

Dem Prebound Effekt auf der Spur – Differenzen zwischen dem Heizwärmeverbrauch und dem rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarf bei Bestandsgebäuden (Wohnen)

Bei der Energieanalyse von unsanierten Bestandsgebäuden wird in der Schweiz und in Deutschland typischerweise ein Monatsbilanzverfahren zur energetischen Einordnung des Gebäudes verwendet. Die Berechnungsergebnisse werden als Prognoseinstrument für den Heizwärmebedarf (Nutzenergie) und die Bewertung möglicher Sanierungsmassnahmen eingesetzt. Liegt das Berechnungsergebnis höher als die Verbrauchswerte, so kann dies dazu führen, dass unkorrekte Prognosen zur Einsparung gemacht werden.

Der Beitrag zeigt auf, dass diese Abweichungen nicht einem einzigen systematischen Fehler im Berechnungsverfahren gemäß der Schweizer Norm zuzuordnen sind. Vielmehr ist es eine Vielzahl von Gründen, die zu den Abweichungen führt. Die wesentlichen Ursachen sind zu hohe, d. h. zu „schlechte“ U-Werte als Eingabe, zu tiefe Raumlufttemperaturen für das unbeheizte Kellergeschoss und Abweichungen zwischen den Temperaturen der Datenerfassungsperiode und normativen Klimadaten. Die Analyse wird anhand von 33 realen Gebäuden durchgeführt und durch eine Literaturrecherche ergänzt. Es werden Aussagen zur Größenordnung des Einflusses der einzelnen Faktoren gemacht und anhand von Angaben an Beiblatt 1, DIN 18599 diskutiert. Abschließend werden praktische Hinweise zum Vorgehen bei einem Abgleich von Bedarfs- und Verbrauchswerten gegeben.

The prebound effect – differences between heating energy consumption and calculated heating demand for existing buildings.

Swiss and German building regulations propose calculations based on a monthly method to assess the energy efficiency of existing buildings. However, quite often the calculated heating demand deviates from available consumption values. This paper shows that the main reason for such deviations is not a single, systematic fault of the underlying calculation procedure according to the relevant Swiss standard. It is demonstrated that there are a number of possible reasons for the deviations. Among these are too poor U-values used for calculations, too low indoor air temperatures assumed for unheated basements and discrepancies between actual local outside temperatures and ambient temperatures according to "official" climate data sets. The findings of this paper are based upon consumption data of 33 existing buildings, corresponding demand value calculations as well as a literature study. The paper concentrates mainly on residential buildings.

1 Einführung

1.1 Ausgangslage international mit Schwerpunkt Deutschland

Bei der Energieanalyse von unsanierten Bestandsgebäuden wird in der Regel ein einfaches Berechnungsverfahren verwendet. In der EU ist dies z. B. das Monatsbilanzverfahren gemäß EN ISO 13790 [1] mit nationalen Kennwerten. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs (Nutzenergie) dient dazu, Gebäude energetisch einzuordnen und mögliche Sanierungsmaßnahmen zu bewerten. Liegt das Berechnungsergebnis höher als die Verbrauchswerte, so kann dies dazu führen, dass zu optimistische Prognosen zur Einsparung gemacht werden. In der Literatur wird das Phänomen, dass bei Bestandsgebäuden der tatsächliche Energieverbrauch unter dem kalkulierten Energiebedarf liegt, als „Prebound Effekt“ bezeichnet [2].

Die Überschätzung des effektiven Heizenergieverbrauchs von unsanierten Bestandsgebäuden mit Wohnnutzung durch Bedarfsberechnungen wird durch viele Studien in Ländern mit tiefen Wintertemperaturen beschrieben, z. B. [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Als Gründe werden hauptsächlich zu hohe Luftwechselraten, [2], [3], [4], [5], [6], [7] und Innenraumtemperaturen [2], [3], [4], [6], [7], Teilbeheizung der Wohnung [2], [4], [6], [7], fehlerhafte Abschätzung der U-Werte [4], [5], [6], [7], falsche Einschätzung von Wärmebrücken [3], [4], [8], falsche Flächenermittlung [5], [6], [7], unberücksichtigte Nachtabsenkung [6], [7], falsche Annahme der Verschattung [6], [7], falsche Einschätzung anlagentechnischer Daten [6], [7], falsche interne Wärmequellen [6], [7], Unstimmigkeiten beim Warmwasserverbrauch [6], [7] und die Luftdichtheit [4] angegeben. Dass die Abweichungen in der Mehrzahl auf Fehleinschätzungen bei der Berechnung des Bedarfs und bei der Bereinigung der Verbrauchswerte zurückgeführt werden können, belegt [9].

In der Literatur werden bei Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) Abweichungen (HWB-HWV)/HWV zwischen 36% [5], 25–41% (Dena Feldversuch zitiert in [10]), 50% [2], 18–105% [11], 36 und 95% [4] und 100% [12] angegeben. Die Werte gelten bei [2], [4], [5] für Endenergie, bei [12] für Primärenergie, bei [11] für Gas und sind bei [10] nicht definiert.

1.2 Ausgangslage Schweiz

Auch in der Schweiz zeigen Planererfahrungen, dass bei unsanierten Bestandsgebäuden im Bereich Wohnen oftmals der kalkulierte Heizwärmebedarf (HWB) deutlich über dem gemessenen Heizwärmeverbrauch (HWV) liegt. Leider finden sich bis jetzt zum Prebound Effekt gerade in der Schweiz kaum mit Mess- und Berechnungsdaten hinterlegte wissenschaftlichen Veröffentlichungen. In [13] werden für 10 MFH der HWV und der HWB miteinander verglichen. Hier kann kein Prebound Effekt festgestellt werden, allerdings wurde der HWV nicht bei allen Gebäuden klimabereinigt. Da ab 2017 vom Schweizer Bundesamt für Energie einige Projekte zu diesem Thema gefördert werden, sind in den nächsten Jahren mehr Ergebnisse zu erwarten.

1.3 Berechnungsverfahren HWB Schweiz und Deutschland

Grundlage der Berechnung in der Schweiz und in Deutschland ist das in EN ISO 13790 [1] vorgegebene Monatsbilanzverfahren. Dabei werden die Berechnungsansätze der europäischen Norm übernommen, aber landesspezifische Kenndaten bezüglich Konstruktionen, Klimadaten und z.T. Benutzerkenndaten verwendet. Diese finden sich in den nationalen Normen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs wieder. In der Schweiz ist dies SIA 380/1 [14], in Deutschland gibt die EnEV als Berechnungsnormen alternativ DIN 18599 oder DIN V 4106-6 [15] in Verbindung mit DIN V 4701-10 [16], [17] vor. Eine Übersicht über die durch die Verfahren vorgegebenen Nutzungsrandbedingungen zeigt Tabelle 1. Der Vergleich zeigt, dass die Wärmeeinträge in SIA 380/1 geringer sind, die Luftwechselrate tiefer ist und eine Nachtabsenkung nicht berücksichtigt werden kann.

Tabelle 1. Vergleich der Nutzungsrandbedingungen für Wohngebäude nach SIA 380/1 [14], DIN V 4108-6 [15], DIN V 18599-10 [67], DIN V 18599-2 [68] und ISO 13790, Anhang G (informativ) [1].

Anmerkungen: Informationen zu den Flächenbezügen finden sich in der Legende zu Bild 5. Generell ist die EBF etwas niedriger als die BGF.

Die Werte für die Speicherfähigkeit können nicht miteinander verglichen werden.

Verwendete Abkürzungen: k = konditioniert, EBF = Energiebezugsfläche, BGF = Bruttogrundfläche, NGF = Nettogrundfläche, AWF = Wohnfläche

Table 1. Comparison of the boundary conditions for residential buildings according to SIA 380/1 [14], DIN V 4108-6 [15], DIN V 18599-10 [67], DIN V 18599-2 [68] and ISO 13790, appendix G (informative) [1]. Comments: For information concerning the reference surfaces see Fig. 5. Generally speaking, the energy reference surface "EBF" is slightly smaller than the gross floor area "BGF". Values for the thermal capacity cannot be compared with each other.

Abbreviations used: k = conditioned, EBF = energy reference surface, BGF = gross floor area, NGF = net floor area, AWF = net dwelling area

	SIA 380/1:2009	DIN V 4108-6:2003-06	DIN 18599-10:2011-12	ISO 13790:2008 (Monatsverfahren)
Nationale Version EN ISO 13790:2008	SN EN ISO 13790:2008	DIN EN ISO 13790:2008	DIN EN ISO 13790:2008	–
Raum-Solltemperatur	20°C	19°C	20°C	20°C
Nutzungszeit täglich	12 h	17 h	17 h	12 h
Interne Wärmequellen EFH	22,2 kWh/(m ² _{EBF} a) 61 Wh/(m ² _{EBF} d)	89 Wh/(m ² _{AWF} d) 125 Wh/(m ² _{BGF} d)	50 Wh/(m ² _{AWF} d) 70 Wh/(m ² _{BGF} d)	20 kWh/m ² _{BGF} (k) 56 Wh/(m ² _{BGF} d)
Interne Wärmequellen MFH	27,8 kWh/m ² _{EBF} a 76 Wh/(m ² _{EBF} d)	89 Wh/(m ² _{AWF} d) 150 Wh/(m ² _{BGF} d)	100 Wh/m ² _{AWF} d 169 Wh/(m ² _{BGF} d)	30 kWh/m ² _{BGF} (k) 82 Wh/(m ² _{BGF} d)
Reduktionsfaktor	0,7	–	–	0,7
Luftwechselrate	0,7 m ³ /(h m ² _{EBF}) ca. 0,38 h ⁻¹ (Bezug NGF)	0,7 h ⁻¹ /0,6 h ⁻¹ (ohne/mit Nachweis Luftdichtheit (n ₅₀ ≤ 3 h ⁻¹) bei freier Lüftung Bezug Nettovolumen)	0,6 h ⁻¹ inkl. Infiltration, (n ₅₀ ≤ 3 h ⁻¹) Bezug Nettovolumen	0,7 m ³ /(h m ² _{BGF}) (k) 0,38 h ⁻¹ (Bezug NGF)
Speicherfähigkeit (Schwer)	1390 Wh/(m ² _{EBF} K)	50 Wh/(m ³ K) × V _e	130 Wh/(m ² K) × A _B	kein pauschaler Wert
Abminderungsfaktoren (geg. unbeheizt)	b-Werte (Abweichungen zu DIN V 4108-6) oder b-Werte nach EN ISO 13789	F _x oder b-Werte nach EN ISO 13789	Verweis auf EN ISO 13789, gleiche F _x Werte wie DIN V 4108-6	Verweis auf EN ISO 13789
Einbezug Nachtabsenkung möglich?	nein	ja	ja	ja
Verschattungsfaktor	Differenzierte Ermittlung	Differenzierte Ermittlung	Differenzierte Ermittlung	Differenzierte Ermittlung

1.4 Verfahren zum Abgleich HWB und HWV Schweiz und Deutschland

Mögliche Abweichungen zwischen Berechnung und Messdaten bei Bestandsgebäuden sind sowohl den Verfassern der DIN 18599 als auch jenen der SIA 380/1 bewusst. Ein Abgleich der Berechnungsdaten an die Messdaten ist grundsätzlich mit jedem Berechnungsverfahren – sobald keine normativen Eingangsdaten mehr verwendet werden – nicht mehr einem behördlichen Nachweis. In Deutschland gibt DIN 18599 im Beiblatt 1 [18] ein ausführliches Verfahren zum Bedarfs-/Verbrauchsabgleich vor. Das Dokument bezieht sich gleichermaßen auf Wohn- und Nichtwohngebäude, sowie Neu- und Bestandsbauten. Es wird der Bilanz Einfluss einzelner Faktoren und Rechengrößen bewertet (z. B. Nutzungsrandbedingungen, geometrische Daten, anlagentechnische Parameter). Dabei werden fünf Abstufungen zwischen „sehr gering“ und „sehr hoch“ gewählt. Diese Einstufungen geben „den groben Trend“ wieder und „erfolgten durch Fachleute“ [18]. Die genannten Faktoren folgen der Systematik der DIN 18599, es gibt sehr viele Angaben zu anlagentechnischen Parametern.

