



Schlussbericht

PRO380: Offene Fragen beim Einsatz der SIA 380/1 als Prognoseinstrument bei Bestandsgebäuden (Wohnbauten)





LEMON • CONSULT •
• ENERGY • EFFICIENCY • ENGINEERING •

Datum: 28. März 2017

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm XY
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer/in:

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Institut Energie am Bau IEBau
St. Jakobs Strasse 84, CH-4132 Muttenz
www.fhnw.ch/habg/iebau/

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10, CH-8006 Zürich
<https://lemonconsult.ch/>

Autor/in:

Dr. Caroline Hoffmann, IEBau, FHNW, caroline.hoffmann@fhnw.ch
Prof. Dr. Achim Geissler, IEBau, FHNW, achim.geissler@fhnw.ch
Martin Ménard, Lemon Consult, menard@lemonconsult.ch
Lara Carisch, Lemon Consult, carisch@lemonconsult.ch

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Rolf Moder, rolf.moser@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501282-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Bei der Energieanalyse von unsanierten Bestandsgebäuden wird typischerweise eine Heizwärmebedarfsberechnung (meist mit unveränderten Standardwerten) gemäss SIA 380/1 zur energetischen Einordnung des Gebäudes verwendet. Zusätzlich wird die Heizwärmebedarfsberechnung auch 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.

Die Verfasser der SIA 380/1 sehen unterschiedliche Verwendungszwecke für den Heizwärmebedarfsnachweis vor. Dabei werden in einem Fall für die Nutzung Standard- und Rechenwerte verwendet, im anderen Fall können statt der Standardnutzungs- und Rechenwerte erwartbare oder bestbekannte Werte für das Objekt verwendet werden.

a) Heizwärmebedarfsberechnung mit Standardnutzungs- und Rechenwerten: Dies gilt für behördliche Nachweise (Vergleich mit Anforderungen und behördlichen Vorgaben)

b) Heizwärmebedarfsberechnung ohne Standardnutzungs- und Rechenwerte: Dies gilt für Beratungen, Planungen und Optimierungen, sowie den Vergleich mit gemessenen Werten.

Für die Energieanalyse von Bestandsgebäuden (mit Messwertvergleich) müssten immer bestbekannte Nutzungswerte für das Objekt genommen werden. Dies ist in der Praxis aber nicht immer der Fall. Als Grund ist denkbar, dass Möglichkeit b) nicht allgemein bekannt ist und / oder keine besseren Werte verfügbar sind.

Das hier zusammengefasste Forschungsprojekt klärt, ob bei Bestandsgebäuden die Abweichungen zwischen berechnetem Heizwärmebedarf und erfasstem Heizwärme- oder End-energieverbrauch aufgrund des Berechnungsverfahrens auftreten, oder auf eine mangelhafte Berücksichtigung von nutzungsbedingten oder verlustbedingten Einflussfaktoren zurückzuführen sind. In SIA 380/1:2009 werden diese Einflussfaktoren über Standardnutzungswerte, Angaben zum Klima und zu Bauteileigenschaften, sowie Rechenwerte (zu Bauteilen) berücksichtigt. Die Fragen nach den Ursachen der Abweichungen werden anhand von drei Gebäudegruppen mit insgesamt 33 realen Gebäuden beantwortet, für die mit unterschiedlich grossen Messdatenintervallen bzw. Ablesezeiträumen Verbrauchsdaten zur Verfügung stehen. Für jedes Gebäude gibt es eine Heizwärmebedarfsrechnung. Ergänzt wird die Untersuchung durch eine Literaturrecherche.

Bei der Mehrheit der Stichprobe aus 33 unsanierten Bestandsgebäuden ist der effektive Nutzwärmeverbrauch signifikant tiefer, als dies die Heizwärmebedarfsberechnung mit Standardnutzungs- und Rechenwerten ausweist.

Es wird gezeigt, dass diese Abweichungen nicht einem einzigen systematischen Fehler der SIA 380/1 Berechnungssystematik zuzuordnen sind. Vielmehr ist es eine Vielzahl von Gründen, die zu den Abweichungen führt. Aus der Bilanzierung der Gewinne und Verluste, die im Rahmen der Gebäudeanalyse durchgeführt wird, können Unterscheidungen getroffen werden, welche Einflussparameter projektübergreifend einflussreich und welche weniger einflussreich sind.

Einflussreiche Parameter sind bezogen auf unsanierte Bestandsgebäude b-Werte, U-Werte und lokale Aussentemperaturen. Für einen Abgleich des berechneten Energiebedarfs an vorhandene Verbrauchswerte, z. B. im Rahmen einer Energieberatung, werden konkrete Werte für die Anpassung dieser Parameter vorgeschlagen.



Résumé

Lors de l'analyse énergétique de bâtiments anciens non rénovés, le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage (généralement avec des valeurs fixes par défaut) conformément à la norme SIA 380/1 est typiquement utilisé pour la classification énergétique du bâtiment. En outre, le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage est souvent utilisé comme outil prédictif de la demande de chauffage (énergie utile) et de l'évaluation des mesures potentielles pour la rénovation. Si le résultat du calcul est plus élevé que les consommations réelles, cela peut conduire à un pronostic erroné pour les économies d'énergie.

Les auteurs de la SIA 380/1 prévoient différentes applications au justificatif des besoins de chaleur pour le chauffage. Dans un cas des valeurs d'utilisation standards et des valeurs calculées s'appliquent, dans un autre cas des valeurs attendues ou plus reconnues peuvent être utilisées au lieu de ces valeurs standards.

a. Le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage avec valeurs d'utilisation standards et valeurs calculées: Cela s'applique pour le justificatif officiel (par rapport aux prescriptions et exigences réglementaires)

b. Le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage sans valeurs d'utilisation standards ni valeurs calculées: Ceci vaut pour le conseil, la planification et l'optimisation des bâtiments, ainsi qu'une comparaison avec les valeurs mesurées.

Pour l'analyse énergétique des bâtiments existants (avec comparaison de la valeur mesurée), les valeurs les plus reconnues du bâtiment devraient être systématiquement prises en compte. Ceci n'est pas toujours le cas en pratique. Explication: il est probable que l'option b) ne soit pas généralement connue et / ou qu'il n'existe pas de meilleures valeurs disponibles.

Le projet de recherche résumé ici clarifie si, pour les bâtiments existants, les déviations entre les besoins de chaleur pour le chauffage calculés et les besoins utiles de chaleur saisis ou la consommation d'énergie finale mesurée, se produisent à cause de la méthode de calcul, ou apparaissent du fait que certains facteurs liés à l'utilisation ou aux déperditions thermiques ne sont pas pris en compte. La SIA 380/1:2009 tient compte de ces facteurs influents sur les valeurs d'utilisation standard, des données sur les propriétés du climat et des éléments de construction, ainsi que des valeurs calculées (pour les éléments de construction). Les questions sur les causes de ces écarts ont pu être traitées au moyen d'une étude portant sur trois groupes de bâtiments avec au total 33 bâtiments réels, pour lesquels des intervalles de mesure différents sont disponibles. Pour chaque bâtiment, un calcul des besoins de chaleur pour le chauffage est effectué. L'étude est complétée par une analyse bibliographique.

La majorité de l'échantillon de 33 bâtiments existants non rénovés présente une consommation de chaleur considérablement plus faible que celle établie par le calcul des besoins de chaleur avec les valeurs d'utilisation standards et valeurs calculées.

Il est démontré que ces différences ne sont pas uniquement imputables à une seule erreur systématique de calcul de la SIA 380/1. Au contraire, il existe une multitude de causes conduisant à ces écarts. Le bilan énergétique des gains et des pertes sur l'enveloppe du bâtiment, effectué dans le cadre de l'analyse du bâtiment, montre que ces causes peuvent être à la fois des facteurs influents majeurs et mineurs.

Les paramètres influents majeurs sur la base des bâtiments non rénovés existants sont les valeurs b, les valeurs U et les températures extérieures locales. Afin d'aligner la demande d'énergie calculée sur des valeurs de consommation existantes, p. ex. dans le cadre d'une analyse d'optimisation énergétique, des valeurs concrètes sont proposées pour l'ajustement de ces paramètres.



Summary

The calculation method SIA 380/1 is often used with standardized calculation parameters in order to assess the energy efficiency of existing buildings. The calculated heating demand serves as a forecasting tool and to assess refurbishment strategies. However, quite often the calculated heating demand deviates significantly from available consumption values. In most cases, the building consumes less than the calculation would suggest. Consequently, incorrect forecasts concerning possible energy savings are made.

The authors of SIA 380/1 define different uses for the heating demand calculation. In one case the use of standardized data for building use and construction related parameters is mandatory, in the other case best known values are allowed.

- a) Heating demand calculation with standardized data for building use and construction related parameters: mandatory for governmental energy certificates
- b) Heating demand calculation with best known data for building use and construction related parameters: allowed for energy consulting, design and optimizations and balancing of demand and consumption.

As a matter of fact best known values should generally be used for energy analysis of existing buildings with balancing of demand and consumption. But this doesn't reflect the daily planning business. Possible reasons for this could be that case b) is not widely known or that no adequate values are available.

The research project described in this report clarifies, if the deviations of the calculated heating demand from available consumption values are due to the calculation method or to the inadequate consideration of building use and transmission losses. Within SIA 380/1 these factors are considered by standardized values for building use, climate data and building skin related factors. The findings of this paper are based upon consumption data of 33 existing buildings and corresponding demand value calculations as well as a literature study.

The majority of the sample of 33 uninsulated mainly residential buildings show significantly lower consumption values than the calculated heating demand would suggest.

It is shown that the main reason for these deviations is not a single, systematic fault of the underlying calculation procedure according to the relevant Swiss standard but that there are a number of possible reasons for the deviations. These reasons can be divided into major and minor influencing factors. Major factors 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.

As a practical contribution for energy consulting and the balancing of demand and consumption specific numbers are recommended for use.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Inhaltsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Ausführliche Zusammenfassung	10
1.1 Ausgangslage	10
1.2 Einordnung Verbrauch Gebäude	11
1.3 Einordnung Abweichung Verbrauch und Bedarf Gebäude	12
1.4 Ursachen für die Abweichung	13
1.5 Empfehlungen	13
1.5.1 Weiterentwicklung SIA 380/1	13
1.5.2 Verwendung SIA 380/1 in der Beratung	14
2 Ausgangslage	16
2.1 Projektziel	19
2.2 Methoden	19
2.2.1 Definitionen	23
3 Feinanalyse: stündliche Messdaten	24
3.1 Einleitung	24
3.2 Gebäudeauswahl	24
3.2.1 Beschrieb Bürogebäude	25
3.2.2 Beschrieb Mehrfamilienhaus	26
3.3 Berechnung mit Standardnutzungs- und Rechenwerten	27
3.3.1 Eingabedaten	27
3.3.2 Resultate Bürogebäude mit Standardeingabedaten	28
3.3.3 Resultate Wohngebäude mit Standardeingabedaten	29
3.4 Berechnung mit messgestützten Eingabedaten	30
3.4.1 Eingabedaten	30
3.4.2 Resultate messgestützte Eingabedaten Bürogebäude	32
3.4.3 Resultate messgestützte Eingabedaten Wohngebäude	35
3.5 Sensitivitätsanalyse Bürogebäude	37
3.5.1 Einfluss interne Wärmeeinträge (statisch, dynamisch)	37
3.5.2 Einfluss Aussenluftvolumenstrom (statisch, dynamisch)	39
3.5.3 Einfluss Absorption Solarstrahlung durch opake Bauteile	40
3.5.4 Einfluss Transmissionswärmeverluste gegen unbeheizt (statisch, dynamisch)	41



3.5.5	Einfluss Wärmeübergangskoeffizienten beim U-Wert (aussen und innen).....	42
3.5.6	Einfluss Nachtabenkung	43
3.5.7	Einfluss Wärmespeicherfähigkeit.....	44
3.6	Sensitivitätsanalyse Wohngebäude	45
3.6.1	Einfluss Teilbeheizung: unbeheiztes Treppenhaus	45
3.7	Schlussfolgerungen Feinanalyse	46
4	Grobanalyse: monatliche Messdaten und Literaturrecherche	48
4.1	Vorstellung Gebäude	48
4.1.1	Gebäudebeschreibung Grobanalyse 1 (GA1).....	48
4.1.2	Gebäudebeschreibung Grobanalyse 2 (GA2).....	50
4.1.3	Berechnung mit Standardwerten (GA1 + GA2).....	51
4.1.4	Messergebnisse (GA1 + GA2).....	51
4.2	Gründe im Berechnungsverfahren für Prebound-Effekt	53
4.2.1	Vergleich dynamische Simulation versus Berechnung im Stundenverfahren und Monatsverfahren.....	53
4.3	Vergleich Fassung SIA 380/1:1988 mit SIA 380/1:2009	54
4.4	Standardnutzungswerte.....	55
4.4.1	Fehlende Berücksichtigung einer Teilbeheizung.....	55
4.4.2	Berücksichtigung einer Nachtabenkung.....	55
4.4.3	Berücksichtigung der effektiven mittleren Raumtemperatur (Standardnutzungswert).....	55
4.4.4	Interne Wärmeeinträge (Standardnutzungswert)	56
4.4.5	Richtige Berücksichtigung Lüftungswärmeverluste (Standardnutzungswert).....	58
4.5	Klima: Vergleich Standardklimadaten zu realen Daten des Messjahres	59
4.6	Bauteileigenschaften / Rechenwerte	61
4.6.1	Unschärfe bei der Ermittlung der U-Werte für bestehende Bauteile.....	61
4.6.2	Wärmebrücken	63
4.6.3	Minderungsfaktoren für unbeheizte Räume (Rechenwert).....	64
4.6.4	Annahme zu geringer Speichermassen, da ungenau ermittelt (Rechenwert)	65
4.7	Schlussfolgerungen Grobanalyse	66
5	Literatur	69
6	Anhang A: Gebäude	75
6.1	Gebäude Feinanalyse.....	76
6.1.1	Bürogebäude Sumatrastrasse 10, 8006 Zürich.....	76
6.1.2	Wohngebäude Höggerstr. 23, 8037 Zürich	80
6.1.3	Lokale Klimadaten (Aussentemperatur und Globalstrahlung)	82
6.2	Gebäude Grobanalyse.....	84
6.2.1	Gebäude mit monatlichen Verbrauchsdaten.....	84



6.2.2	Gebäude mit jährlichen Verbrauchsdaten	106
7	Anhang B: Datengewinnung / Messtechnik	107
7.1	Datengewinnung Gebäude Feinanalyse	107
7.1.1	Verwendete Messtechnik	107
7.1.2	Genauigkeit	107
7.1.3	Messkonzept Bürogebäude	108
7.1.4	Messkonzept Wohngebäude	119
7.1.5	Datenbereinigung	122
7.2	Datengewinnung Gebäude Grobanalyse	123
7.2.1	Datenherkunft	123
7.2.2	Datenbereinigung allgemein	123
7.2.3	Gebäudebezogene Informationen zur Datenbereinigung	124
7.2.4	"Anomalien" Heizgradtagsbereinigung	126
8	Anhang C: Literaturrecherche	129
8.1	Zusatzinformationen zu Kapitel 3	129
8.2	Zusatzinformationen zu Kapitel 5	130
8.2.1	Vergleich dynamische Simulation versus Berechnung im Stundenverfahren und Monatsverfahren	130
8.2.2	Vergleich Fassung SIA 380/1:1988 mit SIA 380/1:2009	132
8.2.3	Klimadaten: Vergleich Standardklimadaten zu realen Daten des Messjahres	140
8.2.4	Interne Wärmeeinträge	142
8.2.5	Lüftungswärmeverluste	143
8.2.6	Unschärfe bei der Ermittlung U-Werte für bestehende Bauteile	144
8.2.7	Minderungsfaktoren für unbeheizte Räume	149
9	Anhang D: Dank	150



Abkürzungsverzeichnis

GEAK Plus	Gebäudeenergieausweis der Kantone. Die Berechnung folgt der Systematik SIA 380/1:2009 mit Standardangaben
Heizenergiebedarf	Endenergiemenge, die dem Heizsystem pro Jahr zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf zu decken. Der Heizenergiebedarf setzt sich zusammen aus dem Heizwärmebedarf und den technischen Verlusten der Wärmeerzeugung, -speicherung und -verteilung. Er wird bezogen auf die Energiebezugsfläche und nach Energieträger separat ausgewiesen. [SIA 380/1:2009]
Heizenergieverbrauch	Entspricht dem in der Betrachtungsperiode Brennstoff- bzw. Elektroenergieverbrauch der Heizungsanlage zur Deckung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes.
Heizwärmebedarf	Wärme, die dem beheizten Raum während der Berechnungsperiode zugeführt werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur einzuhalten. [SIA 380/1:2009] Die Betrachtungen in diesem Bericht beziehen sich in der Regel auf den Heizwärmebedarf
HWB _{St}	Heizwärmebedarf mit Standardwerten SIA 380/1 berechnet
HWB _{Kor}	Heizwärmebedarf mit korrigierten Standardwerten berechnet
Heizwärmeverbrauch	Tatsächlich verbrauchte Energiemenge zur Beheizung eines Raumes. Hier sind der Nutzungsgrad der Heizung berücksichtigt, die Verteilverluste ausserhalb der thermischen Hülle abgezogen und die Heizgradtagsbereinigung ist gemacht. Die Betrachtungen des Berichtes beziehen sich in der Regel auf den Heizwärmeverbrauch
HWV	Heizwärmeverbrauch
Nutzungsgrad	Verhältnis von Energie am Ausgang zur Energie am Eingang über eine bestimmte Berechnungsperiode [SIA 380:2015] (hier Jahresdurchschnitt). Der Begriff wird hier bezogen auf die Heizung und / oder die Warmwasserbereitung verwendet.
Rechenwerte	Typische Werte für bestimmte Eingabedaten, die beim Nachweis verwendet werden müssen, soweit nicht abweichende Werte nachgewiesen werden. Beispiel: b-Wert
Standardnutzungswerte	Werte für die nutzungsabhängigen Eingabedaten, die bei der Berechnung von Projektwerten verwendet werden müssen, wenn diese mit der Systemanforderung an den Heizwärmebedarf verglichen werden sollen. Beispiel: Raumtemperatur
Wärmebedarf für Warmwasser	Wärme, die während eines Jahres notwendig ist, um die benötigte Menge Warmwasser auf die Solltemperatur des Warmwassers zu erwärmen, bezogen auf die Energiebezugsfläche. [SIA 380/1:2009] In der SIA 380/1 werden Standardwerte verwendet
Wärmeverbrauch für Warmwasser	Tatsächlich verbrauchte Energiemenge zur Erwärmung des Warmwassers. Es wird der Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung berücksichtigt.
Wirkungsgrad	Verhältnis von Leistung am Ausgang zur Leistung am Eingang des betrachteten Systems oder Teilsystems [...] bei vorgegebenen Betriebsbedingungen. [SIA 380:2015]

1 Ausführliche Zusammenfassung

1.1 Ausgangslage

Im vorliegenden Projekt geht es um die Frage, warum bei unsanierten Bestandsgebäuden der normativ berechnete Heizwärmebedarf oftmals höher ist als der tatsächliche Verbrauch. Die Untersuchungen beziehen sich auf SIA 380/1:2009.

Wenn der Heizwärmebedarf bei unsanierten Bestandsgebäuden berechnet wird (Bild 1), so soll damit in der Regel das Gebäude im Ist-Zustand energetisch eingeordnet werden (Information) oder es sollen damit mögliche Sanierungsmassnahmen bewertet werden (Beratung). Als dritte Anwendung gilt der Antrag auf Fördermittel für Erneuerungsmassnahmen.

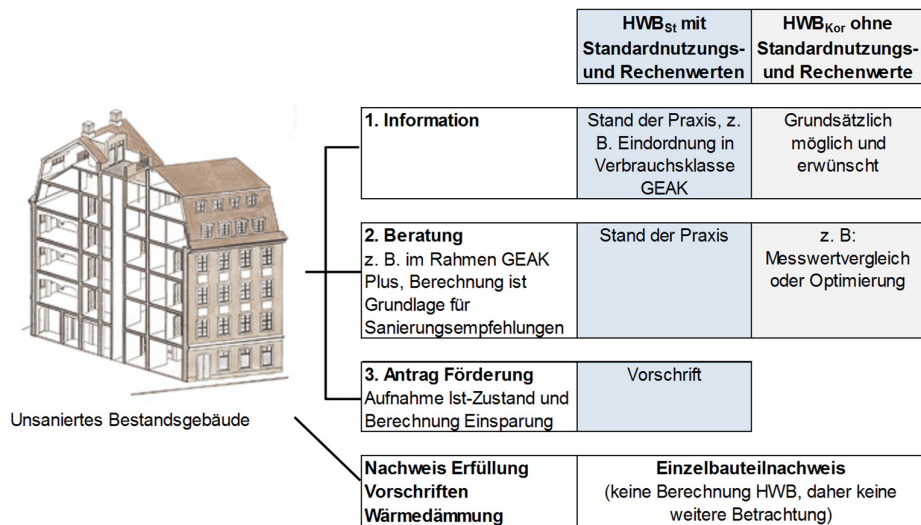


Bild 1 Einsatzgebiete die SIA 380/1 bei Bestandsgebäuden

Der Berechnung des Heizwärmebedarfs liegen Nutzungswerte (z. B. Raumtemperatur), Angaben zum Klima und Bauteileigenschaften, sowie Rechenwerte (zu Bauteilen) zugrunde. Für die unterschiedlichen Verwendungszwecke sehen die Verfasser der SIA 380/1 zwei Möglichkeiten für den Umgang mit diesen Werten vor. In einem Fall werden Standardnutzungs- und Rechenwerte verwendet, im anderen Fall können statt der Standardnutzungs- und Rechenwerte erwartbare oder bestbekannte Werte für das Objekt eingesetzt werden.

- Heizwärmebedarfsberechnung **mit** Standardnutzungs- und Rechenwerten (HWB_{St})
Dies gilt für behördliche Nachweise (Vergleich mit Anforderungen und behördlichen Vorgaben) und die nutzungs- sowie klimaunabhängige Klassifizierung von Bauten.
- Heizwärmebedarfsberechnung **ohne** Standardnutzungs- und Rechenwerte (HWB_{Kor}):
Dies gilt für Beratungen, Planungen und Optimierungen, sowie den Vergleich mit gemessenen Werten.

Für die Energieanalyse von Bestandsgebäuden (mit Messwertvergleich) müssten immer bestbekannte Nutzungswerte für das Objekt genommen werden. Dies ist in der Praxis aber nicht immer der Fall. Als Grund ist denkbar, dass Möglichkeit b) nicht allgemein bekannt ist und / oder keine besseren Werte verfügbar sind.

Folgende Konsequenzen sind durch diese Differenzen zu erwarten: Bei "Beratungen" kann es negative Folgen haben, wenn das Berechnungsergebnis höher als der Verbrauchswert liegt. Es kann zu falschen Empfehlungen kommen und dazu, dass unkorrekte Prognosen zur Einsparung und damit zur Amortisation gemacht werden. Der "Antrag einer Förderung" sollte grundsätzlich den Ist-Zustand so genau wie möglich abbilden. Der Verwendung von korrigierten Standard- und Rechenwerten steht allerdings entgegen, dass alle Gesuchstellenden

möglichst gleich zu behandeln sind. Dieses Dilemma kann hier nicht abschliessend geklärt werden.

Das in diesem Bericht zusammengefasste Forschungsprojekt untersucht die möglichen Gründe bei Bestandsgebäuden für die Abweichung zwischen HWB_{St} und erfasstem Heizwärme- oder Endenergieverbrauch systematisch. Dabei wird unterschieden, ob die Abweichungen aufgrund des Berechnungsverfahrens auftreten, oder auf eine mangelhafte Berücksichtigung von nutzungsbedingten oder verlustbedingten Einflussfaktoren zurückzuführen sind. Bezogen auf die SIA 380/1:2009 werden damit die Standardnutzungswerte, Angaben zum Klima und Bauteileigenschaften, sowie Rechenwerte (zu Bauteilen) untersucht.

Wie vorher dargelegt, sind die Konsequenzen einer Abweichung zwischen HWB_{St} und Heizwärmeverbrauch (HWV) für den Bereich der Beratung besonders relevant. Am Schluss dieser Zusammenfassung in Kapitel 1.5 werden daher Empfehlungen für den Abgleich von Messung und Berechnung gegeben. Eine mögliche Zielgruppe sind hier Energieberater.

1.2 Einordnung Verbrauch Gebäude

Die Fragen nach den Ursachen der Abweichungen werden anhand von drei Gebäudegruppen mit insgesamt 33 realen Gebäuden beantwortet, für die mit unterschiedlich grossen Messdatenintervallen bzw. Ablesezeiträumen Verbrauchsdaten zur Verfügung stehen. Zunächst sollen die Verbrauchsdaten dieser 33 Gebäude mit Angaben aus der Literatur verglichen werden.

Die meisten Verbrauchswerte in der Literatur werden als Endenergieverbrauch für Heizwärme und Warmwasser angegeben. Daher wird im folgenden Vergleich für die Gebäude des Projektes der HWV inkl. WW auf Stufe Endenergie angegeben. Dieser liegt bei allen 17 EFH im Mittel bei $112.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$, der Mittelwert für die 14 MFH liegt bei $93.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$. Bild 2 zeigt Vergleichsdaten aus der Literatur.

Bezieht man eine Flächenkorrektur (siehe Text zu Bild 2) in die Überlegungen mit ein, 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, d. h. er ist höher.

Der mittlere Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung von fünf Wohngebäuden liegt bei $29.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$. Dieser Wert ist etwas höher als Planungswerte für Bestandsgebäude aus der Literatur. Diese liegen zwischen $17.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$ [3], $20.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$ [4] und $21.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$ [5]. Gemessene Verbräuche aus zwei Projekten liegen bei jeweils $16.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ a})$ [6], [7]. Bei allen Angaben wurden die Originalwerte gem. [8] flächenkorrigiert.

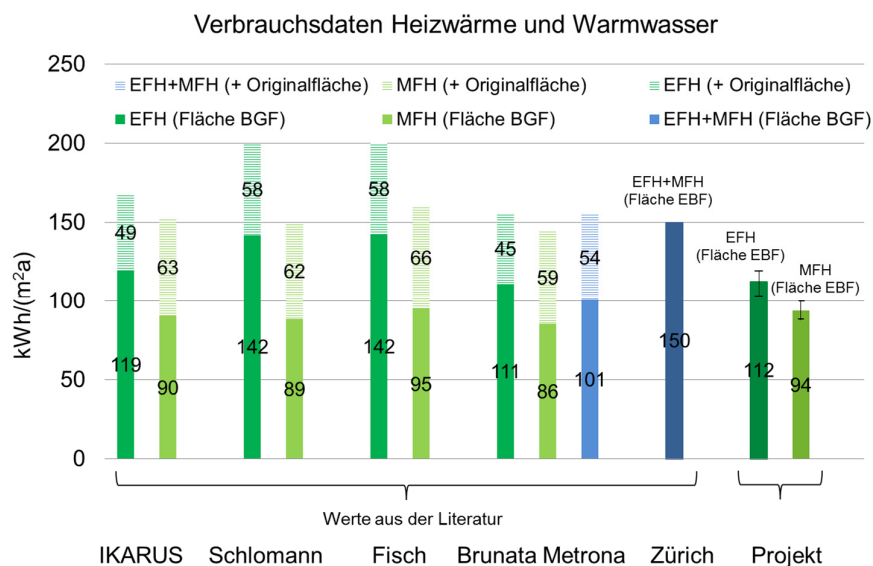


Bild 2

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. [8] auf die Bruttogrundfläche, BGF (Definition siehe [8]) umgerechnet wurden. Die BGF entspricht in etwa der Geschossfläche, GF, gem. [2]. Die EBF ist etwas niedriger als die GF. Bemerkungen zur Datenherkunft:

"IKARUS" Daten aus [9] (Studie, zitiert in [10]): Daten sind auf der Basis von Annahmen zu den Bauteilen mit bestimmten thermischen Eigenschaften berechnet und abgeglichen. Datenangabe für Baualterklassen, Angabe hier: flächengewichtetes Mittel aller Gebäude vor 1990. Flächenbezug: Wohnfläche

"Schlomann" [11]: Befragungsergebnisse von ca. 20'200 Haushalten. Datenangabe für Baualterklassen, Angabe hier: flächengewichtetes Mittel aller Gebäude vor 1990. Flächenbezug: Wohnfläche.

"Fisch" [12]: Wärmeverbrauchskennzahlen von etwa 64'000 unsanierten Gebäuden aus der Ausstellung von Verbrauchsausweisen der Jahre 2003 bis 2007. Werte bezogen auf Gebäudenutzfläche, umgerechnet auf Wohnfläche gem. [12]

"Brunata Metrona" [13]: Insgesamt ca. 240'000 Gebäuden aus Verbrauchsabrechnungen. Angaben gelten für unsanierte Gebäude. Werte EFH und MFH: Mittelwerte aus den Medien für gas- und ölbeheizte Gebäude mit einer Wohnfläche <200 m² (EFH) und >200 1000 m² (MFH):

"Zürich" [14]: Erhebung Wohngebäude Kanton Zürich, Baujahr vor 1990, Angabe Median, Flächenbezug EBF.

1.3 Einordnung Abweichung Verbrauch und Bedarf Gebäude

Bei der notwendigen Bereinigung der Mess- oder Ablesedaten, die ja oftmals als Gesamtenergieverbrauch Heizung und Warmwasser vorliegen, gibt es Ermessensspielräume und Fehlerquellen (z. B. Abspaltung WW, Nutzungsgrad Kessel, Leitungsverluste, Zirkulationsleitungsverluste usw.). Wir vertreten daher die Meinung, dass eine Übereinstimmung von $\pm 15\%$ zwischen HWV und HWB_{St} hinreichend genau ist.

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. Der Median des HWB_{St} aller 33 Gebäude liegt + 46 % über dem 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 ($- 15\% \leq A \leq + 15\%$).

Bei der Mehrheit, aber nicht bei allen Gebäuden der Stichprobe können wir also Überschreitungen feststellen (Median + 46 %).

1.4 Ursachen für die Abweichung

Die Analyse zeigt, dass es in SIA 380/1 keine einzelne 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 sind.

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 Rechenwerte zu Bauteileigenschaften.

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:

1. Die Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens führt primär aufgrund höherer Raumtemperaturen und einer Reduktion der solaren Wärmeeinträge durch den Sonnenschutz zu einer Zunahme des HWB_{St} und damit bei nicht wärmegeprägten Bestandsgebäuden zu einer grösseren Abweichung zum gemessenen Heizwärmeverbrauch.
2. Eine messgestützte Anpassung der b-Werte, U-Werte und der lokalen Aussentemperaturen führen hingegen zu einer Reduktion der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste und damit zu einer deutlichen Verringerung bzw. Eliminierung der Abweichung.

Aus der Bilanzierung der Gewinne und Verluste, die im Rahmen der Gebäudeanalyse durchgeführt wurde, können Unterscheidungen getroffen werden, welche Einflussparameter projektübergreifend einflussreich und welche weniger einflussreich sind. Einflussreiche Parameter sind bezogen auf unsanierte Bestandsgebäude b-Werte, U-Werte und lokale Aussentemperaturen.

1.5 Empfehlungen

1.5.1 Weiterentwicklung SIA 380/1

Die Analyse der Abweichungen zwischen HWB_{St} und HWV ergibt, dass die Berechnungssystematik der SIA 380/1:2009 nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden muss. Auch kann nicht zu einer Verwendung der Standardnutzungs- und Rechenwerte der Ursprungsversion SIA 380/1:1988 für Bestandsgebäude geraten werden.

Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse sind in die derzeitige Diskussion über die zukünftigen Bewertungskriterien für die Gebäudehülle in der Neufassung der SIA 380/1:2016 [15] eingeflossen

Darüber hinaus gibt zwei Hinweise zur Weiterentwicklung.

- Standardnutzungswerte für den Strombedarf: In der Literaturrecherche wird festgestellt, dass die Werte für den Strombedarf EFH sehr tief sind und von $22.2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ auf $27.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ erhöht werden können (mit Reduktionsfaktor 0.7). Der Vorschlag gilt sowohl für Bestandsgebäude als auch für Neubauten.
- b-Werte schwere Bestandsgebäude: Langfristig ist zu überlegen, ob speziell für schwere Bestandsgebäude anstelle des b-Wertes die Verwendung einer konstanten, von der Aussentemperatur unabhängigen Kellertemperatur sinnvoll ist.

1.5.2 Verwendung SIA 380/1 in der Beratung

Vorgehen beim Abgleich HWV und HWB_{Kor}

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

1. Datenbereinigung vornehmen, siehe Abschnitt I
2. Berechnung mit Standarddaten durchführen und dort, wo Abweichungen zu den Standarddaten bekannt sind, entsprechende Anpassungen bei der Berechnung vornehmen. Dies beinhaltet z. B.:
 - a. Innentemperaturen (messgestützt) anpassen
 - b. Beim Nutzerverhalten eine Nachtabsenkung oder nachweisbare Teilbeheizung des Gebäudes.
 - c. Verwendung von Klimadaten, die der Messperiode zeitlich entsprechen
Anmerkung dazu: dies ist derzeit noch aufwändig, da die Monatsdaten selber generiert werden müssen. Es wäre zukünftig wünschenswert, dass die Klimadaten für die jeweiligen Standorte aus einer Datenbank abrufbar sind, oder schon direkt in den Berechnungsprogrammen SIA 380/1 enthalten sind.
3. Prüfung:
 - a. überschreitet HWB_{Kor} den HWV um mehr als 15 %? Dann weiter gemäss Abschnitt II
 - b. unterschreitet HWB_{Kor} den HWV um mehr als 15 %? Dann weiter gemäss Abschnitt III
4. Wir empfehlen nicht plausibel herleitbare Differenzen als solche zu belassen.

Achtung:

1. Die nachfolgend vorgeschlagenen Korrekturen gelten nur für Berechnungen zum Abgleich, nicht für Auslegungsberechnungen (Heizleistung), oder bauphysikalische Berechnungen.
2. Der Messwertvergleich ist aufgrund der veränderten Standardnutzungs- und Rechenwerte, sowie der eingesetzten Klimadaten aus der Messperiode kein behördlicher Nachweis.

I Datenbereinigung

Bei der Datenbereinigung von Mess- oder Ablesewerten gilt es, folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Nutzungsgrad Wärmeerzeugung
Informationsquelle:
http://www.minergie.ch/media/161221_produktdokument_minergie_p_a_v2017.1_d.pdf
- Ermittlung Verluste Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle
Informationen [61], Tabelle 2-1, Bericht downloadbar unter:
<http://www.iwu.de/downloads/>
- Abspaltung Energieverbrauch für das Warmwasser
Wenn keine Messwerte vorliegen, so kann gem. SIA 380/1 bei EFH ein Wert von $13.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$ und bei MFH ein Wert von $20.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$ angesetzt werden. Da verglichen mit der Literatur (siehe Abschnitt 1.1) der Bedarfswert für EFH niedrig scheint, kann hier ein höherer Wert in Abzug gebracht werden, z. B. $17 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \text{ a})$.
- Heizgradtagsbereinigung
Tabellen unter: <http://www.hev-schweiz.ch/vermieten/heiz-und-nebenkosten/heizgradtage/>

II *Massnahmen, wenn HWB_{kor} den HWV überschreitet*

- b-Werte unsanierter Keller mit ungedämmter Kellerdecke und (annähernd) luftdicht: Gem. SIA 380/1:2016 [15] liegen die b-Werte für luftdichte Keller zwischen 0.7 und 0.5. Resultierend aus den Gebäudeanalysen empfehlen wir b-Werte von 0.5. Im Idealfall kann auch die Kellertemperatur durch eine kurzzeitige Messung überprüft werden.
- U-Werte: Wir schlagen als Wärmeübergangskoeffizienten aussen $h_e = 9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor, statt normativ $25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bei unserem Vorschlag wird die in den Wert eingehende Windgeschwindigkeit auf "0 m/s" gesetzt. Durch die Verwendung eines verminderten Wärmeübergangskoeffizienten h_e werden die U-Werte etwas "weniger streng" berechnet.
- 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 die Berücksichtigung des Hitzeinselphänomens gerechtfertigt ist. Soll das Hitzeinselphänomen in städtischen Siedlungsräumen berücksichtigt werden, so schlagen wir vor, die Monatsmitteltemperatur der Standardklimadaten je nach Standort um 1 - 2 K pauschal zu erhöhen.

