer Performance Gap?

Performance Gaps von Gebäuden kann es in verschiedenen Bereichen geben, wie beispielsweise Behaglichkeit, Kosten oder Energie, bei Neubauten oder auch bei bestehenden Bauten. Dieses Projekt fokussiert ausschliesslich auf Neubauten und auf den Performance Gap bei Energie für Raumwärme und Warmwasser.

Ein solcher Performance Gap bei einem Neubau entsteht, wenn der gemessene Energieverbrauch eines Gebäudes höher oder tiefer liegt als der berechnete Energiebedarf (Mehrverbrauch / Minderverbrauch). Dies klingt zwar simpel, ist es im Detail jedoch nicht, wie Abbildung 1 zeigt. Schon beim gemessenen Verbrauch (links in blau) gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eigentlich müsste die Nutzenergie gemessen werden, um sie mit dem berechneten Bedarf vergleichen zu können. Das ist aber nur selten möglich, beispielsweise bei Wärmeverbänden, die die abgegebene Wärme direkt messen. Meist wird stattdessen der Verbrauch eines Energieträgers gemessen wie beispielsweise Heizöl, Gas, Holz oder Strom (Endenergie). Um die Nutzenergie zu berechnen, muss dieser Wert zuerst noch um den Nutzungsgrad oder die Jahresarbeitszahl der Heizung korrigiert werden. Hinzu kommt, dass der reale Verbrauch in einem konkreten Jahr von den lokalen Witterungsbedingungen abhängt. Daher muss ein gemessener Wert klimakorrigiert werden. Erst dann kann er mit einem berechneten Bedarfswert mit standardisierten Klimadaten verglichen werden.

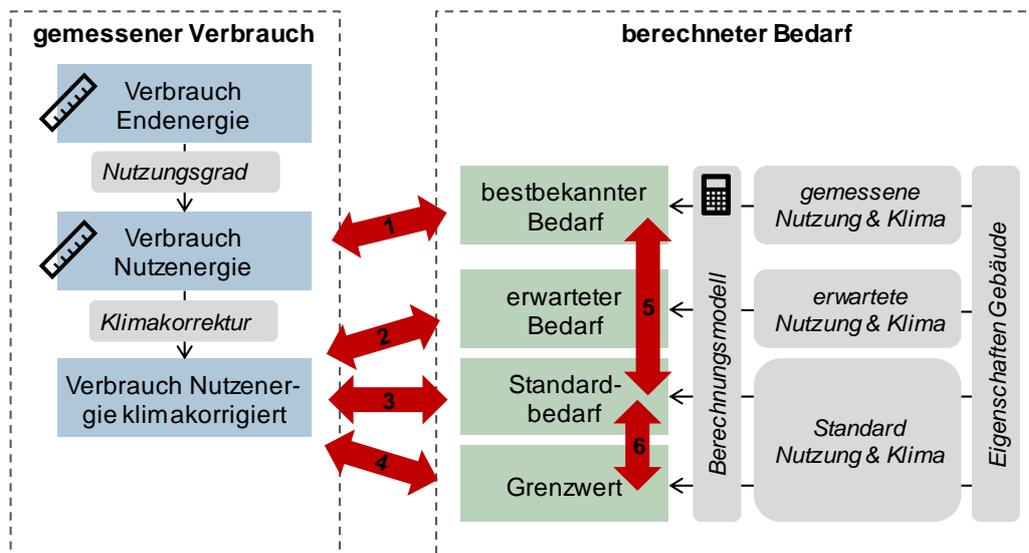


Abbildung 1: Übersicht möglicher gemessener und berechneter Werte des Wärmebedarfs bei Neubauten. Die roten Pfeile mit Zahlen beziehen sich auf die Tabelle 2 weiter unten)

Auch beim berechneten Bedarf (rechts in Abbildung 1 die Werte in grün) gibt es unterschiedliche Werte. Diese hängen von diversen Faktoren ab, die in grauen Kästen dargestellt werden: Ausgehend von den Eigenschaften des Gebäudes werden Annahmen zur Nutzung des Gebäudes und zum Klima getroffen und mit einem vereinfachenden Berechnungsmodell (z.B. statisch, dynamisch, etc.) ein Bedarf geschätzt. Die unterschiedlichen Werte für den Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 [1] werden in Tabelle 1 beschrieben.

Heizwärmebedarf	Beschreibung
bestbekannter Bedarf	Dies ist im Betrieb die beste Schätzung, wie hoch der Bedarf des Gebäudes ist. Gerechnet wird mit der SIA Norm 380/1 [1]. Für die Nutzung und Klimadaten werden die bestbekannten Werte eingesetzt, also soweit möglich reale Witterungsdaten und die reale Nutzung wie bspw. Belegung, Lüftungsverhalten, Raumtemperaturen, etc.
erwarteter Bedarf	Dies ist im Stadium der Planung die beste Schätzung, wieviel ein Gebäude verbrauchen wird. Gerechnet wird mit der SIA Norm 380/1. Für die Nutzung und Klimadaten werden die erwarteten Werte eingesetzt.
Standardbedarf	Mit dem Baugesuch für einen Neubau muss mittels des Nachweises für den Heizwärmebedarf nachgewiesen werden, dass das Gebäude die energierechtlichen Anforderungen erfüllt («Energienachweis»). Gerechnet wird wiederum mit der SIA Norm 380/1. Diesmal werden jedoch Standardwerte eingesetzt für die Nutzung, ebenso Standard-Klimawerte.
Grenzwert	Diese Werte müssen bei Standardnutzung eingehalten werden. Die Grenzwerte für die kantonale Baubewilligung sind schweizweit weitgehend vereinheitlicht. Zudem gibt es auch weitere Grenzwerte, wie zum Beispiel für die Minergie-Standards.

Tabelle 1: Beschreibung verschiedener berechneter Heizwärmebedarfswerte

Je nachdem, welcher Bedarf mit dem gemessenen Verbrauch verglichen wird, wird etwas Anderes gemessen. Abbildung 2 zeigt verschiedene Komponenten eines gesamten Performance Gaps, welche je nachdem, welche Werte miteinander verglichen werden, erfasst werden oder eben nicht. Tabelle 2 zeigt dazu eine Übersicht, die Nummerierung entspricht dabei den roten Pfeilen in Abbildung 1.



Abbildung 2: Gliederung des energetischen Performance Gap in mehrere Komponenten (adaptiert von [2], in dem der technische Gap auch als Performance Gap «im eigentlichen Sinne» bezeichnet wird).

Vergleich	Bedeutung
1. Bestbekannter Bedarf vs. gemessener Verbrauch	Dies sind die beiden Werte, die gemäss SIA Norm 380/1 bei einem Messwertvergleich miteinander verglichen werden sollen. Damit wird primär der technische Gap gemessen, der daher auch in gewissen Studien als «Performance Gap im eigentlichen Sinne» bezeichnet wird. Neben dem technischen Gap wird damit aber auch der Modellierungs-Gap erfasst. Dieser spielt bei allen Vergleichen eine mögliche Rolle.
2. erwarteter Bedarf vs. gemessener Verbrauch	Ergeben sich Differenzen zwischen den beiden Werten, ist dies entweder darauf zurückzuführen, dass das reale Nutzerverhalten nicht der erwarteten Nutzung entspricht (Verhaltens-Gap), dass die energetische Qualität des Gebäudes nicht der Planung entspricht (technischer Gap), dass die angenommenen Klimadaten für den realen Standort nicht gelten (Klima-Gap) oder dass Modellierungsannahmen nicht stimmen (Modellierungs-Gap).
3. Standardbedarf vs. gemessener Verbrauch	Ergeben sich Differenzen zwischen den beiden Werten, können diese wie bei 2. auf alle vier Komponenten zurückzuführen sein.
4. Grenzwert vs. gemessener Verbrauch	Ergeben sich Differenzen zwischen den beiden Werten, können diese wie bei 2. und 3. auf alle vier Komponenten zurückzuführen sein.
5. Standardbedarf vs. bestbekannter Bedarf	Dies ist ein Vergleich von zwei berechneten Bedarfswerten. Hält man bei beiden Berechnungen die Klimadaten konstant, kann damit der rechnerische Verhaltens-Gap quantifiziert werden.
6. Standardbedarf vs. Grenzwert	Dieser Vergleich wird vorgenommen, um die Einhaltung der kantonalen Vorschriften oder die Einhaltung von Anforderungen, z.B. für ein Minergie Zertifikat, zu überprüfen.

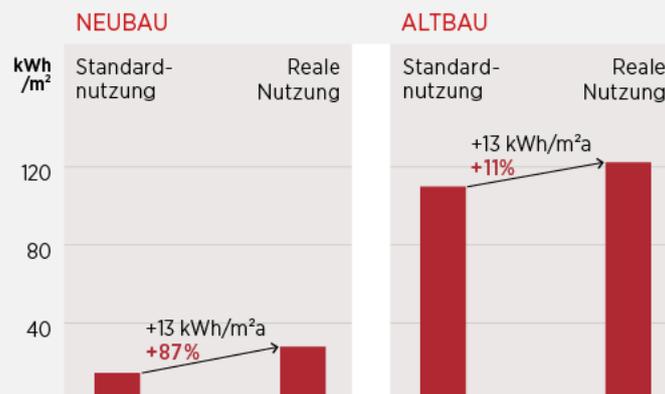
Tabelle 2: Unterschiedliche Vergleiche und deren Bedeutung

Exkurs Heizwärme und relative Aussagen

Der Heizwärmebedarf ist die Differenz zwischen den Wärmeverlusten eines Gebäudes (Transmission und Lüftung) und seinen Gewinnen (solare Wärmeeinträge und interne Wärmeeinträge wie Personen und Geräte). Die Angabe von Performance Gaps mit nur relativen Angaben kann zu falschen Schlussfolgerungen führen. So kann bspw. eine um ein Grad höhere Raumtemperatur und etwas geringere solare Gewinne durch mehr Sonnenschutz bei einem Neubau zu einem absoluten Mehrbedarf an Heizwärme von 13 kWh/m²a führen.