In der Schweiz sieht SIA 380/1 in Abschnitt 0.3.2 für den Abgleich der Berechnung an Messdaten z. B. bei Gebäudeerneuerungen das Folgende vor: Die Verwendung der Klimadaten für die Messperiode und/oder bestbekannte Werte für den Standort, sowie bei der Nutzung die bestbekanntesten Werte für das Objekt. Es werden keine Werte vorgeschlagen.

Die Beurteilung von Bestandsgebäuden mit dem Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK) erfolgt auf Basis SIA 380/1 mit Standardwerten und mit Ausnahme des Luftwechsels ohne Berücksichtigung objektspezifischer Nutzungs- oder Klimaeinflüsse. In Deutschland werden beim Energieausweis für Gebäude gemäß EnEV die Verbrauchsdaten mithilfe eines standortbezogenen Klimafaktors bereinigt [19].

2 Vorgehen

2.1 Fragestellungen und Gebäude

Bezogen auf das in der Schweiz verwendete Monatsverfahren ist zu klären, ob der Prebound Effekt bei Bestandsgebäuden aufgrund des Berechnungsverfahrens auftritt, oder ob er auf die mangelhafte Berücksichtigung von nutzungsbedingten oder verlustbedingten Einflussfaktoren zurückzuführen ist. Dazu wird eine Liste der möglichen Gründe für die Abweichungen aufgestellt (siehe Abschnitt 3.2). Die Fragen werden anhand von drei Gebäudegruppen beantwortet, für die mit unterschiedlich großen Messdatenintervallen bzw. Ablesezeiträumen Verbrauchsdaten zur Verfügung stehen. Alle verwendeten Verbrauchsdaten sind bereinigt (Abzug Warmwasser, Nutzungsgrad Wärmeerzeugung, Leitungs- bzw. Verteilverluste, Klimabereinigung). Mit Ausnahme von zwei Gebäuden liegt eine Wohnnutzung vor. Die untersuchten Gebäude sind großteils unsaniert (Ausnahme: teilweise Fensterersatz oder Dämmung von Einzelbauteilen). Ihre Bauweise ist schwer. Die drei Gebäudegruppen sind im Einzelnen:

- Feinanalyse (FA): Für zwei Gebäude (1 × MFH Wohnen, 1 × Büro) liegen detaillierte Messdaten ab Mai 2015 (Lufttemperatur innen, Luftqualität, Luftwechsel, Verschattung), bzw. ab Juni 2015 (Stromverbrauch Büro, interne Lasten) bis April 2016 vor. Die Benutzung Sonnenschutz wurde im März, Mai und August 2015, sowie im Januar 2016 im Bürogebäude aufgezeichnet. Die mittleren U-Werte der Gebäude liegen bei 1,44 resp. 1,10 W/(m² K). Informationen zur Erfassung der Messgrößen gibt Tabelle 2. Zusätzlich zur Berechnung gem. SIA 380/1 gibt es Simulationsmodelle im Stundenverfahren. Die Gebäude stammen aus den Jahren 1894 (Wohnen) und 1951 (Büro).
- Grobanalyse 1 (GA1): Für 11 Gebäude (8 × MFH Wohnen, 2 × EFH Wohnen und 1 × Mischnutzung) sind monatliche Messdaten/Ablesedaten vorhanden, sowie Bedarfsberechnungen gem. SIA 380/1. Die mittleren U-Werte der Gebäude liegen zwischen minimal 0,66 W/(m² K) und maximal 2,5 W/(m² K). Der mittlere U-Wert aller Gebäude liegt bei 1,15 W/(m² K). Fünf der Gebäude wurden zwischen 1879 und 1935 erbaut, sechs der Gebäude zwischen 1951 und 1975.
- Grobanalyse 2 (GA2): Für 20 Gebäude (5 × MFH Wohnen, 15 × EFH Wohnen) liegen jährliche Ablesedaten sowie GEAK Berechnungen vor. Fünf Gebäude wurden vor 1935 erbaut, zwei in den Jahren 1936 bis 1950 und 13 in den Jahren 1951 bis 1988.

Die Verfolgung des realen Nutzerverhaltens in Bezug auf Bedienung Sonnenschutz und Fensteröffnung ist bewusst nicht Schwerpunkt des Projektes, dies betrifft speziell die Gruppen GA1 und GA2. Dafür gelten folgende Begründungen: Auch bei der Untersuchung einer großen Anzahl von Gebäuden [4] liegt der Messwert unter dem berechneten Wert. Hier sollte sich der Nutzereinfluss statistisch aber ausgleichen. Etwas genauer betrachtet wurde das Nutzerverhalten bei den beiden Gebäuden FA (siehe Abschnitt 3.2.4). Hieraus können Hinweise auf eine realistische Variationsbreite des Nutzerverhaltens gewonnen werden und darauf, wie sich die entsprechenden Parameter auf das Berechnungsergebnis auswirken.

2.2 Definitionen

Innerhalb des Projektes wird die Abweichung wie folgt definiert:

$$\text{Abweichung (A)} = \frac{\left(\text{Heizwärmebedarf (HWB)} - \text{Heizwärmeverbrauch (HWV)} \right)}{\text{HWV}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

Ist der Heizwärmebedarf mit Standardwerten berechnet, so wird die Abkürzung HWB_{St} verwendet, sind die Standardwerte korrigiert, gilt die Abkürzung HWB_{Kor}.

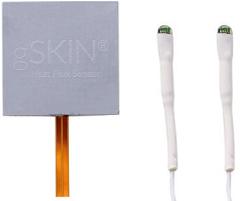
Sowohl die Berechnung des HWB als auch die Ermittlung der Verbrauchswerte sind mit Unsicherheiten behaftet. Da die Verbrauchswerte als Mess- oder Ablesedaten i. d. R. als Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser vorliegen, muss eine Bereinigung vorgenommen werden.

Tabelle 2. Nichtinvasive Messgeräte für die detaillierte Analyse von Bestandsgebäuden

verwendete Abkürzungen: P = Personen, k. A. = keine Angaben. Quellen für Abbildungen: jeweiliger Hersteller, bei Präsenzmelder www.gira.de, bei Kamera: www.brinno.com

Table 2. Noninvasive measuring devices for detailed building analysis.

Abbreviations used: P = persons, k. A. = not specified

Verfahren	Messgröße	Abgeleitete Größe	Bewertung	Messunsicherheit
 Präsenzmelder	Anwesenheit von P. (Signal alle 5 Minuten)	Rückschluss auf interne Wärmelasten P.	Nicht sinnvoll, da Anzahl P. unberücksichtigt	k. A.
 Solarlog 300 meter	Lastgang elektrische Geräte	indirekt: Rückschluss auf Anwesenheit P.: Bezug \geq Bandlast = Anwesenheit P. direkt: Stromverbrauch/interne Wärmelasten	Sinnvoll	Je nach Messgerät bis zu $\pm 10\%$
 Netatmo	CO ₂ , Rel. Feuchte, Temperatur, Schallpegel	CO ₂ : Aussenluftvolumenstrom, Infiltration. Bei Berechnung wird CO ₂ als „Tracergas“ verwendet. Schallpegel: Anwesenheit von Personen	CO ₂ : Kombination aus Messung und Berechnung Unsicherheit ca.: $\pm 50\%$. Schallpegel: zu ungenau	CO ₂ : $\pm 5\%$ (Hersteller) Relative Feuchte und Temperatur: 3–4% (geschätzt) Schallpegel: k. A.
 U-Wert Messgerät, greenTEG	Wärmefluss, Temperatur	U-Wert	Einfache Messung	$\pm 14\%$ (Hersteller)
 Ultraschall-Durchflussmessgerät, Typ: HGLS-2000P	Temperatur, Fließgeschwindigkeit	Heizleistung	Einfache Messung	± 2 bis 5% (typische Werte)
 Kamera	Aufnahme Außenfassade	Bedienung Sonnenschutz, g-Wert	Auswertung, da nicht automatisiert, aufwendig	Genauigkeit hängt von Auswertung ab

Hier gibt es Ermessensspielräume und Fehlerquellen, wie z. B. die Abspaltung WW, der Nutzungsgrad Kessel, Leitungsverluste, Zirkulationsleitungsverluste usw. Aufgrund der genannten Unsicherheiten werden in dieser Studie nur Abweichungen größer $\pm 15\%$ als „signifikante Abweichung“ bewertet.

3 Resultate

3.1 Verbrauchs- und Bedarfsdaten Gebäude

In Bild 1 ist die Abweichung der Gebäude mit den stündlichen Messdaten (FA) und diejenigen mit den monatlichen Messdaten (GA1) dargestellt.

Es wird deutlich, dass von den 13 Gebäuden bei sechs die Prognose nach SIA 380/1 den Verbrauch überschreitet.

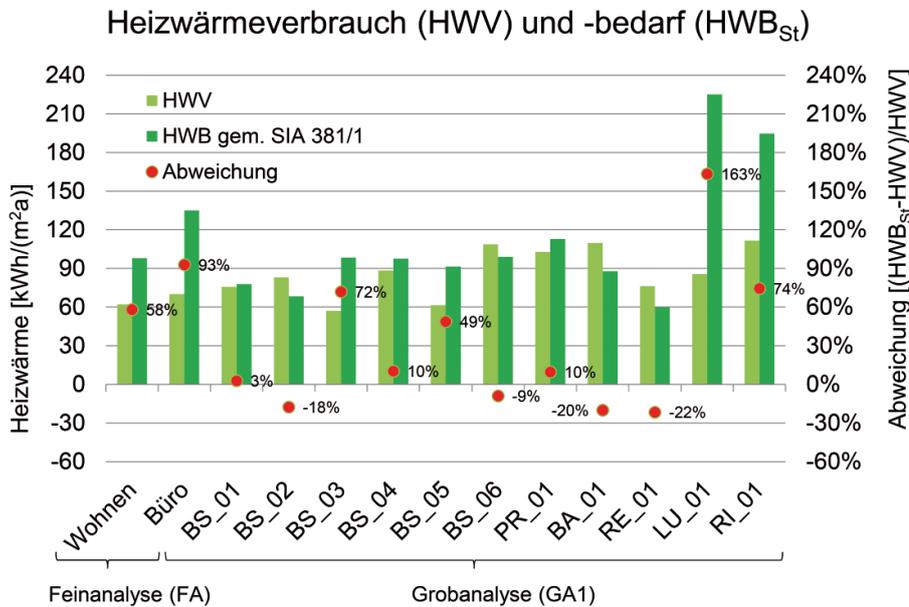


Bild 1. HWV und HWB_{St} (gem. SIA 380/1) für die beiden Gebäudegruppen FA und GA1. MFH: „Wohnen“, BS_01, BS_02, BS_03, BS_04, BS_05, PR_01, BA_01 und RE_01. Das Gebäude BS_06 umfasst eine Mischnutzung mit Verkauf, Büro und Wohnen. EFH: LU_01 und RI_01; Flächenbezug: Energiebezugsfläche, EBF, gem. [66] Fig. 1. Heating consumption and calculated heating demand (according to SIA 380/1 [14]) for two buildings analyzed by detailed measurement data (FA1) and 11 buildings analyzed by monthly data. Apartment houses: BS_01, BS_02, BS_03, BS_04, BS_05, PR_01, BA_01 and RE_01. Building BS_06 has a mixed use of sale, office and living. Single family houses: LU_01 and RI_01. Reference surface: energy reference surface, “EBF”, according to [66]

Die Abweichungen liegen für MFH zwischen +49 und +72%. Sehr hohe Überschreitungen weisen die beiden (freistehenden) EFH und das Büro auf: 74 bis 163%. Drei Gebäude, von denen zwei teilsaniert sind und relativ tiefe mittlere (BS_02: 0,84 W/(m² K), RE_01: 0,66 W/(m² K)) U-Werte aufweisen, verbrauchen mehr Heizwärme als berechnet (zwischen -18 und -22%). Bei vier Gebäuden stimmen HWB_{St} und HWV hinreichend überein (-9% bis +10%).

Aus der Gruppe mit den jährlichen Daten (GA2) überschreitet die Berechnung den Messwert bei 14 Gebäuden (Abweichung zwischen +17 und +167%). Bei sechs Gebäuden stimmen HWB_{St} und HWV genügend gut überein (-5% bis -14%).

Der HWV (exkl. WW) aus allen 17 EFH (GA1 und GA2) liegt im Mittel bei 97 kWh/(m²_{EBF}a), der Mittelwert für die 14 MFH (FA, GA1 und GA2) liegt bei 74 kWh/(m²_{EBF}a).