III *Massnahmen, wenn HWB_{kor} den HWV unterschreitet*

- Hier empfiehlt es sich nochmals die Eingabeparameter zu kontrollieren.

2 Ausgangslage

Bei der Energieanalyse von unsanierten Bestandsgebäuden wird typischerweise eine Heizwärmebedarfsberechnung (meist mit unveränderten Standardwerten) gemäss SIA 380/1 [1] zur energetischen Einordnung des Gebäudes verwendet. Zusätzlich wird die Heizwärmebedarfsberechnung auch 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.

Die Verfasser der SIA 380/1 sehen unterschiedliche Verwendungszwecke für den Heizwärmebedarfsnachweis vor (siehe Bild 3). Dabei werden in einem Fall für die Nutzung Standardnutzungs- und Rechenwerte verwendet, im anderen Fall können statt der Standardnutzungs- und Rechenwerte erwartbare oder bestbekannte Werte für das Objekt verwendet werden.

- a. Heizwärmebedarfsberechnung **mit** Standardnutzungs- und Rechenwerten
Dies gilt für behördliche Nachweise (Vergleich mit Anforderungen und behördlichen Vorgaben)
- b. Heizwärmebedarfsberechnung **ohne** Standardnutzungs- und Rechenwerte:
Dies gilt für Planungen und Optimierungen, sowie den Vergleich mit gemessenen Werten.

	Optimierung (Planung und Optimierung)	Nachweis (Vergleich mit Anforderungen und behördlichen Vorgaben)	Messwertvergleich (Vergleich mit gemessenen Werten)
Nutzung	erwartete Werte für das betreffende Objekt	Standardnutzung	bestbekannte Werte für das betreffende Objekt
Klimadaten	langjährige Mittelwerte, bestbekannte Werte für Standort	langjährige Mittelwerte, Werte der nächsten Klimastation bzw. der definierten Klimastation	Werte für Messperiode, bestbekannte Werte für Standort
Anforderungen	Bestellerforderung	Grenz- und Zielwerte, behördliche Vorgaben	Übereinstimmung mit Messwerten

Bild 3 Aufgabenstellungen der Norm SIA 380/1:2009 [1] für Neubauten und Bestandsgebäude

Bezogen auf den (unsanierten) Gebäudebestand kommen für die Heizwärmebedarfsberechnung die in Bild 1 gezeigten drei Einsatzgebiete in Frage. Eine Falschberechnung des Heizwärmebedarfs hat unterschiedliche Auswirkungen:

- Im Bereich "Information" kann es passieren, dass das Gebäude falsch klassifiziert wird. Eine gewisse Ungenauigkeit scheint akzeptabel.
- Bei "Beratungen" kann es negative Konsequenzen haben, wenn das Berechnungsergebnis höher als der Verbrauchswert liegt. Es kann zu falschen Empfehlungen kommen und dazu, dass unkorrekte Prognosen zur Einsparung und damit zur Amortisation gemacht werden.
- Der "Antrag einer Förderung" sollte grundsätzlich den Ist-Zustand so genau wie möglich abbilden. Der Verwendung von korrigierten Standard- und Rechenwerten steht allerdings entgegen, dass alle Gesuchstellenden möglichst gleich zu behandeln sind. Als Beispiel sei hier folgende Fragestellung genannt: Soll die gleiche Massnahme unterschiedlich subventioniert werden, wenn ein Gebäude in der Stadt (wenig Wind, d.h. im realen etwas tiefere, d. h. bessere U-Werte) oder auf dem Land (viel Wind, d.h. höhere U-Werte) steht? Dieses Dilemma kann hier nicht abschliessend geklärt werden.

Im Fazit sind die Konsequenzen einer Abweichung zwischen HWB_{St} und HWV für den Bereich der "Beratungen" also besonders relevant.

Bezogen auf die Standardnutzungs- und Rechenwerte ist davon auszugehen, dass die Verfasser der Norm eher konservative Werte vorgegeben haben, die den HWB_{St} eher hoch ausfallen lassen.

Dies kann auch ein Grund dafür sein, dass Planererfahrungen aufzeigen, dass bei unsanierten Bestandsgebäuden der berechnete Heizwärmebedarf mit Standardwerten (HWB_{St}) häufig deutlich über dem gemessenen Heizwärmeverbrauch (HWV) liegt [16]. Leider finden sich hierzu gerade in der Schweiz selten wissenschaftliche Veröffentlichungen. Die Verfasser der SIA 380/1 sind sich dieser möglichen Abweichungen bewusst, so wird in den Abschnitten empfohlen, bei Gebäudeerneuerungen einen Vergleich zwischen Berechnungs- und Messdaten durchzuführen und die Eingabedaten entsprechend anzupassen [1]. Für die Energieanalyse von Bestandsgebäuden (mit Messwertvergleich) müssten immer bestbekannte Nutzungswerte für das Objekt verwendet werden. Dies ist in der Praxis aber nicht immer der Fall. Als Grund ist denkbar, dass Möglichkeit der "Heizwärmebedarfsberechnung ohne Standardnutzungs- und Rechenwerte" nicht bekannt ist und / oder keine besseren Werte verfügbar sind.

Mit Ausnahme des Luftwechsels bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen erfolgt auch die Beurteilung von Bestandsgebäuden mit dem Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK Plus) immer ohne Berücksichtigung objektspezifischer Nutzungs- oder Klimaeinflüsse.

Die Überschätzung des effektiven Heizenergieverbrauchs von unsanierten Bestandsgebäuden mit Wohnnutzung durch Bedarfsberechnungen ist kein Schweizer Phänomen: es lassen sich viele Studien im Ausland (Länder mit vergleichbaren Wintertemperaturen) finden, die ähnliche Tendenzen beschreiben (z.B. [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]).

Als Gründe werden hauptsächlich zu hohe Luftwechselraten ([18], [19], [21], [22], [23], [24]), Innenraumtemperaturen ([18], [19], [21], [23], [24]), Teilbeheizung der Wohnung ([6], [21], [23], [24]), fehlerhafte Abschätzung der U-Werte ([4], [22], [23], [24]), falsche Einschätzung von Wärmebrücken ([18], [19], [25]), falsche Flächenermittlung ([7], [23], [24]), unberücksichtigte Nachtabsenkung ([22], [9]), falsche Annahme der Verschattung ([23], [24]), falsche Einschätzung anlagentechnischer Daten ([23], [24]), falsche interne Wärmequellen ([23], [24]), Wärmeverbrauch für das Warmwasser entspricht nicht Standardwerten ([23], [24]) und die Luftdichtheit ([19]) angegeben. Dass die Abweichungen in der Mehrzahl auf Fehleinschätzungen bei der Berechnung des Bedarfs und bei der Bereinigung der Verbrauchswerte zurückgeführt werden können, belegt [26].

In der Literatur (Bild 4) werden bei Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) Abweichungen $((HWB - HWV)/HWV)$ zwischen 36 % [22], 25 - 41 % (Dena Feldversuch zitiert in [4]), 50 % [21], 18 - 105 % [5], 36 und 95 % [19] und 100 % [17] angegeben. Die Werte gelten bei [19], [21], [22] für Endenergie, bei [17] für Primärenergie, bei [20] für Gas und sind bei [4] nicht definiert.

Bei unsanierten Bestandsgebäuden ist also die Tendenz feststellbar, dass der berechnete Energiebedarf (HWB_{St}) im Vergleich zum gemessenen Verbrauch überschätzt wird. Man spricht in diesem Fall von einem Prebound-Effekt [21]. Tendenziell wird dieses Missverhältnis umso grösser, je schlechter die energetische Qualität des Gebäudes ist [23], [20], [21] und je weniger Wohneinheiten es gibt [23].

Betrachtet man energieeffiziente Neubauten, so ist hier die Tendenz festzustellen, dass der berechnete Energiebedarf im Vergleich zum gemessenen Verbrauch unterschätzt wird, die Gebäude also mehr verbrauchen als gedacht [21], [27], [20]. Das unterschiedliche Verhalten von Neubauten und Bestandsgebäuden zeigt Bild 5 grafisch.

Innerhalb des hier dokumentierten Projektes werden ausschliesslich Bestandsgebäude betrachtet.

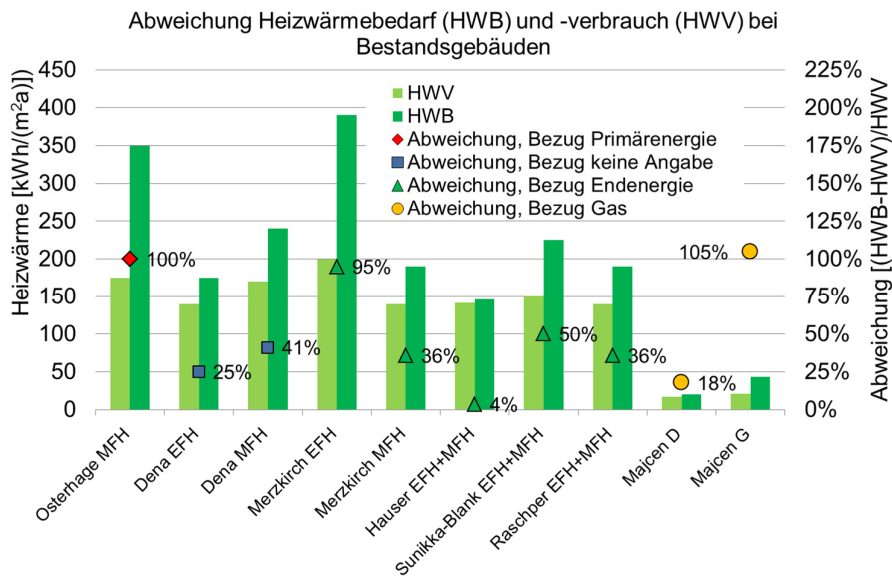


Bild 4 Unterschreitung des errechneten Heizenergiebedarfs durch den abgelesenen Verbrauch bei Bestandsgebäuden. Datenquelle: diverse Studien, der Name verweist immer auf den Erstautoren der Studie. Abkürzungen: EFH: Einfamilienhaus; MFH: Mehrfamilienhaus; D: Effizienzklasse D; G: Effizienzklasse G. Die Effizienzklassen gehen von A bis G, wobei A für sehr gut gedämmte Neubauten und G für sehr schlechte Bestandsgebäude steht. Ablesebeispiel: Abweichung + 25 %: Der Bedarf (B) liegt bei 175 kWh/m²a, der Verbrauch (V) liegt bei 140 kWh/m²a. $(B - V)/V = 25\%$
 Quellen: Osterhage [17]; Dena [21] der Dena Feldversuch wird in der genannten Quelle erwähnt, Merzkirch [19]; Hauser [26]; Sunikka-Blank [21], Raschper [22], Majcen [20], siehe hierzu auch den Kommentar bei Bild 5.

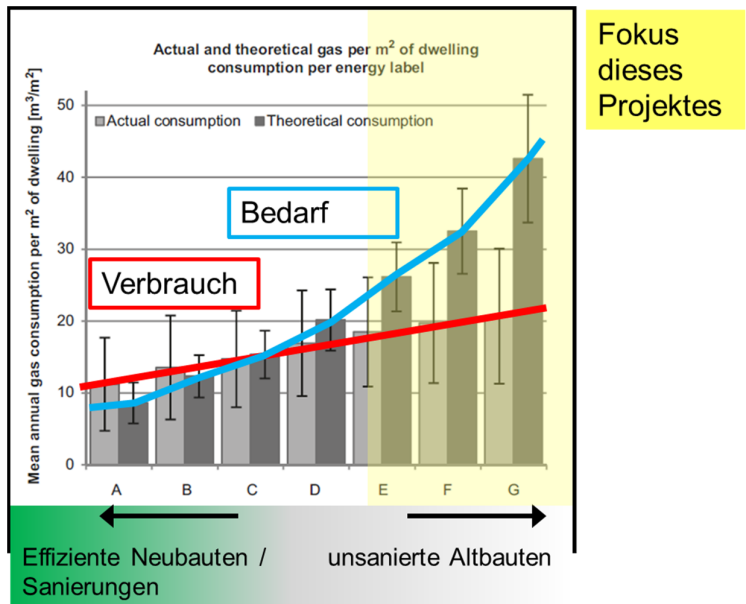


Bild 5 Verbrauch versus Bedarf bei Neubauten und Bestandsgebäuden. Grafik basiert auf: Gasbedarf versus Verbrauch von 200'000 EFH, MFH in den Niederlanden. Farbige Markierungen: die Verfasser.
 Anmerkung: Der jeweils verwendete Gaskesseltyp (konventioneller Kessel oder Brennwertkessel) werden in der niederländischen Berechnungssystematik sehr unterschiedlich bewertet, um so den Einsatz von Brennwertkesseln zu fördern [29]. In der Veröffentlichung wird nicht darauf eingegangen, wie diese Tatsache in der Untersuchung berücksichtigt wurde. Quelle: [20].

2.1 Projektziel

Zwischen dem Heizwärmeverbrauch und dem Heizwärmebedarf (HWB_{St}) bei Bestandsgebäuden bestehen Differenzen. Dies bestätigen Planererfahrungen in der Schweiz und internationale Veröffentlichungen. Allerdings ist der Vergleich des berechneten Heizwärmebedarfs (HWB_{St}) mit Messwerten zum Heizenergieverbrauch komplex. Es müssen Annahmen und Anpassungen in Bezug auf die Meteorologie, die wärmeabgebende Hüllfläche des Gebäudes (U-Werte, Wärmebrücken, Flächen an unbeheizte Räume), die Heizanlagentechnik und das Nutzerverhalten getroffen werden. Insofern stellt sich die Frage, ob die festgestellten Differenzen wirklich systematisch sind, oder ob sie auf einer Kombination von Fehlannahmen beruhen.

Bezogen auf die Schweizer Berechnungssystematik ist also zu klären, ob bei Bestandsgebäuden die Abweichungen zwischen berechnetem HWB_{St} und erfasstem Heizwärme- oder Endenergieverbrauch aufgrund des Berechnungsverfahrens auftreten, oder aufgrund der mangelhaften Berücksichtigung von nutzungsbedingten oder verlustbedingten Einflussfaktoren entstehen.

Mögliche Gründe für die Abweichung finden sich in folgenden Themenbereichen:

- Berechnungsverfahren
z. B. Statisches statt dynamisches Berechnungsverfahren
- SIA 380/1:1988 mit alten Standardnutzungswerten
Passendere Abbildung von Bestandsgebäuden?
- Standardnutzungswerte
z. B: Berücksichtigung der effektiven mittleren Raumtemperatur
- Klima
z. :B: Berücksichtigung lokales Klima
- Bauteileigenschaften / Rechenwerte
z. B: b-Werte

Das Resultat aus dem Projekt sind - bezogen auf unsanierte Bestandsgebäude - Abgrenzungen der Relevanz einzelner Einflussgrößen und abgeleitet davon Empfehlungen für sinnvolle und mögliche Anpassungen der SIA 380/1, sowie Hinweise für die Verwendung der SIA 380/1 in der Beratung.

2.2 Methoden

Das Projektziel wird auf der Grundlage von drei Gebäudegruppen verfolgt, für die neben ausreichend detaillierten Planungswerten auch Verbrauchsdaten mit unterschiedlich grossen Messdatenintervallen bzw. Ablesezeiträumen zur Verfügung stehen. Alle verwendeten Verbrauchsdaten sind bereinigt (Abzug Wärmeverbrauch für Warmwasser, Nutzungsgrad Wärmeerzeugung, Leitungs-, bzw. Verteilverluste, Klimabereinigung). Die Gebäude haben – mit Ausnahme von zwei Gebäuden – die Nutzung „Wohnen“. Die untersuchten Gebäude sind grossteils unsaniert (Ausnahme: teilweise Fensterersatz oder Dämmung von Einzelbauteilen). Ihre Bauweise ist schwer. Für alle Gebäude liegen Berechnungsmodelle (SIA 380/1, teilweise auch SIA 2044) vor.

Die drei Gebäudegruppen sind im Einzelnen:

- Feinanalyse (FA): Für zwei Gebäude (1 x MFH Wohnen, 1 x Büro) liegen detaillierte Messdaten vor.
 - Mai 2015 - April 2016: Luftqualität, -temperatur, Luftwechsel
 - Juni 2015 - April 2016: Stromverbrauch Büro und interne Lasten
 - März 2015 / Mai 2015 / August 2015 / Januar 2016: Benutzung Sonnenschutz
 - Oktober 2015 - April 2016: U-Werte.

Die mittleren U-Werte der Gebäude liegen bei 1.44 resp. 1.10 W/(m²K). Zusätzlich zur Berechnung gem. SIA 380/1 gibt es Simulationsmodelle im Stundenverfahren (SIA 282/2). Die Gebäude stammen aus den Jahren 1894 (Wohnen) und 1951 (Büro).

- Grobanalyse 1 (GA1): Für 11 Gebäude (8 x MFH Wohnen, 2 x EFH Wohnen und 1 x 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 Plus" Berechnungen vor. Fünf Gebäude wurden vor 1954 erbaut, zwei in den Jahren 1936 - 1950 und 13 in den Jahren 1951 bis 1988.

Die Verfolgung des realen Nutzerverhaltens in Bezug auf die Bedienung des Sonnenschutzes und die Fensteröffnung ist bewusst nicht Schwerpunkt des Projektes, dies betrifft speziell die Gruppen GA1 und GA2. Dafür gilt folgende Begründung: Auch bei der Untersuchung einer grossen Anzahl von Gebäuden [19] liegt der Messwert unter dem berechneten Wert. Hier sollte sich der Nutzereinfluss statistisch aber ausgleichen. Genauer betrachtet wird das Nutzerverhalten bei den beiden Gebäuden FA (siehe Kapitel 3.5). Hieraus können Hinweise auf eine realistische Variationsbreite des Nutzerverhaltens gewonnen werden und darauf, wie sich die entsprechenden Parameter auf das Berechnungsergebnis auswirken.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Hypothesen werden als mögliche Ursachen für die Abweichung zwischen HWB_{St} und HWV betrachtet. Angegeben ist in Tabelle 1 jeweils auch die Daten-Gruppe, mit welcher die jeweilige Fragestellung analysiert wird. Gibt es Angaben aus der Literatur zu diesem Thema, so fließen auch diese in die Arbeit ein.

Tabelle 1

Im Projekt untersuchte Hypothesen für die Abweichung von Berechnung und Messung der Heizwärme, die Gliederung orientiert sich an SIA 380/1:2009

Thema und Kapitel SIA 380/1:2009	Hypothese	Feinanalyse, stündliche Messdaten (FA)	Grobanalyse (GA1), sonstige Messungen	Literaturrecherche	Bemerkung
Berechnungsverfahren					
	Statische statt dynamische Berechnung im Berechnungsverfahren			x	Das Aufzeigen der Unterschiede ist nicht die zentrale Fragestellung dieses Projektes. Eine Abschätzung der Auswirkung wird anhand einer knappen Literaturrecherche gegeben.
	Berechnung im Stundenverfahren statt Monatsverfahren	x		x	Vergleich Berechnung im Stundenverfahren gem. SIA 382/2 [30] und im Monatsverfahren gem. SIA 380/1 [1]
	Vernachlässigung der Solargewinne durch opake Bauteile im Berechnungsverfahren	x			Eingrenzung wie gross der Beitrag der solaren Wärmeeinträge über die opaken Bauteile tatsächlich ist. Die mittels Simulation berechneten Bauteiltemperaturen werden anhand von Langezeit-U-Wert-Messungen und Thermographieaufnahmen der Aussenbauteile validiert.
Vergleich SIA 380/1:1988 mit SIA 380/1:2009					
	Passendere Abbildung von Bestandsgebäuden hinsichtlich Wärmebrücken, b-Faktoren und Ausnutzungsgrad durch SIA 380/1:1988		x		Die erste Fassung SIA 380/1 berücksichtigte Wärmebrücken theoretisch über einen Zuschlag auf den U-Wert. Es wurden höhere Kellertemperaturen angenommen und ein anderer Ausnutzungsgrad als heute.
Standardnutzungswerte					
in SIA 380/1 nicht berücksichtigt	Fehlende Berücksichtigung einer Teilbeheizung	x	x	x	
in SIA 380/1 nicht berücksichtigt	Fehlende Berücksichtigung einer Nachtabsenkung	x	x	x	
Standardnutzungswert, Kap. 3.5.1.2	Berücksichtigung der effektiven mittleren Raumtemperatur	x	x	x	
Standardnutzungswert, Kap. 3.5.1.4 und Kap. 3.5.1.7	Interne Wärmeeinträge	x	x	x	Überprüfung der Angaben in SIA 380/1 anhand Literaturrecherche und auf Aktualität. Messung interne Lasten FA
Standardnutzungswert, Kap. 3.5.1.9	Richtige Berücksichtigung Lüftungswärmeverluste	x	x	x	Überprüfung des Aussenluftvolumenstroms in SIA 380/1 anhand Literaturrecherche. Abschätzung Luftwechsel FA

Thema und Kapitel SIA 380/1:2009	Hypothese	Feinanalyse, stündliche Messdaten (FA)	Grobanalyse (GA1), sonstige Messungen	Literaturrecherche	Bemerkung
Klima					
Klima, Kap. 3.5.2	Keine Berücksichtigung des lokalen und auf das Messjahr bezogenen Klimas	x	x		Von einigen Gebäuden werden die zur Messperiode gehörigen Klimadaten verwendet. Ein Vergleich der realen Wetterdaten mit den Standardwetterdaten zeigt Unterschiede, bzw. Tendenzen auf.
Bauteileigenschaften / Rechenwerte					
Kap. 3.5.4.1	Zu "schlechte" U-Werte für bestehende Bauteile als Eingabe	x	x		Messung der U-Werte von 9 typischen Wandaufbauten von Bestandsgebäuden. Parallel dazu Berechnung der U-Werte durch 10 GEAK-Experten. Der Vergleich von Messung und Berechnung zeigt, ob die Berechnung systematische Fehleinschätzungen liefert.
Kap. 3.5.4.4	Wärmebrücken zu hoch eingeschätzt		x	x	
Rechenwert, Kap.3.5.4.7, Kap.3.5.4.8, Kap.3.5.4.9	Zu tiefe Temperaturen für Keller angenommen	x	x		Die derzeitig verwendeten b-Werte basieren auf sehr tiefen Raumlufttemperaturen im Keller. Zur Überprüfung werden exemplarisch die Raumlufttemperaturen in 7 Kellern gemessen.
Rechenwert, Kap. 3.5.4.10	Fehlerhafte solare Wärmeeinträge durch Eingabe "falscher" g-Wert	x			Untersuchung Einsatz Sonnenschutz mittels Auswertung von Fassadenfotos im Winter
Rechenwert, Kap. 3.5.5.1	Annahme zu geringer Speichermassen, da ungenau ermittelt	x	x		In SIA 380/1 stehen drei Pauschalwertet für die Speichermasse zur Auswahl (Tab. 21, S. 40). Alternativ kann auch ein Wert detailliert ausgerechnet werden. Überschreitet der berechnete Wert den Pauschalwert? Falls ja, wie wirkt sich dies auf die Berechnungsergebnisse aus?

Vorliegender Bericht gliedert sich entsprechend den Gebäudegruppen. D. h. es werden zunächst die Themen behandelt, die mit der Feinanalyse analysiert werden und dann diejenigen, welche über die Grobanalysen GA1 und GA2 betrachtet werden. In der Zusammenfassung werden die Gebäudegruppen dann zusammengeführt.

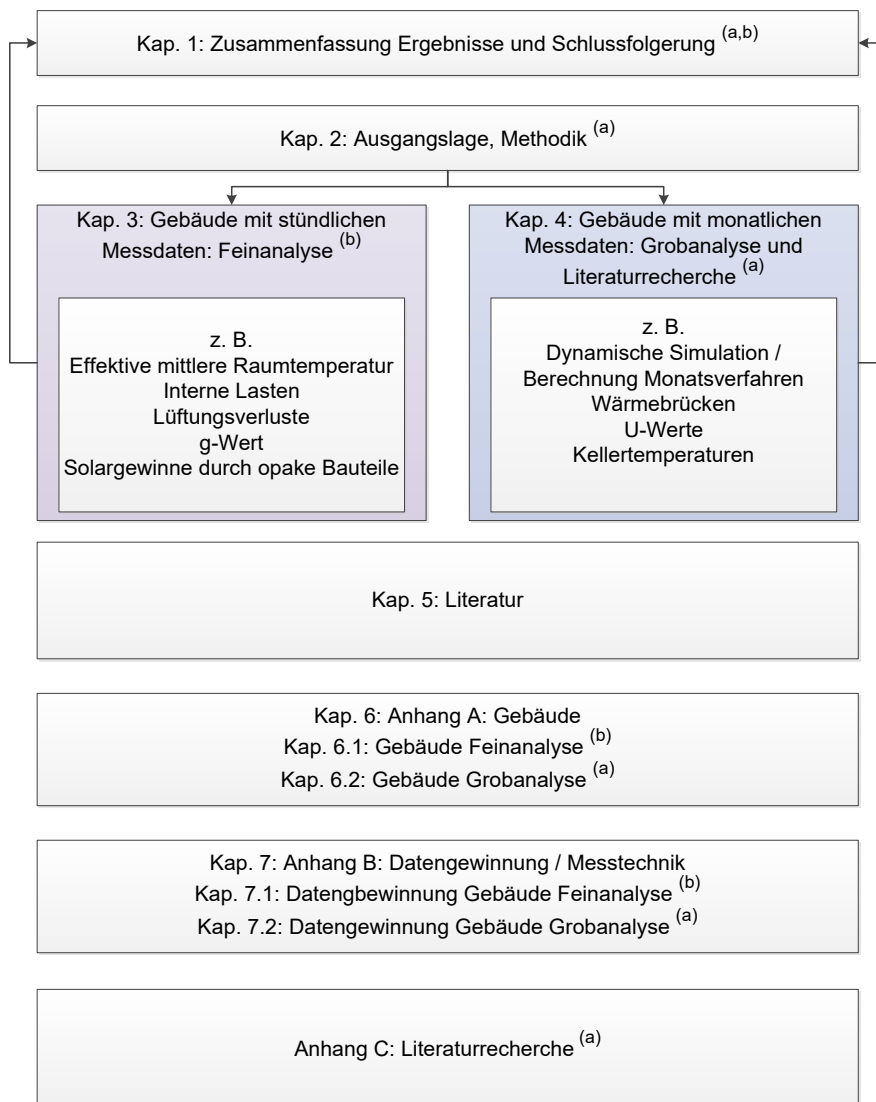


Bild 6 Aufbau Bericht. Die Autorenschaft der Kapitel ist wie folgt:
a = Caroline Hoffmann, Achim Geissler
b = Martin Ménard, Lara Carisch
a, b = alle Verfasser

2.2.1 Definitionen

Innerhalb des Projektes wird die Abweichung zwischen HWB und HWV wie folgt definiert:

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

Ist der Heizwärmebedarf mit Standardnutzungs- und Rechenwerten berechnet, so wird die Abkürzung HWB_{St} verwendet, sind die Werte korrigiert, gilt die Abkürzung HWB_{Kor}.

Da sowohl die Berechnung des HWB_{St} als auch die Ermittlung der Verbrauchswerte (Bereinigung) mit Unsicherheiten behaftet sind, werden in dieser Studie nur Abweichungen von \geq , bzw. $\leq \pm 15 \%$ als "massgebende Abweichung" bewertet.

Abweichend von den Vorgaben der Schweizer Normen wird in den Kapiteln 1, 2, 4, 6.2, 7.2 und Anhang C beim Energieverbrauch und Bedarf immer das Jahr (365 Tage) als Bezugsgrösse auch in der Einheit angegeben. Da es im Text dieser Kapitel zum Teil um unterschiedliche Flächenbezüge geht, werden die Bezugsflächen – sofern erforderlich – in den Einheiten als Indices genannt. Beides ist nicht normkonform, dient aber der Verständlichkeit.

3 Feinanalyse: stündliche Messdaten

3.1 Einleitung

Im Rahmen der Feinanalyse werden die relevanten Einflussgrössen auf die Heizwärmebilanz von zwei Gebäuden messtechnisch erfasst. Damit kann die Relevanz der einzelnen Einflussgrössen für die Abweichungen zwischen dem HWV und dem HWB_{St} bzw. dem HWB_{Kor} untersucht werden. Alle Messgrössen werden kontinuierlich mit einem Zeitschritt von 5 Minuten bis maximal einem Tag erfasst. Damit lassen sich auch dynamische Einflüsse wie z.B. der Einfluss der Sonnenschutzposition auf die Solargewinne oder von geöffneten Fenstern auf die Lüftungswärmeverluste abbilden.

Die Berechnung des HWB erfolgt nach zwei unterschiedlichen Verfahren: dem Monatsbilanzverfahren nach SIA 380/1:2009 und dem Stundenverfahren nach SIA 382/2:2011 und SIA 2044:2011, wobei die Geometrie, die bauphysikalischen Eigenschaften und die Nutzung in beiden Verfahren identisch abgebildet werden. Das Stundenverfahren wird deshalb eingesetzt, weil gewisse Fragen zur Abweichung zwischen Messung und Berechnung nur so untersucht werden können, z.B. der Einfluss der Gleichzeitigkeit von Wärmeeinträgen und Wärmeverlusten oder der Absorption von Solarstrahlung durch die opaken Bauteile.

3.2 Gebäudeauswahl

Für die Feinanalyse wurden zwei Gebäude mit unterschiedlicher Nutzung ausgewählt. Ein Bürogebäude an der Sumatrastrasse 10 in Zürich (Baujahr 1951) und ein Mehrfamilienhaus an der Höggerstrasse 23 in Zürich (Baujahr 1894). Das Bürogebäude wird von Lemon Consult AG genutzt. Jährliche Strom- und Wärmeverbrauchsdaten sind in Tabelle 2 aufgezeigt.



Bild 7 Sumatrastrasse 10, 8006 Zürich

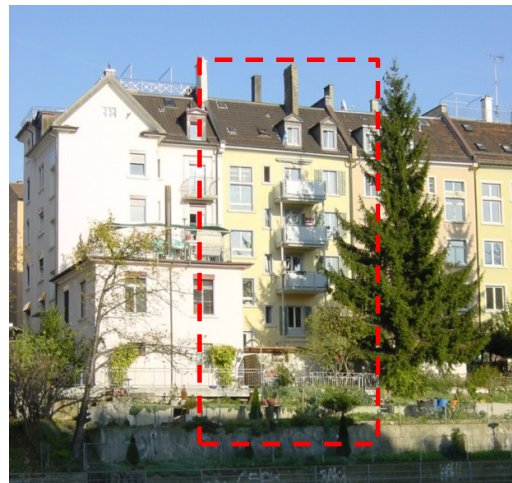


Bild 8 Höggerstrasse 23, 8037 Zürich

	Bürogebäude	MFH
Adresse	Sumatrastr. 10, 8006 Zürich	Hönggerstr. 23, 8037 Zürich
Baujahr	1951	1894
Personen	29	7
Energiebezugsfläche	924 m ²	460 m ²
Spez. Heizwärmeverbrauch ¹	79 kWh/m ²	66 kWh/m ²
Spez. Stromverbrauch ²	27.8 kWh/m ²	10 kWh/m ²

3.2.1 Beschrieb Bürogebäude

Die Hauptfassade des Bürogebäudes ist nach Westen ausgerichtet. Der Fensteranteil der West und Südfassade liegt bei 59 %. Die Ostfassade grenzt bis zum 1. Obergeschoss an das Erdreich und verfügt im 2. und 3. Obergeschoss nur über wenige Fenster. Die Nordfassade ist angebaut. Der Keller ist unbeheizt und wird als Lager genutzt.

Die Gebäudehülle befindet sich noch weitgehend im Originalzustand von 1951. Nur die Fenster sind 1985 durch eine Zweifach-Isolierverglasung mit Holzrahmen und Gummidichtung ersetzt worden. Die Brüstung der West- und Südfassade besteht aus einer zweischaligen Konstruktion aus Sichtbeton mit einer dünnen Korkdämmung und einer Vorwand aus Backstein auf der Innenseite. Die Ostfassade besteht bis zum 1. Obergeschoss aus Ortbeton und ab dem 2. Obergeschoss aus Backstein. Das Flachdach ist mit 4 cm Kork gedämmt. Die Schichtaufbauten der Fassaden inkl. U-Werte sind im Detail in Anhang 6.1.1 beschrieben. Ebenso die Grundrisse und Ansichten.

Das Bürogebäude wird von einer Gasheizung im Nachbargebäude beheizt. Die Heizwärmebezüge der beiden Gebäude werden seit Juni 2014 mit separaten Wärmezählern erfasst und verrechnet. Der jährliche HWV pro Energiebezugsfläche des Bürogebäudes von 2010 – 2015 ist in Bild 9 dargestellt. Der Warmwasserverbrauch des Bürogebäudes ist gering. Das Warmwasser wird durch zwei dezentrale Elektroboiler erzeugt. Der mittlere heizgradtagbereinigte HWV der Heizperioden 2010/11 bis 2014/15 beträgt 79 kWh/m².

¹ Mehrjähriger Durchschnitt, Heizgradtag korrigiert

² Nur Stromverbrauch innerhalb Energiebezugsfläche: Beim Bürogebäude 100 % des jährlichen Stromverbrauchs, beim Wohngebäude ohne Waschmaschine, Brenner- und Pumpenstrom = 71 % des jährlichen Stromverbrauchs

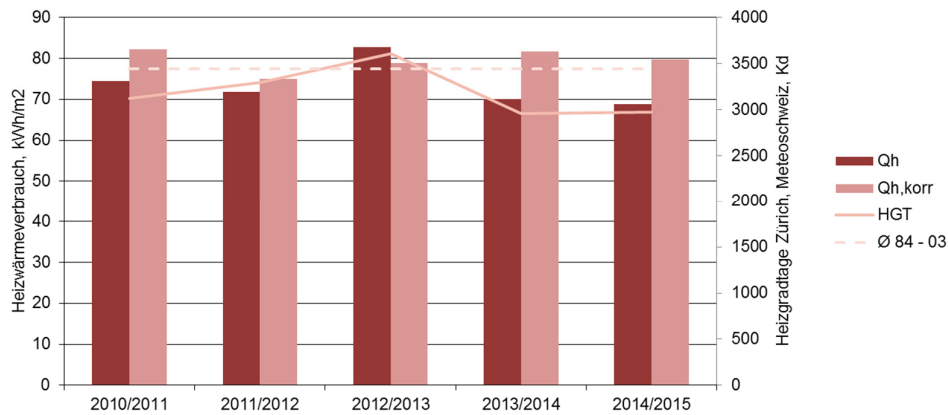


Bild 9 HWV Bürogebäude Sumatrastrasse; 2010/11 bis 2014/15 (Juli - Juni): 2010 – 2014 Abschätzung anhand Gasverbrauch; Annahme Kesselnutzungsgrad 80 %.

3.2.2 Beschrieb Mehrfamilienhaus

Das Mehrfamilienhaus in der Quartiererhaltungszone von Zürich Wipkingen mit Baujahr 1894 ist beidseitig angebaut. Die fünf Wohneinheiten sind im Stockwerkeigentum organisiert. Die Aussenwände sind im Erdgeschoss 60 cm dick und teils in Bruchstein, teils in Vollziegel erstellt. In den Obergeschossen verjüngt sich die Aussenwand schrittweise auf 45 cm im 2. OG und 30 cm in Kniestock im Dachgeschoss. Der Estrichboden und die Kellerdecke sind im Originalzustand und nicht nachträglich wärmegeämmt. Estrich und Keller sind nicht beheizt. Alle Fenster sind im Zeitraum von 2005 bis 2009 schrittweise ersetzt worden.

Die Ölheizung wurde im April 2015 durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe ersetzt. Seither wird der Wärmeverbrauch für Raumheizung und Warmwasser durch Wärmezähler erfasst. Für den Zeitraum von 2007 bis 2014 wird der spezifische HWV anhand des Ölverbrauchs abgeschätzt³ (siehe Bild 10). Der gemessene spezifische HWV schwankt stark von Jahr zu Jahr im Bereich von 51 bis 73 kWh/m². Auch nach der Klimakorrektur anhand von Heizgradtagen (HGT) schwankt der HWV immer noch im Bereich von 59 bis 71 kWh/m². In den Jahren 2014 und 2015 lag die jährliche Globalstrahlung überdurchschnittlich hoch, was den besonders tiefen HWV in diesen beiden Jahren erklären könnte. Der langjährige HGT-korrigierte Messwert liegt bei 66 kWh/m².

Der Wärmeverbrauch für Warmwasser liegt im langjährigen Mittel bei 1000 kWh pro Person bzw. 16 kWh pro m² Energiebezugsfläche.