Ein solcher Mehrbedarf führt bei einem Neubau relativ betrachtet zu einer Zunahme von 87%, beim Altbau zu +11% (siehe Graphik unten). Je tiefer der Heizwärmebedarf (Neubau, Minergie, Minergie-P) ist, desto stärker zeigt sich dieses Phänomen.

Quelle Graphik und Rechnung: Christoph Gmür,
AWEL Zürich, ähnliche Abbildung in [2]



2 Gibt es einen Performance Gap?

In der Schweiz wurden in den letzten zwei Jahrzehnten diverse Erhebungen zum energetischen Performance Gap bei Neubauten durchgeführt. Dabei wurden vor allem gemessene Verbräuche mit Grenzwerten oder dem Standardbedarf verglichen (siehe folgendes Unterkapitel 2.1). In den darauffolgenden Unterkapiteln werden Resultate von einigen weiteren Studien dargestellt, die andere Werte miteinander verglichen haben.

2.1 Gemessener Verbrauch vs. Grenzwert und Standardwert

Bei drei grösseren Erhebungen wurden Verbräuche von Neubauten gemessen und mit einem Grenzwert verglichen (Pfeil 4 in Abbildung 1, Studien [3], [4] und [5]). Sie analysierten den Energiebedarf für Wärme in Form der Minergie-Kennzahl, wie sie bis 2017 galt (gewichteter Energiebedarf eines Gebäudes für Heizung, Warmwasser und Lüftung/Klima). Die Grenzwerte waren in den meisten Fällen Minergie Grenzwerte, in wenigen Fällen gesetzliche kantonale Vorschriften («MuKEN»). Die drei Studien umfassten insgesamt 11 Einzelanalysen, die in Abbildung 3 grob zusammengefasst sind. Jede Einzelanalyse ist als Block dargestellt. Die Zahl im Block entspricht der Anzahl Gebäude, die in der Einzelanalyse untersucht wurden. Die Farbe des Blocks zeigt an, ob der gemessene Wert im Durchschnitt aller Gebäude höher (rot) oder tiefer (grün) oder etwa gleich hoch war wie der jeweilige Grenzwert (hellgrün). So gab es zu Mehrfamilienhäusern insgesamt 6 Analysen mit total 209

Gebäuden. In zwei Analysen entsprechen die gemessenen Werte im Durchschnitt in etwa den Grenzwerten, in vier Analysen liegen die gemessenen Werte im Durchschnitt höher als der Grenzwert (dies bedeutet Performance Gap Mehrverbrauch).

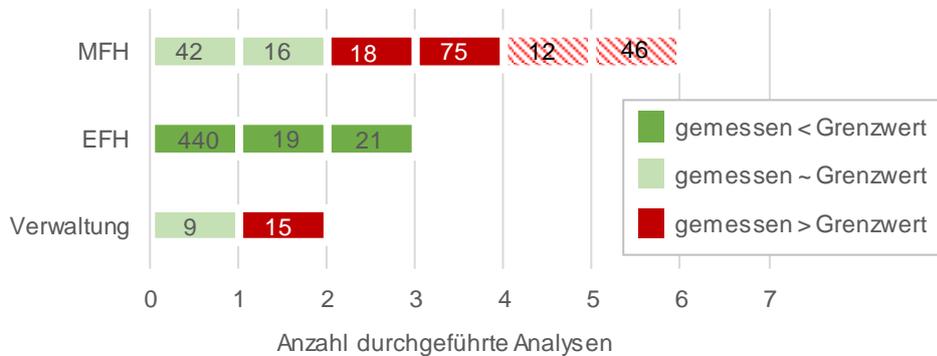


Abbildung 3: Übersicht der Resultate von Vergleichen zwischen Grenzwerten/Standardbedarfswerten und gemessenem Verbrauch bei Neubauten. Jeder Block entspricht einer Teilanalyse. Die im Block abgebildete Zahl entspricht der Anzahl untersuchter Gebäude in dieser Analyse. Die Farbe sagt aus, ob im Durchschnitt der untersuchten Gebäude ein Performance Gap besteht oder nicht. Durchgehend eingefärbte Blöcke sind Minergie Gebäude, die beiden schraffierten Blöcke sind Analysen von Gebäuden nach kantonalen Vorschriften. [3], [4], [5]

Bei Einfamilienhäusern wurden in drei Einzelanalysen die Kennwerte von Minergie Gebäuden gemessen. Die gemessenen Werte liegen in allen drei Einzelanalysen klar unter dem Minergie Grenzwert (Performance Gap Minderverbrauch). Bei Minergie Verwaltungsgebäuden werden die Minergie Grenzwerte bei einer Einzelanalyse von 9 Gebäuden in etwa eingehalten, in einer zweiten Einzelanalyse jedoch im Durchschnitt übertroffen (Performance Gap Mehrverbrauch). Wie in Kapitel 1 erläutert, folgt aus diesen Performance Gaps noch nicht, welche Komponenten die Differenzen verursachen und ob ein technischer Gap (Performance Gap im engeren Sinne) besteht oder nicht. Zudem wird mit *gewichteten* Kennzahlen keine Aussage über den ungewichteten Heizwärmebedarf gemacht (Mehrverbrauch oder Minderverbrauch).

In allen drei Studien scheiden die Gebäude mit Wärmepumpen besser ab als die Gebäude mit fossilen Energieträgern. Bei gleicher Gebäudehülle folgt dies direkt durch die Gewichtung der Energieträger¹. Werden nur die fossilen Energieträger betrachtet, liegen die gemessenen Kennzahlen in allen Gebäudekategorien, also auch bei Einfamilienhäusern, höher als die Grenzwerte. So sind beispielsweise von den 440 genannten Einfamilienhäusern 54 fossil beheizt und weisen im Durchschnitt eine Energiekennzahl aus, die um 40% höher liegt als der Grenzwert [3].

Die bisherigen Aussagen beziehen sich jeweils immer auf einen Durchschnitt über eine Stichprobe von Gebäuden. Die drei zugrundeliegenden Studien zeigen in ihren Analysen auch auf, dass unabhängig vom Durchschnitt der jeweiligen Stichprobe einzelne, individuelle Gebäude sehr hohe Verbräuche ausweisen und die Grenzwerte teilweise massiv überschreiten und andere Gebäude sehr tiefe Verbräuche ausweisen. Dieses Phänomen von grossen Unterschieden zwischen individuellen

¹ Fossile Energieträger werden mit 1 gewichtet, Strom mit 2. Da Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von mehr als 2 haben, ergibt Wärme mit einer Wärmepumpe einen tieferen gewichteten Verbrauch als Wärme, die mit fossilen Brennstoffen erzeugt wird.

Gebäuden wurde in anderen Erhebungen zu Energiekennzahlen bereits beobachtet [6] und wird weiter unten im Kapitel 2.4 illustriert.

Eine weitere Studie mass die Heizwärmeverbräuche von 65 Mehrfamilienhäusern, die an einen Wärmeverbund angeschlossen sind [2], und verglich sie hauptsächlich mit dem Standardbedarf (Pfeil 3 in Abbildung 1), aber zusätzlich mit dem Grenzwert (Pfeil 4). Sie zeigt unter anderem, dass in den analysierten Fällen oft ein deutlich tieferer Heizwärmebedarf geplant (Energienachweis) wurde als gemäss Grenzwert notwendig gewesen wäre. In solchen Fällen kann es also sein, dass der Grenzwert eingehalten wird, aber gegenüber der Planung trotzdem ein Performance Gap Mehrverbrauch besteht. Wird daher nur mit dem Grenzwert verglichen (wie in den drei vorherigen Studien), wird ein Performance Gap Mehrverbrauch womöglich gar nicht erkannt. Konkret kommt die Studie für die 65 Mehrfamilienhäuser zum Schluss, dass

- der gemessene Heizwärmeverbrauch im Durchschnitt 44% höher liegt als der Standardbedarf im Energienachweis;
- der gemessene Heizwärme- und Warmwasserverbrauch 10% höher liegt als der Grenzwert; und
- der gemessene Heizwärmeverbrauch 2% höher liegt als der Grenzwert.

Der Heizwärmeverbrauch ist also deutlich höher als mit Standardannahmen gerechnet. Der Grenzwert wird knapp eingehalten, weil im Durchschnitt ein deutlich tieferer Heizwärmebedarf geplant wurde. Eine zusätzliche Regressionsanalyse ergab, dass je tiefer der Heizwärmebedarf geplant wurde, desto stärker war der Mehrverbrauch von Messung zu Standardbedarf. Es scheint, dass ab einer gewissen Schwelle zusätzliche technische Verbesserungen an der Gebäudehülle nur noch zu geringeren realen Einsparungen führen, weil der Nutzer und sein Verhalten bei so effizienten Bauten viel stärker ins Gewicht fallen.