Bei fünf von 11 Wohngebäuden (FA, GA1) wurde der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung gemessen. Der Mittelwert liegt bei 29,4 kWh/(m²_{EBF}a), die Einzelwerte weichen stark voneinander ab.

3.2 Gründe für die Abweichung

Tabelle 3 fasst die betrachteten möglichen Ursachen für Abweichungen zwischen Verbräuchen und Berechnungen gemäß SIA 380/1 zusammen. Im Verlauf der Analyse konnte durch Testberechnungen eine (qualitative) Eingrenzung vorgenommen werden, wie wichtig der jeweilige Faktor für die Abweichung ist. Im weiteren werden nur diejenigen Faktoren behandelt, welche einen Einfluss von mehr als ±5% auf das Berechnungsergebnis haben.

3.2.1 Vergleich dynamische Simulation versus Berechnung im Stundenverfahren und Monatsverfahren

Grundsätzlich kann das thermische Verhalten eines Gebäudes auf drei Arten berechnet werden (Benennung gemäß [20]):

1. „Ausführliches Simulationsverfahren“ z. B. thermische Simulation mit TRNSYS [21], ESP-r [22], IDA ICE [23] oder ähnlichen Programmen;
2. „Vereinfachtes Stundenverfahren“ gem. EN ISO 13790 [24], z. B. Berechnungen gem. SIA 382/2 [25];
3. „Quasi-stationäres Monatsbilanzverfahren“ gem. EN ISO 13790, z. B. Berechnungen gem. SIA 380/1 [14], DIN V 4108-6 und DIN 18599.

1. und 2. sind dynamische Simulationsverfahren. Am grössten sind vom Berechnungsverfahren her die Abweichungen von 2. und 3. zum ausführlichen Verfahren 1. und hier insbesondere bei den zeitlichen Verläufen. Dies lässt sich einerseits durch die Unterschiede in der Berechnungssystematik erklären und andererseits auch durch die differenzierteren Eingabemöglichkeiten bei der ausführlichen Simulation wie z. B. genauere Modelle für die Bedienung des Sonnenschutzes und die Fensteröffnung.

Nachfolgend wird die Veränderung des HWB auf das Jahresergebnis hin betrachtet. In [26] wird das Monatsbilanzverfahren gem. ISO 13790 mit dem ausführlichen Simulationsverfahren (Programm: TRNSYS) für ein Gebäude verglichen. Der HWB des Monatsbilanzverfahrens liegt 12% unter der ausführlichen Simulation. In [27] wird ein Vergleich zwischen dem ausführlichen Simulationsverfahren, dem Stundenverfahren und dem Monatsverfahren vorgenommen. Die Abweichungen des HWB der Verfah-

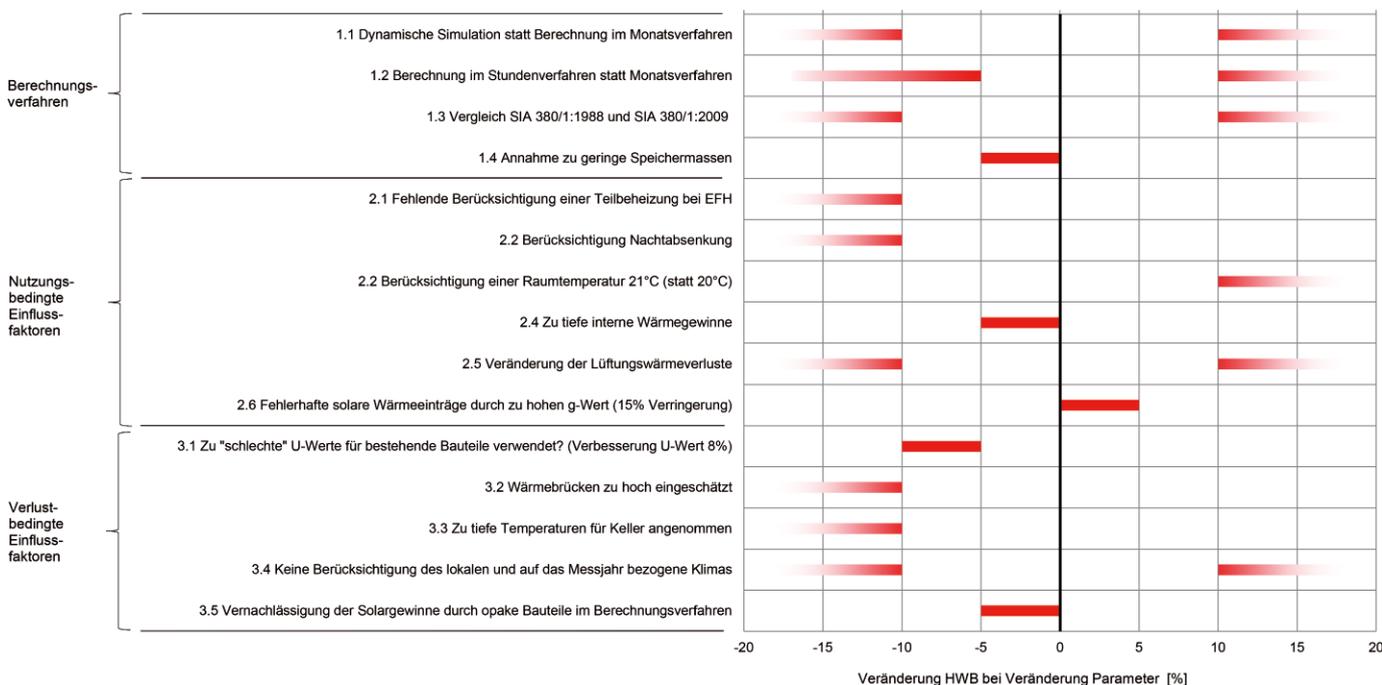
Tabelle 3. Übersicht zu den untersuchten Fragestellungen und welchen Einfluss eine Veränderung des Parameters auf den HWB hat. Für die Untersuchung wurde die Standardberechnung (HWB_{St}) mit der um den fraglichen Parameter veränderten Variante (HWB_{Kor}) verglichen.

Ablesebeispiel „Berücksichtigung Raumtemperatur 21°C“: Werden als Raumtemperatur 21°C statt 20°C angenommen, so hat dies einen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse und führt dazu, dass der HWB_{Kor} um mehr als 10% steigt.

Mit Ausnahme der Punkte 1.1, 1.2, 2.1, 2.4 und 3.5 wurden die Testrechnungen mit den Gebäuden BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01 durchgeführt. Für die Punkte 1.1 und 1.2 werden Werte aus einer Literaturrecherche gegeben. Punkt 1.2 wird außerdem bei den Gebäuden aus FA analysiert. Punkt 2.1 und 2.4 wurde für die Gebäude LU_01 und RI_01 (Punkt 2.1 auch für BS_02 und BS_03) berechnet und Punkt 3.5 wurde exemplarisch für das Bürogebäude (FA) untersucht.

Table 3. Overview of possible impact factors on the calculated heating demand and how the heating demand is influenced if the impact factors change. Comparison of the normative calculation (HWB_{St}) with the calculation including the modified parameter (HWB_{Kor}). Example: „taking into account a room temperature of 21°C“: If the calculation is based on 21°C instead of 20°C, the corrected heating demand (HWB_{Kor}) rises by more than 10%.

Except case 1.1, 1.2, 2.1, 2.4 and 3.5 the calculation examples are based on the buildings BS_02, BS_03, PR_01 and RE_01. For cases 1.1 and 1.2 data are taken from the literature research. Additionally, case 1.2 was calculated with two buildings (FA). Cases 2.1 and 2.4 were calculated for LU_01 and RI_01 (case 2.1 also for BS_02 and BS_03). Case 3.5 was examined with one office building (FA).



ren bezogen auf die Simulation bleiben bei $\pm 10\%$. Ein Vergleich zwischen einer ausführlichen Simulation (HELIOS-XP [28]) und Berechnungen gem. SIA 380/1:2009 zeigt für Wohngebäude der Baualtersklasse 1950 – 1980 an drei Klimastandorten ohne Einsatz eines Sonnenschutzes Abweichungen von bis zu $\pm 10\%$ [29]. Eigene Untersuchungen zeigen, dass bei zwei Gebäuden (FA) zwischen Monatsverfahren und Stundenverfahren ein Unterschied zwischen -6 und -10% auftritt (Basis des Vergleichs: Monatsverfahren, HWB_{St}).

3.2.2 Bilden ältere Berechnungsverfahren Bestandsgebäude besser ab?

Es kann vermutet werden, dass ältere Berechnungsverfahren zur Bestimmung des HWB Bestandsgebäude nicht exakter aber passender abbilden, da Annahmen und Standardwerte für ein tieferes Wärmedämmniveau gelten. Diese Hypothese wird durch einen Vergleich der ersten Version von SIA 380/1:1988 [30] mit der zur Projektbearbeitungszeit gültigen Fassung aus dem Jahr 2009 überprüft. SIA 380/1:1988 ermöglichte es erstmals, den HWB mittels

eines einfachen Energiebilanzmodells im Jahres- oder Monatsbilanzverfahren zu berechnen. Der Vergleich der Normen SIA 380/1:1988 und SIA 380/1:2009 zeigt, dass große Differenzen in den folgenden Bereichen liegen:

- Transmissionsverluste: In SIA 380/1:2009 werden strengere (größere) b-Faktoren verwendet. SIA 380/1:1988 sieht für Kellergeschosse mit ungedämmter Decke eine Temperatur von 12°C vor. Dass dies der Realität bei Gebäuden mit ungedämmter Kellerdecke recht nahe kommt, zeigt Abschnitt 3.2.8. Wärmebrücken müssen gemäß SIA 380/1:2009 erfasst werden, in SIA 380/1:1988 waren „unvermeidbare“ Wärmebrücken über einen Zuschlag auf den U-Wert (damals k-Wert) zu erfassen [31]. Nach dem Stand der Praxis war die Berücksichtigung eines solchen Zuschlags wohl eher nicht die Regel.
- Solare Gewinne: Hier sind die Verschattungsfaktoren gem. SIA 380/1:2009 strenger (kleiner), dies trifft insbesondere auf Südfassaden mit Balkonen zu. Der verwendete Ausnutzungsfaktor ist in SIA 380/1:2009 im Vergleich zur alten Norm ebenfalls anders ermittelt, in Summe jedoch höher.

Beispielrechnungen mit vier Gebäuden (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01, alle GA1) zeigen, dass die alte SIA 380/1:1988 die Bestandsgebäude nicht grundsätzlich passender abbildet, als die aktuelle SIA 380/1:2009. Bei Verwendung von SIA 380/1:1988 kommt es gegenüber der Verwendung von SIA 380/1:2009 zu Abweichungen zwischen -12% und $+7\%$ (Basis SIA 380/1:2009). Beide Berechnungen wurden mit Standardeingabeparametern durchgeführt (HWB_{St}).

3.2.3 Berücksichtigung Teilbeheizung, effektive mittlere Raumtemperatur und Nachtabsenkung

Um den Einfluss der Teilbeheizung, der effektiven mittleren Raumtemperatur sowie der Nachtabsenkung auf den HWB zu untersuchen, werden für die Gebäude GA1 nachstehend definierte Standardwerte aus der Literatur für die entsprechenden Gebäudetypen (EFH, MFH) und Baualtersklassen eingesetzt [32]. Das Berechnungsverfahren SIA 380/1 sieht im Gegensatz zur DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 keine Berücksichtigung einer Nachtabsenkung vor. Auch eine Teilbeheizung wird nicht berücksichtigt. Grundsätzlich könnte eine räumliche Teilbeheizung über eine gemittelte Innentemperatur berücksichtigt werden, explizit erwähnt wird diese Möglichkeit in DIN V 18599-2. Es zeigt sich, dass alle drei Bereiche einen großen Einfluss auf das Berechnungsergebnis haben.

Teilbeheizung

Literatur:

Gem. [33] ist davon auszugehen, dass bei Bestandsgebäuden mit einer schlecht gedämmten Hülle das Nichtbeheizen von einzelnen Räumen eine große Auswirkung auf den HWB hat. Bei 50% nichtbeheizter Fläche verringert sich der HWB um ca. 20%. Die Wirksamkeit der Teilbeheizung ist von der Wohnfläche abhängig. Gemäß. [32] wird bei EFH eine Wohnfläche (WF) von $150\text{ m}^2_{\text{WF}}$ angenommen und von 41% unbeheizter Fläche ausgegangen (die genannte WF entspricht gem. [34] ca. $210\text{ m}^2_{\text{EBF}}$, für Definitionen siehe Bild 5). Bei MFH wird bei einer WF von $50\text{ m}^2_{\text{WF}}$ (ca. $85\text{ m}^2_{\text{EBF}}$) von 9% unbeheizter Fläche ausgegangen.