Der spezifische Stromverbrauch des Wohngebäudes liegt im langjährigen Schnitt bei 10 kWh/m², wobei in diesem Wert die Stromverbraucher ausserhalb der Energiebezugsfläche (Waschmaschine, Brenner und Umwälzpumpen) ausgeschlossen sind. Der gesamte spezifische Stromverbrauch des Gebäudes (exkl. Wärmepumpe) liegt bei 12 kWh/m².

Grundriss, Ansichten und Schnitte sowie der Schichtaufbau der Bauteile und deren U-Werte sind im Anhang 6.1.2 in Detail dargestellt.

³ Annahmen: Nutzungsgrad Ölkessel = 0.85; Wärmeverbrauch für Warmwasser = 7'000 kWh; Messwert Wärme für Warmwasser gemäss Wärmezähler 2015: 6'900 kWh

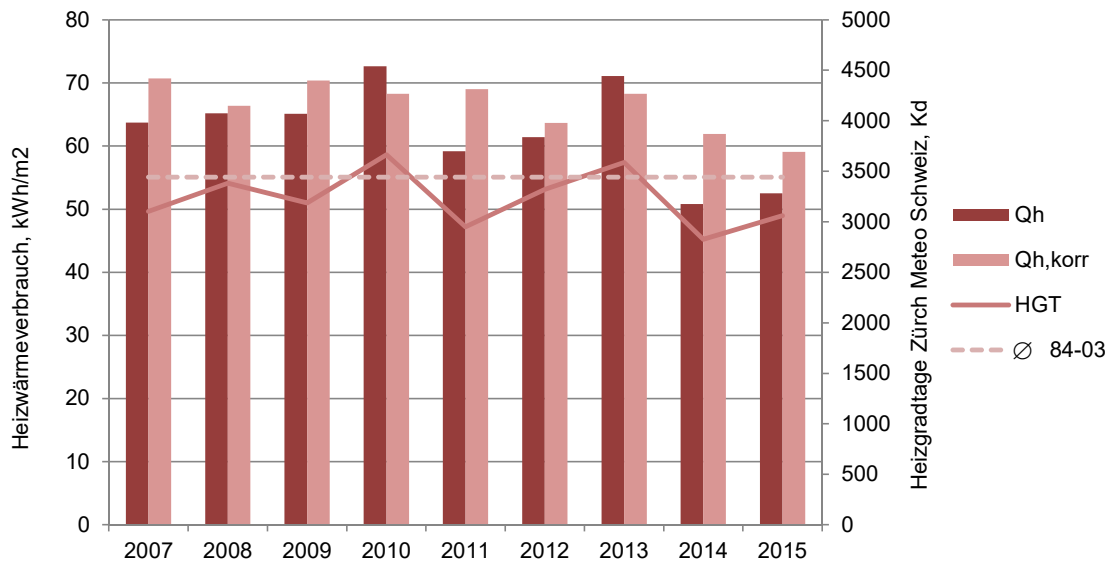


Bild 10 Heizwärmeverbrauch MFH Höggerstrasse; 2007 bis 2014: Abschätzung anhand Ölverbrauch⁴; 2015: Messung Wärmehähler

3.3 Berechnung mit Standardnutzungs- und Rechenwerten

3.3.1 Eingabedaten

Für die Berechnung des HWB_{St} nach SIA 380/1 werden Standardnutzwertwerte verwendet. Für die dynamische Berechnung nach SIA 382/2:2011 werden die im Merkblatt 2024:2006 festgelegten Eingabewerte je nach Raumnutzung verwendet. Die vorhandenen Raumnutzungen im Bürogebäude sind in Anhang 6.1.1 in den Grundrissplänen eingezeichnet. Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Eingabewerte für beide Berechnungsmethoden.

Tabelle 3: Eingabedaten für die Berechnung mit Standardwerten (HWB_{St})

Gebäudehülle	Einheit	Bürogebäude	Wohngebäude
U-Werte opake Bauteile	W/m ² K	0.96 bis 1.37	1.0 bis 1.6
b-Wert Keller / Estrich	-	0.7 / -	0.7 / 0.8
U-Wert Fenster / Rahmen / Verglasung	W/m ² K	2.0 / 1.6 / 2.0	2.3 / 1.8 / 2.5 ⁴
g-Wert Fenster	-	0.7	0.5
Berechnung nach SIA 380/1:2009	Einheit	Bürogebäude	Wohngebäude
Nutzung	-	Verwaltung	Wohnen
Innentemperatur	°C	20	20
Personenfläche	m ² /P	20	40
Wärmeabgabe Personen	W/P	80	70
Präsenzzeit	h/Tag	6	12
Elektroverbrauch	MJ/ m ²	80 (22.2 kWh/m ²)	100 (27.8 kWh/m ²)
Reduktionsfaktor Elektroverbrauch	-	0.9	0.7
Aussenluftvolumenstrom	m ³ /hm ²	0.7	0.7
Berechnung nach SIA 382/2:2011	Einheit	Bürogebäude	MFH
Raumnutzung	-	siehe Anhang 6.1.1	siehe Anhang 6.1.2
Innentemperatur	°C	21	21
Hauptnutzung gemäss SIA 2024:2015		Einzel-/Gruppenbüro	Wohn-, Schlafzimmer
Personenfläche (Hauptnutzung):	m ² /P	14	50
Personenprofil	-	Profil gemäss SIA 2024:2015	Profil gemäss SIA 2024
Elektroverbrauch Geräte und Beleuchtung (Hauptnutzung)	-	Profil gemäss SIA 2024:2015 Geräte: 7 W/m ² Beleuchtung: 15.9 W/m ²	Profil gemäss SIA 2024 Geräte: 2 W/m ² Beleuchtung: 9.4 W/m ²
Mechanisch geförderter Aussenluftvolumenstrom	m ³ /(m ² h)	Keine mechanische Lüftung	Keine mechanische Lüftung
Infiltration	m ³ /(m ² h)	0.1	0.1
Fensterlüftungsart	-	hyg. und therm. Bel.	hyg. und therm. Bel.
Sonstige Angaben (keine Eingabedaten Berechnung)		Bürogebäude	MFH
Nutzungsgrad Wärmeerzeugung	%	95	-
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	-	-	2.35
Verteilverluste	%	<1	<1

3.3.2 Resultate Bürogebäude mit Standardeingabedaten

Bild 11 zeigt den mit Standardwerten nach SIA 380/1:2009 und SIA 382/2:2011 berechneten HWB_{St} in Rot gegenüber dem gemessenen HWV in grau. Der Verbrauch der Jahre 2010 bis 2014 und der Jahresverbrauch 2015, sind jeweils mit und ohne Heizgradtag-Korrektur dargestellt.

Die unterschiedlichen Ergebnisse nach SIA 380/1:2009 und 382/2:2011 beruhen auf abweichenden Annahmen bezüglich Standardwerten. Vergleiche hierzu Tabelle 3. Zudem wird nach SIA 382/2 die Absorption der Solarstrahlung durch opake Bauteile berücksichtigt, nach SIA 380/1 dagegen vernachlässigt. In Abschnitt 3.5.3 wird auf dieses Thema mit einer Sensitivitätsrechnung eingegangen.

⁴ Schallschutzverglasung mit 10 mm VSG

Der HWB_{St} liegt auch unter Berücksichtigung der Heizgradtag-Korrektur deutlich über dem gemessenen HWV (bezüglich Verbrauch 2015: SIA 380/1:2009 + 71 %; SIA 382/2:2011 + 53 %)

Ohne Berücksichtigung der Heizgradtag-Korrektur⁵ liegt der HWB_{St} um + 92 % (SIA 380/1:2009) , resp. + 73 % (SIA 382/2:2011) über dem im Jahr 2015 gemessenen HWV.

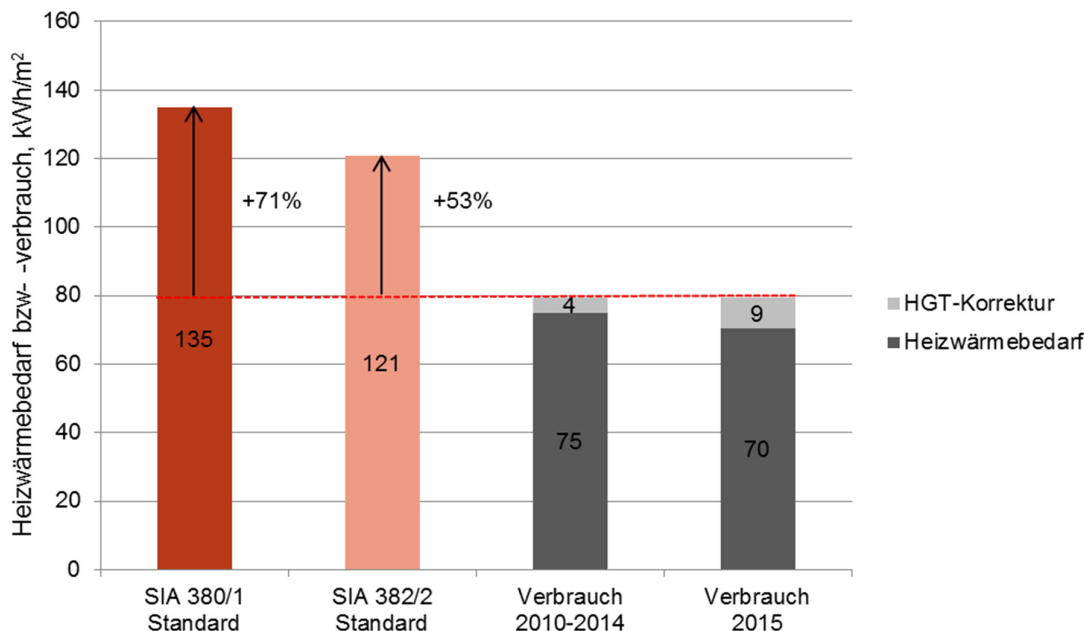


Bild 11 HWB_{St} Bürogebäude berechnet mit Standardnutzungswerten und HWV mit Heizgradtag-Korrektur (HGT-Korrektur)

3.3.3 Resultate Wohngebäude mit Standardeingabedaten

In Bild 12 wird der mit Standardwerten nach SIA 380/1:2009 und SIA 382/2:2011 berechnete HWB_{St} dem gemessenen HWV gegenübergestellt. Der Verbrauch wird einerseits als langjähriger Durchschnitt 2007 bis 2015 und als Jahresverbrauch 2015, jeweils ohne und mit Heizgradtag-Korrektur dargestellt.

Wie bereits im Fall Bürogebäude, beruhen die unterschiedlichen Ergebnisse auf abweichenden Annahmen bei den Standardwerten. So werden z.B. nach SIA 382/2:2011, mit Verweis auf die Raumnutzungsdaten gemäss SIA 2024:2015, elektrische interne Wärmeeinträge von 31 kWh/m²; nach SIA 380/1:2009 hingegen nur 19 kWh/m² berücksichtigt. Ebenso spielt auch hier die Vernachlässigung der Absorption durch opake Bauteile eine Rolle.

Der HWB_{St} liegt auch unter Berücksichtigung der Heizgradtag-Korrektur deutlich über dem gemessenen HWV (bezüglich Verbrauch 2015: SIA 380/1:2009 + 40 %; SIA 382/2:2011 + 31 %).

Ohne Berücksichtigung der Heizgradtag-Korrektur⁶ liegt der HWB_{St} um + 58 % (SIA 380/1:2009) , resp. + 48 % (SIA 382/2:2011) über dem im Jahr 2015 gemessenen HWV.

⁵ Bei den nachfolgenden Resultaten aus der Berechnung mit messgestützten Eingabedaten werden die Abweichungen zum HWV *ohne* Heizgradtag-Korrektur angezeigt.

⁶ Bei den nachfolgenden Resultaten aus der Berechnung mit messgestützten Eingabedaten werden die Abweichungen zum HWV *ohne* Heizgradtag-Korrektur angezeigt.

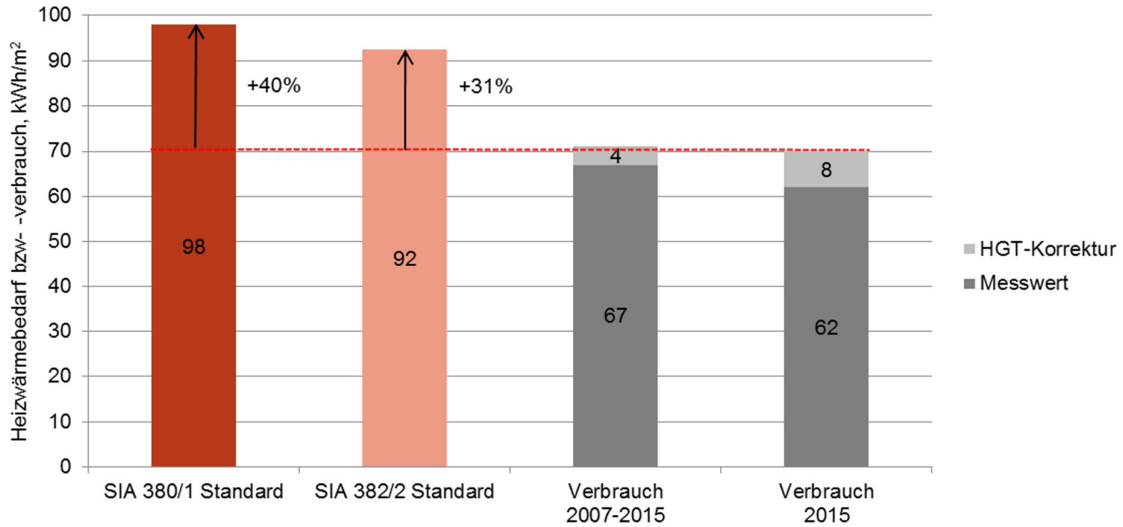


Bild 12 HWB_{St} des Wohngebäudes berechnet mit Standardwerten und HWV gemessen mit Heizgradtag-Korrektur (HGT-Korrektur)

3.4 Berechnung mit messgestützten Eingabedaten

3.4.1 Eingabedaten

Zur Ermittlung der messgestützten Eingabedaten dienen mehrere Messgrößen. Diese werden direkt oder indirekt erfasst. Ziel ist, die Eingabedaten für die Berechnung nach SIA 2044 (SIA-TEC-Tool) zu verfeinern, indem das effektive Nutzerverhalten, sowie die effektiven Eigenschaften der Gebäudehülle und des Innen- und Aussenklimas möglichst genau quantifiziert werden.

Bild 10 zeigt eine Übersicht aller Messgrößen und den resultierenden messgestützten Eingabedaten. In absteigender Reihenfolge: Für die Beurteilung der Gebäudehülle kommt ein U-Wert-Messgerät von green-TEG zum Einsatz. Innen- und Aussentemperaturfühler erlauben ausserdem eine b-Wert Berechnung. Für die Quantifizierung der Lüftungswärmeverluste und Erstellen eines Lüftungsprofils werden CO₂-Messgeräte der Marke netatmo verwendet. Mit einem einfachen Bilanzierungsverfahren kann so der Aussenluftvolumenstrom über die thermische Hülle berechnet werden. Die erforderliche Kenntnis der Personenpräsenz liefert ein Präsenzmelder (später ersetzt durch Proxygrösse aus Stromverbrauchsprofil). Die Messung des Stromleistungsbezugs erlaubt im Fall des Bürogebäudes ausserdem die messgestützte Anpassung des Personen- und Geräteprofils. Für das Bürogebäude werden zudem die solaren Wärmeeinträge, resp. deren Abhängigkeit vom Einsatz der Sonnenstoren mit einer Fotokamera, ermittelt. Globalstrahlungs- und Aussenlufttemperaturdaten werden von der Messstation Zürich von MeteoSchweiz bezogen. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der messtechnisch ermittelten Eingabegrößen. Für die genaue Herleitung wird auf Anhang 7.1.3 (Bürogebäude) und 7.1.4 (Wohngebäude) verwiesen.

Die Anpassung der Eingabegrößen an die messgestützten Werte erfolgt in vier Schritten:

1. Variante **Nutzer** - Anpassung an das Nutzerverhalten: Gebäudenutzer können die Heizwärmebilanz eines Gebäudes massgeblich beeinflussen. Im Vordergrund stehen die Regelung der Raumtemperatur, die Abwärme aus der Nutzung elektrischer Geräte und Beleuchtung, die Bedienung des Sonnenschutzes und der Aussenluftvolumenstrom verursacht durch Fensterlüftung. Folgende Messgrößen werden verwen-

det: Raumlufftemperaturen, elektrische Leistungsaufnahme und Verschattung der Fenster. Eine direkte Messung des Aussenluftvolumenstroms ist technisch nur mit sehr grossem Aufwand realisierbar. Daher wird zu einer rechnerischen Luftmengenbilanzierung gegriffen, die auf der Messung der CO₂-Konzentrationen beruht. Details zu dieser Rechnung finden sich in Anhang 7.1.3

2. Variante **Hülle** – Zusätzliche Anpassung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle: Bei dieser Variante werden *zusätzlich* zur Variante Nutzer die messtechnisch ermittelten U-Werte und b-Werte der thermischen Gebäudehülle berücksichtigt. Die b-Werte der Keller werden über Temperaturdifferenzmessungen (innen-aussen) ermittelt.
3. Variante **Klima 2015** – *Zusätzliche* Anpassung der Klimadaten (Aussentemperatur und Globalstrahlung) an die Messdaten der Klimastation Zürich MeteoSchweiz im Jahr 2015.
4. Variante **Klima 2015+2K** – *Zusätzliche* Anpassung der Klimadaten an die lokal am Gebäudestandort ermittelten Aussentemperaturen, welche im Mittel rund 2 K über den Messwerten der Klimastation Zürich MeteoSchweiz liegen.

Für die Varianten **Klima** und **Klima 2015+2K** werden Messwerte der Meteostation Fluntern/Zürich verwendet. Auf den Einfluss lokaler Klimadaten wird explizit in Anhang 6.1.3 eingegangen.

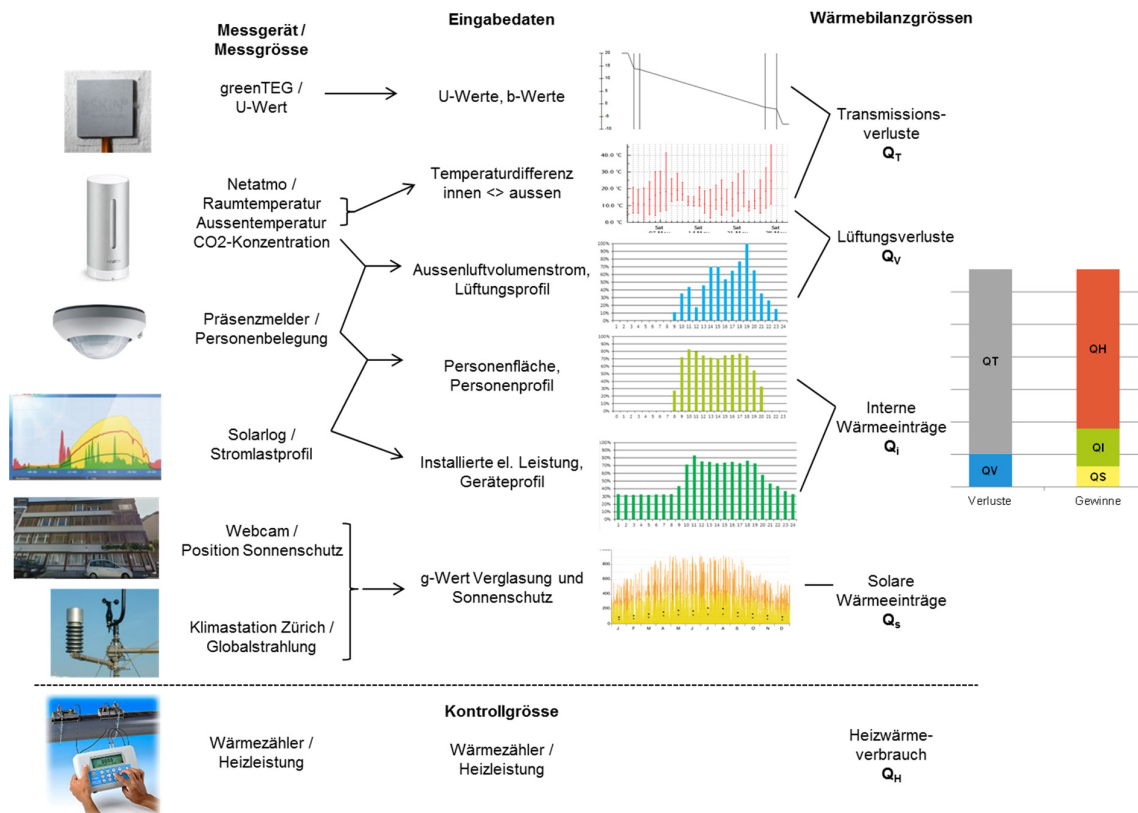


Bild 13

Schematische Darstellung der Messgrößen Wohn- und Bürogebäude

Tabelle 4

Eingabedaten Nutzung für Berechnung mit messdatengestützten Werten

Gebäudehülle	Einheit	Bürogebäude	Wohngebäude
U-Werte opake Bauteile	W/m ² K	0.7 - 1.0	0.8 – 1.6
b-Wert Keller/Estrich	-	0.1 / -	0.25 / 0.78
U-Wert Fenster / Rahmen / Verglasung	W/m ² K	2.8 / 1.6 / 2.4	2.8 / 1.8 / 2.5 ⁷
g-Wert	-	0.7/0.68 (inkl. Verschattung)	0.5/0.5 (keine Verschattung)
Klimadaten		Bürogebäude	Wohngebäude
Variante Nutzer + Transmission		Klimadaten SMA 1984 – 2003 (SIA 2028)	
Variante Klima 2015	-	Klimadaten SMA 2015	
Variante Klima 2015+2K	-	Klimadaten SMA 2015 mit Temperatur-Offset von + 2K	
Berechnung nach SIA 380/1	Einheit	Bürogebäude	Wohngebäude
Nutzung	-	Verwaltung	Wohnen
Innentemperatur	°C	21	21
Spez. Personenfläche	m ² /P	29	65
Wärmeabgabe Personen	W/P	80	70
Präsenzzeit	h/Tag	6	12
Elektroverbrauch	MJ/ m ²	100 (27.8 kWh/m ²)	33 (9.2 kWh/m ²)
Reduktionsfaktor Elektroverbrauch	-	1.0	1.0
Aussenluftvolumenstrom	m ³ /(m ² h)	0.50	0.40
Berechnung nach SIA 382/2	Einheit	Bürogebäude	Wohngebäude
Raumnutzung	-	siehe Anhang 6.1.1	siehe Anhang 6.1.2
Innentemperatur	°C	21	21
Anzahl Personen	P	33	7
Präsenzzeit pro Tag	h	Personenprofil, siehe 6.1.3	12
Elektroverbrauch Geräte und Beleuchtung (Hauptnutzung)	-	Geräteprofil, siehe Anhang 0	Konstant. Siehe Anhang 7.1.4
Lüftungsprofil		Siehe Anhang 0	Konstant. Siehe Anhang 7.1.4
Max. Aussenluftvolumenstrom (inkl. Infiltration)	m ³ /(m ² h)	1.4	0.44
Fensterlüftungsart	-	keine	keine
Sonstige Angaben (keine Eingabedaten Berechnung)		Bürogebäude	MFH
Nutzungsgrad Wärmeerzeugung	%	95	-
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	-	-	2.35
Verteilverluste	%	<1	<1

3.4.2 Resultate messgestützte Eingabedaten Bürogebäude

Im Vergleich zur Berechnung mit Standardwerten nach SIA 380/1:2009 (HWB_{St}) ergibt die Variante Nutzer einen 17 kWh/m² höheren HWB_{Kor} (siehe Bild 14). Dies ist hauptsächlich der im Mittel um 1°C höheren Raumtemperatur geschuldet (21 statt 20°C). Die somit höheren Transmissions- und Lüftungsverluste können nicht durch die gemessenen höheren internen Lasten (Elektroverbrauch 100 MJ/m² statt 80 MJ/m²) kompensiert werden. Zudem sind die solaren Einträge im Winter aufgrund der gemessenen mittleren Verschattung durch den

⁷ Schallschutzverglasung mit 10 mm VSG

Sonnenschutz rund 4% tiefer im Vergleich zu HWB_{St} , was den HWB_{Kor} in der Variante Nutzer zusätzlich erhöht. Zwar fallen auch die gemessenen Lüftungswärmeverluste im Winter tiefer aus (0.5 statt $0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$), der HWB_{Kor} wird dadurch aber nur geringfügig beeinflusst.

Berücksichtigt man zusätzlich zu den Nutzereinflüssen die gemessenen U-Werte und b-Werte (Variante Hülle), so reduziert sich die Abweichung zwischen HWB_{Kor} und HWV auf + 64%. Die tieferen gemessenen U-Werte der West- und Südfassade (1.0 statt $1.37 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) und der extrem tiefe b-Wert gegenüber dem Keller (0.1 statt 0.7) tragen hier massgeblich zur Reduktion bei.

Einen nicht unwesentlichen Einfluss üben die lokalen Klimabedingungen aus. Werden die Messdaten der Klimastation SMA von MeteoSchweiz verwendet, sinken die Transmissionswärmeverluste gegenüber der Variante Hülle noch weiter, so dass die Abweichung des HWB_{Kor} in der Variante Klima 2015 zum HWV nur noch + 50 % beträgt.

Lokal ist die gemessene Aussenlufttemperatur (siehe Anhang 6.1.3), bedingt durch Wärmeinseleffekte in der Stadt Zürich und den Höhenunterschied zwischen der Klimastation SMA und dem Gebäudestandort, im Durchschnitt sogar rund 2 Grad wärmer als bei der Klimastation. Dadurch sinken die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste noch weiter, der HWB_{Kor} in Variante Klima 2015 + 2K weist nur noch eine Abweichung von + 19% vom HWV auf.

Bild 15 zeigt die zusätzliche Berechnung im Stundenverfahren nach SIA 382/2:2011. Die Tendenz hinsichtlich der Annäherung an den Verbrauchswert ist ähnlich, vor allem die Eigenschaften der Gebäudehülle und die dadurch resultierenden Transmissionswärmeverluste sind erhebliche Faktoren. Die Abweichung zum Monatsverfahren nach 380/1 ist neben dynamischen Effekten zum Teil bedingt durch die Berücksichtigung der Absorption von Solarstrahlung durch opake Bauteile (Absorptionskoeffizient von dunklem Putz $\alpha=0.6$), vgl. Abschnitt 3.5.3. Die Summe von Nutzereinfluss, Gebäudehüllencharakteristik und lokalem Klima (i.e. Variante Klima 2015+2K) bewirkt eine gute Annäherung an den gemessenen HWV.

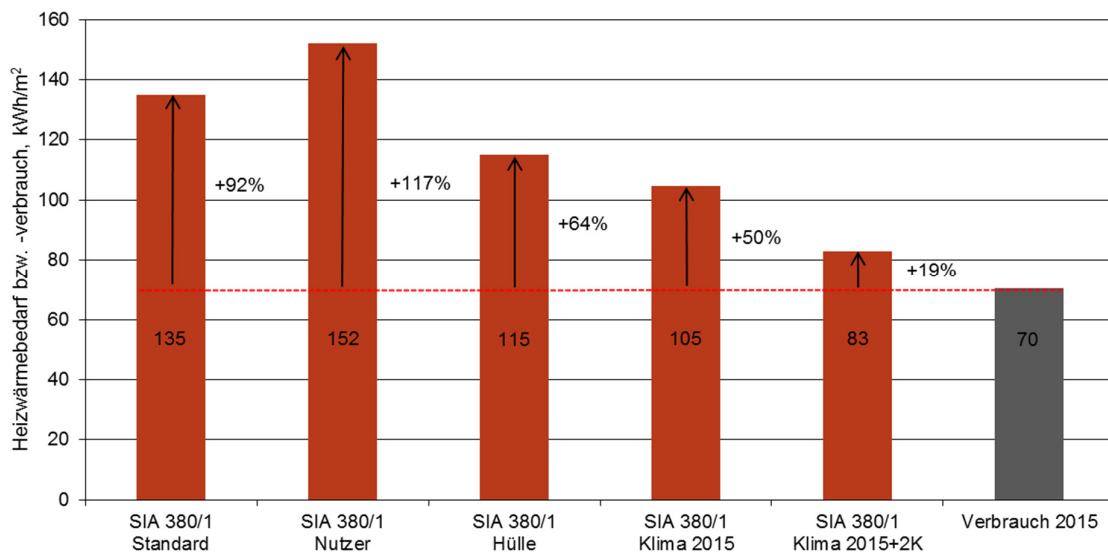


Bild 14 Bürogebäude: Vergleich Berechnung mit Standardeingabedaten (HWB_{St}) und mit messgestützten Eingabedaten (HWB_{Kor}) mit dem gemessenen HWV im Jahr 2015

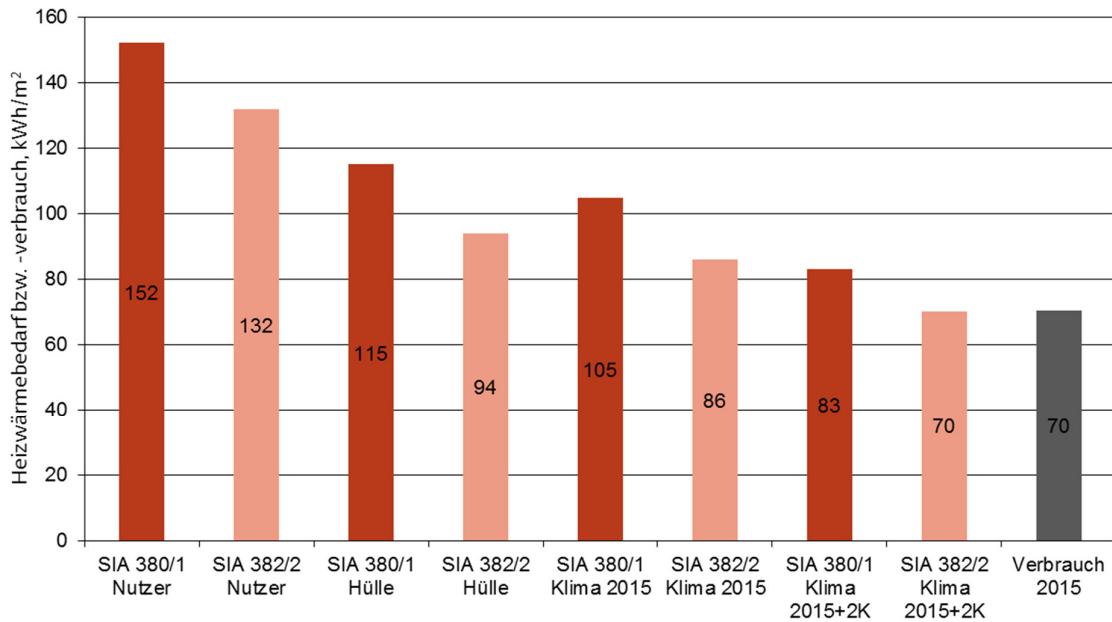


Bild 15 Bürogebäude: Vergleich der Ergebnisse HWB_{Kor} nach SIA 380/1:2009 (Monatsverfahren) und SIA 382/2:2011 (Stundenverfahren). Varianten von links nach rechts sind additiv (Änderungen jeweils zusätzlich).

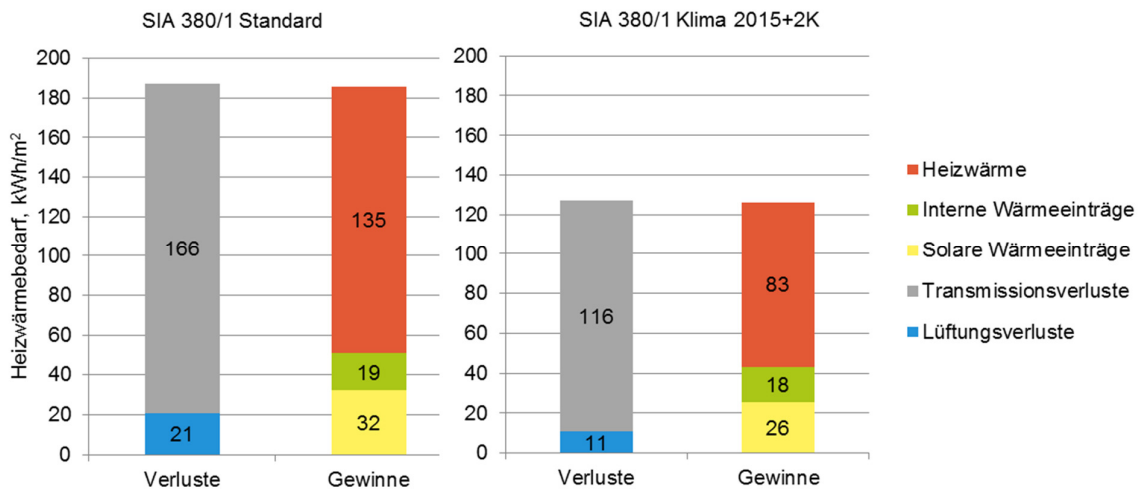


Bild 16 Bürogebäude Heizwärmebilanz nach SIA 380/1:2009 mit Standardeingabedaten und mit messgestützten Eingabedaten

Bild 16 zeigt die energetisch relevanten Bilanzgrößen der Heizwärmebilanz nach SIA 380/1 für das Bürogebäude. Der Heizwärmebedarf resultiert aus der Differenz zwischen Wärmeverlusten und Wärmegewinnen. Die Transmissionswärmeverluste überwiegen die Lüftungswärmeverluste um ein Mehrfaches. Der Unterschied zwischen dem Heizwärmebedarf mit Standardeingabedaten (HWB_{St}) und dem Heizwärmebedarf der Variante Klima 2015+2K (HWB_{Kor}), wird daher vor allem durch die grosse Differenz der Transmissionswärmeverluste verursacht.

3.4.3 Resultate messgestützte Eingabedaten Wohngebäude

Die schrittweise Anpassung der Eingabedaten an die am Gebäudestandort messtechnisch ermittelten Werte zeigt beim Wohngebäude ein analoges Muster wie beim Bürogebäude (siehe Bild 17):

Die Anpassung der vom Nutzer (Variante SIA 380/1 Nutzer) beeinflussbaren Bilanzgrößen (interne Wärmeeinträge durch Personen und elektrische Geräte, Beeinflussung der solaren Wärmeeinträge durch den Einsatz des Sonnenschutzes, Regelung der Raumtemperatur) bewirken gegenüber der Berechnung mit Standardnutzungswerten (HWB_{St}) nach SIA 380/1:2009 eine Erhöhung des HWB_{Kor} . Massgebend hierfür sind beim untersuchten Wohngebäude die geringen elektrischen Wärmeeinträge, welche mit 10 kWh/m^2 rund die Hälfte des Standardwerts betragen. Ebenfalls zu einer Erhöhung des HWB_{Kor} in der Variante Nutzer führt die Raumtemperatur, welche im Durchschnitt über alle gemessenen Räume während der Heizperiode bei 21 statt 20°C liegt. Die Lüftungswärmeverluste und die solaren Wärmeeinträge werden hingegen durch die Nutzer wenig beeinflusst. Die Angaben der Bewohner, dass im Winter weder über längere Zeit die Fenster geöffnet werden (Aussenlärm) noch die Klappläden geschlossen werden, wurde durch CO_2 -Messungen und Sichtkontrollen bestätigt. Der anhand von CO_2 -Messungen und Personenbelegung ermittelte Aussenluftvolumenstrom lag im Durchschnitt zwischen Oktober 2015 und März 2016 bei $0.44 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

Die Anpassung der Eigenschaften der Gebäudehülle (Variante SIA 380/1 Hülle) an die vor Ort ermittelten Werte, führt zu einer Reduktion des HWB_{Kor} , und einer Abweichung von $+45\%$ vom HWV. Massgebend sind der tiefere U-Wert der Aussenwand (0.80 statt 1.0) und der anhand der Kellertemperatur ermittelte tiefe b-Wert zwischen Erdgeschoss und Keller (0.25 statt 0.7). Der messtechnisch ermittelte b-Wert zum Estrich liegt bei 0.79 .

Die Berechnung mit den Klimadaten der Klimastation SMA von MeteoSchweiz des Jahres 2015 (Variante Klima 2015) führt zu einer Reduktion des HWB_{Kor} und eine Abweichung von $+31\%$ vom HWV.