In einer weiteren Studie wurden die Gebäudeenergieausweise (GEAK) der Schweiz ausgewertet [7]. Von den in der nationalen Datenbank 51'318 enthaltenen GEAKs für Wohnbauten erfüllten 34'816 GEAKs die Anforderungen für eine weitere Analyse. GEAKs mit fehlenden Verbrauchsdaten, offensichtlich falschen Daten und Ausreissern sowie doppelte oder mehrfache GEAKs für dasselbe Gebäude wurden entfernt. Für den vorliegenden Bericht sind nur Neubauten von Interesse. Für Gebäude mit Baujahr nach 2000 beinhaltete die Stichprobe über 2'900 Wohngebäude, für die ein umgerechneter Standardbedarf mit einem gemessenen Verbrauch verglichen wird. Der gemessene Verbrauch entspricht in der Theorie klimakorrigierten Verbrauchsdaten, die über mindestens drei Jahre erhoben und gemittelt werden (Endenergie, also z.B. Liter Heizöl oder kWh Strom für die Wärmepumpe). Ob die GEAK Experten in jedem Fall Daten zu drei Jahren haben und diese klimakorrigieren, ist nicht klar. Als Vergleichswert wird der Standardbedarf mittels Nutzungsgrad oder Jahresarbeitszahl auf Endenergie umgerechnet. Nutzungsgrad respektive Jahresarbeitszahl werden vom GEAK-Tool vorgeschlagen, können aber von den GEAK-Experten auch angepasst werden. Die Auswertung zeigt, dass für die neuen Gebäuden der mittlere gemessene Verbrauch für Heizung und Warmwasser 11% bis 13% höher liegt als der umgerechnete Standardbedarf (siehe Abbildung 4). Eine wichtige Unsicherheit dieser Analyse sind die eingesetzten Jahresarbeitszahlen,

da sich diese relevant von den realen Jahresarbeitszahlen unterscheiden können und da bei Neubauten der Anteil Wärmepumpen sehr hoch ist.

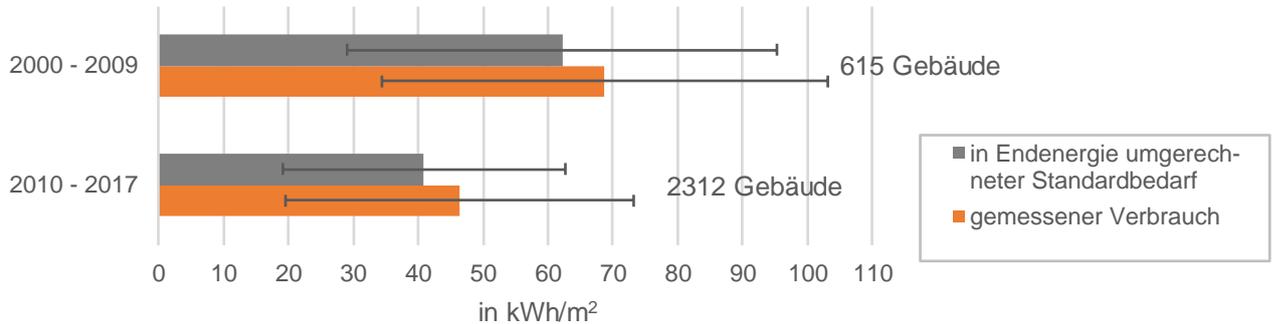


Abbildung 4: Gemessener, klimakorrigierter Verbrauch (Endenergie für Raumwärme und Warmwasser) versus einen in Endenergie umgerechneten Standardbedarf für 2'927 Wohngebäude, inklusive Standardabweichung (sehr hoch, da Endenergie abgebildet ist und damit der Verbrauch von Öl, Gas und Holz, aber auch von Strom für Wärmepumpen abgebildet ist) [7]

Eine weitere Studie [18] analysiert Daten von 56 Wohnbauten (28 Neubauten), welche sich für den Schweizer Solarpreis der Solar Agentur angemeldet haben und alle mit Wärmepumpen beheizt werden. Die Stichprobe ist somit nicht repräsentativ für Neubauten in der Schweiz. Anders als bei den meisten andere Studien wird der gesamte Endenergieverbrauch betrachtet. Da nur Gebäude mit Wärmepumpen gewählt wurden, entspricht der gesamte Stromverbrauch (Wärmepumpe für Raumwärme und Warmwasser, Lüftung, Licht, Geräte) dem Endenergieverbrauch. Der gemessene Verbrauch entspricht dem gemessenen Stromverbrauch, der für den Solarpreis vom lokalen Verteilnetzbetreiber kontrolliert und bestätigt wird. Als Vergleichswert wird der Grenzwert (teilweise MuKEn, teilweise Minergie-Standards) herangezogen. Dieser ist jedoch eine gewichtete Zahl, welche für den Vergleich mit dem realen Stromverbrauch in ungewichtete Endenergie umgerechnet wurde (dabei Annahme einer Jahresarbeitszahl). Die Abweichung zwischen dem realen Verbrauch und dem umgerechneten Grenzwert beträgt im Median -13%, der Mittelwert liegt bei -4% (Abbildung 5). Das heisst, es besteht ein Minderverbrauch.

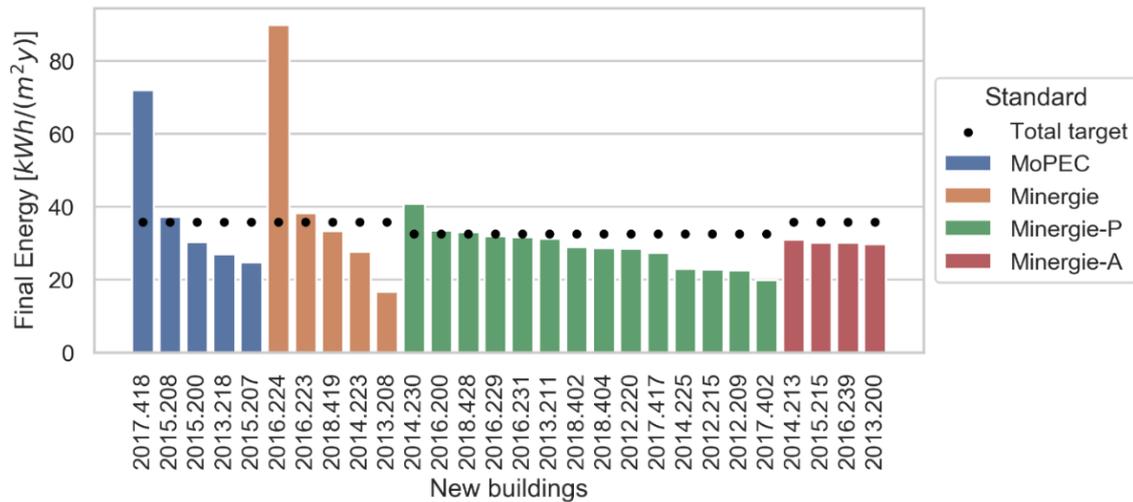


Abbildung 5: Gesamter Stromverbrauch von 28 neuen Wohnbauten (Balken) im Vergleich zum jeweiligen Grenzwert, der in ungewichtete Endenergie umgerechnet wurde (Punkte) [18]

2.2 Erwarteter vs. Standardbedarf

Eine Studie aus dem Jahr 2015 im Auftrag des Kantons Zürich liefert Hinweise zum Vergleich zwischen erwartetem und Standardbedarf von Heizwärme und Warmwasser [8]. Hier bestehen für rund 80 Gebäude, die an einen Wärmeverbund angeschlossen sind, Daten zum Standardbedarf nach Heizwärme gemäss Energienachweis. Zusätzlich sind auch «erwartete Werte» bekannt: In den Contracting Verträgen wurden die zu liefernden Wärmemengen für Heizwärme und Warmwasser vereinbart. Bei ca. einem Drittel der Gebäude entsprach die zu liefernde Heizwärme den Standardwerten (also erwarteter Bedarf = Standardbedarf), bei zwei Dritteln der Gebäude wurde jedoch gemäss Vertrag mehr Heizwärme bestellt als im Energienachweis als Standardbedarf gerechnet wurde. Der erwartete Bedarf liegt also durchschnittlich höher als der Standardbedarf im Energienachweis. Für die meisten Gebäude wurde zwischen 10% und 70% mehr bestellt, acht Eigentümer bestellten zwischen 80% und 180% mehr als im Energienachweis gerechnet. Die Eigentümer respektive ihre Energieplaner/-berater erwarteten also durchschnittlich einen höheren Bedarf als gemäss Standardnutzung. Sie schätzen damit das reale Benutzerverhalten anders ein als das Benutzerverhalten gemäss Standard. Auch die tatsächlich gelieferten Wärmemengen sind bekannt, siehe dazu Unterkapitel 2.3.

Beim Warmwasser ist die Sachlage anders. Hier wurde in den meisten Fällen in etwa Wärme gemäss Standardbedarf (SIA 380/1) bestellt.

Weitere Hinweise zu einem Vergleich von erwartetem zu Standardbedarf gibt auch eine Studie, welche die berechneten Standardverbräuche von Mehrfamilienhäusern mit geänderten, realistischerem Nutzerverhalten simuliert hat [2]. Diese Simulationen können als «erwarteten» Bedarf interpretiert werden. Dabei wurde eine Raumtemperatur von 23°C, ein offenes Kippfenster pro Wohnung und ein häufig aktivierter Sonnenschutz angenommen. Der Heizwärmebedarf mit realistischerem Benutzerverhalten lag mit statischer Modellierung 32% höher als der Bedarf unter

Standardannahmen. Insgesamt lag der gemessene Heizwärmeverbrauch im Durchschnitt 44% höher als der Bedarf mit Standardbedingungen. Damit werden rund drei Viertel des Mehrverbrauchs durch ein realistischeres Benutzerverhalten erklärt.

2.3 Erwarteter Bedarf vs. gemessener Verbrauch

Zu diesem Vergleich gibt es in der Schweiz fast keine Analysen. Die oben genannte Studie im Auftrag des Kantons Zürich [8] ist eine Ausnahme. Neben den Daten zum Standardbedarf und erwartetem Bedarf wurden nämlich für die rund 80 Gebäude zusätzlich die tatsächlich verbrauchte Wärmemenge erhoben (Daten eines Wärmeverbands, Erfassung Heizwärme und Warmwasser getrennt). Bei der Heizwärme liegt der gemessene Verbrauch immer höher als der Standardbedarf und fast immer höher als der erwartete Standardbedarf. Letzteres könnte bedeuten, dass das reale Verhalten in den «erwarteten» Werte noch nicht gut abgebildet ist, aber auch, dass ein technischer Gap (Mehrverbrauch) besteht.