Projekt:

Es werden Minderungsfaktoren gem. [32] verwendet. Bei zwei EFH (LU_01 und RI_01, beide GA1) liegt die Reduktion des HWB_{Kor} zwischen -19% und -21% (nicht beheizte Fläche 43%), bei zwei MFH (BS_01 und BS_02, beide GA1) bei -1% (nicht beheizte Fläche: 9%).

Mittlere Raumtemperatur

Literatur:

Für Bestandsgebäude zeigen die verfügbaren Angaben keine klare Richtung auf. Eine sehr umfängliche Studie verzeichnet die Tendenz, dass bei älteren, unsanierten Wohnbauten (erbaut vor 1977) die mittlere Raumlufttemperatur tiefer ist, als bei Neubauten (erbaut ab 2002) [35]. Die Medianwerte lagen in beheizten Räumen zwischen $19,2^\circ\text{C}$ und $19,5^\circ\text{C}$. In [36] werden für 70 Gebäude mit Baujahr ab 2000 Mittelwerte von 20°C angegeben, in [37] werden für ca. 70 Neubauten 21°C angegeben. In 124 Reihenhäusern (Baujahr 70er Jahre) wurden in den Wohnräumen im Mittel 21°C gemessen (in den Schlafräumen 17°C)

[38]. Bezogen auf den HWV werden in der Literatur grobe Richtwerte gegeben. Gemäss [39] steigert jedes Grad mehr Raumtemperatur den Endenergieverbrauch um 6% (ob hier das Warmwasser herausgerechnet wurde, ist unklar). Eine andere Quelle [36] gibt eine Spannweite von 10 – 20% an. Der absolute Mehrverbrauch wird mit zunehmender energetischer Gebäudequalität immer kleiner, der relative Einfluss nimmt dagegen zu.

Projekt:

Im Rahmen vorliegender Studie beträgt die gemessene Raumlufttemperatur in den beheizten Räumen bei zwei Gebäuden (FA) im Mittel 21°C (im Büro mit Nachtabsenkung). In den Berechnungen bewirkt eine Temperatursteigerung um 1 K einen Mehrbedarf (HWB_{Kor}) zwischen $+10\%$ und $+12\%$ (Bürogebäude FA, BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01, alle GA1). Von der Grössenordnung her deckt sich dies mit der Literatur (siehe oben).

Nachtabsenkung

Literatur:

Je schlechter die Gebäudehülle gedämmt ist, desto wirksamer ist eine Nachtabsenkung. Diese beinhaltet sowohl die Reduktion der Vorlauftemperatur, als auch die Ansteuerung der Thermostatventile (z. B: über einen Programmierung). Den in [32] vorgeschlagenen Faktoren liegt eine Nachtabsenkung der Raumtemperatur auf 15°C während 8 Stunden zu Grunde [33]. Diese Annahmen sind plausibel: Für Wohngebäude, die vor 1990 erbaut wurden, empfiehlt [39] eine Absenktemperatur von 16°C , als Zeitraum für die Absenkung eine Stunde vor der Nachtruhe bis eine Stunde vor dem Aufstehen.

Projekt:

Bezogen auf das Projekt bewirkt bei vier Gebäuden (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01, alle GA1) eine Nachtabsenkung eine Minderung des HWB zwischen -9% und -12% .

Bei einer Kombination der drei Faktoren können sich die Werte teilweise gegenseitig aufheben.

3.2.4 Nutzerverhalten bezüglich Raumtemperatur, Sonnenschutz und interne Wärmeeinträge

Für die zwei Gebäude (FA) wird eine mittlere Raumlufttemperatur von 21°C aus den Messungen abgeleitet. Die Benutzung des Sonnenschutzes wird beim Bürogebäude (FA) mittels Kamerabildern ausgewertet. Für das Winterhalbjahr ergibt sich eine Korrektur des g-Wertes von 0,70 auf 0,68. Beim Wohngebäude (FA) werden Sichtkontrollen durchgeführt. Die Klappläden standen den Winter über offen. Beim Bürogebäude sind die internen Lasten real 25% höher als normativ, beim Wohngebäude unterschreiten sie die Normwerte dagegen um 67%. Wird all dies berücksichtigt, so erhöht sich der HWB_{Kor} im Vergleich zur Berechnung mit Standarddaten um $+13\%$ (Wohnen), bzw. um $+12\%$ (Büro).

3.2.5 Berücksichtigung von Lüftungswärmeverlusten

Eine Literaturlauswertung zeigt, dass die Messwerte zum Luftwechsel von Wohngebäuden mit Fensterlüftung im Be-

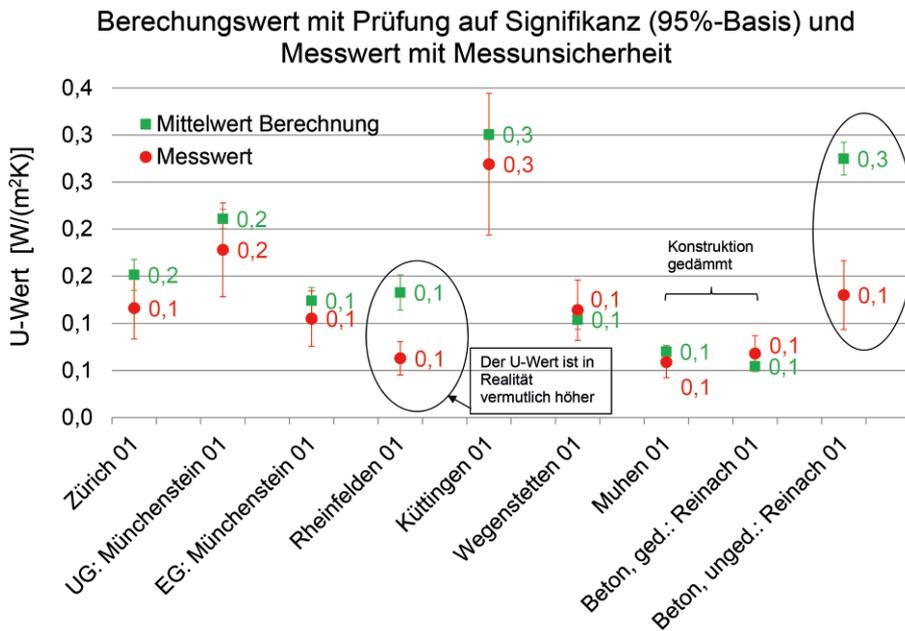


Bild 2. Gemessene und berechnete U-Werte von neun Konstruktionen von Bestandsgebäuden. Die U-Werte wurden im Zeitraum Januar – Februar 2016 gemessen. Die Messdauer betrug jeweils mindestens 72 h. Verwendet wurde das U-Wert-KIT gSKIN der Firma GreenTEG. Messunsicherheit: 14% (Auskunft GreenTEG), nach Auffassung der Autoren ist sie eher höher. Die U-Wert Berechnungen wurden von 10 Energieberatern erstellt. Gegeben waren dabei Informationen zur Konstruktion (Fotos Situation, Pläne und Angaben Schichtaufbau). Nicht vorgegeben war die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe. Die Messergebnisse waren den Energieberatern nicht bekannt.

Fig. 2. Measured and calculated U-values of nine constructions from existing buildings. The measurements were taken from January – February 2016. The measurement period was 72 hours. All measurements were done with the U-value-KIT gSKIN from GreenTEG. Measurement uncertainty: 14% (according to GreenTEG), from the author's point of view it may even be higher. The calculations were done by 10 energy consultants. They were provided with specifications of the construction (photos of the situation, plans and information on the layer structure). Thermal conductivity of the materials and the measurement results were not provided.

reich zwischen $0,25 \text{ h}^{-1}$ und $0,66 \text{ h}^{-1}$ liegen (Messungen aus Literatur: [40–47]). Die Vorgabe von SIA 380/1 für die Wohnnutzung liegt bei $0,29 \text{ h}^{-1}$ (berechnet aus spezifischem Außenluftvolumenstrom $0,70 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ und Annahme lichte Raumhöhe, h_R , 2,4 m). Bezieht man die Angabe auf das Nettoluftvolumen ($\text{NGF} \times h_R$), dann kommt man auf einen Wert von ca. $0,38 \text{ h}^{-1}$ (Umrechnungsfaktor $\text{BGF} \rightarrow \text{NGF}$ ist 1,3, h_R 2,4 m). Im Vergleich zu DIN 1946-6 [48] ist dies ein eher tiefer Wert ($0,70 \text{ h}^{-1}$ für Gebäude ohne, $0,60 \text{ h}^{-1}$ für solche mit bestandener Luftdichtigkeitsprüfung). Die Halbierung des normativen Außenluftvolumenstroms reduziert den Bedarf zwischen -8 und -15% . Eine Verdoppelung erhöht den HWB_{Kor} zwischen $+19$ und $+30\%$ (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01, alle GA1). Bei zwei Gebäuden (FA) liegt der aufgrund Personenpräsenz und CO_2 -Konzentration ermittelte Außenluftvolumenstrom durch Fensterlüftung und Infiltration mit einer Unsicherheit von $\pm 50\%$ im Mittel bei $0,18$ und $0,22 \text{ h}^{-1}$ (Bezug Nettoluftvolumen, h_R 2,9 m). Ob diese vergleichsweise tiefen Werte zufällig oder systematisch sind, bleibt offen.

3.2.6 Zu „schlechte“ U-Werte für bestehende Bauteile als Eingabe

U-Werte

In der Literatur gibt es vereinzelt vergleichende Veröffentlichungen zwischen Messungen und Berechnungen des U-Wertes von unsanierten Bestandsgebäuden. Nachstehend sind Abweichungen zwischen Messung und Berech-

nung für ungedämmte Wände genannt. Aufgrund der Messunsicherheit bei In-situ-Messungen werden hier nur Abweichungen $\geq 20\%$ als signifikant bewertet. In der in [49] beschriebenen Untersuchung aus Luxemburg ergaben sich für sechs gemessene Konstruktionen (MW), die mit baualtersspezifischen Standardwerten des Gesetzgebers, sogenannten Typologiewerten (TW), verglichen wurden, bei sechs Messungen Abweichungen zwischen $+24$ und $+91\%$ ($(\text{TW} - \text{MW})/\text{MW}$). In [50] wurden sechs Konstruktionen mehrmals gemessen und mit Rechenwerten verglichen, es ergaben sich bei drei Konstruktionen Abweichungen zwischen $+32$ und $+93\%$. In [51] lagen die Abweichungen für sechs Wandkonstruktionen zwischen $+22$ bis $+188\%$. In [13] traten für zehn Messungen bei sechs Konstruktionen Abweichungen zum Rechenwert zwischen -39 und $+116\%$ auf. Gerade bei ungedämmten, schweren Bestandskonstruktionen kann als Tendenz eher eine Überschätzung des U-Wertes durch die Berechnung festgestellt werden.

Bei der eigenen Untersuchung im Rahmen des Projektes ging es einerseits darum, herauszufinden, wie groß der Unterschied zwischen Messung und Berechnung ist. Zum anderen interessierte es, wie groß die Streuung des U-Wertes bei der Berechnung durch unterschiedliche Energieberater ist.