Die Anpassung an die am Gebäudestandort gemessene Aussentemperatur (Variante Klima 2015+2K), welche im Schnitt während der Heizperiode 2015/16 wie im Fall des Bürogebäudes um 2 Grad über dem Messwert der Klimastation Zürich SMA lag (vgl. Anhang 6.1.3), führt zu einer guten Übereinstimmung mit dem HWV.

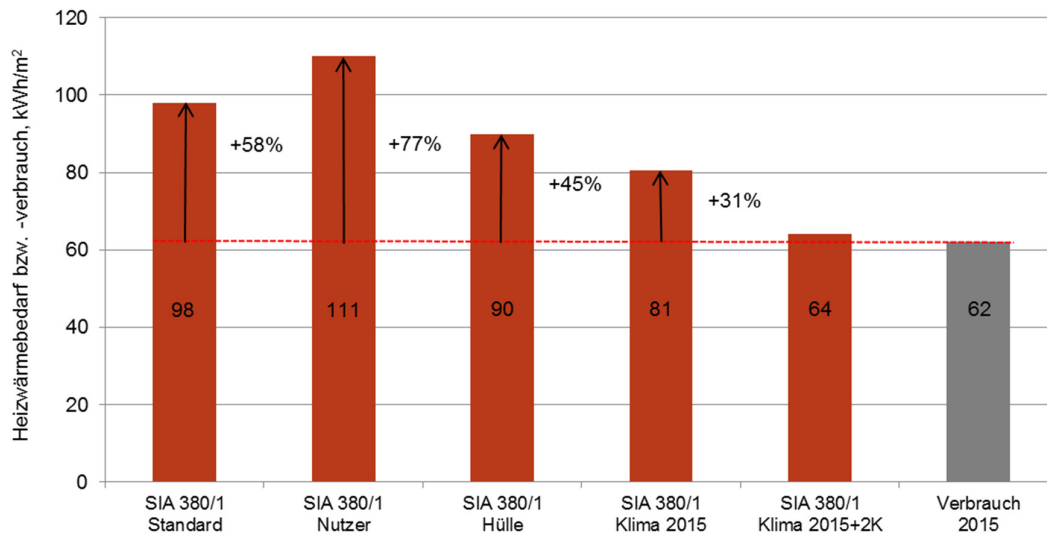


Bild 17

Berechneter Heizwärmebedarf nach SIA 380/1:2009 (HWB_{St}) mit schrittweiser Anpassung der Eingabedaten an die messtechnisch ermittelten Werten (HWB_{Kor})

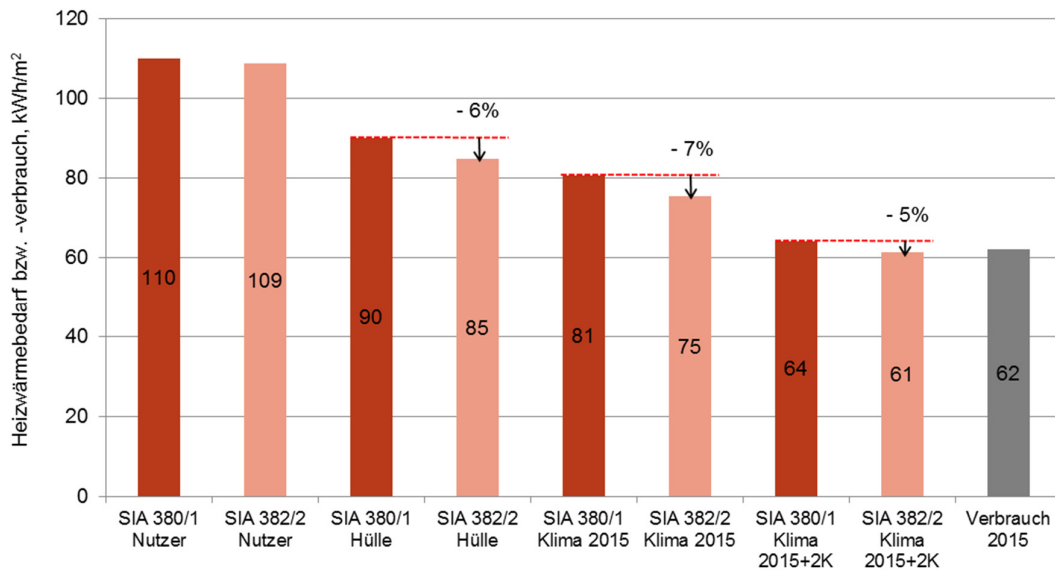


Bild 18 Vergleich der Ergebnisse HWB_{Kor} nach SIA 380/1:2009 (Monatsverfahren) und SIA 382/2:2011 (Stundenverfahren)

In Bild 18 wird zusätzlich der nach SIA 380/1:2009 berechnete HWB_{Kor} (Monatsverfahren) mit SIA 382/2:2011 (Stundenverfahren) verglichen. Mit dem Stundenverfahren resultieren generell leicht tiefere Werte. Dies beruht insbesondere auf der Absorption von Solarstrahlung durch opake Bauteile, welche in SIA 382/2:2011 berücksichtigt, in SIA 380/1:2009 dagegen vernachlässigt wird. Wird die Absorption der Solarstrahlung in der Berechnung nach SIA 382/2:2011 eliminiert (Absorptionsfaktor $\alpha = 0$), stimmt der berechnete HWB_{Kor} bei allen Varianten mit den Ergebnissen nach SIA 380/1:2009 nahezu überein (siehe auch Kap.3.5.3). Die Berücksichtigung der Absorption der Solarstrahlung führt im vorliegenden Fall zu einer Reduktion der HWB_{Kor} von rund 5 bis 7 %.

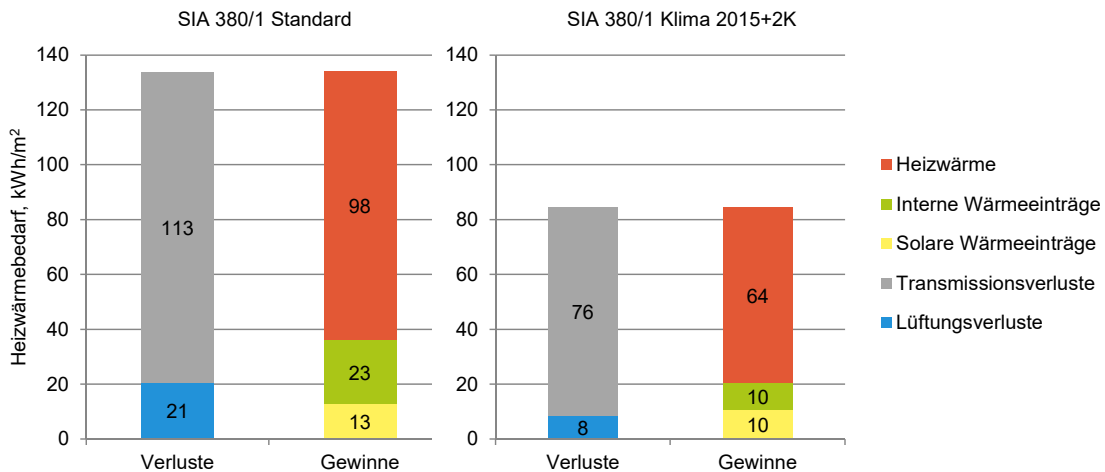


Bild 19 Heizwärmebilanz des Wohngebäudes

Bild 19 zeigt die Heizwärmebilanz des Wohngebäudes nach SIA 380/1:2009. Links ist die Bilanz mit Standardnutzungs-, Standardklima- und Standardrechenwerten für die Transmissionswärmeverluste (U-Werte, b-Werte) und rechts mit objektspezifisch gemessenen Eingabedaten dargestellt. Die grosse Differenz zwischen dem gemessenen HWV und dem HWB_{St}

beruht vor allem auf einer Überschätzung der Transmissionswärmeverluste. Der Nutzereinfluss, welcher sich vor allem auf die Lüftungswärmeverluste und die internen und solaren Wärmeeinträge auswirkt, spielt hingegen nur eine untergeordnete Rolle.

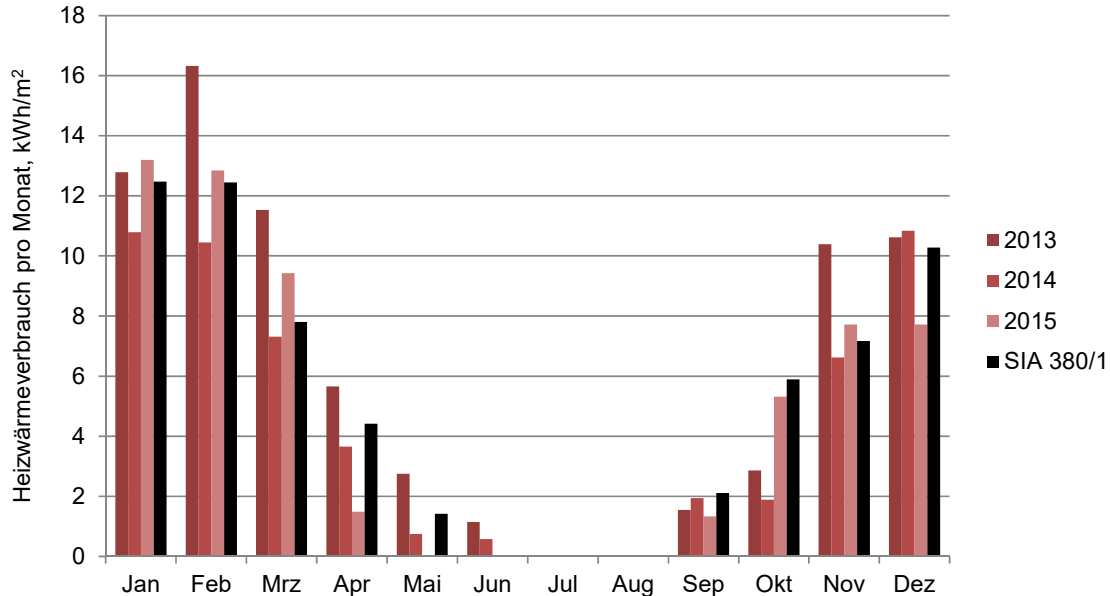


Bild 20 Monatlicher HWV 2013 bis 2015 im Vergleich zur auf Messwerten abgestützten Berechnung nach SIA 380/1:2009 (Variante Klima 2015+2K)

Bild 20 vergleicht den gemessenen monatlichen HWV mit der Berechnung nach SIA 380/1:2009, Variante Klima 2015 + 2K. Der Verlauf der berechneten Werte stimmt weitgehend mit den Messwerten für das Jahr 2015 überein. Lediglich im April und im Dezember wird der gemessene Verbrauch aus 2015 gegenüber der Variante Klima 2015 + 2K um mehr als 2 kWh/m² überschätzt. Der Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge liegt gemäss Berechnung nach SIA 380/1:2009 in den Monaten Januar bis Mai und September bis Dezember bei 100 %.

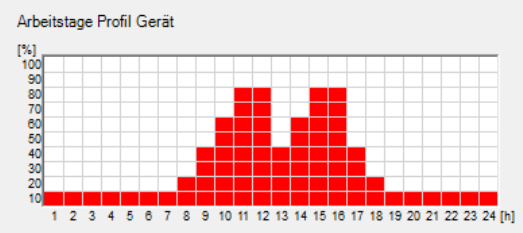
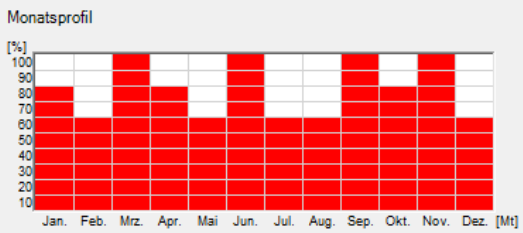
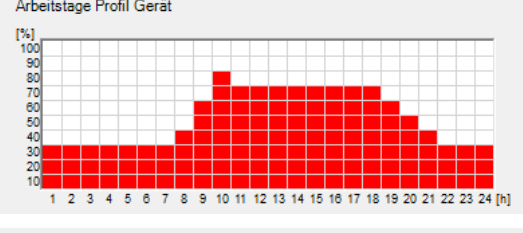
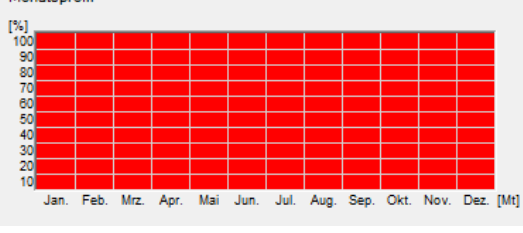
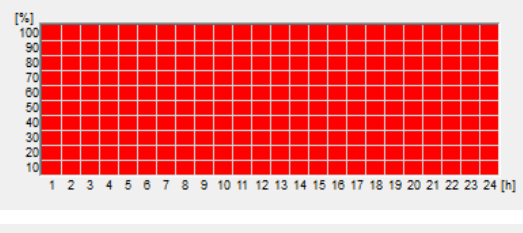
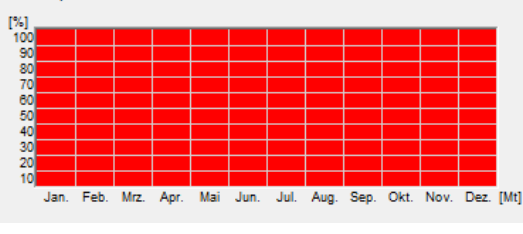
3.5 Sensitivitätsanalyse Bürogebäude

3.5.1 Einfluss interne Wärmeeinträge (statisch, dynamisch)

Um den Einfluss der internen Wärmeeinträge, insbesondere die Gleichzeitigkeit der Gewinne relativ zu den Verlusten zu beurteilen, wird eine Vergleichsrechnung mit konstanter Gerätebelastung gemacht. Die unterschiedlichen Geräteprofile sind in Tabelle 5 dargestellt. In der Rechnung mit konstantem Geräteprofil bleibt die Summe des Stromverbrauchs übers Jahr gleich gross wie im variablen Profil und entspricht dem gemessenen Stromverbrauch. Wie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt, spielt die Gleichzeitigkeit der internen Wärmeeinträge im vorliegenden Fall eine geringe Rolle.

Tabelle 5

Geräteprofile für die Hauptnutzung Einzel-, Gruppenbüro am Beispiel des Bürogebäudes

Standardrechnung	
<p>Arbeitstage Profil Gerät</p>  <p>Monatsprofil</p> 	<p>Geräteprofil nach SIA 2024:2011</p> <p>Max. Leistung Geräte: 7 W/m²</p> <p>Beleuchtung: 15.9 W/m²</p>
Variante Klima 2015+2K	
<p>Arbeitstage Profil Gerät</p>  <p>Monatsprofil</p> 	<p>Geräteprofil abgeleitet aus Stromverbrauch und Leistungsmessungen</p> <p>Max. Leistung Geräte: 11 W/m²</p> <p>Beleuchtung: 11 W/m²</p>
Variante Konstante Gerätelast	
<p>Arbeitstage Profil Gerät</p>  <p>Monatsprofil</p> 	<p>Konstantes Geräteprofil abgeleitet aus Stromverbrauch</p> <p>Max. Leistung Geräte: 7 W/m² (=100 %)</p> <p>Beleuchtung: 0 W/m²</p>

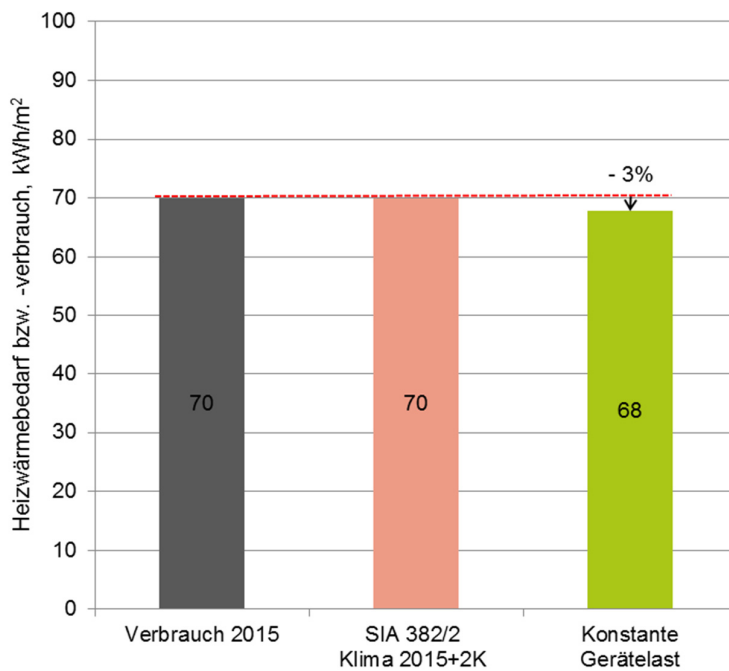


Bild 21 Einfluss Gerätelast am Beispiel des Bürogebäudes. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

3.5.2 Einfluss Aussenluftvolumenstrom (statisch, dynamisch)

Statt eines stündlich variablen Aussenluftvolumenstroms wird in der Vergleichsrechnung ein konstanter Aussenluftvolumenstrom angenommen, der dem mittleren Aussenluftvolumenstrom (gemittelt über 24 h) entspricht. In beiden Fällen ist die totale Luftmenge über die Gebäudehülle dieselbe. Statt eines variablen Lüftungsprofils wird mit einem konstanten Wert von $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ gerechnet (=33 % des maximalen Luftvolumenstroms ohne Infiltration, $0.33 \cdot 1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$). Bild 22 zeigt, dass diese Verschiebung, resp. die Gleichmässige Verteilung der Lüftungswärmeverluste eine Abweichung von 6 % bewirkt.

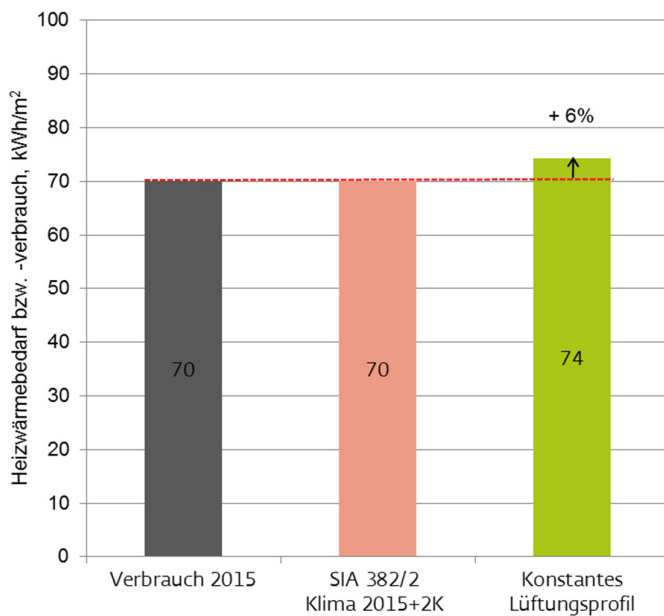


Bild 22 Einfluss Lüftungsprofil am Beispiel des Bürogebäudes. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

3.5.3 Einfluss Absorption Solarstrahlung durch opake Bauteile

Wie Bild 23 zeigt, kann die Berücksichtigung, resp. Vernachlässigung der Absorption von Solarstrahlung (Absorptionskoeffizient $\alpha=0$), den HWB_{Kor} im vorliegenden Bürogebäude um 6 % erhöhen. Eine dynamische Simulation der U-Werte der opaken Bauteile der West- und Südseiten des Bürogebäudes (Fensteranteil zwischen 47 und 64 %) zeigt, dass der Einfluss des Absorptionskoeffizienten auf den U-Wert nicht unerheblich ist (siehe 7.1.3, Kapitel U-Werte) und den U-Wert unter Annahme vollständiger Absorption ($\alpha=1$, $\epsilon=1$) um bis zu $0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$ reduzieren kann (vgl. Tabelle 21, Simulation Nr. 4 versus Simulation Nr. 1). Dies unter Verwendung von Meteonorm-Klimadaten. Die Relevanz der Absorption von Solarstrahlung durch opake Bauteile bleibt im Fall Bürogebäude jedoch gering.

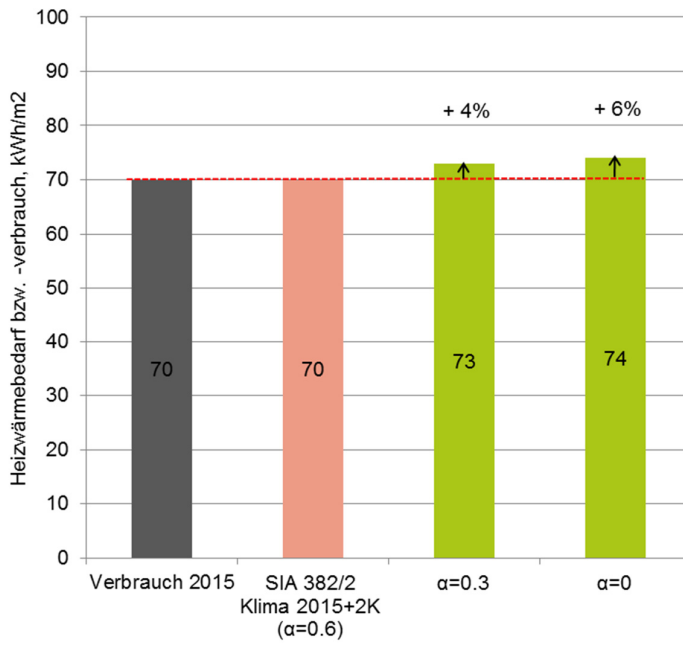


Bild 23 Einfluss Absorptionskoeffizient am Beispiel des Bürogebäudes. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

3.5.4 Einfluss Transmissionswärmeverluste gegen unbeheizt (statisch, dynamisch)

Über die mittlere gemessene Keller- und Aussentemperaturmessung wird der b-Wert⁸ ermittelt. Im Keller des Bürogebäudes beträgt die minimale gemessene Temperatur im Winter 16.4°C, die mittlere bei 17.8°C. In der SIA 380/1:1988 Norm wird die Kellertemperatur mit 12 C angenommen, woraus bei einer Raumtemperatur von 20°C und mittleren Aussentemperatur von 8.5°C ein b-Wert von 0.7 resultiert. Im vorliegenden Fall des Bürogebäudes ist der b-Wert gleich der Steigung der interpolierten linearen Funktion (b=0.1, siehe Bild 24). Der HWB_{Kor} in Variante Klima 2015+2K ist mit einem b-Wert von 0.1 berechnet. Eine Rechenvariante ohne b-Wert, dafür mit einer konstanten Kellertemperatur von 16°C im Winter, resp. 20°C im Sommer, ergibt bei ansonsten gleichen messdatengestützten Eingabedaten wie Variante Klima 2015 + 2K eine Abweichung des HWB_{Kor} um lediglich – 1.4 %. Wird der Standard b-Wert von 0.7 verwendet, steigt der berechnete HWB_{Kor} um 17 %. Der Einfluss des b-Werts auf den HWB kann somit als massgebend bezeichnet werden.

⁸ b-Wert = $(T_{\text{innen}} - T_{\text{Keller}}) / (T_{\text{innen}} - T_{\text{ausen, Durchschnitt}})$

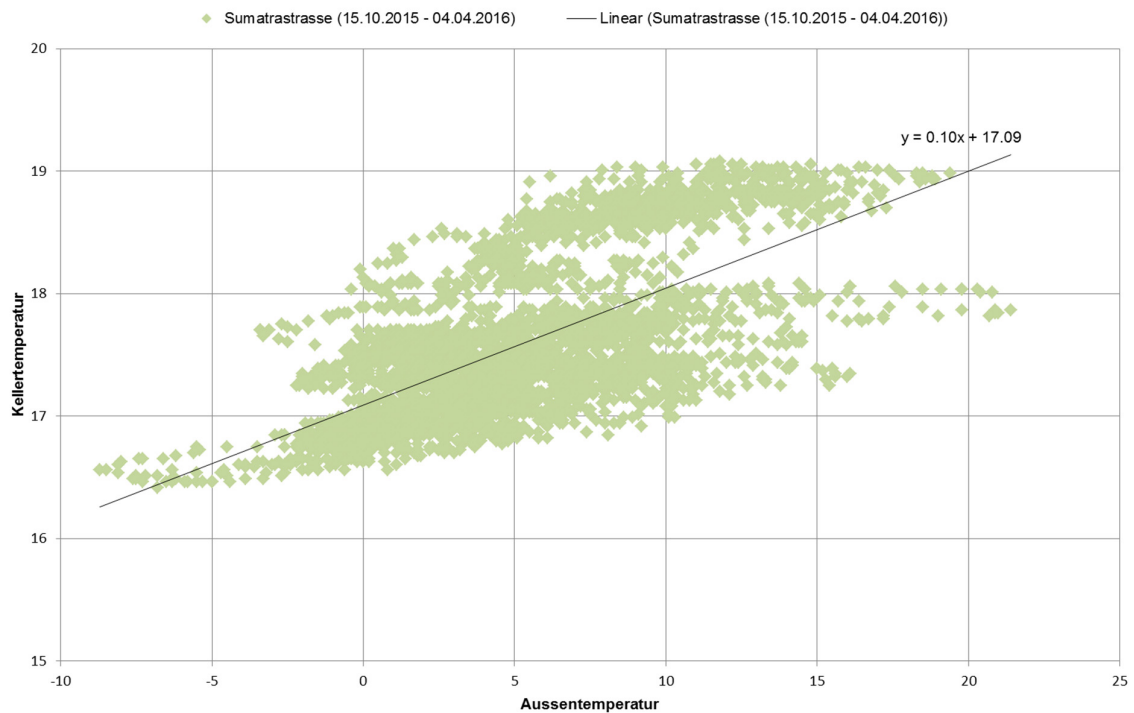


Bild 24 Kellertemperatur und Abschätzung des b-Werts

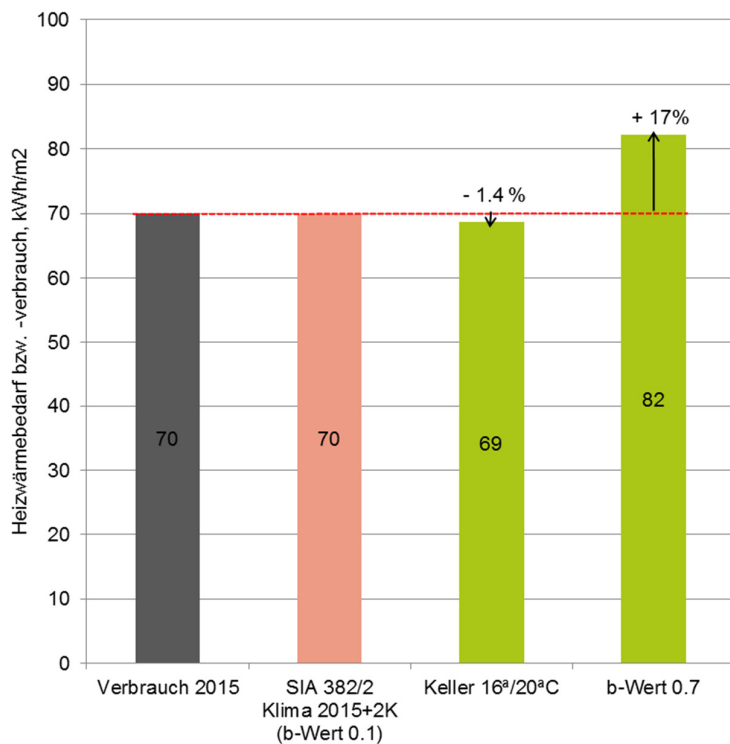


Bild 25 Einfluss Transmissionswärmeverluste gegen unbeheizt am Beispiel des Bürogebäudes. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

3.5.5 Einfluss Wärmeübergangskoeffizienten beim U-Wert (ausen und innen)

Wärmeübergangskoeffizienten beeinflussen den U-Wert stark. Gemäss Norm SIA 180:2014 werden Wärmeübergangskoeffizienten von 7.7 W/m²K für die Innenfläche und 25 W/m²K für

die Aussenfläche verwendet. In Realität sind diese Werte jedoch oft geringer [31], was teilweise auf tieferen mittleren Windgeschwindigkeiten beruht. Der Standardkoeffizient aussen gilt für eine mittlere Windgeschwindigkeit von 4 m/s, welche im vorliegenden Fall nicht vorherrscht. Werden stattdessen Wärmeübergangskoeffizienten (innen, aussen) von 5.6, resp. 4 W/m²K verwendet, was Windgeschwindigkeiten von 0 m/s entspricht, wie in der eben zitierten Referenz, sinkt der um diese Übergangskoeffizienten bereinigte gerechnete U-Wert der Aussenfassade von 1.4 W/m²K auf 1.0 W/m²K (vgl. auch Tabelle 20), was gut mit der U-Wertmessung übereinstimmt. Der Einfluss der tieferen Wärmeübergangskoeffizienten auf den HWB_{Kor} beträgt 6 %.

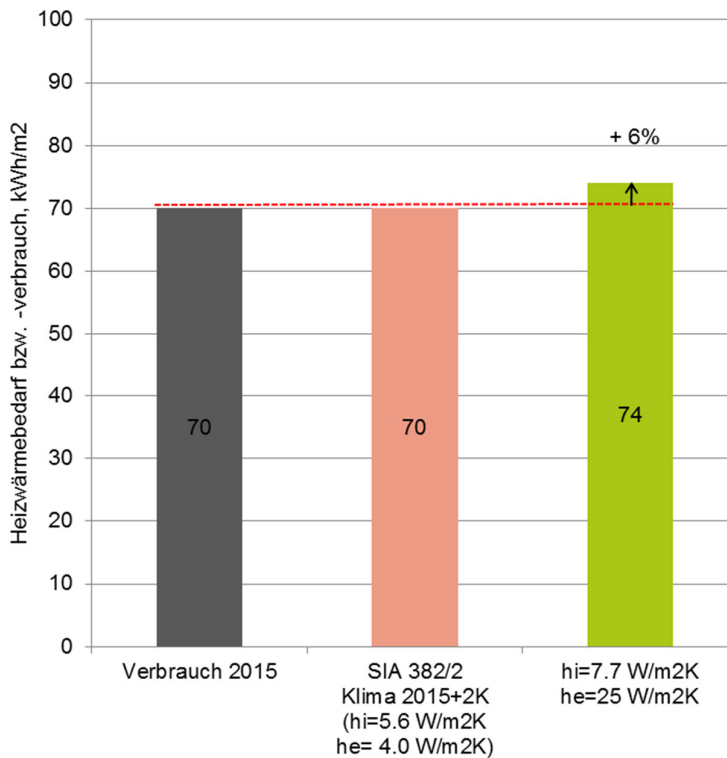


Bild 26 Einfluss Wärmeübergangskoeffizient am Beispiel des Bürogebäudes. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

3.5.6 Einfluss Nachtabsenkung

Im Bürogebäude wird nachts die Temperatur auf min. 18°C abgesenkt. Die Nachtabsenkung ist in Variante Klima 2015 + 2K bereits durch die Mittelwertbildung der Raumtemperatur eingeflossen, welche 21°C beträgt. Eine Rechenvariante mit einer Raumtemperatur von 22°C (wie sie tagsüber effektiv vorkommt, vgl. Kalenderwoche 1 in Bild 27) und einer Nachtabsenkung von 4 K zeigt dies (geringe Abweichung von - 4 % ggü. Variante Klima 2015 + 2K). Um den Einfluss einer Nachtabsenkung auf den HWB_{Kor} dennoch aufzuzeigen, wird im Modell Klima 2015+2K eine Nachtabsenkung auf 18°C bei einer durchschnittlichen Tagesraumtemperatur von 21°C statt 22°C gewählt. In diesem Fall sieht man das grosse Energieeinsparungspotential von -17 % (implizit ist in diesem Wert aber auch die Verminderung des HWB_{Kor} enthalten, die sich von einer Absenkung der Raumtemperatur tagsüber von 22°C auf 21°C ergibt).

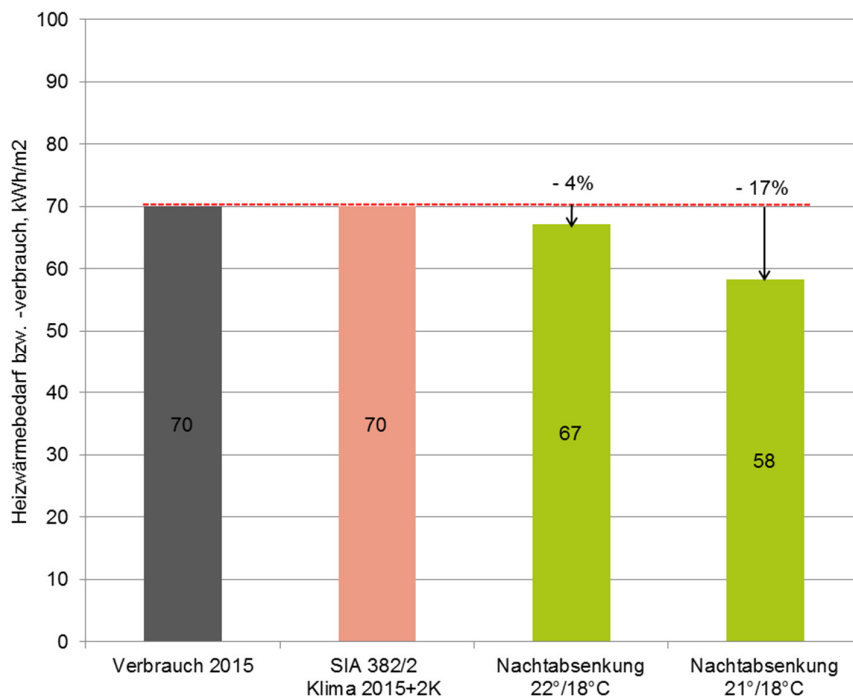


Bild 27 Einfluss Nachtabsenkung am Beispiel des Bürogebäudes. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

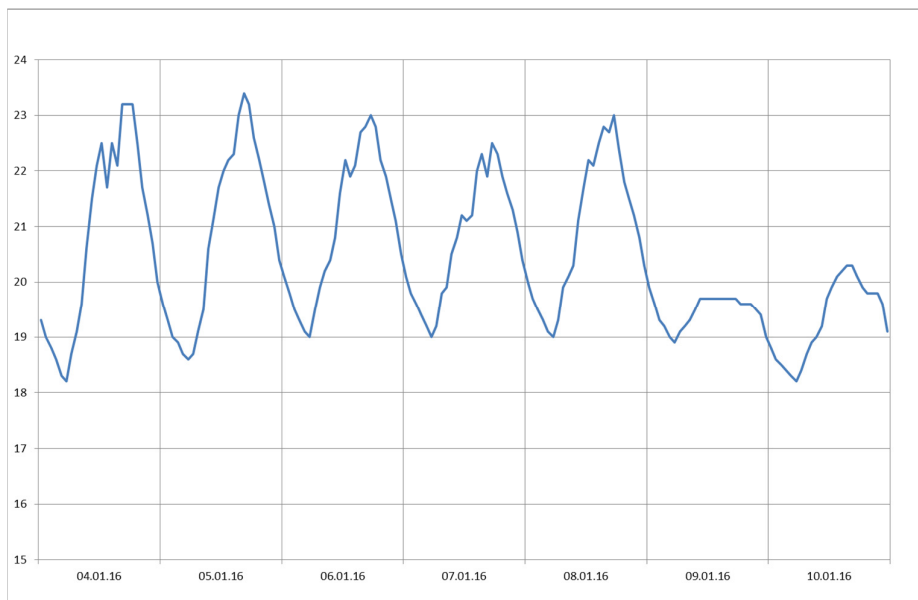


Bild 28 Gemessene Raumlufttemperatur im Bürogebäude in Kalenderwoche 1

3.5.7 Einfluss Wärmespeicherfähigkeit

Für den Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit wurde die Wärmespeicherfähigkeit der Innenbauteile so erhöht, dass die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes um rund 20 % zunimmt. Dies reduziert den HWB_{Kor} um 0.7 %. Der Einfluss ist für den Fall des Bürogebäudes sehr gering.