Beim Warmwasser ist es bei diesen 80 Gebäuden umgekehrt: der gemessene Verbrauch ist fast immer tiefer als der Standardbedarf (im Durchschnitt 40%) und der erwartete Bedarf. Dies könnte unter anderem darauf deuten, dass die effektive Belegungsdichte tiefer ist als gemäss Standardwerten.

2.4 Übersicht aller Studien

Tabelle 3 zeigt eine grobe Übersicht aller Analysen zum Energie Performance Gap in der Schweiz. Die Aufstellung zeigt, dass für Mehrfamilienhäuser ein sehr geringer bis relevanter Mehrverbrauch ausgewiesen wird. Bei den Einfamilienhäusern zeigen sich auch relevante Minderverbräuche. Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei den Einfamilienhäusern nur Analysen bestehen, die gewichtete Verbrauchsdaten ausweisen und zudem mehrheitlich mit Wärmepumpen beheizt werden. Damit lassen sich keine Rückschlüsse auf den Heizwärmebedarf ziehen. Werden nur die fossil beheizten Gebäude betrachtet, da die Werte wegen des Gewichtungsfaktors 1 am ehesten Hinweise auf den Heizwärmeverbrauch ermöglichen (separate Analyse nur möglich für Studie [3]), zeigt sich auch für Einfamilienhäuser ein Mehrverbrauch.

Gebäude	gemessener Verbrauch	Vergleichswert	Performance Gap	Quelle
386 EFH ²	gewichteter Verbrauch für Heizung, Warmwasser und Lüftung/Klima	gewichteter Grenzwert für Heizung, Warmwasser und Lüftung/Klima	-15%	[3]
54 EFH			+40%	[3]
19 EFH			-43%	[4]
21 EFH			-11%	[4]
42 MFH			+3 bis 9%	[3]
16 MFH			+3%	[4]
18 MFH			+39%	[4]
14 MFH			+20%	[4]
121 MFH			+34%	[5]
65 MFH	Verbrauch Heizwärme	Standardbedarf	+44%	[2]
65 MFH	Verbrauch Heizwärme	erwarteter Bedarf	+10%	[2]
65 MFH	Verbrauch Heizwärme	Grenzwert	+2%	[2]
2'927 Wohnbauten	Verbrauch Heizwärme & Warmwasser	zu Endenergie umgerechneter Standardbedarf	+ 11 bis 13 %	[7]
80 MFH	Verbrauch Heizwärme	Standardbedarf	Mehrverbrauch	[8]
80 MFH	Verbrauch Heizwärme	erwarteter Bedarf	Mehrverbrauch	[8]
28 Wohnbauten	Endenergieverbrauch (inkl. Strom für Geräte)	Grenzwert, in ungewichteten Wert umgerechnet	-4%	[18]

Tabelle 3: Grobe Übersicht aller Analysen zum Energie Performance Gap

Trotz ihrem unterschiedlichen Fokus lässt sich aus den Studien schlussfolgern, dass der reale Wärmeverbrauch von Wohnbauten im Durchschnitt höher ist als der berechnete Bedarf im Energienachweis. Je nach Gebäudetyp und Art des Vergleichs weisen die Studien im Einzelfall Abweichungen vom Planwert zwischen -45% und +45% aus. Die teilnehmenden Akteure schätzen den Unterschied zwischen dem gemessenen Wärmeverbrauch und dem berechneten Standard-Wärmebedarf des Schweizer Gebäudeparks auf zwischen 10% und 20% ein.

2.5 Durchschnitt vs. Einzelfall

Die diversen Studien zeigen zudem, dass unabhängig vom Durchschnitt der jeweiligen Stichprobe einzelne Gebäude sehr hohe Verbräuche ausweisen und die Grenzwerte teilweise massiv überschreiten und andere Gebäude sehr tiefe Verbräuche ausweisen. Zur Illustration dienen zwei Analysen. Eine Analyse von 440 Minergie Einfamilienhäusern zeigt auf, dass diese durchschnittlich

² Die 440 Einfamilienhäuser aus Studie [3] werden hier zur Illustration aufgeteilt auf 386 Gebäude mit erneuerbaren Heizungen (Wärmepumpen und Holzheizungen) und 54 Gebäude mit fossilen Energieträgern. Letztere entsprechen eher einer Messung des Verbrauchs an Wärme, da der Gewichtungsfaktor 1 ist.

einen Minderverbrauch ausweisen [3]. Die Verteilung der Gebäude (siehe Abbildung 6) zeigt, dass es Gebäude mit viel tieferer und viel höherer Energiekennzahl gibt als der Minergie Grenzwert (damals 160 MJ/m²*a). Dasselbe Bild ergibt die Analyse von 94 Neubauten (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Minergie und MuKE), welche im Durchschnitt keinen Performance Gap fand [16].

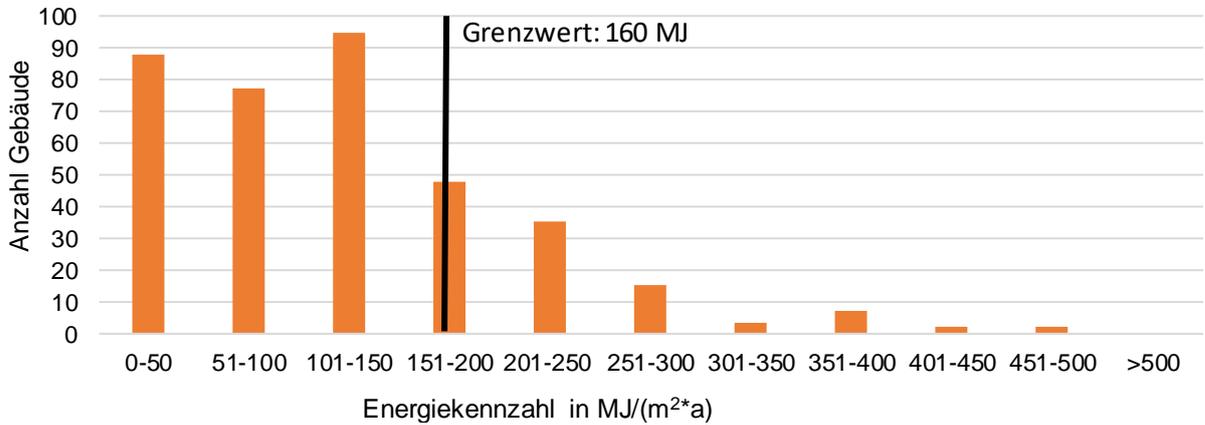


Abbildung 6: Verteilung der gemessenen Minergie Energiekennzahlen von 440 neu gebauten Einfamilienhäusern, die im Durchschnitt den damaligen Minergie Grenzwert von 160 MJ/m²*a unterschreiten [3]

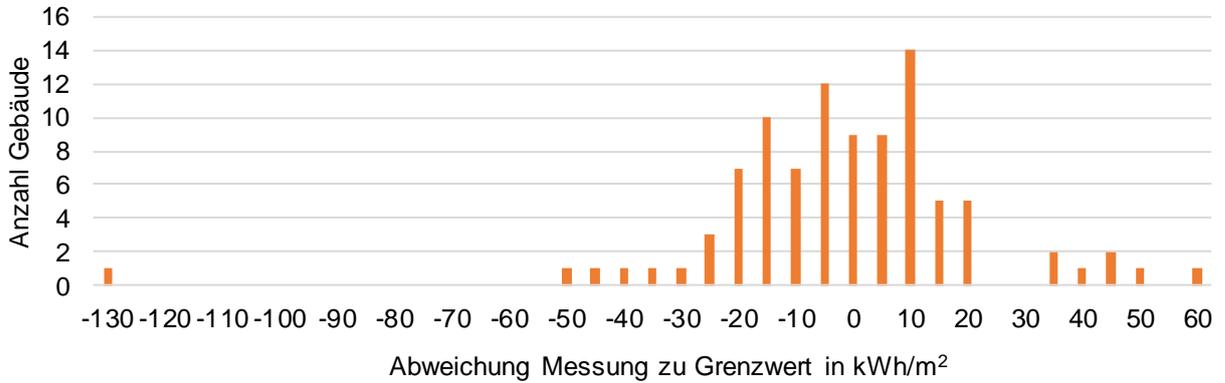


Abbildung 7: Verteilung der Abweichung von Messung zu Grenzwert von Energiekennzahlen von 94 neu gebauten Ein- und Mehrfamilienhäusern [16] (Die Grafik lehnt sich an die Abbildung „Empfehlung 6“ auf S. 72 aus dem zitierten Bericht an, zeigt jedoch nur einen Ausschnitt der Daten, nämlich nur Neubauten und nur Wohnbauten)

3 Welches sind die Ursachen?

Da die meisten Studien einen gesamten Performance Gap erheben, können die vier genannten Komponenten (Verhalten, Technik, Klima, Modellierung) Ursache für die gemessenen Unterschiede sein. Sie werden in den folgenden Unterkapiteln einzeln betrachtet.

3.1 Verhaltens-Gap

Raumtemperaturen

Standardnutzung: Der Standardwert für Wohnen und diverse andere Gebäudekategorien liegt für die Kategorien Wohnen bei 20°C (SIA 380/1:2016). Wird raumweise und nicht pro Gebäude berechnet, wird auf das Merkblatt SIA 2024 verwiesen, welches für Wohnen einen Auslegungswert von 21°C vorsieht.

Reale Werte: Es gibt diverse Untersuchungen zu gewünschten oder realen Raumtemperaturen in Neubauten. In einer grossen Befragung gaben die Befragten im Median eine reale Raumtemperatur von 22°C an, sowie eine gewünschte Temperatur von knapp 22°C [4]. Messungen in 7 Mehrfamilienhäusern zeigen Temperaturen von 22.5 Grad [8]. Eine weitere Messung in 26 Wohnungen ergab eingestellte Temperaturen zwischen 20 und 25 Grad und durchschnittlich 23 Grad [2]. Messungen von rund 40 Passivhäusern im Alpenraum zeigten gemessene Raumtemperatur von 21 bis 24°C [9] [10].