Dabei werden die U-Werte von neun Bestands-Konstruktionen gemessen und diese jeweils von zehn Energieberatern berechnet (Informationen dazu siehe Text im Bild 2). Die Standardabweichung aus zehn Einzelwerten liegt für die Berechnungen zwischen $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Tabelle 4. Übersicht über normative und gemessene, bzw. simulierte Wärmeübergangskoeffizienten

Verwendete Abkürzungen: h_i = Wärmeübergangskoeffizient innen, h_e = Wärmeübergangskoeffizient außen, v = Windgeschwindigkeit
 Table 4. Overview of normative and measured or simulated heat transfer coefficients. Abbreviations used: h_i = heat transfer coefficient interior, h_e = heat transfer coefficient exterior, v = wind velocity

	Quelle [-]	h_i [W/(m ² K)]	h_e [W/(m ² K)]	v [m/s]
SN EN ISO 6946 [53]	[53]	7,7	25,0	4
SN EN ISO 6946	[53]	7,7	12,5	1
SN EN ISO 6946	[53]	77	9,0	0
Messung U-Wert 6 Konstruktionen, (vermutlich) Ableitung Wärmeübergangskoeffizienten aus Luft- und Oberflächentemperatur	[49]	5,6	4,0	diverse
Simulation: Anströmwinkel Fassade 0 bis 90°	[52]	–	15 – 17,5	4

(Reinach 01: Beton gedämmt) und 0,34 W/(m² K) (Reinach 01: Beton ungedämmt). Bei sieben von neun Konstruktionen liegen die berechneten U-Werte über den gemessenen. Die Abweichungen der Messwerte von den Mittelwerten aus den Berechnungen (B) liegen zwischen 12 und 111 % ((B – MW)/MW). Auf 95 %-Basis ist die Abweichung zwischen dem Messwert und dem Mittelwert der Berechnung allerdings nur bei zwei U-Werten signifikant. Die eigenen Untersuchungen bestätigen die Annahme, dass die U-Werte bei ungedämmten Bestandskonstruktionen eher höher (d. h. schlechter) angenommen werden, als dies eine Messung ergibt.

Äußerer Wärmeübergangskoeffizient

Tabelle 4 zeigt Mess- und Berechnungsergebnisse für Wärmeübergangskoeffizienten. Dass der normative äußere Wärmeübergangskoeffizient h_e sehr „konservativ“ ist, zeigen Simulationen, die den Wärmeübergangskoeffizienten für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten und Anströmwinkel berechnen [52]. Dem normativ vorgesehenen äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von 25 W/(m² K) liegt als Annahme eine Windgeschwindigkeit von $v = 4,0$ m/s zugrunde [53]. Zum Vergleich: die mittlere Windgeschwindigkeit für das DRY Zürich [54] ist während der Heizperiode (15.10 – 15.04.) zu 10% > 6 m/s, liegt zu 19% im Intervall $3,1 \text{ m/s} < v < 5,9 \text{ m/s}$ und ist zu 71% < 3,0 m/s.

Setzt man die Windgeschwindigkeit auf „0“, so ergibt sich bei der in [53] beschriebenen Berechnungssystematik für h_e ein Wert von ca. 9,0 W/(m² K). Werden die mittleren berechneten U-Werte aus Bild 2 entsprechend korrigiert, so reduziert sich die mittlere Abweichung zwischen Berechnung und Messung von 32% auf 19%. Sollen U-Werte von Bestandskonstruktionen weniger streng berechnet werden, so ist die Korrektur von h_e eine Möglichkeit, die dann allerdings von den normativen Vorgaben abweicht.

Beispielrechnungen für vier Gebäude zeigen, dass sich die U-Werte im Mittel um 8% verbessern, wenn man die Windgeschwindigkeit auf „0“ setzt (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01, alle GA1). Dieser reduzierte U-Wert führt bei 4 Gebäuden zu einer Verringerung des HWB_{Kor} zwischen –4 und –8%.

3.2.7 Wärmebrücken zu hoch eingeschätzt?

Aufgrund der schlechter gedämmten thermischen Gebäudehülle fallen bei Altbauten Wärmebrücken in der Regel

weniger stark ins Gewicht. In der Literatur wird der Wärmebrückenanteil bei den Transmissionsverlusten von Bestandsgebäuden mit Werten zwischen 10% (Bauten vor 1950) [55], 15% (Bauten der 80er Jahre) [56] und 20% [57] angegeben. In [58] wird eine Spanne von 10–20% für mäßige Detailausbildung und 30% für ungünstige Fälle veranschlagt. Für die Gebäude GA1 liegt der Anteil zwischen 3 und 22%. Lässt man die Wärmebrücken in der Berechnung außer Acht, so ergeben sich um –1 bis –19% tiefere HWB_{Kor}-Werte.

3.2.8 Zu tiefe Temperaturen für Keller angenommen (b-Werte)

In sechs Kellern mit ungedämmter Decke zum EG wird im Winter 2015/16 die Kellertemperatur gemessen (Bild 3). Die Außentemperatur liegt in diesem Zeitraum im Wochenmittel zwischen –0,80 und 11,8°C (Basel), bzw. –1,10 und 10,2°C (Zürich). Die Kellertemperaturen liegen in den betrachteten Gebäuden minimal bei 14°C und maximal bei 21°C. Die gem. SN EN ISO 13789 [24] berechneten Kellertemperaturen für ein typisches Bestands-MFH (PR_01) sind mit 4,2 bis 13,8°C deutlich tiefer. Insgesamt liegen die Messwerte zwischen 2,3 und 5,0 K auseinander. Ohne das Gebäude „Reinach 01“ beträgt der Abstand 0,5 K bis 2,5 K. Dies lässt den Schluss zu, dass die Kellertemperaturen der zufällig ausgewählten Gebäude ähnlich sind. Kritisch anzumerken ist allerdings, dass der Messwinter mild war und die Kellertemperatur im März noch sinken kann. In einem weiteren Gebäude wird in den Wintern 2012–2015 zeitweilig gemessen. Im Mittel (pro 2–4-wöchiger Messperiode) beträgt die Temperatur im Keller zwischen 13,1 und 19,9°C. Das entsprechende Mittel der Außentemperatur liegt zwischen 1,40 und 13,8°C. Fasst man alle Messungen zusammen, so liegt die minimale Kellertemperatur bei rund 13°C. Dies entspricht einem b-Wert (in Deutschland: Temperatur-Korrekturfaktor F_x) von ca. 0,5.

Werden bei vier Gebäuden (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01, alle GA1) die Kellerdecken mit einem b-Faktor von 0,5 beaufschlagt, so ergeben sich Minderungen des HWB_{Kor} zwischen –2 und –12%.

Bei den Gebäuden FA liegt der anhand der gemessenen mittleren Kellertemperatur ermittelte b-Wert der Kellerdecke im Bereich von 0,15 bis 0,25. Die Reduktion des HW_{Kor} wäre also nochmals höher.

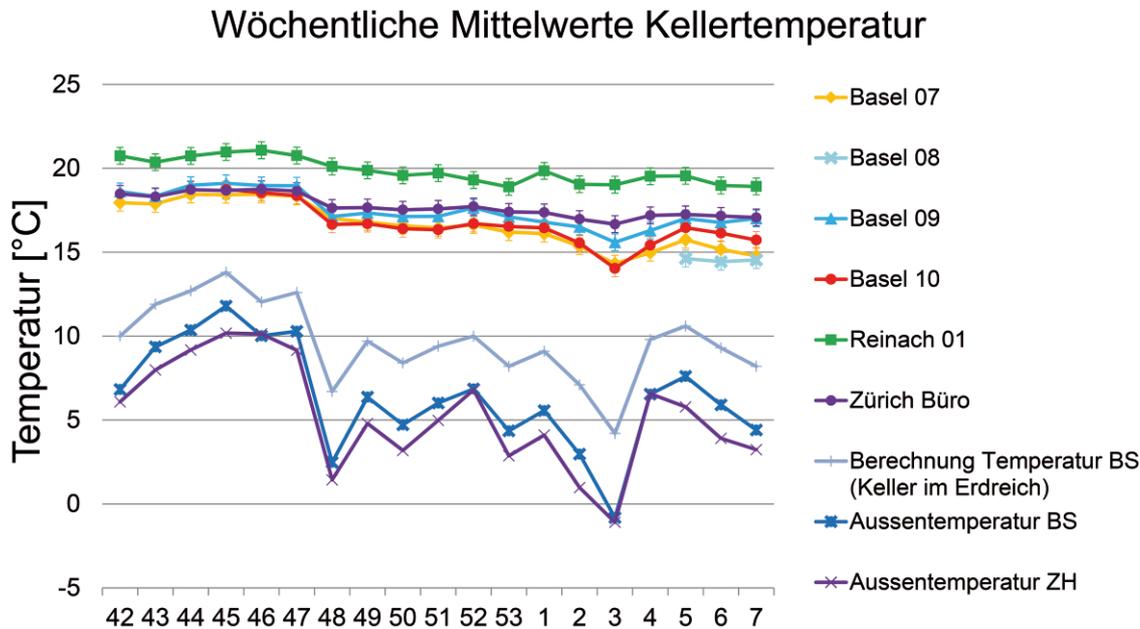


Bild 3. Gemessene Kellertemperaturen vom 12.10.–21.02.2016. Messgerät: Testo Logger 175-H2. Messzyklus alle 60 Minuten. Genauigkeit Geräte: $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (Herstellerangabe). Die Messungen wurden in sechs Bestandsgebäuden mit ungedämmter Kellerdecke durchgeführt. Das Gebäude Reinach 01 hat einen Heizungskeller, der viel Wärme an die umliegenden Räume abgibt. Gemessen wurde im Raum neben dem Heizungskeller. Berechnung Kellertemperatur für Keller im Erdreich für ein typisches Bestands MFH (PR_01) gem. SN EN ISO 13798 [24]

Fig. 3. Measured indoor temperatures in basements from 12th of October 2015 until 21st of February 2016. Measurement device: Testo Logger 175-H2. Measurement cycle: every 60 minutes. Accuracy: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ (manufacturer). The measurements were taken in six existing buildings with uninsulated cellar ceilings. The building Reinach 01 has a boiler room in the basement, which emits a considerable amount of heat to the adjacent rooms, one of which was the measured room. The calculation of the indoor temperature in the basement was done for a typical cellar underground (PR_01) according to SN EN ISO 13798 [24].

3.2.9 Keine Berücksichtigung des lokalen und des auf das Messjahr bezogenen Klimas

Messwerte bzw. abgelesene Werte des Heizwärmeverbrauchs werden immer mit der Einwirkung realer Klimadaten erfasst. Um den temperaturbedingten Mehr- oder Minderverbrauch im Vergleich zu den Standard-Klimadaten berechnen zu können, wird die Heizgradtagsbereinigung angewendet. Diese berücksichtigt allerdings nicht die Strahlung und das lokale Klima (z. B. Hitzeinselnphänomen in Städten).

Für die beiden Gebäude der FA wird die Bedarfsberechnung mit den Klimadaten (Station SMA Zürich) für 2015 durchgeführt. Weiter wird berücksichtigt, dass der Standort der beiden Gebäude in Zürich bei autochthonen Wetterlagen eine Temperaturerhöhung gegenüber der Messstation aufweist [59] (vereinfachte Annahme der Verfasser ganzjährig $+2^\circ\text{C}$). Damit sinkt der HWB_{Kor} um -35 bzw. -39% .

Bei den Gebäuden GA1 werden die Klimadaten der nächstgelegenen Messstation (Basel-Binningen, ca. 35 m höher gelegen als Basel) für drei Gebäude mit Standort Basel für die Jahre 2011/12, 2012/13, 2013/14 (Juli–Juni) verwendet (BS_02, BS_03 und RE_01). In Abhängigkeit von dem jeweils betrachteten Jahr sinkt bzw. steigt der HWB_{Kor} im Mittel zwischen -7% , $+6\%$ und -17% . Dieses Verhalten lässt sich anhand von den mittleren Außentemperaturen für die jeweilige Heizperiode (Oktober–April)

nachvollziehen. Hier weichen die mittleren Temperaturen von den Standard-Klimadaten um $+5\%$, -7% und $+30\%$ ab.

Die Korrektur der Klimadaten bringt eine deutliche Annäherung an den HWV, kann aber nicht die gesamte Abweichung überbrücken.

3.3 Abgleich der Berechnung an die Messdaten

Bild 4 zeigt den Abgleich des HWB an die Messdaten für zwei Gebäude (FA). Eine Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens (Variante „Nutzer“) bewirkt zunächst ein Ansteigen des HWB_{Kor} zwischen 11 und 13% (SIA 380/1). Maßgebend dabei sind höhere Raumtemperaturen und tiefere interne Wärmeeinträge. Erst die Verwendung der Klimadaten für die Messperiode inkl. Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse sowie die Verringerung der Transmissionsverluste (Kellertemperaturen und U-Werte) bewirkt eine maßgebende Annäherung an den HWV.