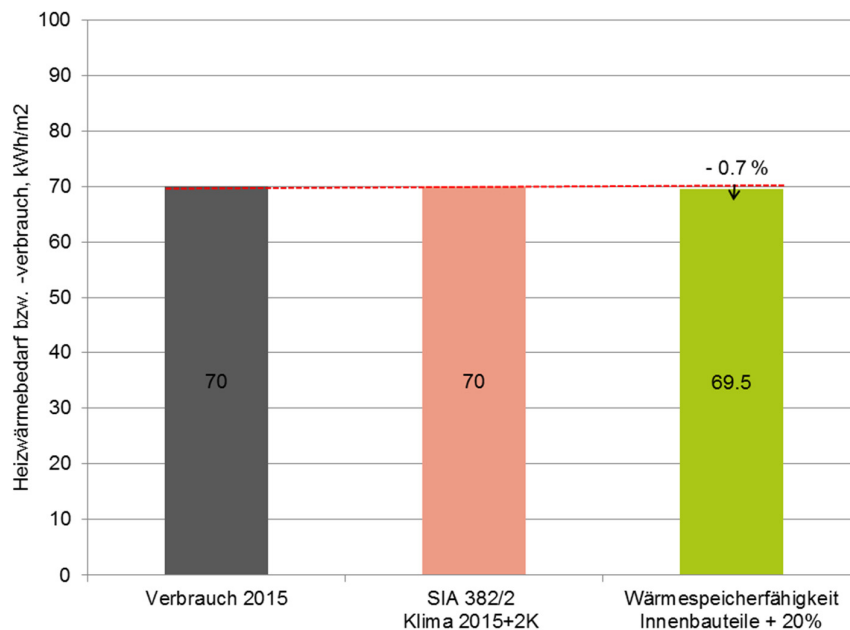


Bild 29

Einfluss Wärmespeicherfähigkeit. Vergleich HWV (grau) und HWB_{Kor} (grün, rosa).

3.6 Sensitivitätsanalyse Wohngebäude

3.6.1 Einfluss Teilbeheizung: unbeheiztes Treppenhaus

In der Literatur wird die grosse Differenz zwischen dem HWB_{St} und dem gemessenen HWV bei bestehenden Gebäuden ohne Wärmedämmung oft mit einer Teilbeheizung der betroffenen Gebäude begründet [19], [21], [23], [24]. Beim hier untersuchten Wohngebäude wird das Treppenhaus nicht aktiv beheizt. Mit einer Variante wird untersucht, wie sich diese Teilbeheizung auf den nach SIA 382/2:2011 berechneten HWB_{Kor} auswirkt (siehe Bild 30). Das Treppenhaus dient in diesem Fall als Pufferzone und wird nur indirekt über die thermischen Verluste der Wohnungen beheizt. Bei den Trennwänden zwischen Wohnungen und Treppenhaus wird ein U-Wert von 1.75 W/(m²K) angenommen. Das Treppenhaus hat über alle 5 Geschosse eine Nettofläche von insgesamt 79 m². Dies entspricht gut 20 % der Nettofläche des gesamten Gebäudes exkl. Keller und Estrich.

Gemäss Berechnung nach SIA 382/2:2011 resultiert bei der Variante mit unbeheiztem Treppenhaus (SIA 382/2 Klima 2015+2K Treppenhaus unbeheizt) eine Einsparung von rund 10 % Heizwärme gegenüber der Variante mit beheiztem Treppenhaus (SIA 382/2 Klima 2015+2K). Die Berechnung ergibt zudem eine minimale Raumtemperatur im Treppenhaus von 12.7°C im Erdgeschoss und 16.9°C auf den Obergeschossen. Punktuelle Messungen haben vergleichbare Temperaturen im Eingangsbereich ergeben. Bereits ab dem 1. Obergeschoss wurden aber 20°C nie unterschritten. Die Berechnung mit unbeheiztem Treppenhaus überschätzt daher vermutlich die effektiven Einsparungen an Heizwärme.

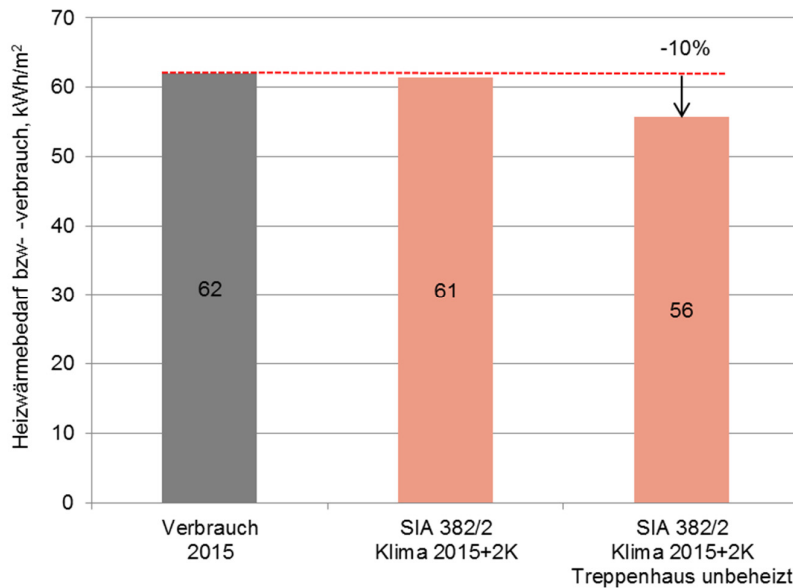


Bild 30 Sensitivität Teilbeheizung – die Berücksichtigung des Treppenhauses als unbeheizte Pufferzone statt als beheizte Verkehrsfläche führt in der Berechnung nach SIA 382/2:2011 zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfs um 9 %. Vergleich HWV (grau) und HWB_{kor} (rosa).

3.7 Schlussfolgerungen Feinanalyse

Die Feinanalyse eines bestehenden Büro- und eines Wohngebäudes, beide ohne bzw. nur mit minimaler Wärmedämmung, zeigt vergleichbare Tendenzen:

- Der HWB_{St} liegt je nach Berechnungsverfahren um 30 bis 40 % über dem gemessenen HWV.
- Eine Anpassung der Berechnung an das effektive Nutzerverhalten (Raumtemperatur, interne Wärmeeinträge, Sonnenschutz, Fensterlüftung) führt zu einer noch grösseren Abweichung von HWB_{kor} zum gemessenen Verbrauch.
- Eine Anpassung an die messtechnisch ermittelten thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle (tiefere U-Werte und b-Werte zum Keller) führt zu einer Annäherung, die Abweichung zum gemessenen Verbrauch bleibt aber noch immer gross.
- Erst eine Berücksichtigung der am Gebäudestandort herrschenden Aussentemperatur, welche im Winter 2015 rund 5 Kelvin über dem langjährigen Mittel und 2 Kelvin über den Messwerten der Klimastation Zürich MeteoSchweiz lag, führt zu einer nahezu vollständigen Annäherung von HWB_{kor} und Messung.

Fazit für diese Gebäudegruppe:

Die Berücksichtigung des effektiven Nutzerverhaltens (Raumlufthtemperatur $>20^{\circ}C$, geringere Fensterlüftung im Winter, geringere interne Wärmeeinträge durch Personen und Geräte im Wohngebäude, leicht höhere Wärmeeinträge durch Geräte im Fall des Bürogebäudes) führt zu einer Vergrösserung, die Berücksichtigung der effektiven thermischen Verluste dagegen zu einer deutlichen Reduktion der Abweichung zwischen HWB_{kor} und dem gemessenen HWV.

Erkenntnisse bezüglich der eingesetzten Berechnungsverfahren:

- Die beiden Berechnungsverfahren nach SIA 380/1:2009 (Monatsverfahren) und SIA 382/2:2011 bzw. SIA 2044:2011 (Stundenverfahren) führen zu vergleichbaren Ergeb-

nissen, sofern alle Eingabedaten vollständig angeglichen werden. Mit dem Stundenverfahren können allerdings zusätzliche Einflussfaktoren wie die Absorption von Solarstrahlung durch opake Bauteile oder die indirekte Teilbeheizung von Treppenhäusern und anderen Pufferzonen berücksichtigt werden.

- Die Absorption von Solarstrahlung durch opake Bauteile führt bei den beiden untersuchten Gebäuden gemäss Berechnung nach SIA 382/2:2011 zu einer Reduktion des HWB_{Kor} um 5 %.
- Die Berücksichtigung von dynamischen anstelle von statischen internen Wärmeeinträgen führt zu einer geringfügigen Erhöhung des HWB_{Kor} .
- Die Berücksichtigung von dynamischen anstelle von statischen Lüftungsverlusten führt zu einer Reduktion des HWB_{Kor} .

Erkenntnisse bezüglich der Messung objektspezifischer Eingabedaten:

- Die Erfassung des objektspezifischen Einsatzes von Sonnenschutzeinrichtungen durch Auswertung von Fassadenaufnahmen ist aufwändig. Die Entwicklung einer automatischen Bildauswertung wäre interessant, hat aber aufgrund der beschränkten Anwendungen kaum Realisierungschancen.
- Beim hier untersuchten Bürogebäude resultiert nur ein geringer Anteil zusätzlicher Verschattung durch den Einsatz des Sonnenschutzes⁹.
- Die Erfassung der Personenbelegung mittels Präsenzmeldern ist aufwändig und ungenau. In Bürogebäuden kann zusätzlich der Stromverbrauch als Indikator für die Personenbelegung herangezogen werden.
- Die Ermittlung des Aussenluftvolumenstroms anhand von CO_2 -Konzentration und Personenbelegung ist anspruchsvoll und mit Unsicherheiten von min. +/- 50 % verbunden.

⁹ Es ist davon auszugehen, dass bei Neubauten mit hohem Fensteranteil die solaren Wärmeeinträge im Winter durch den Sonnenschutz massgeblich reduziert und der Heizwärmebedarf daher massgeblich unterschätzt werden kann.

4 Grobanalyse: monatliche Messdaten und Literaturrecherche

4.1 Vorstellung Gebäude

4.1.1 Gebäudebeschreibung Grobanalyse 1 (GA1)

Nachstehend werden die elf Gebäude mit einer monatlichen Verbrauchsdatenerfassung (GA1) beschrieben. Die meisten davon sind MFH. Bei den MFH handelt es sich eher um kleine Gebäude mit einer A_E zwischen ca. 600 und 2'400. Als Energieträger kommen meist Fernwärme oder Gas zum Einsatz, wobei die Energieträger für die Heizwärme und die Warmwasserbereitung identisch sind.

Tabelle 6 zeigt die wesentlichen Eigenschaften der Gebäude. Das A_{th}/A_E -Verhältnis liegt bei sieben Gebäuden zwischen ca. 0.6 und 1.0. Bei vier Gebäuden, darunter die EFH, ist das Verhältnis ungünstiger und liegt zwischen ca. 1.3 und 2.2.

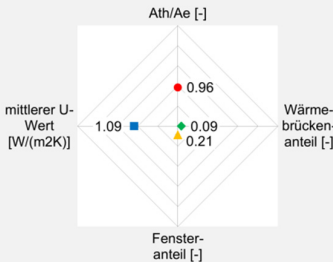

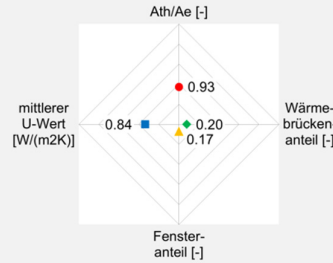

Der Wärmebrückenanteil ist unterschiedlich hoch. Die Gebäude mit den ungewöhnlich hohen Anteilen (BS_02 und BS_05) weisen durchgehende steinerne Fenstergewände auf, bei BS_05 kommen noch Balkonplatten hinzu. In der Ermittlung werden ausschliesslich Wärmebrücken mit Verlustkoeffizienten grösser Null berücksichtigt.

Der Fensterflächenanteil an der Fassade liegt meist zwischen ca. 17 und 34 %. Eine Ausnahme ist das Gebäude BS_06 mit einer Streifenfassade und einem Anteil von 48 %

Die mittleren U-Werte liegen zwischen ca. 0.66 und 2.0 W/(m² K). Die Gebäude mit den tiefsten U-Werten RE_01 und BS_02 sind teilsaniert. Beim Gebäude RE_01 sind die Fenster ersetzt, es gibt Wintergärten und ein Teil der Wände ist gedämmt (ca. 6 cm). Beim Gebäude BS_02 sind Dach und Kellerdecke gedämmt.

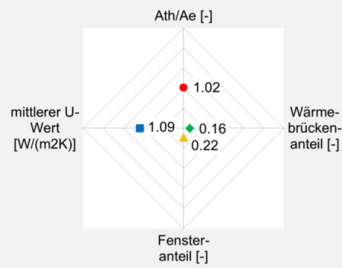
Weitere detaillierte Angaben zu den Gebäuden finden sich im Anhang 6.2.1.

Tabelle 6 Die Gebäude GA1. Die Verbrauchsdaten wurden monatlich erhoben. Die Buchstaben im Namen des Gebäudes geben den Standort an: BS = Basel, PR = Pratteln, BA = Buchs-Aarau, RE = Reinach, LU = Luzern, RI = Riehen

BS_01		
Typ: MFH Nutzung: Wohnen Baujahr: 1971 A_E : 996 Energieträger Heizung: Öl Energieträger WW: Öl Art der Messung: Wärmemengenzähler		
BS_02		
Typ: MFH Nutzung: Wohnen Baujahr: 1953 A_E : 1'602 Energieträger Heizung: Fernwärme Energieträger WW: Fernwärme Art der Messung: Wärmemengenzähler		

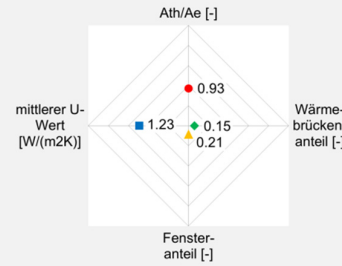
BS_03

Typ: MFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1879/1900
A_E: 2'190
Energieträger Heizung: Fernwärme
Energieträger WW: Fernwärme
Art der Messung: Wärmemengenzähler



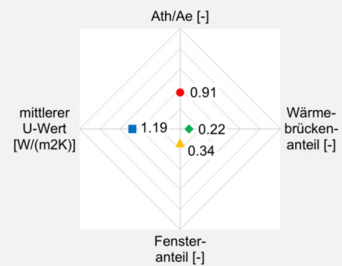
BS_04

Typ: MFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1905
A_E: 1'266
Energieträger Heizung: Fernwärme
Energieträger WW: Fernwärme
Art der Messung: Wärmemengenzähler



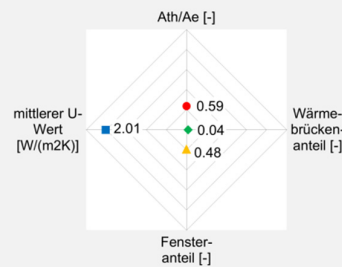
BS_05

Typ: MFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1935
A_E: 1'226
Energieträger Heizung: Gas
Energieträger WW: Gas
Art der Messung: Wärmemengenzähler



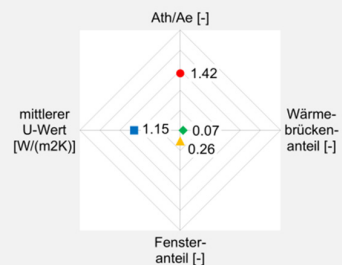
BS_06

Typ: Grossbau
Nutzung: Mischnutzung
Baujahr: 1970
A_E: 11'296
Energieträger Heizung: Fernwärme
Energieträger WW: Fernwärme
Art der Messung: monatliche Abrechnung IWB



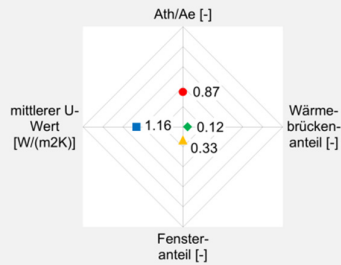
PR_01

Typ: MFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1975
A_E: 635
Energieträger Heizung: Fernwärme
Energieträger WW: Fernwärme
Art der Messung: Wärmemengenzähler



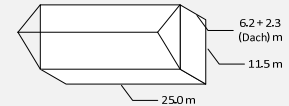
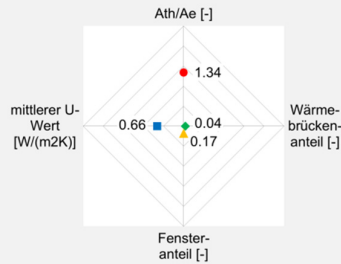
BA_01

Typ: MFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1961
 A_E : 2'471
Energieträger Heizung: Gas
Energieträger WW: Gas
Art der Messung: monatliche Abrechnung IBB Energie AG



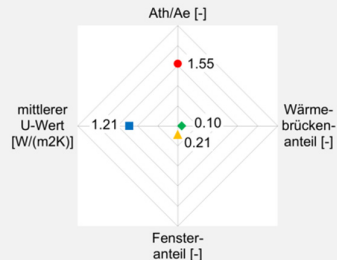
RE_01

Typ: MFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1962/1963
 A_E : 795
Energieträger Heizung: Gas
Energieträger WW: Gas
Art der Messung: monatliche Ablesung



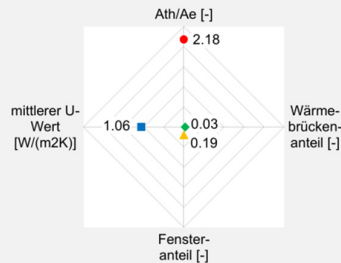
LU_01

Typ: EFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1898
 A_E : 293
Energieträger Heizung: Gas
Energieträger WW: Gas
Art der Messung: monatliche Ablesung



RI_01

Typ: EFH
Nutzung: Wohnen
Baujahr: 1930
 A_E : 147
Energieträger Heizung: Gas
Energieträger WW: Strom
Art der Messung: monatliche Ablesung



4.1.2 Gebäudebeschreibung Grobanalyse 2 (GA2)

Tabelle 7 zeigt die 20 Gebäude mit der jährlichen Verbrauchsdatenerfassung (GA2) und ihre wesentlichen Eigenschaften. Die Ablesedaten wurden jährlich erhoben. Bei den meisten Gebäuden (15) aus der Gruppe GA2 handelt es sich um EFH. Acht der Gebäude haben Öl als Energieträger, sieben Erdgas. Bei den übrigen Gebäuden wird Strom oder Fernwärme eingesetzt.

Weitere Angaben zu beiden Gebäudegruppen finden sich im Anhang 6.2.2.

Tabelle 7

Die Gebäude GA2. Die Verbrauchsdaten wurden jährlich erhoben.
Das Kürzel im Namen des Gebäudes gibt den Standort an: AG = Kanton Aargau, SO = Kanton Solothurn, VD = Kanton Waadt

	Typ	Baujahr	A _E	Energieträger Heizung	Energieträger WW
	[-]	[-]	[m ²]	[-]	[-]
AG_EFH_01	EFH	1968	168	Strom	wie Heizung
AG_MFH_02	MFH	1781	400	Erdgas	wie Heizung
AG_MFH_03	MFH	1972	1909	Fernwärme	wie Heizung
AG_EFH_04	EFH	1942	244	Öl	Strom
AG_EFH_05	EFH	1998	210	Strom (WP)	Strom
AG_EFH_06	EFH	1972	184	Erdgas	wie Heizung
AG_EFH_07	EFH	1969	178	Öl	wie Heizung
AG_EFH_08	EFH	1905	249	Erdgas	Strom
AG_EFH_09	EFH	1946	144	Öl	Strom
AG_EFH_10	EFH	1970	174	Öl	wie Heizung
AG_EFH_11	EFH	1919	162	Öl	Strom
AG_EFH_12	EFH	1962	240	Öl	wie Heizung
AG_EFH_13	EFH	1958	195	Öl	wie Heizung
AG_MFH_14	MFH	1650	383	Erdgas	wie Heizung
AG_EFH_15	EFH	1988	268	WP	Strom
AG_EFH_16	EFH	1927	254	Erdgas	wie Heizung
AG_EFH_17	EFH	1982	214	Strom (WP)	keine Angaben
SO_MFH_01	MFH	1981	2737	Öl	keine Angaben
SO_MFH_02	MFH	1981	2889	Erdgas	keine Angaben
VD_EFH_01	EFH	1950	125	Erdgas	Strom

4.1.3 Berechnung mit Standardwerten (GA1 + GA2)

Für alle Gebäude GA1 wird der HWB_{St} gemäss SIA 380/1:2009 ermittelt. Für zwei Gebäude war der Nachweis SIA 380/1 vorhanden (RI_01 und LU_01). Für das Gebäude BS_06 wird der vorhandene Nachweis für das sanierte Gebäude angepasst, sodass er das unsanierte Gebäude darstellt.

Für alle Gebäude GA2 liegen jeweils Berechnungen des HWB_{St} gemäss SIA 380/1:2009 vor. Die Berechnungen wurden im GEAK Plus online Tool erstellt (Stand aller Berechnungen: Juli 2015).

4.1.4 Messergebnisse (GA1 + GA2)

Bei den Gebäuden GA1 existieren für 6 Gebäude die Verbrauchsdaten von Wärmemengenzählern, bei den übrigen Gebäuden wurden die Daten monatlich abgelesen (3 Stück) oder abgerechnet (2 Stück). Der gesamte Ableszeitraum beträgt 3 - 5 Jahre.

Für die Gebäude GA2 existieren jährliche Ablesdaten für einen Zeitraum von 1 - 3 Jahren.

Alle Daten werden bereinigt. Dies umfasst die Heizgradtagsbereinigung, die Berücksichtigung des Kesselnutzungsgrades sowie den Abzug der Verluste der Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle und des Energieverbrauchs für die Warmwasserbereitung. Details dazu finden sich im Anhang, Kapitel 7.2.2.

In Bild 31 ist die Abweichung der Gebäude mit den monatlichen Messdaten (GA1) dargestellt. Als Ergänzung finden sich auch die Daten der beiden Gebäude aus der FA, die in Kapitel 3 vorgestellt wurden.

Es wird deutlich, dass von den 13 Gebäuden bei 6 Gebäuden der HWV tiefer ist als der HWB_{St} . 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 U-Werte aufweisen (BS_02: 0.84 W/(m² K), RE_01: 0.66 W/(m² K), verbrauchen mehr Heizwärme als berechnet (zwischen - 18 und - 22 %). Bei vier Gebäuden stimmen HWB_{St} und HWV hinreichend überein (- 9 % bis + 10 %).

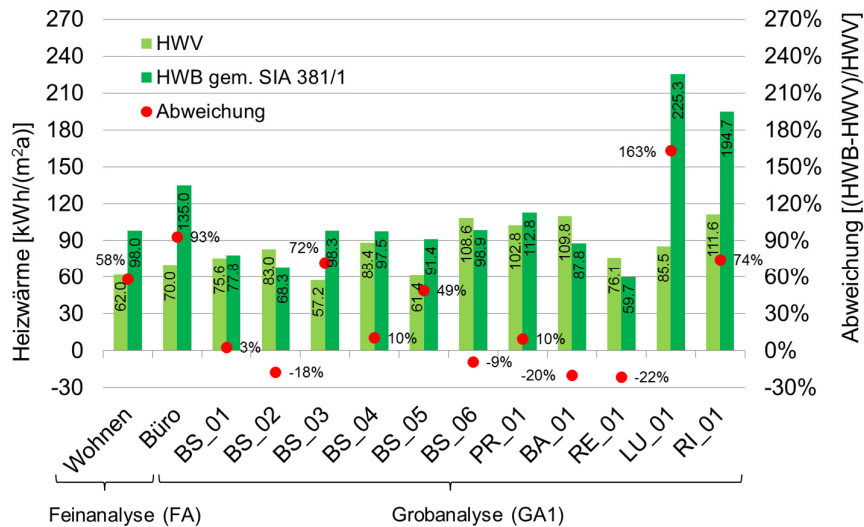


Bild 31 HWV und HWB_{St} (gem. SIA 380/1) für die beiden Gebäudegruppen FA und GA1. MFH: "Wohnen", BS_01, BS_02, BS_03, BS_04, BS_05, PR_01, BA_01 und RE_01. Das Gebäude BS_06 umfasst eine Mischnutzung mit Verkauf, Büro und Wohnen. EFH: LU_01 und RI_01
Flächenbezug: Energiebezugsfläche, A_E , gem. [32].

In der Gruppe mit den jährlichen Daten (GA2) überschreitet die Berechnung den Messwert bei 14 Gebäuden (Abweichungen zwischen + 17 und + 167 %). Bei 6 Gebäuden stimmen HWB_{St} und HWV genügend gut überein (- 5 % bis - 14 %) (Bild 32).

Der HWV (exkl. WW) aus allen 17 EFH (GA1 und GA2) liegt im Mittel bei 96.8 kWh/(m²_{AE} a), der Mittelwert für die 14 MFH (FA, GA1 und GA2) liegt bei 74.4 kWh/(m²_{AE} 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.

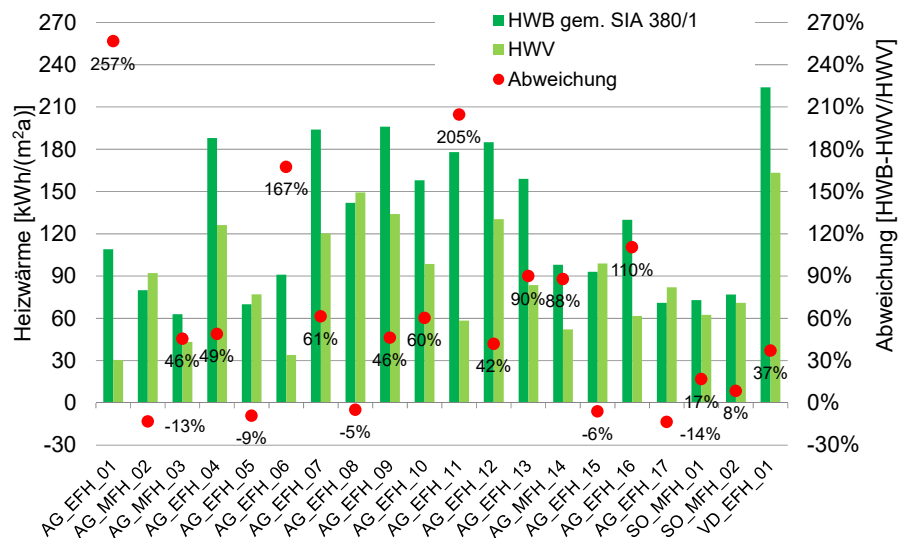


Bild 32 HWV und HWB_{St} (gem. SIA 380/1, berechnet über GEAK Plus-Tool) für die Gebäudegruppe GA2.
Flächenbezug: Energiebezugsfläche, A_E, gem. [32]

4.2 Gründe im Berechnungsverfahren für Prebound-Effekt

4.2.1 Vergleich dynamische Simulation versus Berechnung im Stundenverfahren und Monatsverfahren

Grundsätzlich kann das thermische Verhalten eines Gebäudes auf drei Arten berechnet werden (Benennung gem. [33]):

1. "Ausführliches Simulationsverfahren" z. B. thermische Simulation mit TRNSYS [34], ESP-r [16], IDA ICE [35] oder ähnlichen Programmen
2. "Vereinfachtes Stundenverfahren" gem. EN ISO 13790:2008 [33], z. B. Berechnungen gem. SIA 382/2 [30]
3. "Quasi-stationäres Monatsbilanzverfahren" gem. EN ISO 13790:2008 [33], z. B. Berechnungen gem. SIA 380/1 [1]

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 in ausführlichen Simulationsverfahren 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 [36] 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 [37] wird ein Vergleich zwischen dem ausführlichen Simulationsverfahren, dem Stundenverfahren und dem Monatsverfahren vorgenommen. Die Abweichungen des HWB der Verfahren bezogen auf das ausführliche Simulationsverfahren bleiben bei $\pm 10\%$. Ein Vergleich zwischen einer ausführlichen Simulation (HELIOS-XP [38]) und Berechnungen gem. SIA 380/1:2009 zeigt für ein Wohngebäude der Baualtersklasse 1950 - 1980 an drei Klimastandorten ohne Einsatz eines Sonnenschutzes Abweichungen von bis zu $\pm 10\%$ [39]. Eigene Untersuchungen zeigen (vergl. Bild 9 und Bild 10), dass bei zwei Gebäuden (FA) zwischen Monatsverfahren und Stundenverfahren ein

Unterschied beim HWB_{St} zwischen - 6 und - 10 % auftritt (Basis des Vergleichs: Monatsverfahren).

4.3 Vergleich Fassung SIA 380/1:1988 mit SIA 380/1:2009

Die erste Fassung der SIA 380/1:1988 wurde bezüglich der erwarteten Berechnungsergebnisse am realen Energieverbrauch von Gebäuden mit Baujahr und Dämmstandard von vor 1988 ausgerichtet. Beispielsweise wurden in dieser Fassung Wärmebrücken theoretisch über einen Zuschlag auf den U-Wert berücksichtigt (siehe unten), die angenommene Kellertemperatur war höher und der Ausnutzungsgrad von solaren und internen Wärmeeinträgen unterscheidet sich von dem heute verwendeten. Spätere Fassungen der SIA 380/1 wurden so angepasst, dass eine lenkende Wirkung der Norm in Richtung Energieeinsparung stattfand. Es konnte keine Quelle gefunden werden, die eine Ausrichtung am realen Energieverbrauch von Gebäuden nahelegt.

Bei allen Fassungen der SIA 380/1 gibt es die Unterscheidung zwischen Einzelanforderungen und Heizwärmebedarfsberechnung. Die Heizwärmebedarfsberechnung kann mit SIA 380/1:1988 nach dem Jahresbilanzverfahren und dem Monatsbilanzverfahren durchgeführt werden. Speziell in der Zeit direkt nach Inkrafttreten der Norm wurde der Nachweis im Jahresbilanzverfahren für die Heizperiode erbracht. Im Verlauf der Jahre wurden Excel-Programme entwickelt (z. B. ENTECH 380/1 von Huber Energietechnik AG), die auch im Planungsalltag eine Berechnung nach dem Monatsbilanzverfahren ermöglichten.

Grundsätzlich ist das Rechenverfahren im Lauf der Jahre fast gleich geblieben, in den neueren Fassungen der Norm wurde es in Teilbereichen (z. B. solare Gewinne) verfeinert und Werte zur Standardnutzung und Rechenwerte wurden angepasst. Der Vergleich der Heizwärmebedarfsberechnung (HWB_{St}) nach SIA 380/1:1988 [40] und SIA 380/1:2009 zeigt, dass grosse Differenzen in den folgenden Bereichen liegen (weitere Details siehe Anhang, Kapitel 8.2.1):

- Transmissionswärmeverluste: In SIA 380/1:2009 werden strengere b-Faktoren verwendet (grössere Zahlenwerte). SIA 380/1:1988 sieht für Kellergeschosse mit ungedämmter Decke eine Temperatur von 12°C vor. Berechnet man die b-Faktoren und die entsprechende Kellertemperatur gem. ISO 13789:2007 [41] für ein typisches Bestands-MFH (PR_01), so ergeben sich Kellertemperaturen von ca. 8 - 9°C. Messungen für 7 Gebäude mit ungedämmter Kellerdecke zeigen, dass minimal Temperaturen von ca. 13°C auftreten (siehe Abschnitt 4.6.3).
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 [42]. Nach dem Stand der Praxis war die Berücksichtigung eines solchen Zuschlags eher nicht die Regel.
- Solare Gewinne: Hier sind die Verschattungsfaktoren gem. SIA 380/1:2009 strenger (kleinere Zahlenwerte), dies trifft insbesondere auf Südfassaden mit Balkonen zu. Der verwendete Ausnutzungsfaktor der solaren und internen Wärmeeinträge ist in SIA 380/1:2009 im Vergleich zur alten Norm anders ermittelt und in Summe deutlich höher.

Bezogen auf das Projekt kommt es bei vier untersuchten Gebäuden (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01) bei Verwendung von SIA 380/1:1988 (Jahresbilanz) zu Abweichungen zwischen - 12 % und + 7 % (Basis SIA 380/1:2009).

Die Verwendung der alten SIA 380/1:1988 schliesst die Lücke zwischen Verbrauch und Bedarf nicht. Daher besteht kein Anlass, die Verwendung der Standardwerte und Rechenwerte der alten Version von 380/1 z. B. für Bestandsgebäude zu empfehlen.

4.4 Standardnutzungswerte

4.4.1 Fehlende Berücksichtigung einer Teilbeheizung

Um den Einfluss der Teilbeheizung zu untersuchen, werden für die Gebäude der GA1 nachstehend definierte Standardwerte aus der Literatur für die entsprechenden Gebäudetypen (EFH, MFH) und Baualtersklassen eingesetzt [43].

Gem. [44] 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 %. Der Anteil der unbeheizten Fläche und damit die Wirksamkeit der Teilbeheizung ist von der Wohnfläche und vom Baualter abhängig. Gem. [43] wird bei EFH eine Wohnfläche (WF) von $150 \text{ m}^2_{\text{WF}}$ angenommen (entspricht gem. [8] ca. $210 \text{ m}^2_{\text{EBF}}$) und von 41 % unbeheizter Fläche ausgegangen. 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.

Aus der Gruppe GA1 und GA2 sind keine belegbaren Daten über unbeheizte Flächen bekannt. Daher werden für vier Gebäude (GA1) exemplarisch Minderungsfaktoren gem. [43] verwendet. Bei zwei EFH (LU_01 und RI_01, beide GA1) liegt die Senkung des HWB_{Kor} zwischen - 19 und - 21 % (nicht beheizte Fläche 43 %), bei 2 MFH (BS_01 und BS_02, beide GA1) bei - 1 % (nicht beheizte Fläche: 9 %).

Beim MFH Wohnen (FA) beträgt die Minderung des HWB_{Kor} bei 20 % unbeheizter NGF (Flächenanteil Treppenhaus) ca. 10 % (vergleiche Abschnitt 3.6.1). Dieser Wert deckt sich mit den für die GA1 angewandten Faktoren aus der Literatur.

Insgesamt zeigt es sich, dass je nach Anteil der unbeheizten Fläche die Teilbeheizung einen grossen Einfluss auf den ermittelten HWB hat. Dies gilt unter der Prämisse, dass die Teilbeheizung zu einer deutlichen Abweichung von der durchschnittlichen Temperatur führt.

4.4.2 Berücksichtigung einer Nachtabsenkung

Je schlechter die Gebäudehülle gedämmt ist, desto wirksamer reduziert eine Nachtabsenkung den HWV. Voraussetzung dafür ist, dass die Nachtabsenkung korrekt dimensioniert ist und die Raumlufttemperatur wirklich senkt. Den in [43] vorgeschlagenen Faktoren liegt eine Nachtabsenkung der Raumtemperatur auf 15°C während acht Stunden zu Grunde [44]. Diese Annahmen sind plausibel: für Wohngebäude, die vor 1990 erbaut wurden, empfiehlt [45] eine Absenkttemperatur von 16°C , als Zeitraum für die Absenkung eine Stunde vor der Nachtruhe bis eine Stunde vor dem Aufstehen.

Bei den Gebäuden GA1 konnte nachträglich nicht festgestellt werden, ob und wenn ja welche Gebäude über eine Nachtabsenkung verfügen.

Werden die Werte aus der Literatur eingesetzt, so bewirkt bei vier Gebäuden (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01) eine Nachtabsenkung eine Minderung des HWB_{Kor} zwischen - 9 und - 12 %.

4.4.3 Berücksichtigung der effektiven mittleren Raumtemperatur (Standardnutzungswert)

In einer sehr umfangreichen Studie wird die Tendenz verzeichnet, dass bei älteren, unsanierten Wohnbauten (erbaut vor 1977) die mittlere Raumtemperatur rund 1 K tiefer ist, als bei Neubauten (erbaut ab 2002) [46]. Die Medianwerte liegen in beheizten Räumen zwischen 19.2°C und 19.5°C . Die Studie bezieht sich auf mehr als eine Million Messungen durch elektronische, nichtfunkende Heizkostenverteiler in Gebäuden, die je nach Baualtersklasse und Zustand (sanziert/unsanziert) in Gruppen unterteilt wurden. Das Signal wird als "Selbsttest" während der Heizperiode bei der Ablesung abgegeben.

In [47] werden für 70 Gebäude mit Baujahr ab 2000 Mittelwerte von 20°C angegeben, in [48] 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) [49].

Bezogen auf den HWV werden in der Literatur grobe Richtwerte gegeben. Gemäss [45] steigert jedes Grad mehr Raumtemperatur den Endenergieverbrauch um 6 % (ob hier der Wärmeverbrauch für das Warmwasser herausgerechnet wurde ist unklar). Eine andere Quelle [47] gibt eine Spannweite von 10 – 20 % an. Der absolute Mehrverbrauch wird mit zunehmender energetischer Gebäudequalität immer kleiner, der relative Einfluss nimmt dagegen zu.