Diese Studien zeigen, dass die realen Raumtemperaturen in Neubauten höher sind als im Standard angenommen. Hier ist zu bemerken, dass eine höhere Raumtemperatur in einem Neubau zu einem tieferen absoluten Mehrverbrauch führt als im nicht oder schlechter gedämmten Altbau.

Wirkung auf realen Verbrauch Heizwärme: Die realen Werte führen im Vergleich zur Standardnutzung zu einem höheren realen Verbrauch. Ein Grad höhere Raumtemperatur führt durchschnittlich zu einem um 13% erhöhten Heizwärmebedarf [2].

Sonnenschutz

Standardnutzung: In der Norm SIA 380/1:2016 werden pauschale Korrekturfaktoren benutzt, um den Einfluss der Verschattung von Fenstern zu berücksichtigen (Horizont, Überhang, Seitenblenden). Der Einfluss von beweglichen Sonnenstoren auf solare Wärmeeinträge wird im Grundsatz nicht berücksichtigt³.

Reale Werte: Sonnenschutzsysteme werden grundsätzlich für den Schutz von Wärmeeinträgen im Sommer konzipiert. Nutzen die Bewohner die Storen hingegen im Winter (z.B. als Sichtschutz, Schutz vor Blendung), wird weniger Wärme ins Gebäude eingetragen als angenommen, der Heizwärmeverbrauch nimmt zu. Eine Studie [11] hat im Winter reale Verschattungsfaktoren von 36

³Die in der Norm eingesetzten Parameter wurden von einer dynamischen Simulation abgeleitet, bei denen ab einer Über-temperatur von 4 Grad angenommen wird, das stark gelüftet wird oder der Sonnenschutz bedient wird (siehe in der Norm Kapitel 3.5.6.2). Im Übrigen wird angenommen, dass der Sonnenschutz geöffnet ist.

Mehrfamilienhäusern und 32 Bürogebäuden erhoben und höhere Verschattungsfaktoren festgestellt. Diese sind nicht von der Orientierung oder Gebäudekategorie abhängig, sondern vom Glasanteil der Fassade und der Art der Steuerung (höhere Verschattung bei manuellen Systemen als bei automatischen). Simulationen zeigten, dass die höhere Verschattung den Heizwärmebedarf erhöht, nämlich um 6 bis 18% bei Standard-Aussenluftvolumenstrom und um 8 bis 25% unter Berücksichtigung einer Lüftungsanlage. Bei kompakten, gut gedämmten Neubauten mit hohem Glasanteil kann der effektive Heizwärmebedarf theoretisch sogar um mehr als 100% zunehmen (bei einfachen Sonnenschutzsteuerungen).

Wirkung auf realen Verbrauch Heizwärme: Die realen Werte führen im Vergleich zur Standardnutzung zu einem höheren realen Verbrauch [11].

Lüftung

Standardnutzung: Der Standardwert für den Aussenluft-Volumenstrom liegt bei $0.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (SIA 380/1:2016).

Reale Werte: Messungen in grossen Genfer Mehrfamilienhäusern zeigen erheblich höhere Werte, nämlich rund $1 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ über die Lüftung plus $0.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ über Fensterlüftungen, also insgesamt $1.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ [12]. Eine Studie zu Lüftungsverhalten in Zürich [13] zeigte, dass in Bauten mit Komfortlüftung 0 bis 9% der Fenster geöffnet waren, in Häusern ohne Komfortlüftung zwischen 25 und 40%. Damit lag der Aussenluft-Volumenstrom höher als gemäss Standardwert angenommen. Die Analyse von sieben einzelnen Gebäuden in einer anderen Studie kam zu ähnlichen Ergebnissen. In Nicht-Minergie Gebäuden lüftete nachts rund die Hälfte aller Bewohner über ein offenes Kippfenster. Bei Minergie Objekten waren es deutlich weniger [8]. Simulationen von Mehrfamilienhäusern mit Komfortlüftung mit nachts einem offenen Kippfenster pro Wohnung ergaben einen um 28% höheren Heizwärmeverbrauch [2].

Eine der Studien [2] zeigte, dass der Mehrverbrauch vor allem in der Übergangszeit (Frühling/Herbst) und nicht in den kältesten Monaten anfällt. Die Autoren vermuten, dass in den Übergangszeiten die Fenster häufiger oder länger geöffnet werden, auch wenn die Heizungen bereits eingeschaltet sind. In den sehr kalten Monaten hingegen werden die Fenster – wegen der sehr kalten Aussentemperaturen – weniger oft geöffnet oder weniger lang offen gelassen.

Wirkung auf realen Verbrauch Heizwärme: Die realen Werte führen im Vergleich zur Standardnutzung zu einem höheren realen Verbrauch.

Personenfläche

Standardnutzung: Der Standardwert liegt bei 60 resp. 40 m^2 Energiebezugsfläche pro Person (EFH/MFH) gemäss SIA 380/1:2016.

Reale Werte: Gemäss Bundesamt für Statistik betrug im Jahr 2015 die Wohnfläche pro Person 53 m^2 in EFH und 42 m^2 in MFH. Umgerechnet auf Energiebezugsflächen ergibt dies 69 m^2 in EFH und 53 m^2 in MFH (Umrechnungsfaktoren gemäss [14]). Eine Analyse von grossen Mehrfamilienhäusern

in Genf ergab auch höhere Werte als der Standardwert, nämlich 53 m² beheizte Fläche pro Person [12].

Wirkung auf realen Verbrauch Warmwasser: Die Bauten sind weniger dicht belegt als angenommen. Dies führt beim Warmwasserverbrauch im Vergleich zur Standardnutzung zu einem tieferen Verbrauch.

Wirkung auf realen Verbrauch Heizwärme: Eine weniger dichte Belegung führt zu weniger Wärmeabgabe der Personen und weniger Abwärme von Geräten pro Quadratmeter und damit im Vergleich zur Standardnutzung zu einem leicht höheren realen Heizwärmeverbrauch.

Präsenzzeit pro Tag

Standardnutzung: Der Standardwert liegt bei 12h pro Tag gemäss (SIA 380/1:2016).

Reale Werte: Es wurde keine Literatur zu realen Präsenzzeiten gefunden. Längere Präsenzzeiten würden zu höheren internen Wärmegewinnen und damit zu einem tieferen Heizwärmebedarf führen.

Wirkung auf realen Verbrauch Heizwärme: Richtung unbekannt.

Verbrauch Warmwasser

Standardnutzung: In SIA 380/1:2016 bestehen Standardwerte pro Quadratmeter, die für Nachweise eingesetzt werden müssen, nämlich 75 MJ/m² für MFH und 50 MJ/m² für EFH. Explizit wird darauf hingewiesen, dass für alle anderen Berechnungen nicht diese Werte, sondern die Werte der Norm SIA 385/2 eingesetzt werden sollen.

Reale Werte: Eine Studie von rund 80 Gebäuden hat gezeigt, dass in der Realität rund 40% weniger verbraucht wird als der Standardwert [8]. Eine andere Studie hat bei der Messung des Verbrauchs in 10 Mehrfamilienhäusern festgestellt, dass der reale Warmwasserverbrauch inklusive Verluste ca. 64 MJ/m² Energie benötigt [2]. Nach Abzug von pauschal 30% für Verluste (Leitung, Speicher, Zirkulation) gibt das einen Verbrauch von 45 MJ/m², der mit dem Standardwert von 75 MJ/m² verglichen werden kann und rund 40% tiefer liegt. Worauf der tiefere Verbrauch im Vergleich zum Standardwert zurückzuführen ist, ist dabei unklar. Es kann am Verbrauch pro Person, aber auch an der Personenfläche liegen (siehe oben).

Wirkung: Der reale Energieverbrauch für Warmwasser ist tiefer als der Standardwert.

Übersicht

Aggregiert führen realistischere Nutzungswerte zu höheren Heizwärmeverbräuchen als mit Standardwerten berechnet (Tabelle 4). Diese Differenz ist den Planern meist durchaus bewusst, da Planer beim Fernwärmelieferanten meist deutlich mehr Heizwärme bestellen als gemäss berechnetem Nachweis nötig wären und auch tatsächlich mehr verbraucht wird als gemäss Nachweis (siehe Studie [8] und Darstellung in den Kapiteln 2.2 und 2.3).

Element Benutzerverhalten	Wirkung des realen Verhaltens auf Bedarf
Raumtemperaturen	↗ (Heizwärme)
Sonnenschutz	↗ (Heizwärme)
Lüftung	↗ (Heizwärme)
Personenfläche	↗ (Heizwärme) ↘ (Warmwasser)
Präsenzzeit	keine Grundlagen
Verbrauch Warmwasser	↘ (Warmwasser)

Tabelle 4: Elemente des Benutzerverhaltens, die sich auf den Verbrauch auswirken

3.2 Technischer Gap

Neben abweichendem Nutzerverhalten als angenommen können auch Fehler in Planung, Bau, Inbetriebnahme und Betrieb von Gebäuden zu höheren Verbräuchen führen. In diesem Fall entstehen Performance Gaps im engeren Sinne.

Fehler in der Planung und im Bau

Gemäss einer Studie gibt es teilweise grosse Unsicherheiten bei den angewendeten Inputdaten für die Berechnung nach 380/1 [12]. Werden falsche Werte eingesetzt, können die resultierenden energetischen Anforderungen an das konkrete Gebäude tiefer zu liegen kommen als gewollt und damit in der Planung eine schlechtere energetische Qualität verursachen.