4 Diskussion

4.1 Einordnung Verbrauch Gebäude

Die meisten Verbrauchswerte in der Literatur werden als Endenergieverbrauch für Heizwärme und Warmwasser angegeben. Daher wird im folgenden Vergleich für die Gebäude des hier beschriebenen Projektes der HWV inkl. WW auf Stufe Endenergie angegeben. Dieser liegt bei allen 17 EFH im Mittel bei $112,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$, der Mittelwert

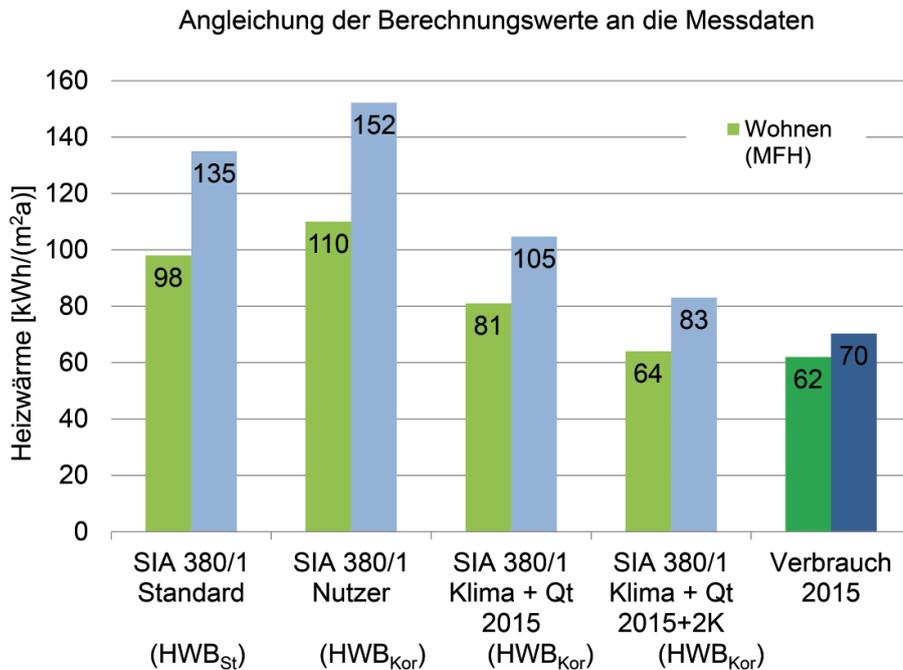


Bild 4: Abgleich der Berechnungswerte an die Messdaten Gebäude FA, Rechnung nach SIA 380/1:2009

„SIA 380/1 Standard“: Berechnung gem. Standardnutzungen SIA 380/1

„SIA 380/1 Nutzer“: Durch das Nutzerverhalten bedingte Änderungen der Parameter Raumtemperatur, interne Wärme-gewinne, Außenluftwechsel.

Im Wohngebäude bedeutet dies: Raumtemperatur 21 °C, Stromverbrauch: 67% < Standardeingabe (S), Außenluftwechsel 42% < S, Sonnenschutz: keine Änderung (immer offen), Personenfläche 62% > S.

Im Bürogebäude bedeutet dies: Raumtemperatur 21 °C, Stromverbrauch 20% > S, Außenluftwechsel 28% < S, Personen-fläche 45% > S, Sonnenschutz: Minderung g-Wert < 3%

„SIA 380/1 Klima 2015“: Temperaturen Keller: 16 °C (Winter)/20 °C (Sommer), gemessene (tiefere) U-Werte verwendet, Klimadaten 2015 für Zürich

„SIA 380/1 Klima 2015+2K“: Berücksichtigung tiefere Höhenlage Standort Gebäude und höhere Außentemperatur (gemessen +2 °C gegenüber Klimastation Meteo-Schweiz)

Fig. 4. Comparison of calculated heat demand and measured heat consumption of buildings FA. Calculation according to SIA 380/1:2009

„SIA 380/1 Standard“: Calculation with standard values for building use according to SIA 380/1

„SIA 380/1 Nutzer“: The user behavior is reflected by changing the room temperature, internal heat gains and air change rate. For the apartment building this means: room temperature 21 °C, electricity consumption 67% < standard value (S), air change rate 42% < S, shading: no change (always open), space per capita: 62% > S. For the office building this means: room temperature 21 °C, electricity consumption 20% > S, air change rate 28% < S, shading: reduction of g-value 3%, space per capita: 45% > S.

„SIA 380/1 Klima 2015“: basement temperatures: 16 °C (winter)/20 °C (summer), measured (lower, e.g. better) U-values used, climate data 2015 for Zürich

„SIA 380/1 Klima 2015+2K“: taking into consideration the lower altitude of the building site and the higher ambient temperature (measurement + 2 °C) compared to the climate station Meteo Schweiz.

für die 14 MFH liegt bei 93,8 kWh/(m²_{EBF} a). Bild 5 zeigt Vergleichsdaten aus der Literatur.

Bezieht man eine Flächenkorrektur in die Überlegungen mit ein (siehe Text zu Bild 5), so zeigen die Daten eine gute Übereinstimmung. Das heißt, die hier ermittelten Verbrauchsdaten liegen im Bereich der Werte aus der Literatur. Einzig der Wert für „Zürich“ weicht ab, er liegt höher.

Der mittlere Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung von fünf Wohngebäuden liegt bei 29,4 kWh/(m²_{EBF} a). Dieser Wert ist höher als Planungswerte für Bestandsgebäude aus der Literatur. Diese liegen zwischen 17,4 kWh/(m²_{BGF} a) [60], 20,8 kWh/(m²_{BGF} a) [10] und 21,8 kWh/(m²_{BGF} a) [61]. Gemessene Verbräuche aus zwei Projekten liegen bei jeweils 16,9 kWh/(m²_{BGF} a) [62], [63]. Bei allen Angaben wurden die Originalwerte gem. [34] flächenkorrigiert.

4.2 Die Einordnung der Abweichung von Verbrauch und Bedarf der Gebäude

In der Literatur werden Abweichungen zwischen dem Bedarf und dem Verbrauch von Bestandsgebäuden zwischen +18 und +105 % angegeben. Im vorliegenden Projekt überschreitet der HWB_{St} der Mehrzahl (20 von 33 Gebäuden) den HWV. Die Überschreitungen liegen dabei im Bereich zwischen +17 % und +167 %. Drei der Gebäude weisen eine negative Abweichung auf (zwischen -18 % und -22 %). Bei 10 der Gebäude stimmen HWB_{St} und HWV genügend gut überein (-15 % ≤ A ≤ +15 %). Bei der Mehrheit, aber nicht bei allen Gebäuden der Stichprobe konnte eine Überschreitung festgestellt werden, der Median des HWB_{St} aller 33 Gebäude liegt 46 % über dem HWV.

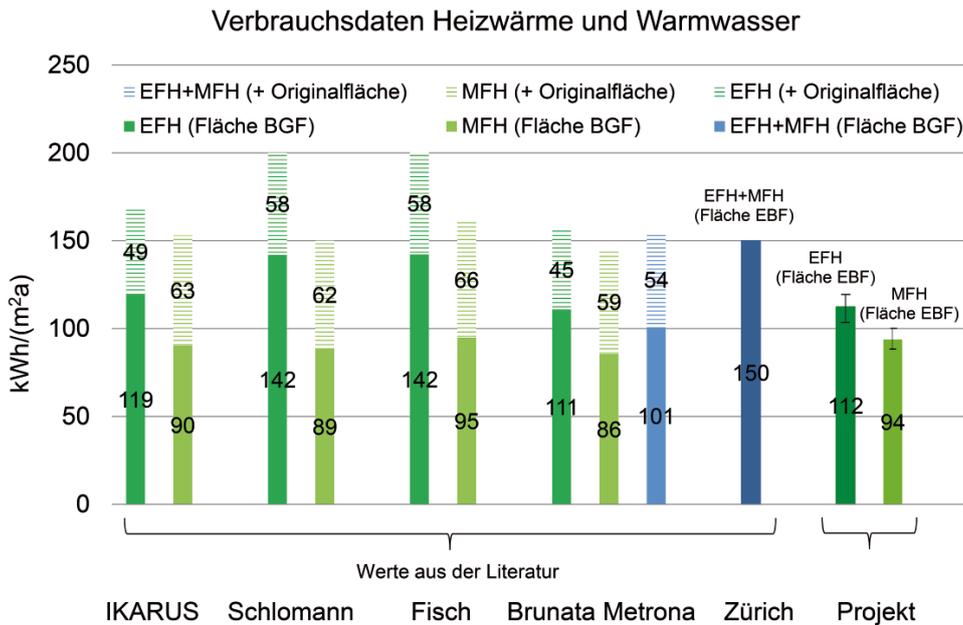


Bild 5. Verbrauchskennwerte aus der Literatur für Wohngebäude. Flächenbezug: Die Daten haben unterschiedliche Flächenbezüge. Die Vollfarbe des Balkens zeigt – wenn nicht anders ausgewiesen – jeweils die Daten, welche mit Korrekturfaktoren gem. [34] auf die Bruttogrundfläche, BGF (Definition siehe [34]) umgerechnet wurden. Die BGF entspricht in etwa der Geschossfläche, GF, gem. [66]. Die Energiebezugsfläche, EBF, ist etwas niedriger als die GF. Bemerkungen zur Datenherkunft: „IKARUS“ Daten aus [69] (Studie, zitiert in [70]): Daten sind auf der Basis von Annahmen zu den Bauteilen mit bestimmten thermischen Eigenschaften berechnet und abgeglichen. Datenangabe für Baualtersklassen, Angabe hier: flächengewichtetes Mittel alle Gebäude vor 1990. Flächenbezug: Wohnfläche

„Schlomann“ [71]: Befragungsergebnisse von ca. 20200 Haushalten. Datenangabe für Baualtersklassen, Angabe hier: flächengewichtetes Mittel alle Gebäude vor 1990. Flächenbezug: Wohnfläche.

„Fisch“ [72]: Wärmeverbrauchskennzahlen von etwa unsanierten 64000 Gebäuden, die aus der Ausstellung von Verbrauchsausweisen der Jahre 2003 bis 2007 ausgewertet wurden. Werte bezogen auf Gebäudenutzfläche, umgerechnet auf Wohnfläche gem. [72]

„Brunata Metrona“ [73]: Insgesamt ca. 240000 Gebäude aus Verbrauchsabrechnungen. Angaben gelten für unsanierte Gebäude. Werte EFH und MFH: Mittelwerte aus den Medianen für gas- und ölbeheizte Gebäude mit einer Wohnfläche < 200 m² (EFH) und > 200–1000 m² (MFH):

„Zürich“ [74]: Erhebung Wohngebäude Kanton Zürich, Baujahr vor 1990, Angabe Median, Flächenbezug EBF.

Fig. 5. Consumption values for dwellings from literature references. Reference surfaces: The data have different reference surfaces. The deep colored bars show – if not otherwise indicated – data converted the into gross floor area, BGF. Correction factors are provided by [34]. Comments on the data:

„IKARUS“ data from [69] (cited in [70]): the data are calculated based on assumptions on thermal characteristics of constructions. The published figures refer to a building categorization regarding the age of the building. The numbers in the figure shown represent the area weighted average before 1990. Reference surface: net dwelling area (“Wohnfläche”)

„Schlomann“ [71]: Survey results of approximately 20200 households. The published figures refer to a building categorization regarding the age of the building. The numbers in the figure shown represent the area weighted average before 1990. reference surface: net dwelling area (“Wohnfläche”)

„Fisch“ [72]: Energy consumption for heating of 64000 unrefurbished buildings. The data comes from an evaluation of energy consumption labels from the period between 2003 and 2007. Values are given for internal floor area (“Gebäudenutzfläche”), converted to net dwelling area (“Wohnfläche”) [72]

„Brunata Metrona“ [73]: Data from the consumption billing of approximately 240000 unrefurbished buildings were used. Values for apartment buildings and for single family houses are mean values of median values for buildings heated with gas and oil and a net dwelling area (“Wohnfläche”) < 200 m² (single family house) und > 200–1000 m² (apartment building):

„Zürich“ [74]: Survey dwelling units Kanton Zürich, built before 1990, median, Reference surface: Energy reference surface.

Die Untersuchung zeigt, dass es in SIA 380/1 keine maßgebliche, systematische Fehlannahme gibt, die alleine für die festzustellenden Abweichungen verantwortlich ist. Die Abweichungen liegen auch nicht an der Art des Berechnungsverfahrens. Bei der Mehrheit der Objekte sind es einige Standardeingabeparameter, die für die Abweichungen nach oben verantwortlich sein können. Neben möglichen Unschärfen bei der Bereinigung von Messwerten und projektspezifischen Eigenheiten (z. B. ungewöhnlich hoher Wärmebrückenanteil) sind als Hauptursachen für die Abweichungen zu nennen: Klimadaten, Nutzerverhalten und konstruktionsbezogene Rechenwerte.