Im Rahmen unserer Studie beträgt die gemessene Raumtemperatur in den beheizten Räumen bei zwei Gebäuden (FA) im Mittel 21°C (im Büro mit Nachtabsenkung), siehe Kapitel 3.4.2 und 3.4.3.

In den Berechnungen bewirkt eine Temperatursteigerung um 1 K eine Erhöhung des HWB_{Kor} zwischen 10 und 12 % (Bürogebäude FA, BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01). Von der Grössenordnung her deckt sich dies mit den vorgehend erwähnten Werten aus der Literatur.

4.4.4 Interne Wärmeeinträge (Standardnutzungswert)

Mit einer Literaturrecherche wird aufgezeigt, ob und wenn ja wie sich der Stromverbrauch im Bereich Wohnen verändert hat. Nachfolgend ein kurzer Überblick über Studien, in denen der Stromverbrauch von Bestandsgebäuden erfasst wurde:

- Revision SIA 380/4: Die Studie "Revision SIA 380/4 – Teilprojekt 8: Strombilanzmodell für Wohnbauten" [50] stellt mittels Energiestatistiken des Bundesamts für Energie (BFE), Wohn- und Haushaltstatistiken des Bundesamts für Statistik (BFS) sowie verschiedenen Haushaltstomerhebungen (VSE 2011 [51] und Energybox Online-Analyse) den Strombedarf typischer Haushalte zusammen. Die Summierung der Elektrizitätsverbräuche über alle Haushaltstypen in der ganzen Schweiz soll dem Gesamtstromverbrauch für den Haushaltsektor entsprechen.
- Nipkow: Die Studie "Typischer Haushalt-Stromverbrauch" [51] erstellt auf Basis von Auswertungen der Rohdaten der VSE-Haushaltserhebung 2011 einen aktuellen Wertesatz des typischen Haushalts-Stromverbrauchs für in der Studie definierte Haushaltstypen.
- Schlomann: Die Studie "Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)" [52] gibt Werte für den Stromverbrauch auf Basis von schriftlichen Befragungen an. Es ist anzunehmen, dass der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung (sofern sie mit Strom erfolgt) in den Zahlen enthalten ist.
- REMODECE: Im Rahmen des EU-Projektes [53] wurde der Strombedarf für Haushalte ermittelt. Pro Land (12 Stück) wurden in 100 Haushalten Messungen von Einzelgeräten durchgeführt und 500 Fragebogen verteilt. Die Dauer der Messung betrug 2 Wochen pro Haushalt (ohne Berücksichtigung der Jahreszeit), das mit Messintervall lag 5 - 10 Minuten. Anhand der Messwerte wurde der Jahresverbrauch hochgerechnet (Annahme 2 Wochen Ferien).
- Strom.check: Die Energieagentur Nordrhein-Westfalen (D) bietet online ein interaktives Befragungstool und Berechnungsprogramm an. Aus den gesammelten und bereinigten Befragungsergebnissen von insgesamt 380'370 Ein- bis Sechs-Personen-Haushalten werden in Mittelwerte gebildet [54]. Bei der Befragung können alternativ auch Messwerte eingegeben werden. In der Auswertung wird nicht beschrieben, wie viele der Teilnehmer von dieser Möglichkeit Gebrauch machten.
- Stromspiegel: Der Stromspiegel [55], [56] setzt sich aus eigenen Erhebungen und Datenerhebungen und Studien von anderen Organisationen zusammen. Alle Daten sind Befragungsergebnisse von Online-Tools (keine Messwerte). Insgesamt wurden 110'000 Datensätze aus den Jahren 2012 und 2013 ausgewertet.

Eine Übersicht der Werte aus den Studien zeigt Bild 33. Absolutwerte wurden auf einen einheitlichen Flächenbezug von 45 m² (durchschnittlicher Wohnfläche Schweiz) umgerechnet. Details dazu finden sich in der Bildunterschrift und im Anhang 8.2.4.

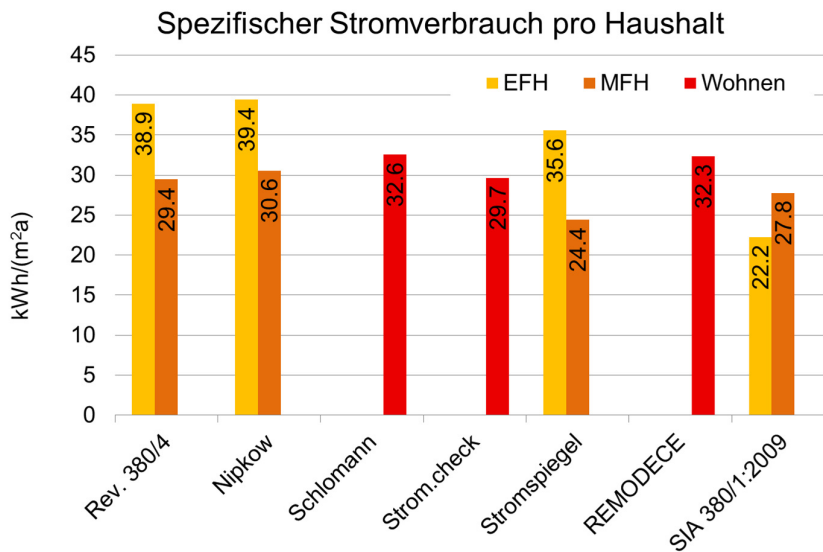


Bild 33

Flächenspezifischer Stromverbrauch aller vorgehend zitierten Studien in der Übersicht. Annahmen: Wohnfläche 45 m² pro Person ([57], [58]) und eine Belegungsdichte pro Wohnung von 2 Personen. Grundlage dafür: Schweiz 2.3 Personen [59] mit sinkender Tendenz [60], Deutschland: 2.01 Personen [61]. Quellen: Rev. 380/4 [50]; Nipkow [51]; Schlomann [52], Strom.check [54]; Stromspiegel [55]; REMODECE [53]; SIA 380/1:2009 [1]

Der Vergleich zeigt Stromverbrauchswerte für das EFH zwischen 35.6 und 39.4 kWh/(m² a). Diese Werte liegen deutlich über dem Wert gem. SIA 380/1 für EFH. Dies liegt am Flächenbezug von 45 m². Verwendet man als Flächenbezug die Personenfläche von 60 m² gemäss SIA 380/1, so sind die Werte 25 % niedriger und liegen zwischen 29.6 und 26.7 kWh/(m² a).

Für die MFH liegen die Werte mit Flächenbezug 45 m² zwischen 24.4 und 30.6 kWh/(m² a). Der Wert vom "Stromspiegel" ist hier sehr tief. Die Gründe dafür sind unklar. Mit der Personenfläche gem. SIA 380/1 von 40 m² liegen die Werte zwischen 27.5 und 34.4 kWh/(m² a).

Die Werte, für die keine Differenzierung nach Gebäudetyp (EFH, MFH) möglich war, sind mit "Wohnen" gekennzeichnet. Es wird deutlich, dass sie sich von der Grössenordnung her zwischen EFH und MFH befinden.

Neuere Studien, wie z. B. "Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie" [62] gehen von deutliche tieferen Werten aus: EFH: 16.0 kWh/(m² a) und MFH 23 kWh/(m² a). Allerdings sind diese Bedarfswerte berechnet und basieren auf den Normen SIA 380/4:2006 und SIA 2024:2006¹⁰.

Bezogen auf die zwei EFH aus der Gruppe GA1 (RI_01 und LU_01) wirkt sich eine Erhöhung der internen Wärmeeinträge auf 27.8 kWh/(m²a) nur wenig auf den HWB_{Kor} aus: Er sinkt um - 2 %. Ein Absenken des Wertes für den Strombedarf EFH auf 16 kWh/(m² a) bringt eine Steigerung des HWB_{Kor} um + 3 %. Insgesamt sind die Auswirkungen von veränderten internen Lasten also gering.

¹⁰ Grund dafür ist der tiefe Wert für die Beleuchtung, welcher mit Bedarfswerten zwischen 2.6 und 3.1 kWh/(m²a) nicht nachvollziehbar scheint.

Fazit Bezogen auf die SIA 380/1: Da die Stromverbrauchswerte für die EFH tendenziell höher als der derzeitige Wert gem. SIA 380/1 sind, kann der Strombedarfswert für die EFH z. B. auf den Wert für die MFH erhöht werden. Es würde also für beide Gebäudekategorien der Wert von 27.8 kWh/(m² a) gelten. Für die Berechnung wird weiterhin ein Reduktionsfaktor Elektrizitätsbedarf 0.7 [1] eingesetzt.

4.4.5 Richtige Berücksichtigung Lüftungswärmeverluste (Standardnutzungswert)

Bei Bestandsgebäuden ist nicht von einer Lüftungsanlage auszugehen. Daher setzen sich die Lüftungswärmeverluste aus Infiltration und Fensterlüftung zusammen.

Eine Literaturlauswertung zeigt, dass die Messwerte zum Luftwechsel von Wohngebäuden mit Fensterlüftung ohne die nachstehend erwähnten Ausnahmen im Bereich zwischen 0.25 1/h und 0.66 1/h liegen (Bild 34).

Hohe Werte:

- 2 [63]: Hier wurden die Öffnungszeiten, nicht aber die Öffnungswinkel der Fenster gemessen. Wenn der Lüftungsvorgang auf die Aussentemperatur bezogen ausgewertet wird, dann sind die Werte etwas tiefer.
Aussentemperatur (AT) < 0°C, Fensteröffnung 0.1 h/h: Luftwechsel 0.41 - 0.81 1/h;
AT 0 bis 10°C, Fensteröffnung 0.18 h/h: Luftwechsel 0.6 und 1.3 1/h
- 3 [64]: Der hohe Wert gilt für Fenster mit einer Spaltlüftung (der Beschlag ermöglicht eine Fensteröffnung, die geringer ist als diejenige bei gekipptem Fenster. Der Luftwechsel durch Infiltration beträgt 0.1 - 0.4 1/h.

Tiefe Werte:

- 1 [65]: Der eher tiefe Luftwechsel könnte an tiefen Aussentemperaturen (Kernwinter) liegen.

Bei zwei Gebäuden (FA) liegt der aufgrund Personenpräsenz und CO₂-Konzentration ermittelte Aussenluftvolumenstrom durch Fensterlüftung und Infiltration mit einer Unsicherheit von ± 50 % im Mittel bei 0.4 und 0.5 m³_{EBF}/(m² h). Bezogen auf die BGF ergeben sich Werte von 0.14, bzw. 0.17 1/h (lichte Raumhöhe, h_R, 2.9 m). Bezieht man die Angabe auf das Nettoluftvolumen (NGF* h_R), dann kommt man auf Werte von 0.18, bzw. 0.22 1/h (Umrechnungsfaktor NGF -> BGF 1.3, h_R 2.9 m).

Die Vorgabe der SIA 380/1:2009 für die Wohnnutzung liegt bei 0.29 1/h (berechnet aus Aussenluftvolumenstrom 0.7 m³_{EBF}/(m² h) und Annahme h_R 2.4 m). Bezogen auf das Nettoluftvolumen ergibt sich ein Wert von ca. 0.38 (Umrechnungsfaktor NGF -> BGF 1.3, h_R 2.4 m). Im Vergleich zur SIA 380/1:1988 ist dies für MFH ein tieferer Wert (EFH: 0.4 1/h, MFH 0.6 1/h).

Die Halbierung des normativen Aussenluftvolumenstroms reduziert den HWB_{Kor} zwischen - 8 und - 15 %. Eine Verdoppelung erhöht den HWB_{Kor} zwischen + 19 und + 30 % (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01). Eine Veränderung des Parameters wirkt sich damit stark auf den HWB aus. Aus der Literaturstudie ist rückzuschliessen, dass der reale Luftwechsel ähnlich oder höher ist, als die Werte der SIA 380/1. Die – allerdings mit einer hohen Unsicherheit von ± 50 % behafteten – messwertbasierten Abschätzungen aus der FA weisen auf einen tiefen Aussenluftwechsel hin. Ob dies zufällig oder systematisch ist, bleibt offen.

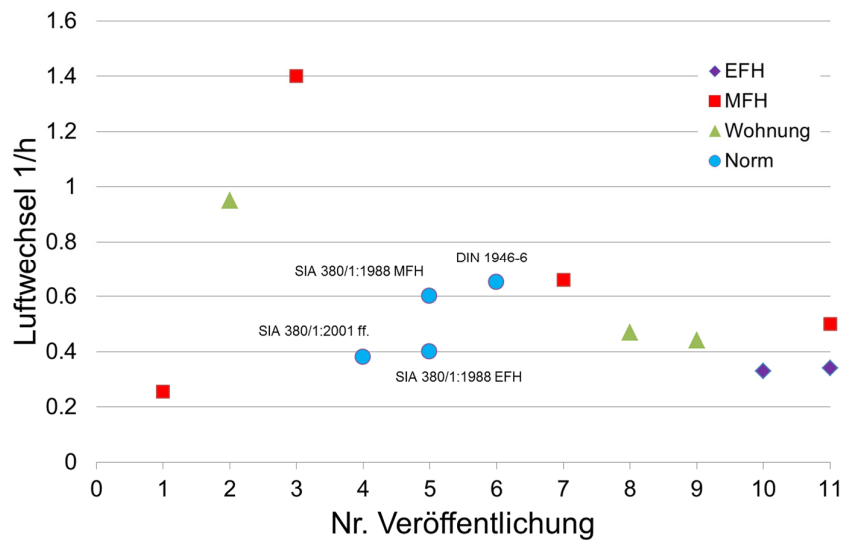


Bild 34

Angaben für den Luftwechsel aus Projekten bei denen entweder die Fensteröffnungszeiten aufgezeichnet und der Luftwechsel berechnet wurde, oder umgekehrt. Zusätzlich sind noch die Richtwerte für Fensterlüftung einiger Normen angeführt. Sind die Werte für EFH und MFH nicht getrennt aufgeführt, so wurden sie in der Rubrik WE zusammengefasst. Alle Angaben beziehen sich auf das Luftvolumen. Abkürzungen: EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, WE: Wohneinheit

Quellen:

- 1: [65] Angabe Mittelwert;
- 2: [63] Angabe Mittelwert;
- 3: [64] mit Spaltlüftung;
- 4: [66] Wert für Wohnen, $0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2_{\text{EBFh}})$, Umrechnung mit: $h_R 2.4 \text{ m}$, Faktor NGF - > BGF 1.3
- 5: [40] EFH 0.4 1/h, MFH 0.6 1/h
- 6: [67] Mittelwert aus 0.7 1/h für Gebäude ohne, 0.6 1/h für solche mit bestandener Luftdichtheitsprüfung
- 7: [68] Mittelwert für versch. Aussentemperaturen;
- 8: [69] Mittelwert über Heizzeit;
- 9: [70]; [71] geometrisches Mittel;
- 10: [71], [72] Werte für Untersuchung in Dänemark;
- 11: [72] Werte für Untersuchung in Schweden

4.5 Klima: Vergleich Standardklimadaten zu realen Daten des Messjahres

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. Hitzeinselphänomen in Städten).

Wie in den Kapiteln 3.4.2 und 3.4.3 aufgezeigt wird, wird für beide Gebäude der FA der 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 (vereinfachte Annahme ganzjährig + 2°C) [73]. Damit sinkt der HWB_{Kor} um - 35, bzw. - 39 %.

Bei drei Gebäuden der Gruppe GA1 mit Standort Basel und Umgebung werden exemplarisch die realen Klimadaten für die Jahre 2011 bis 2014 verwendet (BS_02, BS_03 und RE_01). Im Vergleich zu den in SIA 380/1 verwendeten Standarddaten liegt die Abweichung in den Jahren 2011 bis 2014 im Jahresmittel (Differenz Monatsmittelwerte) zwischen - 0.2 und + 1.4 K. Bezogen auf die Wintermonate (Okt - April) liegt die Abweichung zwischen - 0.5

und + 2.3 K. Die Globalstrahlung weicht im Winter zwischen - 4.3 und 11.3 kWh/(m² a) ab (Daten siehe Kapitel 8.2.3).

Da die Messdaten für die Gebäude GA1 für die Jahre 2011/12, 2012/13, 2013/14 jeweils vom 01. Juli bis zum 30. Juni vorliegen, werden diese Perioden verglichen und die nachstehenden Abweichungen beziehen sich darauf.

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 (siehe Tabelle 32 im Anhang).

Welche Annäherung des HWV an den HWB_{Kor} die Verwendung der realen Klimadaten in der Berechnung bringt, zeigt Bild 35. Hier wird deutlich, dass bezogen auf die Heizperiode eine deutliche Reduktion der Abweichung gelingt. Diese Reduktion wird etwas schwächer, wenn die Mittelwerte des gesamten Jahres verglichen werden. Die Korrektur der Klimadaten bringt also eine deutliche Annäherung an den HWV, kann aber nicht die gesamte Abweichung überbrücken.

Sollen HWB_{Kor} und HWV einander angeglichen werden, so ist die Verwendung der Klimadaten für den Standort analog zur Messperiode anzuraten.

Um ein lokales Hitzeinselphänomen zu berücksichtigen, könnten alternativ auch die Daten des warmen Jahres für den entsprechenden Standort gewählt werden. Hier ist allerdings die Mitteltemperatur in den Wintermonaten für Basel 3.3 K höher als diejenige der Standardklimadaten. In der Literatur [74] wird für die Stadt Basel in den Wintermonaten eine zwischen 0.6 und 0.8 K höhere Temperatur im Stadtzentrum (Spalenring) gegenüber dem Umland (Lange Erlen) angegeben. Die Verwendung des warmen Jahres DRY scheint also das Phänomen etwas zu überschätzen. Werden diese Temperaturdaten (vereinfachend wurden die Strahlungsdaten nicht verändert) bei der Berechnung der vier Gebäude mit Standort Basel eingesetzt, so führt dies zu einer Minderung des HWB_{Kor} zwischen - 12 und - 33 %.

Alternativ wird vorgeschlagen, die Monatsmitteltemperatur der Standardklimadaten je nach Standort um 1 - 2 K pauschal zu erhöhen.

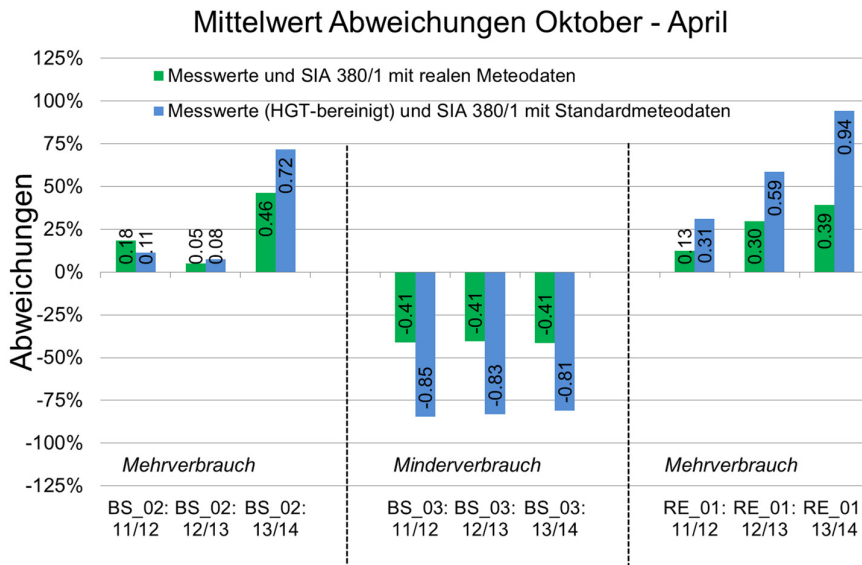


Bild 35

Mittelwert der Abweichungen zwischen HWB_{St}, bzw. HWB_{Kor} und HWV während der Heizperiode (Oktober - April) für die Gebäude BS_02 und RE_01 (HWV ist höher als HWB_{St}), sowie BS_03 (HWV ist tiefer als HWB_{St})

4.6 Bauteileigenschaften / Rechenwerte

4.6.1 Unschärfe bei der Ermittlung der U-Werte für bestehende Bauteile

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 Berechnung für ungedämmte Wände genannt. Aufgrund der Messunsicherheit bei In-Situ Messungen werten wir nur Abweichungen $\geq 20\%$ als solche. In der in [44] beschriebenen Untersuchung 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 $+91\%$ ($(TW - MW) / MW$). In [45] wurden sechs Konstruktionen mehrmals gemessen und mit Rechenwerten verglichen, es ergeben sich bei drei Konstruktionen Abweichungen zwischen $+32\%$ und $+93\%$. In [46] liegen die Abweichungen für 6 ungedämmte Wände bei sechs Konstruktionen zwischen $+22\%$ bis $+188\%$. In [12] treten 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.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Berechnungen des U-Wertes tendenziell eher in hohen Werten resultieren. Im hier vorgestellten Projekt ging es einerseits darum, herauszufinden wie gross der Unterschied zwischen Messung und Berechnung ist. Zum anderen ging es darum zu sehen, wie gross die Streuung des U-Wertes bei der Berechnung durch unterschiedliche Experten ist. Es werden die U-Werte von neun Bestands-Konstruktionen gemessen und diese jeweils von zehn GEAK-Experten berechnet (Informationen dazu siehe Text Bild 36 und Anhang 8.2.6). Die Standardabweichung nur für die Berechnungen liegt zwischen 0.04 (Reinach 01: Beton gedämmt) und 0.34 (Reinach 01: Beton ungedämmt). Bei sieben 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. Davon ist bei einem U-Wert unklar, ob die Messung nicht ein zu tiefes Resultat zeigt. Die eigenen Untersuchungen bestätigen die Annahme, dass die U-Werte bei ungedämmten Bestandskonstruktionen eher höher (d. h. schlechter) angenommen werden, als sie es in der Realität sind.

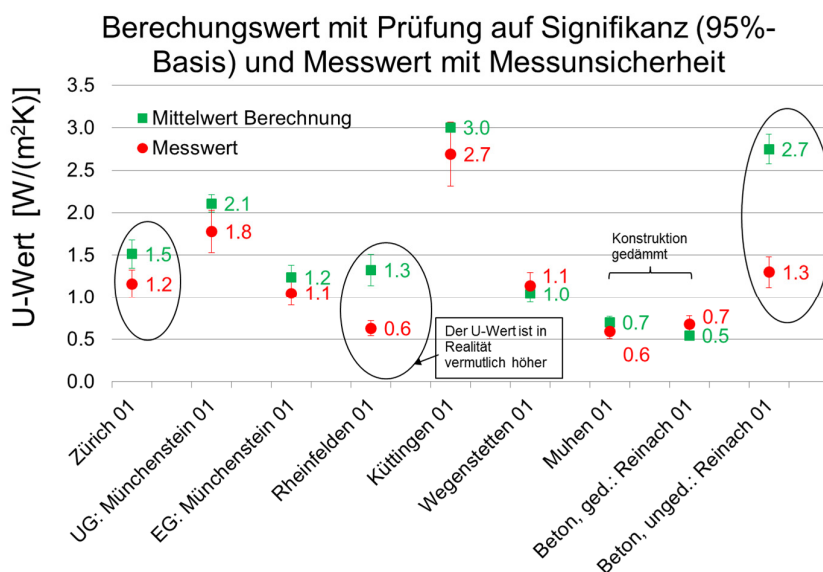


Bild 36

Gemessene und berechnete U-Werte von neun Konstruktionen von Bestandsgebäuden. Verwendete Formeln zur Berechnung der Standardabweichung, siehe Anhang 8.2.6. Die U-Werte werden im Zeitraum Januar – Februar 2016 gemessen. Die Messdauer betrug jeweils mindestens 72 h. Verwendet wird das U-Wert-KIT gSKIN der Firma GreenTEG. Messunsicherheit: 14 % (Auskunft GreenTEG), nach Auffassung der Autoren ist sie eher höher. Die U-Wert Berechnungen werden von 10 GEAK Experten erstellt, die die Konstruktion kannten (Fotos Situation, Pläne und Angaben Schichtaufbau). Die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe wird dabei nicht vorgegeben und die Messergebnisse sind den Experten nicht bekannt.

Äusserer Wärmeübergangskoeffizient

Der Wärmeübergangskoeffizient, h , setzt sich aus einem Strahlungsteil, h_r , und einem konvektiven Anteil, h_c , zusammen.

$$h = h_r + h_c$$

Der konvektive Anteil ergibt sich für Innenoberflächen (h_{ci}) in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms und für Aussenoberflächen (h_{ce}) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, v .

$$h_{ce} = 4 + 4 * v$$

Wie Tabelle 9 zeigt, liegen die normativen Wärmeübergangskoeffizienten gemäss SN EN ISO 6946:2007 innen (h_i) bei 7.7 W/(m²K) und aussen (h_e) bei 25 W/(m²K). Diesem Wert liegt eine Windgeschwindigkeit von $v = 4$ m/s [75] zugrunde. Bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s halbiert sich der Wärmeübergang h_e auf 12.5 W/(m²K). Zum Vergleich: die mittlere Windgeschwindigkeit für das DRY Zürich [76] ist während der Heizperiode (15.10. - 15.04.) zu 10 % > 6 m/s, zu 19 % > 3 m/s < 5.9 m/s und 71 % < 2.9 m/s.

In der Literatur finden sich im Vergleich zu den normativen Wärmeübergängen eher tiefere Werte. In [31] werden die U-Werte von 6 Konstruktionen gemessen und (vermutlich) aus Luft- und Oberflächentemperatur die Wärmeübergangskoeffizienten abgeleitet. Dass die normativen Wärmeübergangskoeffizienten sehr "konservativ" sind, zeigen auch Simulationen, die den Wärmeübergangskoeffizienten für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten und Anströmwinkel berechnen [77].

Tabelle 8: Übersicht über normative und gemessene, bzw. simulierte Wärmeübergangskoeffizienten
 Verwendete Abkürzungen; h_i = Wärmeübergangskoeffizient innen, h_e = Wärmeübergangskoeffizient aussen, v = Windgeschwindigkeit, h_c = Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion, h_r = Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung

	Quelle [-]	h_i [W/(m ² K)]	h_e [W/(m ² K)]	v [m/s]
SN EN ISO 6946:2007 ($h_c + h_r$)	[75]	7.7	25	4
SN EN ISO 6946:2007 ($h_c + h_r$)	[75]	7.7	12.5	1
Messung: 6 Konstruktionen (vermutlich $h_c + h_r$)	[31]	5.6	4.0	diverse
Simulation: Anströmwinkel Fassade 0 bis 90°(vermutlich (h_c))	[77]	-	15 - 17.5	4

Setzt man die Windgeschwindigkeit bei der normativen Berechnung von h_e auf "0 m/s", so ergibt sich für h_e ein Wert von ca. 9.0 W/(m² K). Die Differenzen, die sich für die U-Wert Berechnung ergeben, zeigt Bild 37. Der U-Wert sinkt, d. h. "verbessert" sich zwischen 20 % (hohe U-Werte) und 2 % (tiefe U-Werte). Sollen U-Werte von Bestandskonstruktionen für eine Planung oder Optimierung 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 m/s" 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 %.

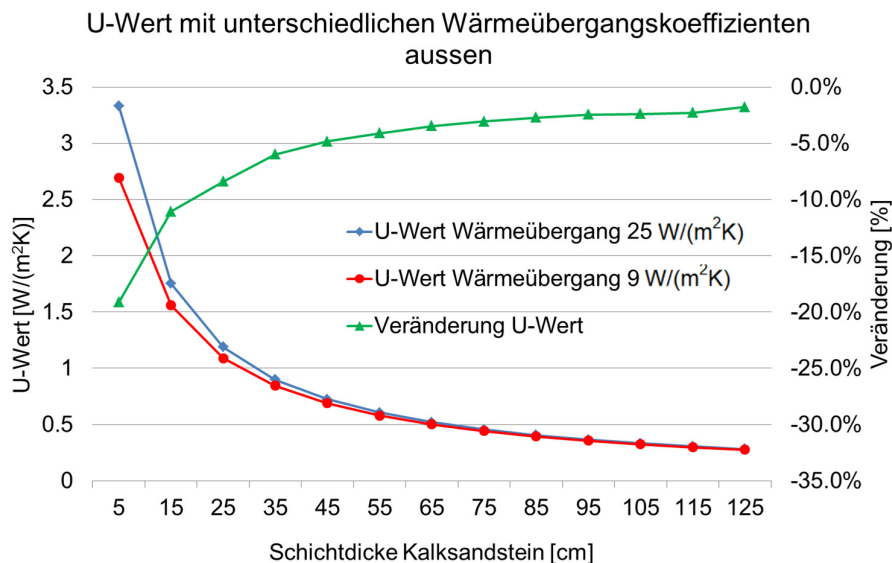


Bild 37 U-Wert Berechnung für eine Kalksandsteinwand unterschiedlicher Dicke. $h_e = 25.0$ bzw. 9.0 W/(m² K), $h_i = 8$ W/(m² K).

4.6.2 Wärmebrücken

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 Transmissionswärmeverlusten von Bestandsgebäuden mit Werten zwischen 10 % (Bauten vor 1950) [78], 15 % (Bauten der 80er Jahre) [79] und 20 % [80] angegeben.

In [81] 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.

4.6.3 Minderungsfaktoren für unbeheizte Räume (Rechenwert)

In sechs Kellern wird im Winter 2015/16 die Kellertemperatur gemessen (Bild 38). Die Kellertemperaturen liegen minimal bei 14°C und maximal bei 21°C. Die Aussentemperatur liegt in diesem Zeitraum im Wochenmittel zwischen - 0.8 und 11.8°C (Basel) bzw. - 1.1 und 10.2°C (Zürich). Die gem. SN EN ISO 13789 [41] berechneten Kellertemperaturen sind mit 4.2 bis 13.8°C (Basel) deutlich tiefer. Eine (Teil-)Erklärung für diese Differenz ist die Tatsache, dass normative Werte tendenziell das Ziel haben, eine gute thermische Gebäudehülle zu forcieren.

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 lag zwischen 1.4 und 13.8°C. Fasst man alle Messungen zusammen, so liegt die minimale Kellertemperatur bei 13°C. Dies entspricht einem b-Wert, dem Reduktionsfaktor für Wärmeverluste eines Bauteils gegen unbeheizt, von ca. 0.5.

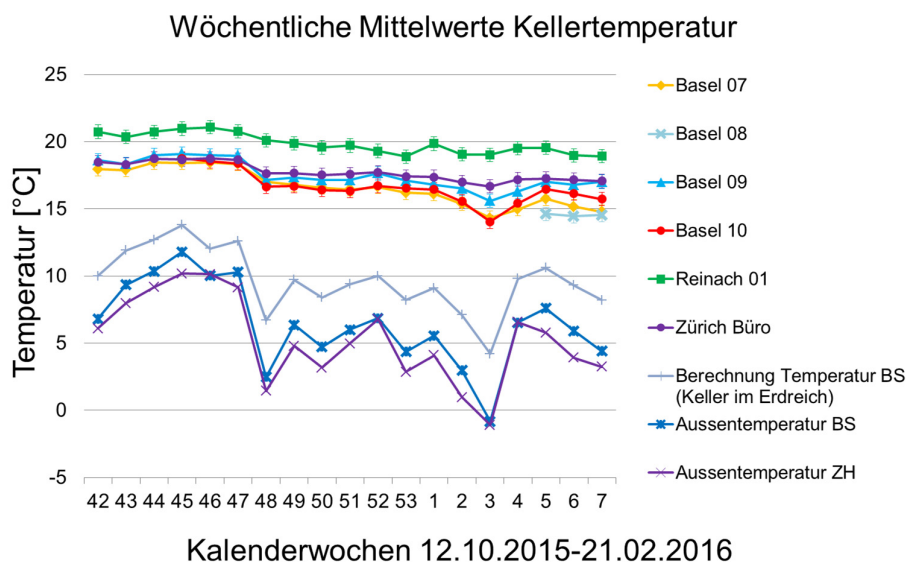


Bild 38

Gemessene Kellertemperaturen vom 12.10. - 21.02.2016. Messgerät: Testo Logger 175-H2. Messzyklus alle 60 Minuten. Genauigkeit Geräte: $\pm 0.5^\circ\text{C}$. 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. Datenquelle für die Aussentemperatur: MeteoSchweiz
 Berechnung Kellertemperatur für Keller im Erdreich für ein typisches Bestands MFH (PR_01) gem. SN EN ISO 13798:2007 [41]

Weitere Hinweise zu den Kellerräumen, in denen Messungen durchgeführt werden, finden sich im Anhang 8.2.7. Berechnungsbeispiele für den b-Wert und die Raumlufftemperatur finden sich im Anhang 8.2.1.

Werden bei vier Gebäuden (BS_02, BS_03, PR_01 und RE_01) die Kellerdecken mit einem b-Faktor von 0.5 beaufschlagt, so ergeben sich Minderungen des HWB_{kor} zwischen - 2 und - 12 %. Bei den Gebäuden der Feinanalyse beträgt die Reduktion - 5 bzw. - 10 %.

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 HWB_{kor} wäre also nochmals höher (Berechnung Bürogebäude mit SIA 382/2: - 14 %).

4.6.4 Annahme zu geringer Speichermassen, da ungenau ermittelt (Rechenwert)

Grundsätzlich wird in SIA 380/1 mit pauschalen Zahlenwerten für die Wärmespeicherfähigkeit gerechnet (Abschnitt 3.5.5.1). Bezugsgrösse ist die Energiebezugsfläche A_E . Alternativ kann die Wärmespeicherfähigkeit auch gemäss SN EN ISO 13786:2007 [82] detailliert, d. h. raumweise, ausgerechnet und ein flächengewichteter Wert (ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstands) in die Berechnung eingesetzt werden. Bezugsfläche ist hierbei die Nettogeschossfläche NGF.

Für zwei Gebäude PR_01 und BS_04 wird die Wärmespeicherfähigkeit im Detail berechnet. Beim Gebäude PR_01 sind die Aussen- und Innenwände gemauert und die Decken bestehen aus Beton (mit jeweils 2.0 cm Trittschalldämmung unter dem Unterlagsboden). Daher wird das Gebäude als "schwer" eingestuft. Beim Gebäude BS_04 sind die Aussenwände und die Innenwände (bis auf Teile des DG) gemauert, die Decken sind Holzbalkendecken. Das Gebäude wird bezüglich Speichermassen als "mittel" eingestuft.

Tabelle 9 Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 mit detailliert und pauschal ermittelter Wärmespeicherfähigkeit. Anmerkung: die detaillierte Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit ist auch bei einem behördlichen Nachweis zulässig. Daher wird auch in diesem Fall die Abkürzung HWB_{St} verwendet.

	PR_01	BS_04
Wärmespeicherfähigkeit SIA 380/1 (Tabellenwert)	0.50 MJ/(m ² _{EBF} K)	0.30 MJ/(m ² _{EBF} K)
HWB_{St} mit Wärmespeicherfähigkeit (Tabellenwert)	112.7 kWh/(m ² a)	97.5 kWh/(m ² a)
Wärmespeicherfähigkeit gem. SN EN ISO 13786:2007 (Bezug NGF)	0.49 MJ/(m ² _{NGF} K)	0.49 MJ/(m ² _{NGF} K)
Wärmespeicherfähigkeit gem. SN EN ISO 13786:2007 (Bezug EBF)	0.36 MJ/(m ² _{EBF} K)	0.42 MJ/(m ² _{EBF} K)
HWB_{St} mit berechneter Wärmespeicherfähigkeit	113.8 kWh/(m ² a)	96.9 kWh/(m ² a)

Die detaillierte Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit zeigt, dass das Gebäude BS_04 als "schwer" einzustufen ist. Allerdings verändert sich der HWB_{St} kaum, er sinkt um 1 %. Das Gebäude PR_01 ist als "mittel" einzustufen. Der HWB_{St} steigt um 1 %. Eine "falsche" Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit führt hier also nur zu geringfügig abweichenden Ergebnissen für den HWB_{St} . Dies deckt sich auch mit den Ergebnisse der FA (Bild 29).