Zwei Studien haben gezeigt, dass die Wärmeerzeugungsanlagen in vielen Fällen überdimensioniert waren, zum Teil massiv [2] [15]. Dies kann je nach Technologie zu einem tiefen Wirkungsgrad und damit einem höheren Verbrauch führen. In Studie [2] wurde jedoch der umgekehrte Effekt beobachtet: Gebäude mit überdimensionierter Heizleistung hatten einen tieferen Verbrauch. Die Autoren konnten den Zusammenhang jedoch nicht erklären.

Weitere mögliche Fehlerquellen sind unvermeidbare Vereinfachungen im Planungsprozess, hohe Sicherheitszuschläge und *value engineering*, also dass ökonomisch bedingte Entscheidungen wichtiger sind als Planungsentscheide [16].

Im Bau können der fehlende hydraulische Abgleich, Wärmebrücken oder Probleme bei der Luftdichtheit ein Problem darstellen [2].

Fehler in der Inbetriebnahme und während des Betriebs

Mehrere Studien [2][4][16] zeigen, dass Funktions- und Einstellungsprobleme bei Heizung und Warmwasseraufbereitung oder ein ungünstiger Teillastbetrieb zu einem Mehrverbrauch führen können (zu hohe Heizgrenze, zu hohe Vorlauftemperatur). Betreiber haben somit einen grossen Einfluss auf den realen Energieverbrauch. Spezifisch bei Mehrfamilienhäusern wurden sehr hohe Vorlauftemperaturen festgestellt, die zu einem tieferen Wirkungsgrad der Heizung führten.

Ausserdem fehlt oft die nötige Betriebsoptimierung. Informationsverluste im Lebenszyklus eines Gebäudes, der Verzicht auf eine kontinuierliche Betriebsüberwachung, der mangelnder Einbezug der Nutzer und fehlendes oder ungenügendes Monitoring sind die Gründe [16].

3.3 Klima-Gap

Standardnutzung: Die SIA Norm sieht für den Energienachweis vor, dass Klima-Mittelwerte aus der SIA Norm 2028 verwendet werden (Durchschnitt der Jahre 1984 bis 2003). Diese Norm definiert 40 Klimastationen in 12 Klimaregionen. Für den Nachweis ist aus der Region des Gebäudes die Station mit ähnlicher Höhenlage und ähnlichen topographischen Bedingungen zu wählen oder allenfalls die vom Kanton vorgegebene Klimastation. In gewissen Kantonen wird für den Nachweis vorgeschrieben, welche Klimastation zu wählen ist.

Reale Werte: Reale Werte unterscheiden sich natürlich von den Standardwerten, da das Klima am genauen Gebäudestandort meist nicht der gewählten Klimastation entspricht. Zudem entspricht auch das Wetter in einem Jahr nicht dem langjährigen Klimadurchschnitt. Besonders gross sind die Unterschiede, wenn es keine wählbare Klimastation gibt, die der Höhenlage des Gebäude-Standorts entspricht oder der Kanton eine Klimastation vorschreibt, die sich vom Standort stark unterscheidet.

Wirkung auf realen Verbrauch: Die realen Werte können im Vergleich zur Standardnutzung zu einem sehr ähnlichen, relevant höheren oder relevant tieferen Verbrauch führen.

3.4 Modellierungs-Gap

Wird der Bedarf eines Gebäudes berechnet, wird dazu das Gebäude modelliert. Dazu werden zahlreiche Annahmen getroffen. Auch wenn die technischen Gebäudeinformationen und das Benutzerverhalten genau bekannt sind, wird ein Modell die Realität nie genau abbilden. Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 für den Energienachweis gibt es anerkannte Rechenprogramme, die bei gleichen Inputs zu gleichen Resultaten kommen. Trotzdem können Vereinfachungen in der Modellierung dazu führen, dass sich der gerechnete Bedarf und der gemessene Verbrauch systematisch unterscheiden.

Werden darüber hinaus noch andere, zum Beispiel dynamische Modelle zur Berechnung des Heizwärmebedarfs verwendet, ergibt dies bereits auf Ebene Bedarf unterschiedliche Werte. In einer Studie wurde der Heizwärmebedarf für ein Referenzgebäude mit zwei unterschiedlichen Berechnungsprogrammen (Lesosai und dynamisch IDA ICE) ermittelt. Der jährliche Heizwärmebedarf unterscheidet sich bei identischem Nutzerverhalten um 15% [2].

3.5 Andere Ursachen für Unterschiede

Nutzungsgrade bei der Umrechnung von gemessenen Werten

Der gemessene Endenergieverbrauch muss zum Vergleich mit der Bedarfsrechnung in Nutzenergie umgerechnet werden – bei Öl-, Gas- und Holzheizungen über den Nutzungsgrad, bei Wärmepumpen über eine angenommene Jahresarbeitszahl (siehe auch Abbildung 1). Eine Überprüfung der

tatsächlichen Nutzungsgrade und Arbeitszahlen ist sehr aufwändig. Daher werden oft Annahmen getroffen oder es wird gar nicht umgerechnet. Auch dies kann zu Unterschieden zwischen dem gemessenen Nutzenergieverbrauch und dem berechneten Bedarf beitragen.

Klimakorrektur von gemessenen Werten

Selbst wenn das Klima des Gebäudes der Klimastation in der Berechnung entspricht, muss der Messwert eines Jahres «klimakorrigiert» werden, da sich die Witterung von einem Jahr zum nächsten unterscheidet. Wird also ein gemessener Verbrauch nicht klimakorrigiert, kann das die Ursache für Unterschiede im Vergleich zum Standardbedarf, Grenzwert oder erwartetem Wert sein. Hinzu kommt, dass es unterschiedliche Methoden zur Klimakorrektur gibt (bspw. Heizgradtage, akkumulierte Temperaturdifferenzen oder angepasste Formen), die zu sehr unterschiedlichen Resultaten führen können [2].

Energieträger und ihre Gewichtung

Eine Analyse von 42 Mehrfamilienhäusern zeigte, dass die Minergie Kennzahl bei fossilen Heizungen ca. 50% höher lag als bei Wärmepumpen [3]. Auch in weiteren Studien [4][5] zeigte sich, dass Gebäude mit Wärmepumpen im Durchschnitt klar tiefere gemessene Minergie Kennzahlen aufwiesen als Gebäude mit Gasheizungen. In dieser Kennzahl wird Erdgas und Heizöl mit dem Faktor 1 gewichtet, Strom für die Wärmepumpe mit dem Faktor 2 und die Umweltwärme mit dem Faktor 0 [17]. Da die Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen meist deutlich über zwei liegen, müssen in mit Gas beheizten Gebäuden zusätzliche Massnahmen (z.B. bessere Dämmung, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) getroffen werden, um denselben Planungswert zu erreichen wie ein mit Wärmepumpe beheiztes Gebäude. Es wird vermutet, dass die bessere Einhaltung der Grenzwerte bei Wärmepumpen-Gebäuden darauf zurückzuführen ist, dass bei diesen Planungswerte deutlich unter dem Grenzwert anstrebt wurden resp. wegen der Gewichtungsfaktoren auch einfacher angestrebt werden können [3]. Ein anderer Grund für die schliesslich höheren gemessenen Verbräuche kann sein, dass sich aufgrund der höheren realen Raumtemperaturen die Heizperiode verlängert und die Heizungen länger im Teillastbetrieb laufen, was sich auf die Effizienz der Gasheizungen negativ auswirkt, auf diejenige der Wärmepumpen jedoch nicht.

Der Energieträger kann dadurch auch einen Einfluss haben auf die Resultate pro Gebäudetyp. In einer Studie [3] lag bspw. der Anteil von fossilen Heizungen bei Mehrfamilienhäusern höher als bei Einfamilienhäusern. Somit kann bei gewichteten Kennzahlen auch der Energieträger eine Ursache sein, dass Grenzwerte eingehalten werden.

Glasanteile der Gebäude

Eine Analyse von sieben Objekten im Kanton Zürich ergab, dass der Energieverbrauch von Gebäuden mit einem hohen Glasanteil deutlich höher liegt als geplant [8]. Eine weitere Studie überprüfte diese Annahme mit einer grösseren Stichprobe und fand keine Korrelation [2].

Gebäudehüllzahl

Wird ein gemessener Verbrauch mit einem Grenzwert verglichen (Pfeile 4 und 6 in Abbildung 1), hängt die Einhaltung des Grenzwertes auch von dessen Definition ab. Kantonale Grenzwerte basieren auf einem Basisgrenzwert pro Gebäudekategorie und einer Grenzwertsteigerung, die mit der Gebäudehüllzahl multipliziert wird. Wenig kompakte Gebäude mit viel Oberflächen dürfen also pro

Quadratmeter Energiebezugsfläche mehr Energiebedarf ausweisen als kompakte Bauten. Eine Analyse von Mehrfamilienhäusern zeigte, dass der Performance Gap Mehrverbrauch in kompakten Gebäuden leicht höher ist in Gebäuden mit hoher Gebäudehüllzahl [2].

3.6 Bedeutung der verschiedenen Ursachen

Es gibt fast keine Studien, die die verschiedenen Ursachen quantifizieren. Eine Studie zu grossen Mehrfamilienhäusern in Genf hat mit Sensitivitätsanalysen den Einfluss unterschiedlichen Benutzerverhaltens untersucht [12]. Dabei zeigte sich, dass Präsenzzeiten und Personenfläche nur einen kleinen Einfluss haben, Raumtemperaturen und das Lüftungsverhalten jedoch einen sehr grossen.