Die Analyse der möglichen Ursachen für die in diesem Projekt festgestellten Abweichungen auf Basis der beiden mit hohem Detaillierungsgrad untersuchten Gebäude FA zeigt dabei zwei Tendenzen:

- Die Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens führt primär aufgrund höherer Raumtemperaturen und einer Reduktion der solaren Wärmegewinne durch den Sonnenschutz zu einer Zunahme des berechneten Heizwärmebedarfs und damit bei nicht wärmedämmten Bestandsgebäuden zu einer größeren Abweichung zum gemessenen Heizwärmeverbrauch.

- Eine messgestützte Anpassung der Kellertemperaturen, U-Werte und der lokalen Außentemperaturen führen hingegen zu einer Reduktion der Transmissionswärmeverluste und damit zu einer deutlichen Verringerung der Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch.

Da die im Projekt verwendete Stichprobe nicht groß ist, kann eine Übertragung der hier gemachten Aussagen auf einen großen Gebäudebestand nur mit Zurückhaltung erfolgen.

4.3 Faktoren für Abweichung in Bezug auf DIN 18599, Beiblatt 1

Tabelle 3 zeigt eine qualitative Bewertung des Bilanzeinflusses einzelner Parameter auf den HWB auf Grundlage der vorgestellten Untersuchungen. Die Bewertung wird anhand von der prozentualen Veränderung des HWB bei Modifikation einzelner Faktoren, wie z. B. „Berücksichtigung Nachtabenkung“ vorgenommen (siehe Abschnitt 3.2). Eine Veränderung um mehr als $\pm 10\%$ wird als „wichtig“ eingestuft. Da in DIN 18599 [18] auch Aussagen zum Bilanzeinfluss einzelner Parameter enthalten sind, ist ein Vergleich mit den hier vorgestellten Erkenntnissen interessant. Dieser Vergleich ist in Tabelle 6 zusammengefasst. Dabei wird der Schlüssel nach Tabelle 5 verwendet.

Insgesamt weichen die aus vorliegender Studie resultierenden Bewertungen und jene von DIN 18599 in 7 von 11 Fällen voneinander ab. Die Gründe dafür lassen sich grob in zwei Kategorien aufteilen:

1. Seitens DIN 18599 nicht definierte (1.4) oder unterschiedliche Vergleichsbasis (3.1, 3.2). Als Beispiel dient Punkt „3.1 Zu „schlechte“ U-Werte für bestehende Bauteile verwendet? (Verbesserung U-Wert 8%)“. Eine starke Veränderung der U-Werte hat einen hohen Bilanzeinfluss. Grundlage unserer Bewertung „mittel“ ist eine Verbesserung der U-Werte von 8%, dies liegt für Bestandsgebäude sicherlich eher im moderaten Bereich.
2. Unterschiedliche Betrachtungsparameter: DIN 18599 umfasst Wohn- und Nichtwohngebäude sowie Bestands- und Neubauten, vorliegende Studie hingegen konzentriert sich schwerpunktmäßig auf unsanierte Wohngebäude (2.3, 2.4, 2.6, 3.3). Exemplarisch sei hier der Punkt „2.3 Berücksichtigung Nachtabenkung“ erläutert. Ein Grund für die unterschiedliche Beurteilung könnte sein, dass sich die Einschätzung von DIN 18599 auf Neu- und Neubauten bezieht. Eine Nachtabenkung ist in der Regel bei ungedämmten Bestandsgebäuden wirksamer als bei Neubauten [64].

Bezüglich der Klimadaten sieht DIN 18599 eine Klimabereinigung der Messwerte vor. In unserem Projekt wird über eine Klimabereinigung hinausgehend empfohlen, Klimadaten, die der Messperiode zeitlich und räumlich entsprechen, zu verwenden und damit ggf. das Hitzeinselphänomen zu berücksichtigen.

Tabelle 5. Vergleich und resultierender Schlüssel zur Bewertung des Bilanzeinflusses gem. DIN 18599 und der eigenen Studie
Table 5. Comparison and resulting ratings according to DIN 18599 and our own research project

Bewertung DIN 18599 „Bilanzeinfluss“	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Bewertung Studie „Veränderung HWB“	± 0 bis 4,9%		± 5 bis 9,9%	$\pm 10\%$ oder mehr	

5 Vorgehen beim Abgleich HWV und HWB_{Kor}

Grundsätzlich ist beim Messwertabgleich, also dem Vergleich des HWB_{St} bzw. HWB_{Kor} mit dem HWV wie folgt vorzugehen.

1. Datenbereinigung vornehmen (siehe Abschnitt 5.1)
2. Wo Abweichungen zu Standarddaten bekannt sind, entsprechende Anpassungen bei der Berechnung vornehmen. Dies beinhaltet z. B.:
 - a. Innentemperaturen (messgestützt) anpassen.
 - b. Beim Nutzerverhalten eine Nachtabenkung oder nachweisbare Teilbeheizung des Gebäudes berücksichtigen.
 - c. Verwendung von Klimadaten (Temperatur- und Strahlungsdaten), die der Messperiode zeitlich entsprechen.
3. Prüfung: überschreitet HWB_{Kor} den HWV um mehr als 15%? Dann weiter gemäß Abschnitt 5.2, unterschreitet HWB_{Kor} den HWV um mehr als 15%? Dann weiter gemäß Abschnitt 5.3.
4. Wir empfehlen, Differenzen, die nicht über plausible Anpassungen von Annahmen zu verringern sind, als solche zu belassen.

Achtung: mit den vorgeschlagenen Anpassungen entspricht die Berechnung nicht mehr den Anforderungen an einen behördlichen Nachweis.

5.1 Hinweise zur Datenbereinigung der Mess- oder Ablesewerte

Bei der Datenbereinigung gilt es folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Nutzungsgrad Wärmeerzeugung
Informationsquelle z. B.: http://www.minergie.ch/media/170209_produktdokument_minergie_p_a_v2017.2_de.pdf (Anhang F, Nutzungsgrade)
- Ermittlung Verluste Wärmeverteilung außerhalb der thermischen Hülle
Informationen z. B. [65], Tabelle 2-1, Bericht zum Download unter: <http://www.iwu.de/downloads/>
- Abspaltung Warmwasserbereitung
Wenn keine Messwerte vorliegen, so kann gem. SIA 380/1 bei EFH ein Wert von $13,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$ und bei MFH ein Wert von $20,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$ angesetzt werden. Da verglichen mit der Literatur (siehe Abschnitt 4.1) der Bedarfswert für EFH niedrig scheint, kann hier ein höherer Wert in Abzug gebracht werden, z. B. $16,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$.
- Heizgradtagsbereinigung
Schweiz: <http://www.hev-schweiz.ch/vermieten/heiz-und-nebenkosten/heizgradtage/>
Deutschland: http://t3.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls

Tabelle 6. Vergleich des Einflusses einzelner Parameter auf den HWB. Bewertung innerhalb dieser Studie und Bewertung nach DIN 18599, Beiblatt 1. Die Bezeichnungen gem. DIN 18599 sowie die Seitenzahlen beziehen sich auf das Beiblatt 1. Verwendete Abkürzungen: k. A. = keine Angaben

Table 6. Comparison of several parameters in regard to their influence on the calculated heating demand. Evaluation within this study and according to DIN 18599, supplement 1. The naming and the page numbers refer to supplement 1. Abbreviations used: k. A. = not specified

	Thema Veröffentlichung	Bewertung Studie	Bewertung DIN 18599
1.1	Dynamische Simulation statt Berechnung im Monatsverfahren	hoch	k. A.
1.2	Berechnung im Stundenverfahren statt Monatsverfahren	hoch	k. A.
1.3	Vergleich SIA 380/1:1988 und SIA 380/1:2009	hoch	k. A.
1.4	Annahme zu geringe Speichermassen DIN 18599: „Wirksame Wärmekapazität der Gebäudezone“, S. 36	gering	mittel
2.1	Fehlende Berücksichtigung einer Teilbeheizung bei EFH DIN 18599: indirekt über „Zonierung“, S. 19	hoch	hoch
2.2	Berücksichtigung einer Raumtemperatur 21 °C (statt 20 °C) DIN 18599: Raum-Solltemperatur Heizung, S. 22	hoch	sehr hoch
2.3	Berücksichtigung Nachtabsenkung DIN 18599: „Zulässige Absenkung der Innentemperatur für reduzierten Betrieb“, S. 33 und „Laufzeitfaktor Nachtabsenkung/-abschaltung“, S. 38	hoch	mittel/gering
2.4	Zu tiefe interne Wärmegewinne DIN 18599: „Wärmeabgabe von Personen, Arbeitshilfen und Beleuchtung bei Wohnnutzung“, S. 22	gering	mittel
2.5	Veränderung der Lüftungsverluste DIN 18599: „Flächenbezogener Mindestaussenluftvolumenstrom, S. 34	hoch	hoch
2.6	Fehlerhafte solare Wärmeeinträge durch zu hohen g-Wert (15% Verringerung) DIN 18599: „Gesamtenergiedurchlassgrad unter Berücksichtigung des Sonnenschutzes“, S. 35	gering	hoch
3.1	Zu „schlechte“ U-Werte für bestehende Bauteile verwendet? (Verbesserung U-Wert 8%) DIN 18599: „Wärmedurchlasskoeffizient des Bauteils“, S. 34	mittel	hoch
3.2	Wärmebrücken zu hoch eingeschätzt DIN 18599: „Länge [...] Wärmebrücke“ und „Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke“, S. 34	hoch	mittel/mittel
3.3	Zu tiefe Temperaturen für Keller angenommen DIN 18599: „Temperaturkorrekturfaktor für Bauteilart“, S. 33	hoch	mittel
3.4	Keine Berücksichtigung des lokalen und auf das Messjahr bezogene Klimas DIN 18599: indirekt über „Witterungsbereinigung“, S. 14	hoch	k. A.
3.5	Vernachlässigung der Solargewinne durch opake Bauteile im Berechnungsverfahren DIN 18599: „Strahlungsabsorptionsgrad (an opaken Oberflächen)“ und „Emissionsgrad für Wärmestrahlung der Aussenfläche“, S. 36	gering	sehr gering/ sehr gering

5.2 HWB_{Kor} überschreitet den HWV

Anpassung Transmissionswärmeverluste

Wenn die Decke zum Keller nicht gedämmt ist, so ist von höheren Kellertemperaturen auszugehen (im Idealfall sollte dies durch eine kurzzeitige Messung überprüft werden). In diesem Fall wird für Keller im Erdreich die Verwendung eines b-Wertes von 0,5 vorgeschlagen. Weiter können die U-Werte mit der entsprechenden Verwendung eines verminderten äußeren Wärmeübergangskoeffizienten h_e etwas „weniger streng“ berechnet werden. Zeigt eine Analyse der vorhandenen Wärmebrücken, dass der Anteil bei einer Standardberücksichtigung für ein Bestandsgebäude zu hoch ist (z. B. Anteil < 15%), so können diese entsprechend dem planerischen Sachverstand reduziert werden.

- Prüfung, ob eine Berücksichtigung des Hitzeinselphänomens gerechtfertigt ist.

5.3 HWB_{Kor} unterschreitet den HWV

Hier empfiehlt es sich, nochmals die Eingabeparameter zu kontrollieren.

Danksagung

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energie, BFE, unter dem Vertrag a SI/501282-01 gefördert: „PRO380: Offene Fragen beim Einsatz der SIA 380/1 als Prognoseinstrument bei Bestandsgebäuden (Wohnbauten)“, Autoren C. Hoffmann, A. Geissler, M. Ménard, L. Carisch. Download unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36891>.

Den Mitautoren des Berichts *Martin Ménard* und *Lara Carisch* danken wir für die Messung und Analyse der Gebäude FA1.