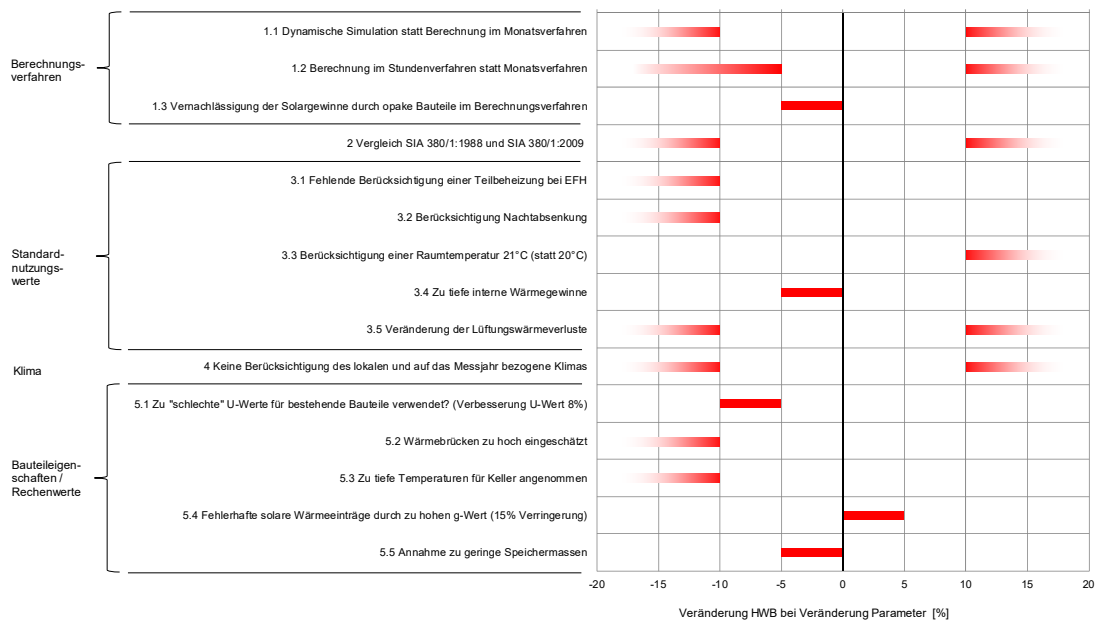
Nimmt man beim Beispielgebäude PR_01 die Wärmespeicherfähigkeit von 0.5 als Basis, so ergeben sich die folgenden Veränderungen: mit einer Wärmespeicherfähigkeit 0.3 MJ/(m²_{EBF} K) ergibt sich eine Zunahme des HWB_{St} um 1 %, mit einer Wärmespeicherfähigkeit von 0.10 MJ/(m²_{EBF} K) eine Zunahme von 4 % und mit einer Wärmespeicherfähigkeit: 0.05 MJ/(m²_{EBF} K) eine Zunahme von 7 %.

Allerdings ist anzunehmen, dass sich falsche Einschätzungen der Wärmespeicherefähigkeit meistens von einer Kategorie zur nächsten beziehen ("mittel" statt "schwer"). Unwahrscheinlich ist eine sehr grobe Fehleinschätzung ("sehr leicht" statt "schwer"). Von einer Kategorie zur nächsten ergeben sich beim Gebäude PR_01 Zunahmen des HWB_{St} zwischen 1 % (Wärmespeicherefähigkeit $0.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ K})$ auf $0.3 \text{ MJ}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ K})$ und max. 3 % ($0.3 \text{ MJ}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ K})$ auf $0.1 \text{ MJ}/(\text{m}^2_{EBF} \text{ K})$).

4.7 Schlussfolgerungen Grobanalyse

Tabelle 10 fasst die möglichen Ursachen für eine Abweichung der realen Verbräuche von der Berechnung nach 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.

Tabelle 10	<p>Übersicht zu den untersuchten Fragestellungen und welchen Einfluss eine Veränderung des Parameters auf den HWB_{Kor} hat.</p> <p>Für die Untersuchung wurde die Standardberechnung mit der um den fraglichen Parameter veränderten Variante verglichen.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
------------	--



Ziel des Projektes ist es, den Grund für die Abweichungen zwischen berechnetem HWB_{St} und gemessenem HWV abzuklären. Da der HWB_{St} die Messung häufig überschreitet, geht es darum, Faktoren zu identifizieren, die für die Erhöhung des HWB_{St} in der Berechnung verantwortlich sind. Nachstehend werden die in diesem Kapitel untersuchten Ursachen zusammengefasst.

Berechnungsverfahren

- Dynamische Simulation und Berechnung im Stundenverfahren versus Monatsverfahren: Der Einfluss auf das Berechnungsergebnis ist zwar hoch, da aber die Berech-

nung (vorerst) im Monatsverfahren bleiben wird, ist hier eine Anpassung nicht möglich. Es ist nicht anzunehmen, dass die Verwendung des Stundenverfahrens oder der dynamischen Simulationsberechnung alleine die Differenz überbrücken würde.

Vergleich SIA 380/1:1988 und :2009

- Der Vergleich zeigt, dass es keinen Anlass gibt, projektübergreifend die Berechnungssystematik der alten Norm zu übernehmen. Interessante Punkte sind beim alten Rechenverfahren, dass die Transmissionswärmeverluste gegen unbeheizt in der ersten Fassung stärker reduziert wurden und dass die Wärmebrücken nicht berücksichtigt wurden. Beide Faktoren führen zu einem niedrigeren HWB_{Kor} .

Standardnutzungswerte

- Teilbeheizung: Projektbezogen kann es sinnvoll sein, diese zu berücksichtigen. Dies setzt eine Kenntnis über die Grösse der unbeheizten Fläche voraus. Im vorliegenden Projekt werden Faktoren aus der Literatur probenhalber verwendet. Aus den Gebäuden GA 1 ist nicht bekannt, ob es unbeheizte Flächenanteile (z. B. eine unbeheizte Wohnung im MFH) gibt.
- Nachtabsenkung: Auch hier lässt sich aus der Gebäudeanalyse keine projektübergreifende Empfehlung ableiten. Eine Anpassung kann projektbezogen erfolgen.
- Raumlufttemperatur: In der Literatur sind sowohl Angaben zu Raumlufttemperaturen $> 20^{\circ}\text{C}$ als auch $< 20^{\circ}\text{C}$ in Bestandsgebäuden zu finden. Für ein projektübergreifendes Absenken oder Erhöhen der Raumtemperatur gibt es also keinen Anlass. Durch ein Absenken verringert sich der HWB_{Kor} , mit einer Erhöhung der Raumlufttemperatur steigt der HWB_{Kor} . Wenn projektbezogen Abweichungen der Raumlufttemperatur bekannt sind, so empfiehlt sich eine Anpassung.
- Interne Wärmeeinträge: Aus der Literaturstudie geht hervor, dass die internen Wärmeeinträge für EFH angepasst, d.h. erhöht werden sollten. Wir schlagen für EFH eine Erhöhung des Strombedarfs von $22.2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ auf $27.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ vor. Dies entspricht dem Wert für MFH. Der Reduktionsfaktor Elektrizitätsbedarf von 0.7 bleibt bestehen. Damit sinkt der HWB_{Kor} für die EFH etwas.
- Lüftungswärmeverluste: Die Literaturstudie zeigt, dass die Lüftungswärmeverluste gem. SIA 380/1:2009 eher tief angesetzt sind. Aus den vorhandenen Daten kann weder eine Erhöhung (HWB_{Kor} steigt) noch eine Verringerung (HWB_{Kor} sinkt) empfohlen werden.

Klima

- Sollen HWB_{St} und HWV einander angeglichen werden, so ist die Verwendung der Klimadaten für den Standort analog zur Messperiode projektübergreifend sinnvoll. Um ein Hitzeinselphänomen im städtischen Kontext zu berücksichtigen, könnten näherungsweise die Klimadaten der warmen Jahre verwendet werden. Allerdings scheinen hier die Temperaturen insgesamt etwas zu hoch. Wir schlagen daher vor die Monatsmitteltemperatur der Standardklimadaten je nach Standort um 1 - 2 K pauschal zu erhöhen.

Bauteileigenschaften / Rechenwerte

- U-Werte: Aus dem Vergleich der U-Wert Berechnungen mit den U-Wert Messungen kann der Rückschluss abgeleitet werden, dass U-Werte eher "auf der sicheren Seite" berechnet werden. Es ist anzunehmen, dass dies projektübergreifend der Fall ist. Wie in Kapitel 4.6.1 hergeleitet, bietet sich für eine Korrektur der äussere Wärmeübergangskoeffiziente, h_e , auf $9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ an.
- Minderungsfaktor für unbeheizte Räume: Die Messung der Raumlufttemperatur in sieben Kellern von Bestandsgebäuden mit ungedämmter Decke zeigt, dass die Kellertemperatur in unsanierten Kellern mit ungedämmter Decke systematisch unterschätzt wird. Im Nachweis SIA 380/1 wird die Kellertemperatur indirekt über den b-Wert, den Minderungsfaktor für die Wärmeverluste eines Bauteils gegen unbeheizt, berücksichtigt. Es liegt also nahe, den b-Wert projektübergreifend für ungedämmte

Kellerdecken auf ca. 0.3 – 0.5 anzupassen. Dies gilt für (annähernd) luftdichte Kellerräume. Für schwere Gebäude ist auch die Verwendung einer konstanten, von der Aussentemperatur unabhängigen Kellertemperatur denkbar.

- Wärmebrücken: Da der Anteil von Gebäude zu Gebäude variiert, ist von einem pauschalen Weglassen abzuraten. Eine Möglichkeit ist die Berücksichtigung von Wärmebrücken bis zu einem Anteil von 10 % der Transmissionswärmeverluste.

Als Faktoren zur gebäudeübergreifenden Anpassung werden folglich die U-Werte, die b-Faktoren und die Verwendung der zur Messperiode passenden Klimadaten vorgeschlagen. Obwohl weniger einflussreich sollten auch die internen Wärmeeinträge für EFH angepasst werden.

Projektspezifisch kommen Faktoren wie die Berücksichtigung einer Teilbeheizung, einer Nachtabsenkung sowie des Hitzeinselphänomens, eine Reduktion des Wärmebrückenanteils und die Anpassung der Raumlufttemperatur in Frage.

5 Literatur

- [1] *SIA 380/1:2009 Thermische Energie im Hochbau*. Schweiz, 2009, pp. 1–60.
- [2] *SIA 380:2015 Grundlagen für energetische Berechnung von Gebäuden*. 2015.
- [3] BMWI und BMUB, *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand Vom 7. April 2015*. Deutschland, 2015.
- [4] C. Stolte, H. Marcinek, U. Bigalke, and Y. Zeng, “Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude. Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben Effizienzhäuser.,” Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2013.
- [5] H. Erhorn, “Bedarf - Verbrauch. Ein Reizthema ohne Ende oder die Chance für sachliche Energieberatung?,” in “*Energieeffizienz bauen!*” *BAU 2007*, 2007.
- [6] M. Greller, F. Schröder, T. Bögelein, P. Güttler, and V. Hundt, “Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 3: Spezifischer Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung und Relation zum Heizenergieverbrauch,” *Bauphysik*, vol. 32, no. 3, pp. 154–159, 2010.
- [7] C. Felsmann and J. Schmidt, “Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität - Schlussbericht,” Technische Universität Dresden, Fak. Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Dresden, 2013.
- [8] *VDI 3807-2013: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen, Blatt 1*. Deutschland, 2013.
- [9] M. Kleemann, R. Heckler, G. Kolb, and M. Hille, “Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden - Szenarioanalysen mit dem IKARUS-Raumwärmemodell 2000,” Bremer Energie Institut, Bremen, 2000.
- [10] S. Klauss, W. Kirchhof, and J. Gissel, “Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten,” Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel, 2009.
- [11] B. Schломann, E. Gruber, W. Eichhammer, and N. Kling, “Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD),” Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 2004.
- [12] N. Fisch, L. Altendorf, L. Kühl, T. Wilken, E. Brandt, and T. Gawron, “Vergleichswerte für Verbrauch bei Wohngebäuden - Endbericht im Auftrag des im Auftrag des BMVBS/BBR,” Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig, Braunschweig, 2012.
- [13] F. Schröder, M. Greller, V. Hundt, B. Mundry, and O. Papert, “Universelle Energiekennzahlen für Deutschland – Teil 1: Differenzierte Kennzahlverteilungen nach Energieträger und wärmetechnischem Sanierungsstand,” *Bauphysik*, vol. 31, no. 6, pp. 393–402, 2009.
- [14] AWEL (Abteilung Energie), “Energiekennzahl Wohnbauten,” AWEL, Abteilung Energie, Zürich, 2014.
- [15] *SIA 380/1:2016 Heizwärmebedarf*. Schweiz, 2016, pp. 1–60.
- [16] I. Plüss and U.-P. Menti, “Kreisgebäude 3, Zurlindenstrasse 87, Zürich: Thermische Raumsimulation zur Ermittlung des Energiebedarfs für verschiedene Lösungsvarianten - Bericht,” Hochschule Luzern, ZIG, Horw, 2009.
- [17] T. Osterhage, D. Cali, R. Streblov, and D. Müller, “Ergebnisse einer energetischen Sanierung: Abweichungen zwischen Energiebedarf und Verbrauch - ist nur der Nutzer schuld?,” *Bauphysik*, vol. 37, no. 2, pp. 100–104, 2015.

- [18] H. Erhorn, "Zur Genauigkeit der Bewertungsmethoden von Energieausweisen für bestehende Wohngebäude - Bericht WB 129/2006," Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2006.
- [19] A. Merzkirch, T. Hoos, S. Maas, F. Scholzen, and D. Waldmann, "Wie genau sind unsere Energiepässe," *Bauphysik*, vol. 36, no. 1, pp. 40–43, 2014.
- [20] D. Majcen, L. Itard, and Visscher, "Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications," *Energy Policy*, vol. 54, pp. 125–136, 2013.
- [21] M. Sunikka-Blank and R. Galvin, "Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption," *Build. Res. Inf.*, vol. 40, no. 3, pp. 260–273, 2012.
- [22] N. Raschper, "Warum Verbrauchswerte und Bedarfsberechnungen voneinander abweichen," *Die Wohnungswirtschaft*, vol. 11, pp. 52–54, 2010.
- [23] J. Knissel, R. Alles, R. Born, T. Loga, K. Müller, and V. Stercz, "Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln," Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2006.
- [24] J. Knissel, "Verbrauchs- versus Bedarfskennwerte," in *EnOB:MONITOR-Workshop "Kennwerte" 21-22. März 2013*, 2013.
- [25] T. Loga, M. Grosskloss, and J. Knissel, "Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung –," Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2003.
- [26] G. Hauser, A. Maas, and K. Höttges, "Analyse des Heizenergieverbrauchs von Mehrfamilienhäusern auf der Basis der GEWOS-Erhebung," *DBZ*, vol. 45, no. 3, pp. 155–162, 1997.
- [27] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach, and R. Born, "Deutsche Wohngebäudetypologie Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden - zweite erweiterte Auflage -," Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2015.
- [28] S. Reimann, Werner; Bühlmann, Eva; Lehmann, Meta, Bade, "Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015," Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2016.
- [29] S. Rieder and W. Eichhammer, "Internationaler Vergleich von Energiestandards im Baubereich," Institut für Politikstudien Interface GmbH und Fraunhofer ISI im Auftrag des BFE, Luzern, 2005.
- [30] *SIA 382/1:2014 Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*. Schweiz, 2014, pp. 1–82.
- [31] T. Hoos, A. Merzkirch, S. Maas, F. Scholzen, and D. Waldmann, "Messtechnische Ermittlung der U-Werte von Aussenwänden im Vergleich mit Typologiewerten für den Gebäudebestand," *Bauphysik*, vol. 37, no. 5, pp. 273–276, 2015.
- [32] *SIA 380:2015 Grundlagen für energetische Berechnung von Gebäuden*. 2015, pp. 1–64.
- [33] *SN EN ISO 13790:2008: Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008)*. 2008.
- [34] S. A. Klein, W. A. Beckmann, J. W. Mitchell, J. A. Duffie, and D. N.A., "TRNSYS - A Transient System Simulation Program," Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, 2000.
- [35] "IDA ICE." www.equa.se, Solna, SE.
- [36] D. L. R. Vollaro, C. Guattari, L. Evangelisti, G. Battista, E. Carnielo, Gori, and Paola,

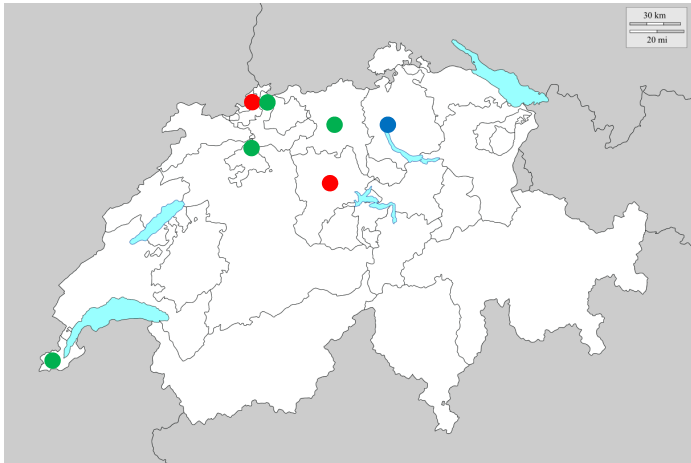
- “Building energy performance analysis: A case study,” *Energy Build.*, vol. 87, pp. 87–94, 2015.
- [37] M. Graetzi-Michlmair, R. Heimrath, and H. Schranzhofer, “Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790,” *Bauphysik*, vol. 32, no. 5, pp. 296–302, 2010.
- [38] T. Frank, S. Carl, H. Simmler, H. Manz, and B. Binder, “Überarbeitung Programm HELIOS-XP - Schlussbericht,” EMPA im Auftrag des BFE, Dübendorf, 2006.
- [39] T. Frank, S. Carl, H. Simmler, H. Manz, B. Binder, C. Zürcher, and J. Kuster, “Überarbeitung Programm HELIOS-XP (Schlussbericht),” EMPA im Auftrag des BFE, Bern, 2006.
- [40] *SIA 380/1:1988 Energie im Hochbau*. Schweiz, 1988, pp. 1–81.
- [41] *ISO 13789:2007 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren*. 2007.
- [42] C. U. Brunner and J. Nänni, *SIA D 99:1985 Wärmebrückenatlas 1 - Neubaudetails*. Schweiz, 1985.
- [43] T. Loga and U. Imkeller-Benjes, “Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfen und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser,” Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001.
- [44] T. Loga, C. Kahlert, M. Laidig, and G. Lude, “Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung - Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Energiebilanzverfahren,” Darmstadt, 1999.
- [45] “Der Heizkompass für Hauswartinnen und Hauswarte,” Energie Schweiz, Bern, 2012.
- [46] F. Schröder, O. Papert, T. Boegelein, H. Navarro, and B. Mundry, “Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand,” *Bauphysik*, vol. 36, no. 6, pp. 309–324, 2014.
- [47] W. Richter, T. Ender, T. Hartmann, A. Kremonke, B. Oschatz, and J. Seifert, “Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern,” Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003.
- [48] F. Schröder, C. Ohlwärter, H. Erhorn, and J. Reiss, “Reale Raumtemperaturen in Mehrfamilienhäusern – Korrelation mit Gebäudeenergiekennzahlen,” *EnEV aktuell*, no. 2, 2010.
- [49] H. Hend, W. Parijs, and M. Deurinck, “Energy consumption für heating and rebound effects,” *Energy Build.*, vol. 42, pp. 105–110, 2010.
- [50] S. Gasser, A. Binz, T. Heldstab, A. Jenni, and J. Nipkow, “Revision SIA 380/4 - Teilprojekt 8: Strombilanzmodell für Wohnbauten,” SIA und AHB Zürich, Zürich, 2014.
- [51] J. Nipkow, “Typischer Haushalt-Stromverbrauch,” ARENA (im Auftrag des BFE), Bern, 2013.
- [52] B. Schломann, E. Gruber, W. Eichhammer, N. Kling, J. Diekmann, H.-J. Ziesing, H. Rieke, and F. Wittke, “Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD),” Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 2004.
- [53] A. de Almeida, P. Fonseca, B. Schломann, and N. Feilberg, “Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations,” *Energy Build.*, vol. 43, pp. 1884–1894, 2011.
- [54] EnergieAgentur.NRW, “Erhebung „Wo im Haushalt bleibt der Strom?“ Anteile,

- Verbrauchswerte und Kosten von 12 Verbrauchsbereichen in Ein- bis Sechs-Personen-Haushalten,” EnergieAgentur.NRW, Wuppertal, 2011.
- [55] Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit, “Stromspiegel für Deutschland 2014 - Vergleichswerte für Ihren Stromverbrauch,” Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin, 2014.
- [56] K. Jahnke, “Bundesweiter Stromspiegel - Datenquelle und Methodik,” co2online GmbH, Berlin, 2014.
- [57] Bundesamt für Statistik, “Bau- und Wohnungswesen - Panorama,” Bundesamt für Statistik, Bern, 2015.
- [58] Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB), “Pressemitteilung Nr. 9/2013: pro-Kopf-Wohnfläche erreicht mit 45m² neuen Höchstwert,” Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB), Wiesbaden, 2013.
- [59] Bundesamt für Statistik, “Bau- und Wohnungswesen - Die wichtigsten Zahlen,” 2013. [Online]. Available: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/01/key.html>. [Accessed: 09-Jun-2015].
- [60] R. Kohli, “Haushaltsszenarien - Entwicklung der Privathaushalte zwischen 2005 und 2030,” Bundesamt für Statistik BFS, Bern, 2010.
- [61] Statistisches Bundesamt, “Bevölkerung und Erwerbstätigkeit - Haushalte und Familien, Ergebnisse des Mikrozensus 2013,” Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2014.
- [62] M. Jakob, G. Catenazzi, R. Forster, T. Egli, and T. Kaiser, “Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie,” TEP Energy GmbH, Zürich, 2016.
- [63] H. Künzel, *Wohnungslüftung und Raumklima*, 2. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [64] W. Hässig, A. Primas, D. Gerber, H. Huber, T. Weber, and C. Hauri, “Untersuchung zur Lüftung von sanierten Mehrfamilienhäusern,” Basler und Hofmann Ingenieure und Planer, Zürich, 2005.
- [65] O. Kah, S. Peper, W. Ebel, B. Kaufmann, W. Feist, and B. Zeno, “Untersuchung zum Aussenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung - Endbericht IEA SHC Task 37 Subtask C,” Passivhaus Institut, Darmstadt, 2010.
- [66] *SIA 380/1:2001 Thermische Energie im Hochbau*. Schweiz, 2001, pp. 1–56.
- [67] *DIN 1946-6:2009-05: Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung*. Deutschland, 2009, pp. 1–125.
- [68] R. Kriesi, “Reales Lüftungsverhalten in Wohnen mit unterschiedlichen Lüftungssystemen - Schlussbericht,” Kriesi Energie GmbH, Wädenswil, 2012.
- [69] A. Maas, “Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung,” Universität Gesamthochschule Kassel, Kassel, 1995.
- [70] G. Bekö, J. Toftum, and G. Clausen, “Modeling ventilation rates in bedrooms based on building characteristics and occupant behaviour,” *Build. Environ.*, vol. 46, pp. 2230–2237, 2011.
- [71] G. Bekö, T. Lund, F. Nors, J. Toftum, and G. Clausen, “Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children,” *Build. Environ.*, vol. 45, pp. 2289–2295, 2010.
- [72] Dimitroulopoulou, “Ventilation in European dwellings: A review,” *Build. Environ.*, vol. 47, pp. 109–125, 2012.

- [73] E. Parlow, D. Scherer, and U. Fehrenbach, "Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ) - Wissenschaftlicher Bericht," Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich (Hg.), Zürich, 2010.
- [74] E. Parlow, R. Vogt, and C. Feigenwinter, "The urban heat island of Basel – seen from different perspectives," *Die Erde - Journal Geogr. Soc. Berlin*, vol. 145, no. 1–2, pp. 96–110, 2014.
- [75] *SN EN ISO 6946:2007 Bauteile - Wärmedurchgangswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren*. 2007, pp. 1–33.
- [76] *SIA 2028:2010 Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*. Schweiz, 2010.
- [77] M. Mörtel, "Modell zur Bestimmung der Ansaugtemperaturen dezentraler Fassadenlüftungsgeräte," Technische Universität Berlin, Berlin, 2015.
- [78] W. Leuthard, "Wärmebrücken vermeiden - ein Energiesparpotential ausnützen," *Umwelt Aargau*, vol. 23, pp. 21–23, 2004.
- [79] C. U. Brunner and J. Nänni, "Verminderung von Wärmebrücken bei Neubauten. Teil 1: die Bedeutung von Wärmebrücken," *Schweizer Ing. und Archit.*, vol. 107, no. 11, pp. 293–298, 1989.
- [80] C. Richarz and C. Schulz, *Energetische Sanierung - Grundlagen, Details, Beispiele*. München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2011.
- [81] Z. Bastian, *EnerPHit Planerhandbuch - Altbauten mit Passivhaus-Komponenten fit für die Zukunft machen*, 1st ed. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2012.
- [82] *SN EN ISO 13786: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen . Dynamisch - thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007)*. 2007.
- [83] W. Pistohl, *Handbuch der Gebäudetechnik - Planungsgrundlagen und Beispiele, Band 2: Heizung/Lüftung/Energiesparen*. Düsseldorf: Werner Verlag, 1998.
- [84] C.-A. Roulet and F. Foradini, "Simple and Cheap Air Change Rate Measurement Using CO2 Concentration Decays," *Int. J. Vent.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–44, 2002.
- [85] *ISO 9869-1: Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method*. 2014.
- [86] *SIA 2028-C1: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik - Korrigenda C1 zu SIA 2028:2010*. 2015.
- [87] T. Loga and U. Imkeller-Benjes, "Energiepass Heizung/Warmwasser - Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem," Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1997.
- [88] J. Lenel, Severin; Gemperle, Silvia; Bosshard, "Praxistest MINERGIE - Erfahrungen aus Planung, Realisierung und Nutzung von MINERGIE-Bauten, Schlussbericht," Konferenz Kantonalen Energiefachstellen, Bern, 2004.
- [89] G. Zweifel, "Neue Berechnung der Heizgradtage," *Tec21*, vol. 19–21, p. 20, 2015.
- [90] *SIA 2044:2011 Klimatisierte Gebäude - Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf*. Schweiz, 2011.
- [91] W. Feist, *Thermische Gebäudesimulation - Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze*. Heidelberg: Verlag C.F. Müller, 1994.
- [92] A. Marko, *Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden - Für Ingenieure und Architekten*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
- [93] *SIA D 0170:2001 Thermische Energie im Hochbau - Leitfaden zur Anwendung der Norm SIA 380/1, Ausgabe 2001*. Schweiz, 2001.

- [94] SIA 180:1988 *Wärmeschutz im Hochbau*. 1988.
- [95] SIA 180/1: *Nachweis des mittleren k-Wertes der Gebäudehülle*. Schweiz, 1988.
- [96] SIA D 080:1991 *Leitfaden für die Anwendung SIA 380/1 "Energie im Hochbau."* Schweiz, 1991.
- [97] SIA 381/3:1982 *Heizgradtage der Schweiz*. 1982.
- [98] SIA 381/2:1988 *Klimadaten zu Empfehlung 380/1 "Energie im Hochbau."* Schweiz, 1988.
- [99] SIA 384/2:1982 *Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden*. 1982.
- [100] R. Andersen, V. Fabi, J. Toftum, S. Corgnati, and B. Olesen, "Window opening behaviour modelled from measurement in Danish dwellings," *Build. Environ.*, vol. 69, pp. 101–113, 2013.
- [101] H. Stymne, A. Bomann, and J. Kronvall, "Measuring ventilation rates in Swedish housing stock," *Build. Environ.*, vol. 29, no. 3, pp. 373–379, 1994.

6 Anhang A: Gebäude



Feinanalyse, FA

Grobanalyse 1, GA1

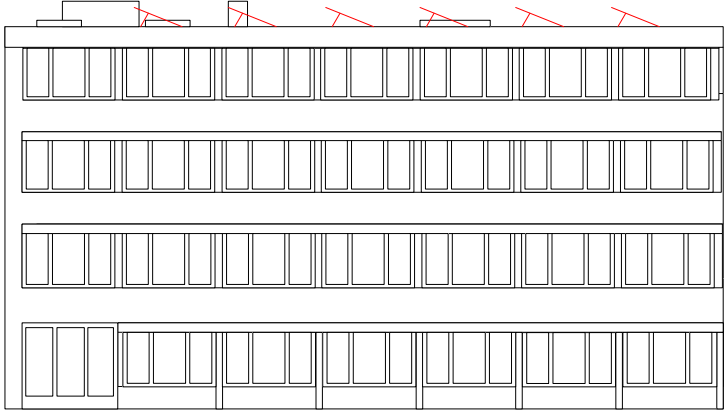
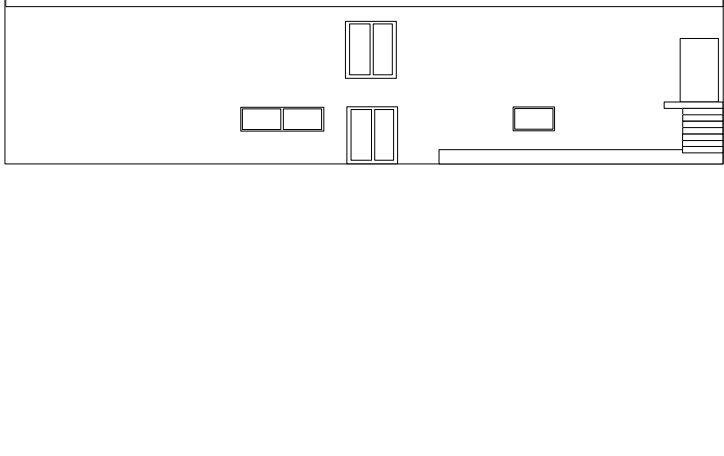
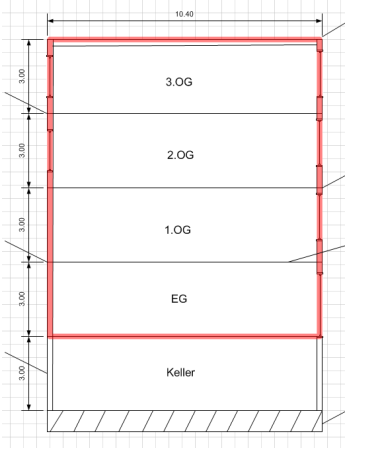
Grobanalyse 2, GA2

Quelle Karte: www.d-maps.com

6.1 Gebäude Feinanalyse

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Ansichten und Schnitte der Gebäude der Feinanalyse. Die Tabellen enthalten Messungen und statische Rechenwerte für die U-Werte. Die Messungen sind in Abschnitt 7.1 beschrieben.

6.1.1 Bürogebäude Sumatrastrasse 10, 8006 Zürich

	
<p>Bild 39 Fassade West</p>	<p>Bild 40 Fassade Süd</p>
	
<p>Bild 41 Fassade Ost, 2. und 3. OG (EG und 1. OG gegen Erdreich aufgrund Hanglage)</p>	<p>Bild 42 Querschnitt mit thermischer Hülle (rot)</p>

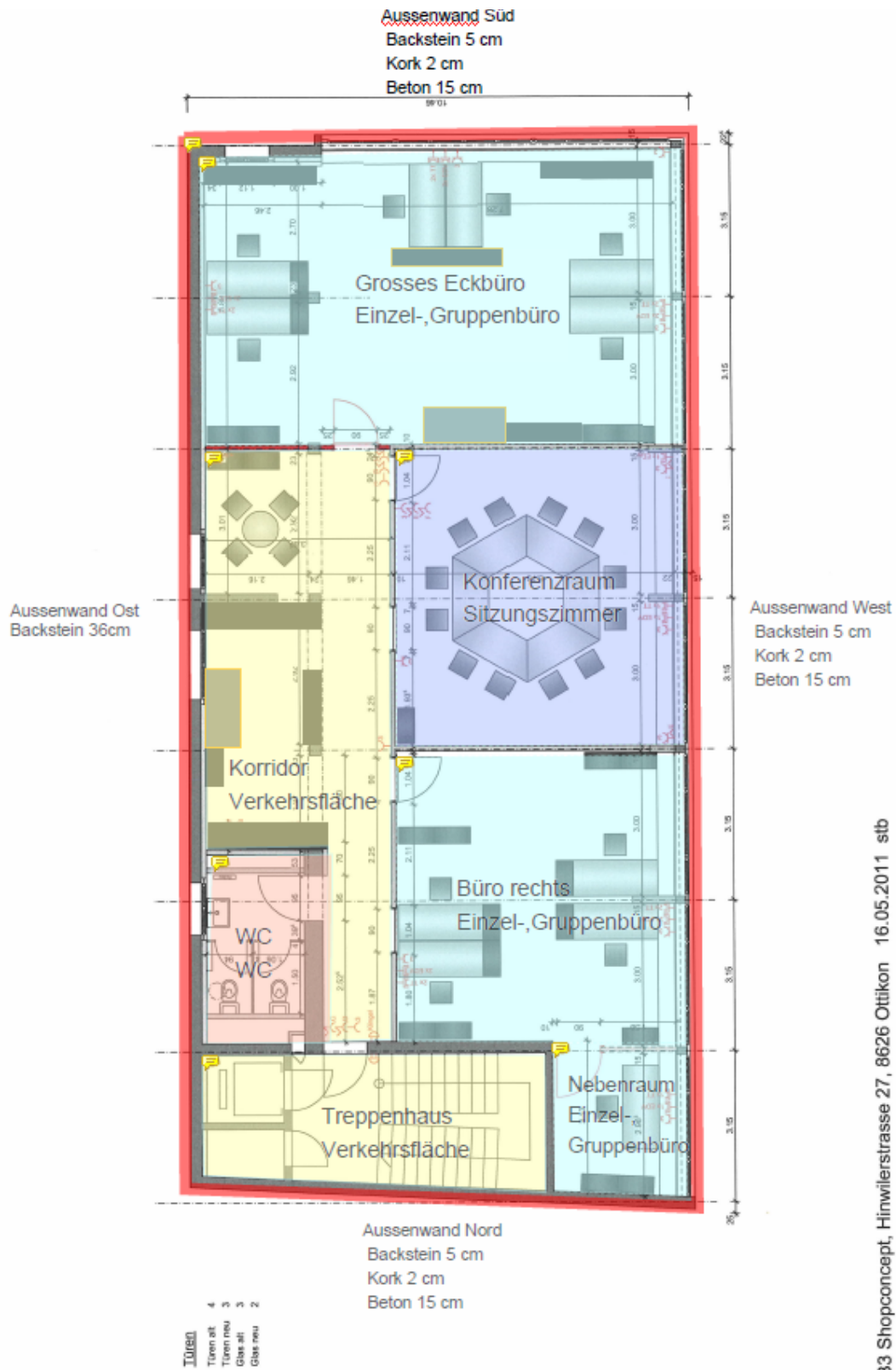


Bild 43

Zweites OG, Grundriss mit Wandaufbau und Nutzung, Dämmperimeter (rot)

Tabelle 11 Schichtaufbau und U-Werte Bürogebäude

Bauteil	Material	Dicke [cm]	Fläche [m ²]	U-Wert (b-Wert) statisch ¹¹ W/(m ² K)	U-Wert ± Fehler ¹² (b-Wert) gemessen ¹³ W/(m ² K)
Dach	Stahlbeton (2 %)	22	224	0.99	0.75 ± 0.1
	Kork	4		(-)	(-)
Fassade Ost (n. aussen)	Aussenputz	2	127	0.96	0.89 ± 0.1
	Stahlbeton (2 %)	36		(-)	(-)
	Innenputz	2			
Fassade Ost (i. Erdreich)	Stahlbeton (2 %)	36	127	3.05	k.M.
	Innenputz	2		(0.27)	
Fassade Süd	Stahlbeton (2 %)	15	65	1.37	0.90 ± 0.1
	Kork	2		(-)	(-)
	Modulbackstein	5			
	Innengipsputz	2			
Fassade West	Stahlbeton (2 %)	15	94	1.37	0.86 ± 0.1
	Kork	2		(-)	(-)
	Modulbackstein	5			
	Innengipsputz	2			
Boden	Stahlbeton (2 %)	30	231	3.13	k.M.
	Zementmörtel	4		(0.7)	(0.10 ± 0.0) ¹⁴
Fenster O	2-IV	-	11	Glas: 2.00	Glas: 2.8 ± 0.4
Fenster S	2-IV	-	59	Glas: 2.00	Glas: 2.8 ± 0.4
Fenster W	2-IV	-	170	Glas: 2.00	Glas: 2.8 ± 0.4

¹¹ TecTool, Absorptionskoeffizient $\alpha=0.3$, $\epsilon=0.9$, h innen 7.7 W/(m²K), h aussen 25 W/(m²K)

¹² Fehler von greenTEG U-Wert Messkit 14 %, siehe auch Abschnitt 7.1.2

¹³ greenTEG Messkit (Wärmeflussensor, Temperatursensoren), Messdauer: 72 h.