Eine kürzlich durchgeführte Analyse stellte bei 65 Mehrfamilienhäusern fest, dass der gemessene und witterungsbereinigte Heizwärmeverbrauch den mit Standardnutzungsbedingungen berechneten Heizwärmebedarf im Schnitt um 44% überschreitet [2]. Gleichzeitig wurden Sensitivitäten analysiert, indem realistischere Nutzungsbedingungen eingegeben wurden (Raumtemperatur von 23°C, ein offenes Kippfenster pro Wohnung und ein häufig aktivierter Sonnenschutz). Der Heizwärmebedarf liegt bei einer statischen Modellierung 32% höher als der Bedarf mit Standardbedingungen. Die Autoren kommen auf dieser Basis zum Schluss, dass es in ihrer Gebäuestichprobe bei der Berücksichtigung eines durchschnittlich realistischen Benutzerverhaltens keinen technischen Gap gibt, also die Gebäude aus baulicher und technischer Sicht der Planung entsprechen.

Eine nationale Studie [4] liefert zusätzlich qualitative Hinweise und identifizierte bei Einfamilienhäusern stärkeres Lüftungsverhalten als wichtige Faktoren, bei Mehrfamilienhäusern sehr hohe Vorlauftemperaturen und der damit tiefere Wirkungsgrad der Heizung, sowie Einstellungsprobleme und höhere Raumtemperaturen.

4 Zentrale Aussagen

4.1 Zusammenfassung der aktuellen Studien

Grundlagen

- Ein energetischer Performance Gap liegt vor, wenn der gemessene Energieverbrauch eines Gebäudes höher oder tiefer liegt als der berechnete Energiebedarf. Meist beziehen sich Aussagen zum Performance Gap nur auf die Wärme (Heizung und Warmwasser) und Neubauten.
- Je nachdem, welche Werte im Detail miteinander verglichen werden, werden unterschiedliche Komponenten eines Performance Gaps abgebildet (Klima, Verhalten, Modellierung und Technik).
- Je tiefer der Heizwärmebedarf eines Gebäudes desto grössere relative Abweichungen entstehen durch die gleichen absoluten Mehrverbräuche z.B. durch höhere Raumtemperaturen oder offene (Kipp-)Fenster.

Gibt es einen Performance Gap?

- Diverse Studien weisen Performance Gaps aufgrund einer gewichteten Energiekennzahl aus (Mehrverbrauch für z.B. fossil beheizte Mehrfamilienhäuser, Minderverbrauch für Einfamilienhäuser). Aufgrund diverser Faktoren (Annahme JAZ, Gewichtung Energieträger, Anrechnung Erträge Solarenergie) lassen sich daraus keine direkten Rückschlüsse auf Mehr- oder Minderverbrauch des Heizwärmebedarfs schliessen.
- Analysen von 140 Mehrfamilienhaus Neubauten zeigen, dass der gemessene Heizwärmeverbrauch (Wärmeverbund) höher ist als der Standardbedarf (Performance Gap Mehrverbrauch).
- Analysen von fast 3'000 Gebäudeenergieausweisen von neuen Wohnbauten zeigen, dass der gemessene Verbrauch für Raumwärme und Warmwasser gut 10% höher liegt als der Standardbedarf (Performance Gap Mehrverbrauch).
- Der gemessene Wärmeverbrauch für Warmwasser ist im Durchschnitt tiefer als der Standardwert in der SIA Norm 380/1.
- Es ist aus den bestehenden Studien nicht klar, ob es einen technischen Performance Gap gibt oder nicht.
- Es gibt keine Hinweise, dass Gebäude nach kantonalen Vorschriften ihre Grenzwerte besser oder schlechter einhalten als Minergie Gebäude ihre Minergie-Grenzwerte.
- Unabhängig vom Durchschnitt der Neubauten gibt es Ausreisser sowohl nach oben als auch nach unten (sehr tiefer oder sehr hoher Verbrauch).

Ursachen für Performance Gaps

- Durchschnittliche Nutzer von Mehrfamilienhäusern stellen höhere Raumtemperaturen ein, öffnen die Fenster häufiger und nutzen v.a. mangels Blendschutz den Sonnenschutz häufiger als in der Standardnutzung gemäss Norm 380/1. Daher liegt generell der erwartete Bedarf höher als der Standardbedarf.
- Bei den Vergleichen gemessener Verbrauchswerte mit Standardbedarfswerten ist ein grosser Teil des ausgewiesenen Mehrverbrauchs an Heizwärme auf das Nutzerverhalten zurückzuführen.
- Innerhalb der Ursache Nutzerverhalten sind die Raumtemperaturen, das Lüftungsverhalten und der Sonnenschutz die relevanten Elemente.

4.2 Erfahrungswissen der Akteure

Die Akteure wurden gebeten, zentrale Aussagen mit ihrem Erfahrungswissen zu bewerten. Die Akteure stimmten folgenden Aussagen grösstenteils zu:

- Der reale Heizwärmeverbrauch ist im Durchschnitt höher als der Standardbedarf.
- Der reale Wärmeverbrauch für Warmwasser ist im Durchschnitt tiefer als der Standardbedarf (pro Quadratmeter Wohnfläche, die Belegung spielt damit auch eine wichtige Rolle).
- Ein grosser Anteil des Performance Gap Mehrverbrauchs ist auf das Nutzerverhalten zurückzuführen.
- Es besteht im technischen Bereich (Gebäudehülle, Gebäudetechnik) Optimierungspotenzial.
- Es besteht mit grosser Wahrscheinlichkeit im Bereich Gebäudetechnik ein technischer Gap.

Lediglich bei der Aussage «Es besteht im Bereich Gebäudehülle ein technischer Gap» waren sich die Akteure nicht einig und waren teilweise einverstanden, teilweise nicht.

5 Handlungsbedarf

5.1 Probleme und Ziele

Die Akteure waren sich auf den bestehenden Grundlagen einig, dass ein Problem und somit auch Handlungsbedarf besteht. Das Thema wurde in Form eines «Problembaums» dargestellt, welcher nach unten die Ursachen und nach oben die Auswirkungen eines Problems darstellt (siehe Abbildung 8).

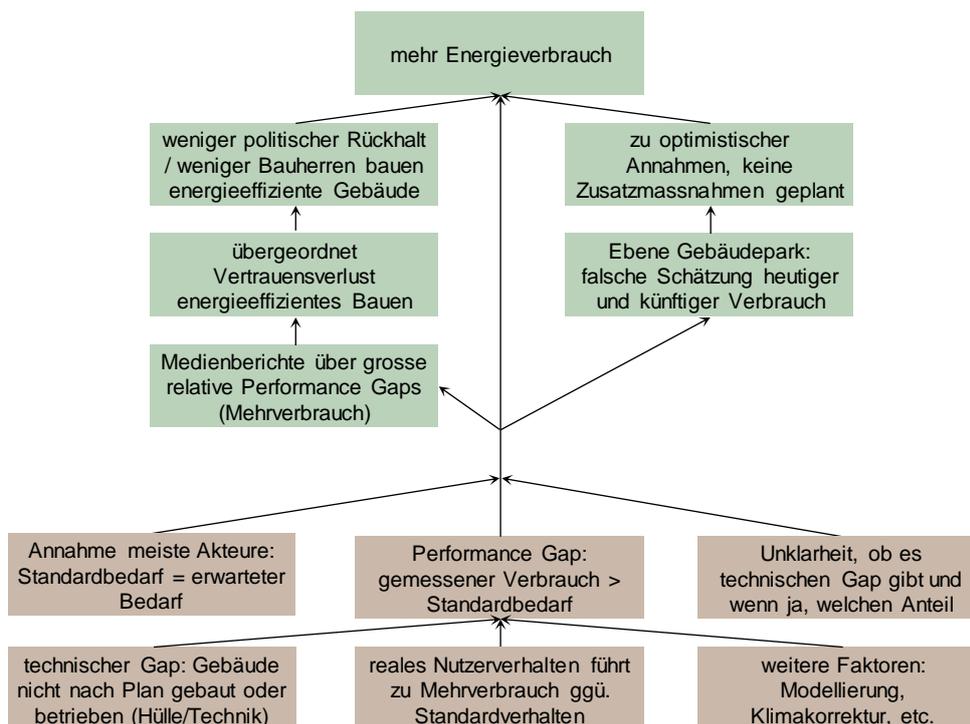


Abbildung 8: Ursachen und Wirkungen des Problems Energie Performance Gap in Form eines «Problembaums»

Der «Problembaum» wurde in einen «Zielbaum» umformuliert. Dies bedeutet lediglich, dass alle Aussagen in ihr Gegenteil verkehrt werden (siehe Abbildung 9). Damit dient der Zielbaum als Anhaltspunkt, Massnahmen zu identifizieren.

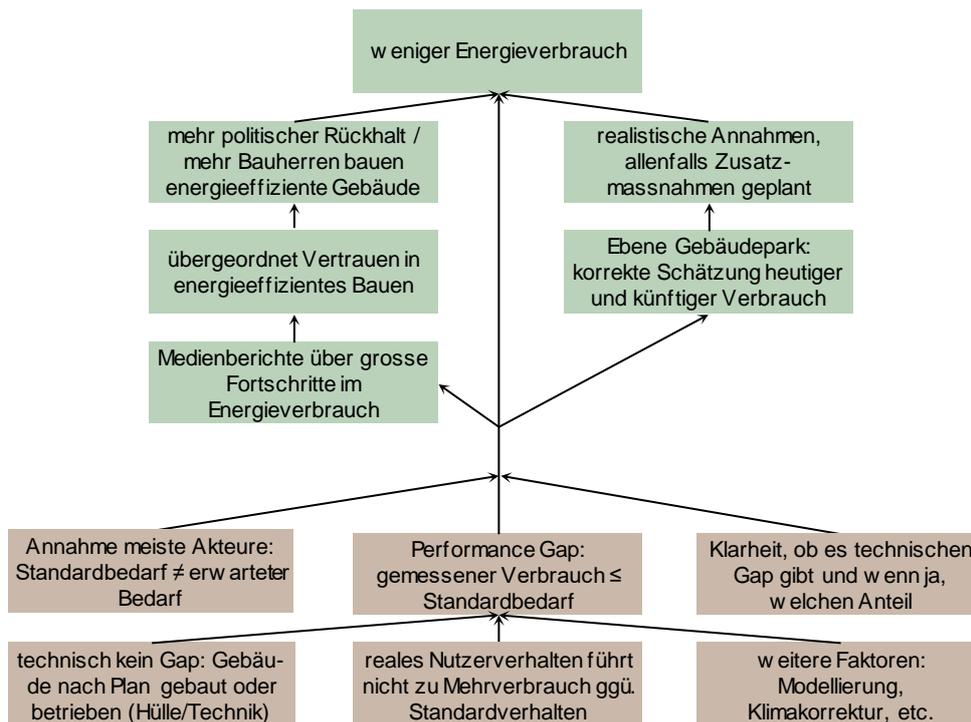


Abbildung 9: Mögliche Ziele des Problems Energie Performance Gap in Form eines «Zielbaums»