Der Dank für die Gebäudemessdaten GA1 geht an folgende Firmen und Personen:

BS_01, BS_02, BS_03, BS_04, BS_05 und PR_01: Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop, Messdaten: Rapp Enserv AG, CH
 BA_01, BS_06: pom+ Consulting AG, CH
 LU_01: *Thomas Marti*
 RI_01: *Beat Rothweiler*
 Der Dank für die Gebäudemessdaten GA2 geht an folgende Person: *Christoph Sibold*, (IEBau, FHNW)

Literatur

- [1] *EN ISO 13790:2008-03* Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. 2008, pp. 1–161.
- [2] *Sunikka-Blank, M.; Galvin, R.*: Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, *Build. Res. Inf.* 40 (2012), no. 3, S. 260–273.
- [3] *Erhorn, H.*: Zur Genauigkeit der Bewertungsmethoden von Energieausweisen für bestehende Wohngebäude – Bericht WB 129/2006. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart: 2006.
- [4] *Merzkirch, A.; Hoos, T.; Maas, S.; Scholzen, F.; Waldmann, D.*: Wie genau sind unsere Energiepässe. *Bauphysik* 36 (2014), H. 1, S. 40–43.
- [5] *Raschper, N.*: Warum Verbrauchswerte und Bedarfsberechnungen voneinander abweichen. *Die Wohnungswirtschaft* 11 (2010), S. 52–54.
- [6] *J. Knissel, J.; Alles, R.; Born, R.; Loga, T.; Müller, K.; Stercz, V.*: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt: 2006.
- [7] *Knissel, J.*: Verbrauchs- versus Bedarfskennwerte. In: *EnOB:MONITOR-Workshop „Kennwerte“*, 21–22. März 2013.
- [8] *Loga, T.; Grosskloss, M.; Knissel, J.*: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung –. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt: 2003.
- [9] *Hauser, G.; Maas, A.; Höttinges, K.*: Analyse des Heizenergieverbrauchs von Mehrfamilienhäusern auf der Basis der GEWOS-Erhebung. *DBZ* 45 (1997), H. 3, S. 155–162.
- [10] *Stolte, C.; Marcinek, H.; Bigalke, U.; Zeng, Y.*: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude. Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben Effizienzhäuser. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin: 2013.
- [11] *Majcen, D.; Itard, L.; Visscher, H.*: Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications. *Energy Policy*, vol. 54, pp. 125–136, 2013.
- [12] *Osterhage, T.; Cali, C.; Streblow, R.; Müller, D.*: Ergebnisse einer energetischen Sanierung: Abweichungen zwischen Energiebedarf und Verbrauch – ist nur der Nutzer schuld? *Bauphysik* 37 (2015), H. 2, S. 100–104.
- [13] *Schwab, S.; Rinquet, L.*: Rénovation énergétique – approche globale pour l’enveloppe du bâtiment. TRANSFORM, Haute école d’ingénierie et d’architecture de Fribourg, Fribourg, 2016.
- [14] *SIA 380/1:2009* Thermische Energie im Hochbau. Schweiz, 2009.
- [15] *DIN V 4108-6:2003-06* Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- [16] *DIN V 4701-10:2003-08* Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.
- [17] *DIN SPEC 4701-10/A1:2016-05* Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung; Änderung A1.
- [18] *DIN V 18599 Beiblatt 1:2010-01* Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz- End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich.
- [19] *Anonym*: Auf einen Blick: der Energieausweis kompakt – Der Energieausweis. Gut informiert – besser modernisiert. Berlin: Deutsche Energie Agentur, 2009.
- [20] *SN EN ISO 13790:2008* Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008).
- [21] *Klein, S. A.; Beckmann, W. A.; Mitchell, J. W.; Duffie, J. A.; Duffie, N.A.*: TRNSYS – A Transient System Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, 2000.
- [22] *ESP-r*. <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>. University of Strathclyde, Glasgow, UK.
- [23] *IDA ICE*. www.equa.se, Solna, SE.
- [24] *ISO 13789:2007* Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren.
- [25] *SIA 382/2:2011* Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf.
- [26] *Vollaro, D. L. R.; Guattari, C.; Evangelisti, L.; Battista, G.; Carnielo, E.; Gori, Paola*: Building energy performance analysis: A case study. *Energy Build.*, vol. 87, pp. 87–94, 2015.
- [27] *Graetzel-Michlmair, M.; Heimrath, R.; Schranzhofer, H.*: Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790. *Bauphysik* 32 (2010) H. 5, S. 296–302.
- [28] *Frank, T.; Carl, S.; Simmler, H.; Manz, H.; Binder, B.*: Überarbeitung Programm HELIOS-XP – Schlussbericht. EMPA (im Auftrag des BFE), Dübendorf, 2006.
- [29] *Frank, T.*: Anforderungen an behördenaugliche dynamische Simulationsprogramme – Problemanalyse und exemplarischer Lösungsvorschlag. EMPA (im Auftrag des BFE), Dübendorf, 2011.
- [30] *SIA 380/1:1988* Energie im Hochbau. Schweiz, 1988, pp. 1–81.
- [31] *Brunner, C. U.; Nänni, J.*: SIA D 99:1985 Wärmebrückenkatalog 1 – Neubaudetails. Schweiz, 1985.
- [32] *Loga, T.; Imkeller-Benjes, U.*: Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfen und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001.
- [33] *Loga, T.; Kahlert, C.; Laidig, M.; Lude, G.*: Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung – Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Energiebilanzverfahren. Darmstadt, 1999.
- [34] *VDI 3807-2013* Energieverbrauchskennwerte für Gebäude – Grundlagen, Blatt 1. Deutschland,
- [35] *Schröder, F.; Papert, O.; Boegelein, T.; Navarro, H.; Mundry, B.*: Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand. *Bauphysik* 36 (2014), H. 6, S. 309–324.
- [36] *Richter, W.; Ender, T.; Hartmann, T.; Kremonke, A.; Oschatz, B.; Seifert, J.*: Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2003.
- [37] *Schröder, F.; Ohlzwärter, C.; Erhorn, H.; Reiss, J.*: Reale Raumtemperaturen in Mehrfamilienhäusern – Korrelation mit Gebäudeenergiekennzahlen. *EnEV aktuell*, no. 2, 2010.
- [38] *Hend, H.; Parijs, W.; Deurinck, M.*: Energy consumption for heating and rebound effects. *Energy Build.*, vol. 42, pp. 105–110, 2010.
- [39] *Bundesamt für Energie BFE*: Der Heizkompass für Hauswartinnen und Hauswarte. Energie Schweiz, Bern, 2012.
- [40] *Kah, O.; Peper, S.; Ebel, W.; Kaufmann, B.; Feist, F.; Zeno, B.*: Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität

- in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung – Endbericht IEA SHC Task 37 Subtask C. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2010.
- [41] *Künzel, H.*: Wohnungslüftung und Raumklima, 2. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [42] *Hässig, W.; Primas, A.; Gerber, D.; Huber, H.; Weber, T.; Hauri, C.*: Untersuchung zur Lüftung von sanierten Mehrfamilienhäusern. Basler und Hofmann Ingenieure und Planer, Zürich, 2005.
- [43] *Kriesi, R.*: Reales Lüftungsverhalten in Wohnen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen – Schlussbericht. Kriesi Energie GmbH, Wädenswil, 2012.
- [44] *Maas, A.*: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung. Universität Gesamthochschule Kassel, 1995.
- [45] *Bekö, G.; Toftum, J.; Clausen, G.*: Modeling ventilation rates in bedrooms based on building characteristics and occupant behaviour. *Build. Environ.* vol. 46, pp. 2230–2237, 2011.
- [46] *Bekö, G.; Lund, T.; Nors, F.; Toftum, J.; Clausen, G.*: Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. *Build. Environ.* vol. 45, pp. 2289–2295, 2010.
- [47] *Dimitroulopoulou, C.*: Ventilation in European dwellings: A review. *Build. Environ.* vol. 47, pp. 109–125, 2012.
- [48] *DIN 1946-6:2009-05* Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung.
- [49] *Hoos, T.; Merzkirch, A.; Maas, S.; Scholzen, F.; Waldmann, D.*: Messtechnische Ermittlung der U-Werte von Außenwänden im Vergleich mit Typologiewerten für den Gebäudebestand. *Bauphysik* 37 (2015), H. 5, S. 273–276.
- [50] *Wyss, S.; Hässig, W.*: Prüfen der U-Werte im GEAK durch Feldmessungen. In: 19. Status-Seminar „Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt“, 2016, pp. 1–9.
- [51] *Varesano, D.; Camponovo, R.; Gallinelli, P.; Riquet, L.*: In-situ measurements of thermal transmittance U – Experience feedback. In: 19. Status-Seminar „Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt“, 2016.
- [52] *Mörtel, M.*: Modell zur Bestimmung der Ansaugtemperaturen dezentraler Fassadenlüftungsgeräte. Technische Universität Berlin, Berlin, 2015.
- [53] *SN EN ISO 6946:2007* Bauteile – Wärmedurchgangswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren.
- [54] *SIA 2028:2010* Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik. Schweiz, 2010.
- [55] *Leuthard, W.*: Wärmebrücken vermeiden – ein Energiesparpotential ausnützen. *Umwelt Aargau*, vol. 23, pp. 21–23, 2004.
- [56] *Brunner, C. U.; Nänni, J.*: Verminderung von Wärmebrücken bei Neubauten. Teil 1: die Bedeutung von Wärmebrücken. *Schweizer Ingenieur und Architekt.* vol. 107, no. 11, pp. 293–298, 1989.
- [57] *Richarz, C.; Schulz, C.*: Energetische Sanierung – Grundlagen, Details, Beispiele. München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2011.
- [58] *Bastian, Z.*: EnerPHit Planerhandbuch – Altbauten mit Passivhaus-Komponenten fit für die Zukunft machen, 1st ed. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2012.
- [59] *Parlow, E.; Scherer, D.; Fehrenbach, U.*: Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ) – Wissenschaftlicher Bericht. *Umwelt und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich* (Hrsg.), Zürich, 2010.
- [60] *BMWI und BMUB*: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand vom 7. April 2015. Deutschland, 2015.
- [61] *Erhorn, H.*: Bedarf – Verbrauch. Ein Reizthema ohne Ende oder die Chance für sachliche Energieberatung? In: *Energieeffizienz bauen! BAU 2007*, 2007.
- [62] *Greller, M.; Schröder, F.; Bögelein, T.; Güttler, P.; Hundt, V.*: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 3: Spezifischer Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung und Relation zum Heizenergieverbrauch. *Bauphysik* 32 (2010), H. 3, pp. 154–159.
- [63] *Felsmann, C.; Schmidt, J.*: Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität – Schlussbericht. Technische Universität Dresden, Fak. Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Dresden, 2013.
- [64] *Pfluger, R.*: Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise. Teil 2 des Abschlussberichtes. Passivhaus-Institut, PHI, Darmstadt, 2000.
- [65] *Loga, T.; Imkeller-Benjes, U.*: Energiepass Heizung/Warmwasser – Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1997.
- [66] *SIA 380:2015* Grundlagen für energetische Berechnung von Gebäuden. 2015.
- [67] *DIN V 18599-10:2011-12* Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.
- [68] *DIN 18599-2:2011-12* Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.
- [69] *Kleemann, M.; Heckler, R.; G. Kolb, G.; Hille, M.*: Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden – Szenarioanalysen mit dem IKARUS-Raumwärme-modell 2000. Bremer Energie Institut, Bremen, 2000.
- [70] *Klauss, S.; Kirchhof, W.; Gissel, J.*: Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualterklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel, 2009.
- [71] *Schlomann, B.; Gruber, E.; Eichhammer, W.; Kling, N.*: Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 2004.
- [72] *Fisch, N.; Altendorf, L.; Kühl, L.; Wilken, T.; Brandt, E.; Gawron, T.*: Vergleichswerte für Verbrauch bei Wohngebäuden – Endbericht im Auftrag des BMVBS/BBR. Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig, Braunschweig, 2012.
- [73] *Schröder, F.; Greller, M.; Hundt, V.; Mundry, B.; Papert, O.*: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 1: Differenzierte Kennzahlverteilungen nach Energieträger und wärmetechnischem Sanierungsstand. *Bauphysik* 31 (2009), H. 6, S. 393–402.
- [74] *AWEL (Abteilung Energie)*: Energiekennzahl Wohnbauten. AWEL, Abteilung Energie, Zürich, 2014.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Caroline Hoffmann, caroline.hoffmann@fhnw.ch
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Prof. Dr.-Ing. Achim Geissler, achim.geissler@fhnw.ch
Leiter Gruppe Bau

Beide

Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut Energie am Bau
St. Jakobs-Str. 84
4132 Muttenz, Schweiz