5.2 Handlungsfelder

Im Rahmen des zweiten Workshops wurden mögliche Handlungsfelder gesammelt. Es bestand jedoch keine Zeit, zu den möglichen Handlungsfeldern Einigung zu erzielen oder zu konkretisieren. Auf der übergeordneten Ebene **Performance Gap** wurden Monitoring Energieverbrauch (ev. bei Förderung von Anlagen verlangen), Rückmeldungen des Verbrauchs an den Verursacher, die Anzeige von zwei Verbrauchswerten auf dem Energienachweis (Standardbedarf und erwarteter Bedarf) und die Anpassung der Standardwerte in der Norm genannt (siehe dazu Box unten). Zum **technischen Gap** wurden Handlungsfelder wie systematische Inbetriebsetzungen, Aus- und Weiterbildungs-Impulsprogramme für die Planung und Ausführung, die Entwicklung guter, einfacher Nachweistools sowie Betriebsoptimierungen und Anreize dafür genannt. Auf Ebene **Verhaltens-Gap** wurde die Sensibilisierung, die Rückmeldung des Verbrauchs an die Nutzer und bauliche Massnahmen genannt, wie beispielsweise der Einbau von innen liegendem Blendschutz, damit dazu nicht der aussenliegende Sonnenschutz genutzt wird, der dazu führt, dass weniger solare Wärme ins Gebäude dringt. Im Bereich **Forschung** wurden diverse Inputs gegeben, die im nächsten Unterkapitel aufgeführt werden. Schliesslich wurde Handlungsbedarf im Bereich **Kommunikation** gesehen. Dazu gehört es, Ursachen und Zusammenhänge aufzuzeigen, Forschungsergebnisse präzise zu veröffentlichen, gute und schlechte Beispiele umfassend darzustellen und in den Kontext zu stellen.

Anpassung der Norm?

Die Analysen zeigen, dass die Standardannahmen zum Benutzerverhalten nicht (mehr?) der Realität entsprechen. Daher wurde die Anpassung der Norm als Massnahme kontrovers diskutiert. Dafür spricht, dass die Standardwerte heute in Neubauten tatsächlich nicht mehr der «Standard» sind, dass dann der Standardbedarf und der erwartete Bedarf häufiger übereinstimmen, es weniger gemessene Performance Gaps gäbe und die Verbrauchsschätzungen auf Ebene Gebäudepark besser stimmen würden. Dagegen spricht einerseits, dass damit die ungewollte Botschaft verknüpft ist, dass es richtig ist, wärmer zu heizen, übermässig zu lüften und den Sonnenschutz statt einen Blendschutz zu nutzen. Andererseits müsste eine Anpassung Hand in Hand mit einer Anpassung der Grenzwerte in allen kantonalen Energiegesetzen, bei Minergie und GEAK, etc. erfolgen. Denn werden die Standardwerte angepasst und in die Bedarfsrechnung eingesetzt, resultiert ein höherer berechneter Energiebedarf. Würden die Grenzwerte bestehen bleiben, würden die Anforderungen an die Gebäude ohne politischen Konsens verschärft werden. Um die energetischen Anforderungen an Hülle und Technik beizubehalten, müssten alle Grenzwerte entsprechend nach oben korrigiert werden. Es besteht also selbst bei gut koordiniertem Vorgehen zwischen Normen, Gesetzen und Baustandards die Gefahr, dass die Anpassung der Normwerte am Ende zu erhöhtem Energieverbrauch führt (Legitimierung höhere Innenraumtemperaturen). Dies würde einen enormen Aufwand bedeuten, ohne dass damit ein konkreter Beitrag zu Energieeinsparungen geleistet würde. Ausserdem ist das energetische Niveau von Neubauten bereits sehr gut.

5.3 Wünsche an die Forschung

Die Wünsche an die Forschung waren nicht Hauptfokus der Arbeiten, wurden aber im ersten Workshop am Rande gesammelt.

Prioritäre Fragen an die Forschung: Die Forschung sollte die Forschungsfragen mit der Praxis entwickeln. Prioritär sollte sie folgende Fragen beantworten:

- Besteht im Durchschnitt ein technischer Gap oder nicht?
- Falls ja, welches sind die zentralen Komponenten, die zu einem Gap führen, unterteilt auf Gebäudehülle und Gebäudetechnik.? Wie liessen sich die Probleme beheben?
- Welches sind die Ursachen für die breite Streuung der Resultate einzelner Gebäude?
- Wie kann das Verhalten von Nutzern beeinflusst werden?

Hinweise für Erhebung des Gaps:

- Die Erhebung eines Gaps anhand gewichteter Zahlen erlaubt keinen Rückschluss über einen Gap im Bedarf für Heizwärme oder Wärme für Warmwasser. Massgebend für den Vergleich sollen daher ungewichtete Zahlen sein.

- Für eine saubere Erhebung des Gaps sollen gemessene Werte klimakorrigiert werden und primär mit dem Zielwert gemäss Planung und nicht dem Grenzwert verglichen werden.
- Bei der Klimakorrektur sollen die Effekte der Temperatur und Strahlung beide separat betrachtet werden.
- Bei der Messung des Stromverbrauchs für Wärmepumpen sollen Raumwärme, Warmwasser und Zirkulation getrennt betrachtet werden.
- Die Berichte sollen detailliert Auskunft geben über die verwendeten Definitionen, die Annahmen und das Vorgehen (z.B. Umrechnung Endenergie auf Nutzenergie, Messung Heizwärme vs. Warmwasser, Klimakorrektur, etc.) und das jeweilige Ziel der Studie in den Gesamtkontext der Forschung über Performance Gaps stellen.

Weitere Hinweise:

- Die Hauptresultate der Forschung sollten in den Berichten einfach und verständlich zusammengefasst und kommuniziert werden.
- Anwendungsorientierte Forschung sollte einfache Tools zur Betriebsoptimierung entwickeln.
- Man könnte in der Forschung den sozioökonomischen Auswirkungen einer Normanpassung nachgehen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] SIA 380/1:2009: Thermische Energie im Hochbau. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2009.
- [2] Mojic I., Luzzatto M., Haller M., Lehmann M., Benz M., van Velsen S. (2018): ImmoGap – Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [3] Lenel S., Gemperle S., Bosshard J., Castrilli M., Ehrenzeller P., Mäder S., Schmid C., Walther M. (2004): Praxistest Minergie: Erfahrungen aus Planung, Realisierung und Nutzung von Minergie-Bauten. Studie im Auftrag der Konferenz Kantonalen Energiefachstellen (EnFK).
- [4] Reimann W., Bühlmann E., Lehmann M., Bade S., Krämer S., Ott W., Montanari D., Ménard M. (2016): Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [5] SVW (2016): Energetische Erfolgskontrolle in Mehrfamilienhaus-Neubauten ab 5 Bezüger: Minergie-Standard und MuKE 2008.
- [6] Dettli R., Gsponer G., Kaufmann Y. (2003): Erklärung der kantonalen Unterschiede von Energiekennzahlen bei Neubauten. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [7] Cozza S., Chambers J., Geissler A., Wesselmann K., Gambato C., Branca G., Cadonau G., Arnold L., Patel M. K. (2019): GAPxPLORE: Energy Performance Gap in existing, new, and renovated buildings: Learning from large-scale datasets. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [8] Hässig W., Wyss S., Staubli J. (2015): Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich: Untersuchung Wärmeverbrauchsdaten von Neubauten. Studie im Auftrag des Kantons Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).
- [9] Exner D., Mahlke H. (2012): User habits, impact on energy consumption in passive houses – results of a comprehensive longterm measurement. Project: ENERBUILD, Results 5.4 June 2012.
- [10] Frei B., Reichmuth F., Huber H. (2004): Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [11] Carisch L., Ménard M., Mühlebach M., Talattad M. (2018): SolarGap – Auswirkungen von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [12] Khoury J., Hollmuller P., Lachal B., Schneider S., Lehmann U. (2018): COMPARE RENOVE: du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [13] Kriesi R. (2012): Reales Lüftungsverhalten in Wohnungen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen. Studie im Auftrag des Amtes für Hochbauten Stadt Zürich (AHB).
- [14] Senn M. (2017): Energiebedarfsberechnung Kanton Bern. Aktualisierung 2017. Bericht zu Grundlagen, Methodik, Anpassungen und Resultaten. Studie im Auftrag des Amtes für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern (AUE).
- [15] Furmanský B., Uetz R. (2017): Analyse Dimensionierung Wärmeerzeuger. Studie im Auftrag des Amtes für Hochbauten Stadt Zürich (AHB).
- [16] Frei B., Sagerschnig C., Gyalistras D. (2018): ParkGap – Performance Gap Gebäude. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).
- [17] EnDK und BFE (2009): Gebäudeenergieausweis der Kantone – Nationale Gewichtungsfaktoren.
- [18] Cozza S., Chambers J., Gambato C., Branca G., Geissler A., Patel M. K. (2019): Energy consumption of high-performance buildings: Design vs. Reality