¹⁴ Aus Temperaturdifferenz innen-aussen berechnet

6.1.2 Wohngebäude Höggerstr. 23, 8037 Zürich

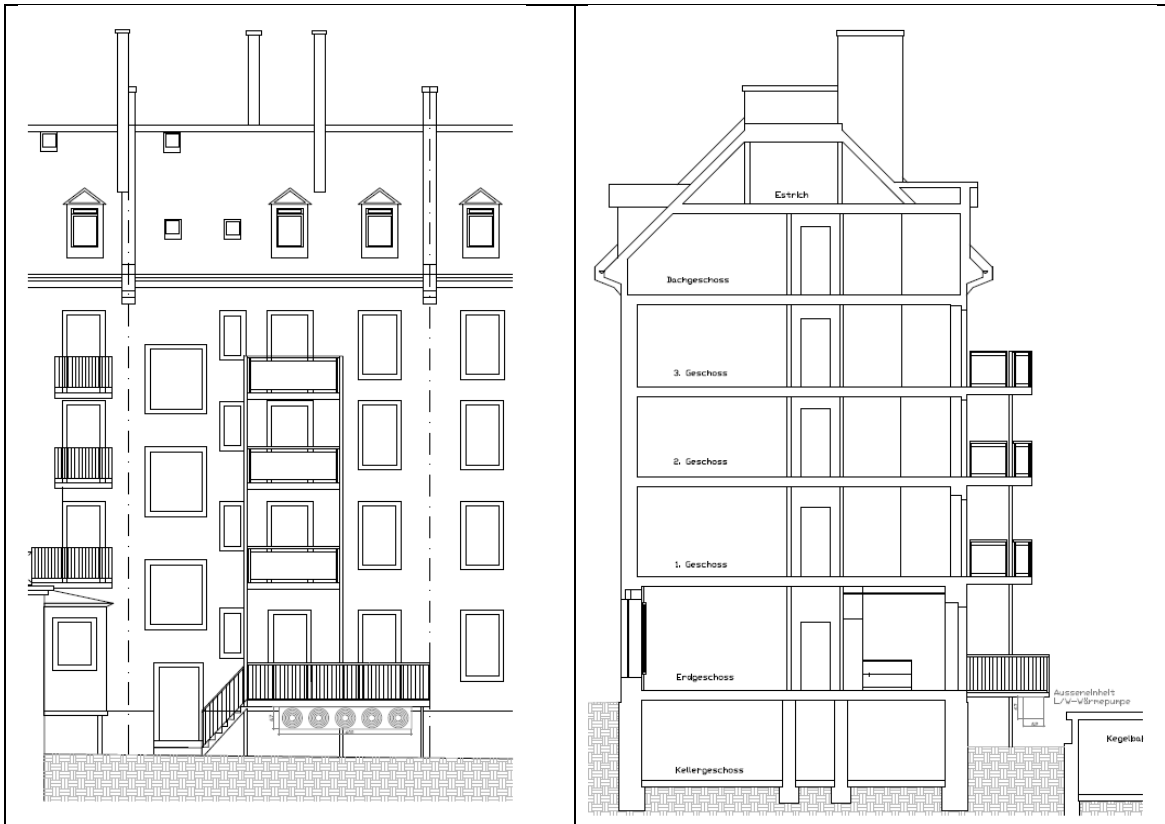


Bild 45 Fassade West

Bild 46 Längsschnitt Ost - West

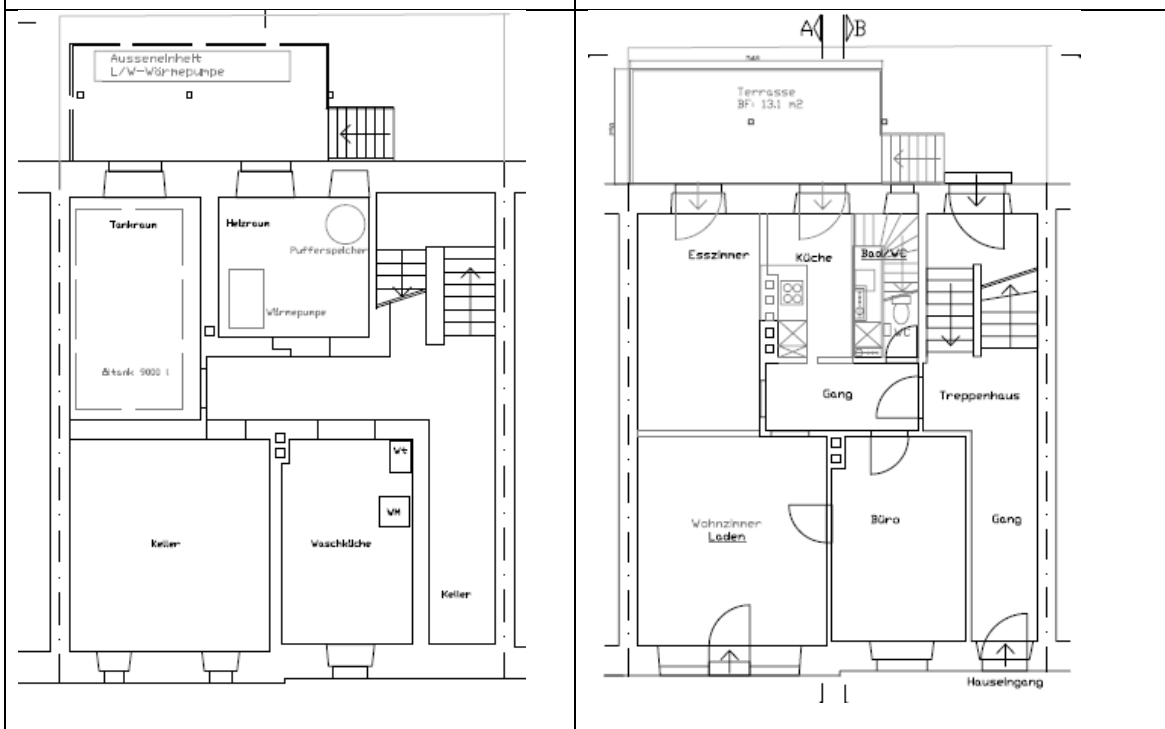


Bild 47 Grundriss UG

Bild 48 Grundriss EG

Tabelle 12

Schichtaufbau und U-Werte MFH

Bauteil	Aufbau (ohne Membrane)	Dicke [cm]	Fläche [m ²]	U-Wert (b-Wert) statisch ¹⁵ [W/m ² K]	U-Wert ± Fehler ¹⁶ (b-Wert) gemessen [W/m ² K]
Aussenwand EG	Bruch- und Backstein	60	49	1.01	0.88 ± 0.1
Aussenwand 1. - 3. OG	Backstein	45	122	1.24	0.92 ± 0.1
Aussenwand Kniestock Dachgeschoss	Backstein Dachvorsprung Holz	35	17	1.47	0.94 ± 0.1
Kellerdecke	Parkettboden	3	88	1.27	1.27 ± 0.2
	Schlackenschicht	5		(0.7)	(0.25 ± 0.0)
	Hourdisdecke	16			
Dach	Gipswand	1	27	1.6	1.20 ± 0.2
	Holzsparren (ohne Dämmung)	16			
Estrichboden	Holz	2	54	1.27	1.27 ± 0.2 (0.79 ± 0.00)
	Holzbalken	12		(0.8)	
	Luftraum mit Schlacke	?			
	Gips	1			
Fenster EG	2-IV-VSG, Holzrahmen (2006)		66	Glas: 1.4 Rahmen: 1.6 Fenster: 1.6	Glas: 2.60 ± 0.4 Rahmen: 1.8 ± 0.2 Fenster: 2.2 – 2.4 ± 0.3

¹⁵ h innen 7.7 W/m²K, h aussen 25 W/m²K

¹⁶ Fehler von greenTEG U-Wert Messkit 14 %, siehe auch Abschnitt 7.1.2

6.1.3 Lokale Klimadaten (Aussentemperatur und Globalstrahlung)

Um den Heizwärmebedarf mit lokalen Klimadaten berechnen zu können, wurden an den Standorten des Büro- und Wohngebäudes Temperaturmessungen durchgeführt und mit den zwischen 1984 bis 2003 gemittelten Aussenlufttemperaturen der Klimastation SMA (Zürich Fluntern) verglichen. Die Abweichung betrug rund + 5°C (s. monatlich gemittelte Aussenlufttemperaturen in Bild 50). Ebenso wurde ein Vergleich mit den SMA-Aussenlufttemperaturen des Jahres 2015 gemacht. Dort betrug die Abweichung rund + 2°C. Die Messung am Standort des Bürogebäudes beginnt erst im Mai 2015, daher beruht der Vergleich auf Messdaten zwischen Mai 2015 und April 2016. Für die Berechnung des HWB_{Kor} in der Variante „Klima 2015 + 2K“ wurden daher Messdaten der Klimastation SMA des Jahres 2015 verwendet, welche um + 2°C korrigiert wurden.

Die höheren Aussentemperaturen am Standort beruhen einerseits auf dem Höhenunterschied zur Klimastation (SMA 556 m ü.M., Gebäudestandorte: 430 bzw. 410 m ü.M.) sowie auf der Überwärmung im dicht bebauten und mehrheitlich versiegelten Siedlungsraum der Stadt Zürich. Die lokale Überwärmung im Stadtgebiet ist in der Klimaanalyse (KLAZ) der Stadt Zürich [73] gut dokumentiert. In der Studie wurde der Einfluss verschiedener meteorologischer Wetterlagen auf die klimatische und lufthygienische Situation untersucht. Unter autochthonen Bedingungen¹⁷ konnte eine Abweichung der mittleren nächtlichen Lufttemperatur in Bodennähe vom Gebietsmittel von bis zu 5 K festgestellt werden (s. Bild 51).

Für die Berechnung wurden ausserdem lokale Strahlungsdaten verwendet. Diese beruhen auf den Messungen der Klimastation SMA für das Jahr 2015 (Bild 49). In den Übergangszeiten (März-Mai, Sept-Nov) und Anfang Winter (Dez) ist die mittlere monatliche Globalstrahlung bis zu 32 kWh/m² höher als der langjährige Durchschnitt (SMA 1984 – 2003).

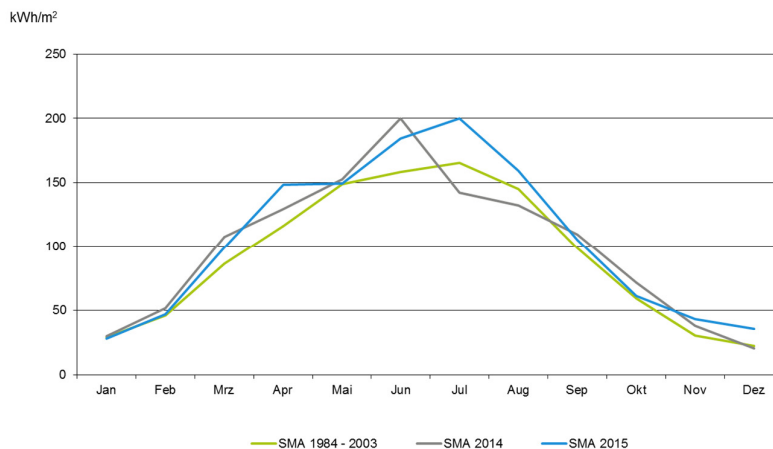


Bild 49

Mittlere monatliche Globalstrahlung, Quelle: MeteoSchweiz

¹⁷[Wetterlexikon deutscher Wetterdienst](#): „Eigenbürtige“, durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Witterung, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. [73]: „...Dann überprägen die Geofaktoren Relief, Höhenlage und Landnutzung lokal die grossräumig herrschenden Bedingungen.“

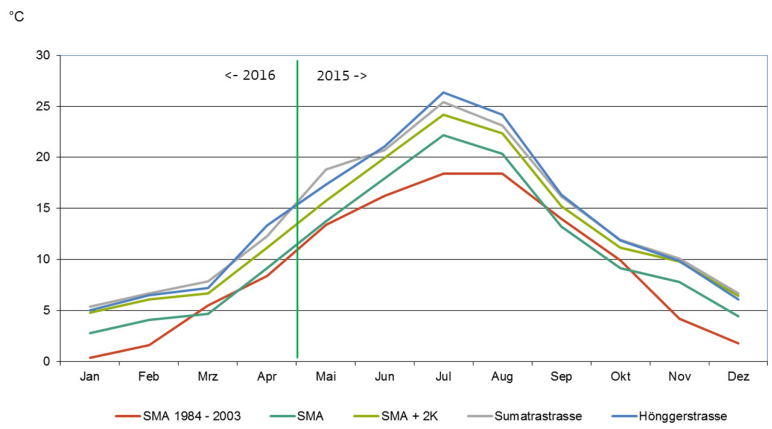


Bild 50 Mittlere monatliche Aussenlufttemperaturen, Quelle: MeteoSchweiz

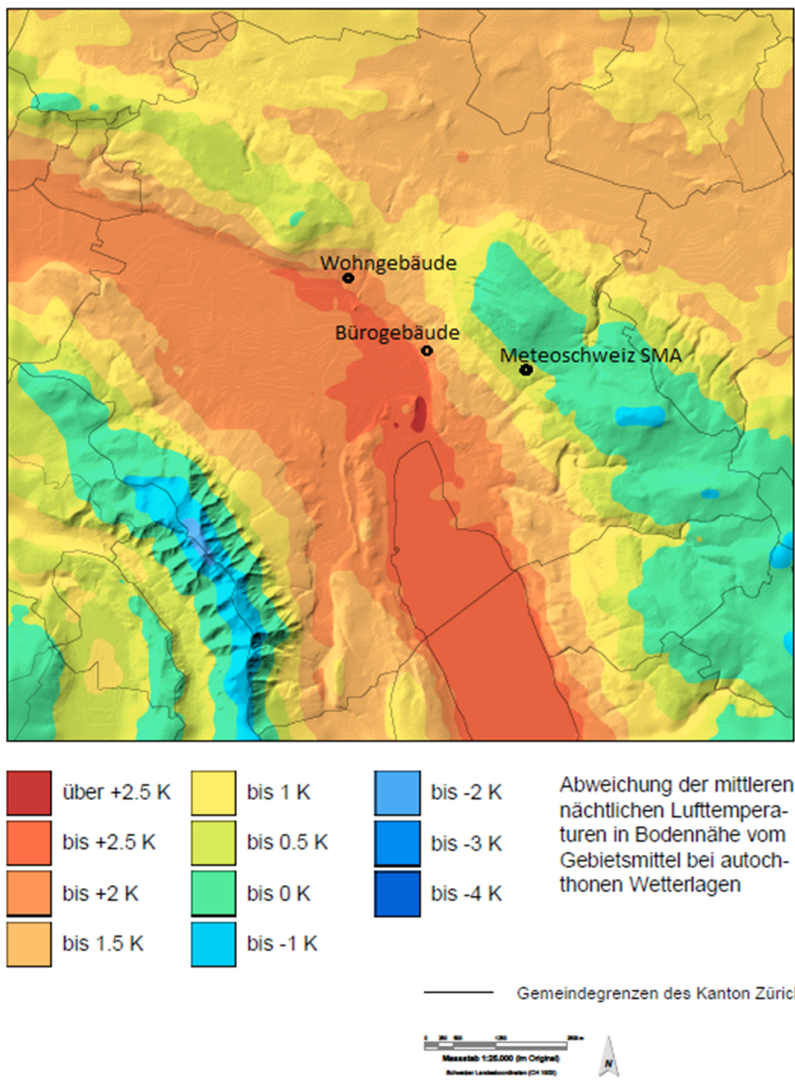


Bild 51 Nächtliche Wärmeinseln in Zürich. Quelle: [73]

6.2 Gebäude Grobanalyse

6.2.1 Gebäude mit monatlichen Verbrauchsdaten

BS_01

Gebäude: Basel 01

Allgemeine Angaben

Baujahr	1971
Gebäudetyp	MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	6 + KG
Anzahl Wohnungen	18
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	78 kWh/(m ² a)
Verbrauch	76 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Öl

Flächen

EBF	996 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	0.96

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme
Fenster	Austausch (1993)
Rollradenk.	Dämmung (keine Angabe wie viel)

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand Strasse / Hof		Aussenwand Seite		Dach		Decke zu Dach		Bodenplatte Einfahrt	
Schicht 1 (aussen)	Aussenputz	1.5 cm	Aussenputz	1.5 cm	Deckung		Betondecke	20 cm	Beton	18 cm
Schicht 2	Mauerwerk	28 cm	Mauerwerk	28 cm	Dä / Sparren	8 cm	Dämmung	5 cm	Dämmung	3 cm
Schicht 3	Innenputz	1 cm	Innenputz	1 cm					Estrich	5 cm
Schicht 4									Belag	1 cm
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/(m ² K))	0.93		0.93		0.50		0.58		0.86	
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Dachterrasse		Fenster		Heizkörpernischen	
Schicht 1 (aussen)	Beton	18 cm	Plattenbelag	3 cm	2-fach	Aussenputz	1.5 cm	
Schicht 2	Dämmung	3 cm	Sand	3 cm		Mauerwerk	11 cm	
Schicht 3	Estrich	5 cm	Dichtung			Kork	3 cm	
Schicht 4	Belag	1 cm	EPS 035	6 cm		Gipsplatte	1 cm	
Schicht 5			Beton	20 cm		Innenputz	1 cm	
Schicht 6								
Material Rahmen					Kunststoff			
U-Wert (W/(m ² K))	0.86		0.50		2.90	0.65		
g-Wert (%)					60			



<p>Foto</p> 	<p>Lageplan</p> 	<p>Kommentar</p> <p>Verbrauch Mittelwert aus 2011, 2012 und 2013</p> <p>Datenquelle</p> <p>Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop Messdaten: Rapp Enserv AG</p>
--	---	---

Bild 52

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird über einen Ölkessel mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten. Die Daten liegen in der Einheit Liter (Öl) vor. Gem. [83] wurde hier als Heizwert 10.0 kWh/l angenommen.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BS_01

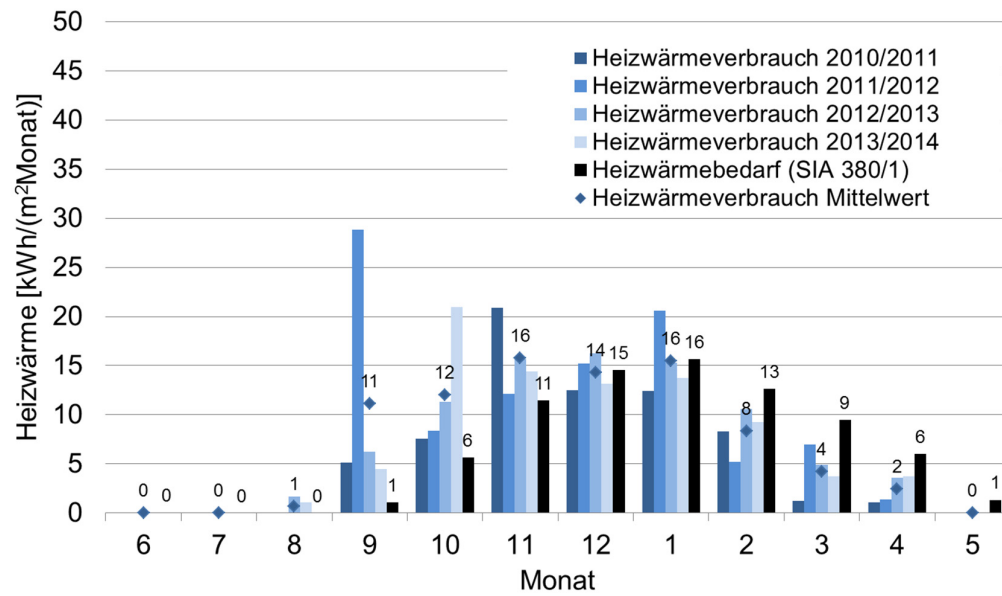


Bild 53

Gegenüberstellung HWB_{St} und HWV für die einzelnen Messjahre

BS_02

Gebäude: Basel 02

Allgemeine Angaben

Baujahr	1953
Gebäudetyp	MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	4 + DG und KG
Anzahl Wohnungen	38
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	68 kWh/(m ² a)
Verbrauch	83 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Fernwärme

Flächen

EBF	1602 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	0.93

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme
Decke DG	Steinwolle 10 cm
Dach	10 cm Steinwolle
Dach Mans.	11 cm Steinwolle
Wand Mans.	12 cm Steinwolle
Boden Keller	8 cm Steinwolle
Fenster	neu
Rolladenk.	gedämmt

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Heizkörpernischen		Dach		Dach Mansarde		Decke zu Dach	
Schicht 1 (aussen)	Aussenputz	1.5 cm	Aussenputz	1.5 cm	Deckung		Deckung		Holz b. Decke	14 cm
Schicht 2	Mauerwerk	39 cm	Mauerwerk	11 cm	Best. Dach	14 cm	Best. Dach	14 cm	Steinwolle	10 cm
Schicht 3	Innenputz	1 cm	Luftschicht	1 cm	Steinwolle	10 cm	Steinwolle	12 cm	Spanplatte	1.9 cm
Schicht 4			Heraclit	8 cm	Spanplatte	1.9 cm	Spanplatte	1.9 cm		
Schicht 5			Innenputz	1 cm						
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/(m ² K))	1.14		0.68		0.26		0.23		0.26	
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Wand Mansarde		Fenster		Wand innen	
Schicht 1 (aussen)	Steinwolle	8 cm	Wand Best.	14 cm	2-fach	Innenputz	1 cm	
Schicht 2	Beton	18 cm	Steinwolle	12 cm		Mauerwerk	15 cm	
Schicht 3	Dämmung	1.5 cm	Spanplatte	1.9 cm		Innenputz	1 cm	
Schicht 4	Estrich	4 cm						
Schicht 5	Belag	1 cm						
Schicht 6								
Material Rahmen					Kunststoff			
U-Wert (W/(m ² K))	0.35		0.23		1.1	2.22		
g-Wert (%)					0.5			

Foto



Lageplan



Kommentar

Verbrauch Mittelwert aus 2012 und 2013

Datenquelle

Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop
Messdaten: Rapp Enserv AG

Bild 54

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird über Fernwärme mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BS_02

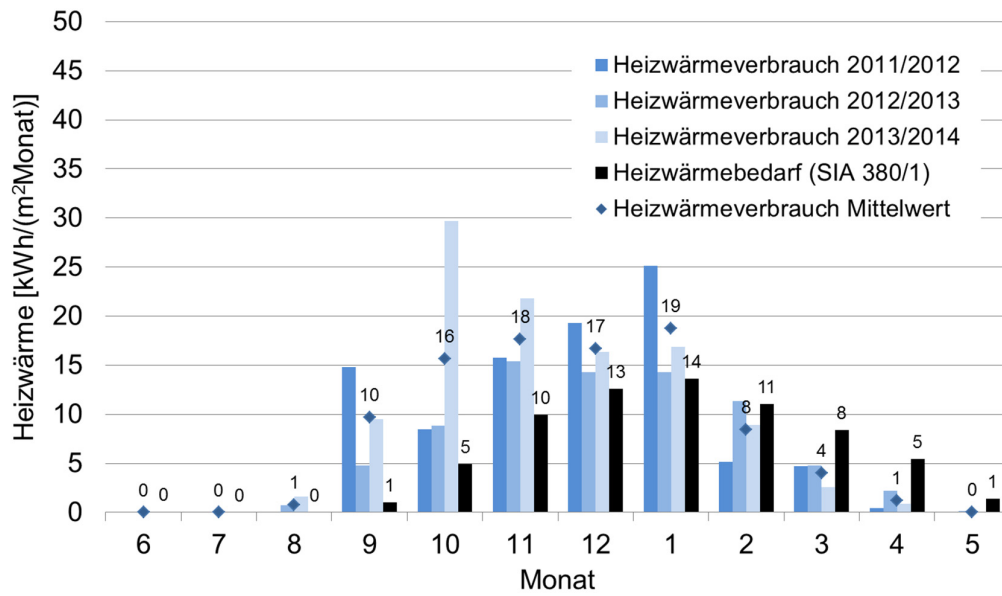


Bild 55

Gegenüberstellung HWB_{st} und HWV für die einzelnen Messjahre

BS_03

Gebäude: Basel 03

Allgemeine Angaben

Baujahr	1879 / 1900
Gebaudetyp	3 MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	5 + KG
Anzahl Wohnungen	13
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	98 kWh/(m ² a)
Verbrauch	57 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Fernwärme

Flächen

EBF	2190 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	1.02

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Heizkörpernischen		Dach		Dach Mansarde		Wand Mansarde	
Schicht 1 (aussen)	Putz	1.5 cm	Putz	1.5 cm	Deckung		Deckung		Wand Best.	1.5 cm
Schicht 2	Mauerwerk	58 cm	Mauerwerk	40 cm	Best. Dach	14 cm	Best. Dach	14 cm	Steinwolle	10 cm
Schicht 3	Innenputz	1 cm	Innenputz	1 cm	Steinwolle	10 cm	Steinwolle	10 cm	Spanplatte	1.9 cm
Schicht 4					Spanplatte	1.9 cm	Spanplatte	1.9 cm		
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/(m ² K))	1.21		1.62		0.26		0.26		0.26	
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Wand DG unbeheizt		Fenster		Boden zu Durchgang		Wand zu Durchgang (Nr. 9)	
Schicht 1 (aussen)	Holzbalkend.	25 cm	Innenputz	1 cm	2-fach		Massiv		Innenputz	1 cm
Schicht 2			Mauerwerk	15 cm					Mauerwerk	15 cm
Schicht 3			Innenputz	1 cm					Innenputz	1 cm
Schicht 4										
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen					Holz					
U-Wert (W/(m ² K))	1		1.59		2.70		1.20		1.59	
g-Wert (%)					70					


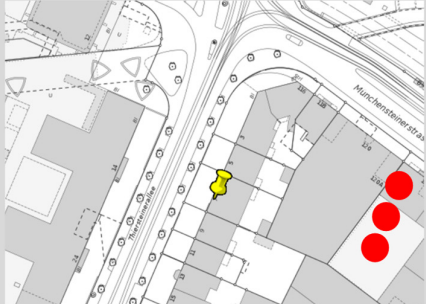
Foto	Lageplan	Kommentar
		Verbrauch Mittelwert aus 2011, 2012 und 2013
		Datenquelle Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop Messdaten: Rapp Enserv AG

Bild 56

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird über Fernwärme mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BS_03

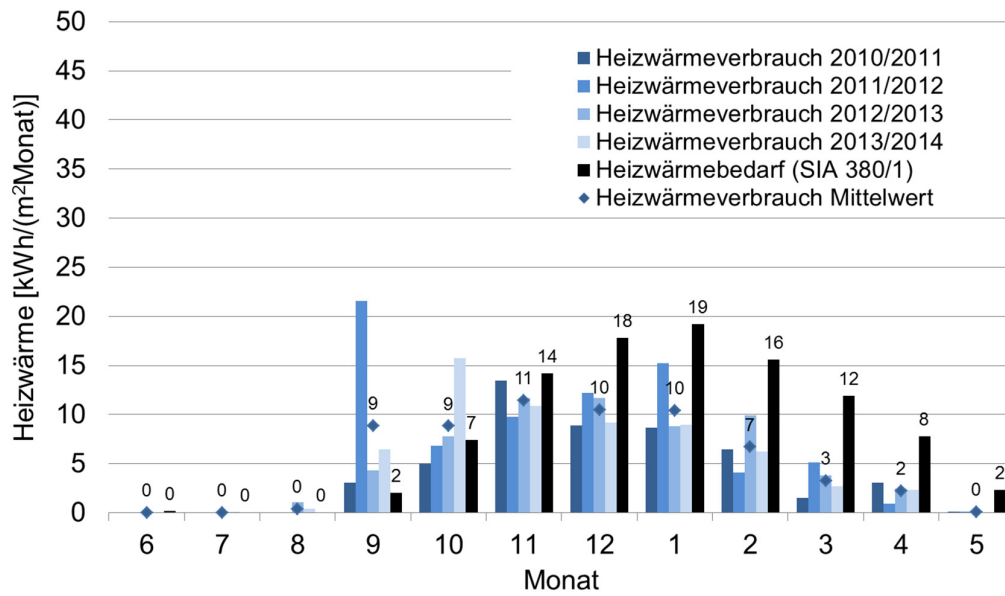


Bild 57

Gegenüberstellung HWB_{St} und HWV für die einzelnen Messjahre

BS_04

Gebäude: Basel 04

Allgemeine Angaben

Baujahr	1905
Gebäudetyp	2 MFH
Nutzung	Wohnen + Praxis
Stockwerke	4 + KG
Anzahl Wohnungen	7 + Praxis
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	98 kWh/(m ² a)
Verbrauch	88 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Fernwärme

Flächen

EBF	1266 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	0.93

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Heizkörpernischen		Dach		Decke zu Dach		Dach Mansarde	
Schicht 1 (aussen)	Putz	1.5 cm	Putz	1.5 cm	Deckung		Holzbalkend.	33 cm	Deckung	
Schicht 2	Mauerwerk	48 cm	Mauerwerk	30 cm	Best. Dach	14 cm			Best. Dach	14 cm
Schicht 3	Innenputz	1 cm	Innenputz	1 cm						
Schicht 4										
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/(m ² K))	1.43		1.96		0.8		0.8		0.24	
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Fenster	
Schicht 1 (aussen)	Holzbalkend.	25 cm	2-fach	
Schicht 2				
Schicht 3				
Schicht 4				
Schicht 5				
Schicht 6				
Material Rahmen			Holz	
U-Wert (W/(m ² K))	0.8		2.70	
g-Wert (%)			70	

<p>Foto</p> 	<p>Lageplan</p> 	<p>Kommentar</p> <p>Verbrauch Mittelwert aus 2011, 2012 und 2013</p> <hr/> <p>Datenquelle</p> <p>Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop Messdaten: Rapp Enserv AG</p>
--	---	--

Bild 58 Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird über Fernwärme mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BS_04

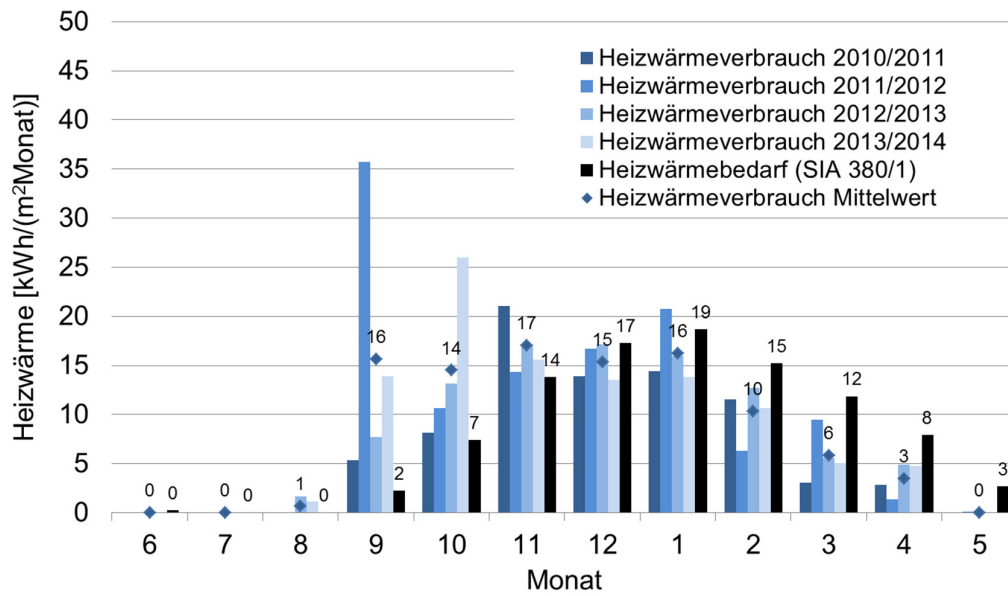


Bild 59

Gegenüberstellung HWB_{st} und HWV für die einzelnen Messjahre

BS_05

Gebäude: Basel 05

Allgemeine Angaben

Baujahr	1935
Gebäudetyp	MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	5 + KG und DG
Anzahl Wohnungen	12
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	91 kWh/(m ² a)
Verbrauch	61 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Gas

Flächen

EBF	1226 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	0.91 -

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme
Fenster	Erneuerung

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Heizkörpernischen		Dach		Seitenwand Gaube		Boden zu Keller	
Schicht 1 (aussen)	Putz	1.5 cm	Putz	1.5 cm	Deckung		Holzbalkend.		Beton	18 cm
Schicht 2	Mauerwerk	48 cm	Mauerwerk	11 cm	Best. Dach	14 cm			Kork	1.5 cm
Schicht 3	Innenputz	1 cm	Kork	3 cm					Estrich	5 cm
Schicht 4			Innenputz	1 cm					Parkett	1 cm
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/[m ² K])	1.23		0.9		0.5		0.5		1.16	
g-Wert (%)										

	Boden aussen		Wand zu Einfahrt TG		Fenster
Schicht 1 (aussen)	Beton	18 cm	Putz	1.5 cm	2-fach
Schicht 2	Kork	1.5 cm	Mauerwerk	22 cm	
Schicht 3	Estrich	5 cm	Schichtex	5 cm	
Schicht 4	Parkett	1 cm	Innenputz	1 cm	
Schicht 5					
Schicht 6					
Material Rahmen					Kunststoff
U-Wert (W/[m ² K])	1.43		0.67		1.3
g-Wert (%)					0.6

Foto	Lageplan	Kommentar
		Verbrauch Mittelwert aus 2011, 2012 und 2013
		Datenquelle Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop Messdaten: Rapp Enserv AG

Bild 60

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird über einen Gaskessel mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten. Die Daten liegen in der Einheit kWh vor.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BS_05

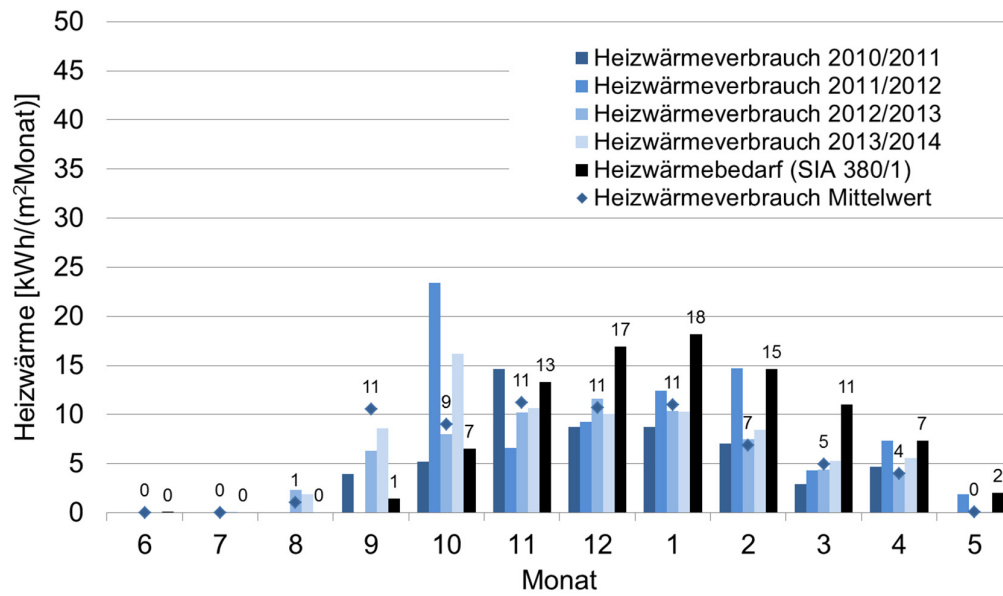


Bild 61

Gegenüberstellung HWB_{St} und HWV für die einzelnen Messjahre

BS_06

Gebäude: **Basel 06**

Allgemeine Angaben

Baujahr	1970
Gebäudetyp	Geschäftshaus
Nutzung	MFH, Büro, Verkauf
Stockwerke	5 + 2 KG und DG
Anzahl Wohnungen	6
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	99 kWh/(m ² a)
Verbrauch	109 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Fernwärme

Flächen

EBF	11296 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	0.59 -

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme
Dach	Dämmung 10 cm

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Brüstungsband		Dach		Boden aussen		Boden zu unbeheizt		Fenster
Schicht 1 (aussen)	Beton	20 cm	Abdichtung		Beton	35 cm	Beton	35 cm	2-fach
Schicht 2	Luftschicht	2 cm	EPS	10 cm	Dämmung	4 cm	Dämmung	4 cm	
Schicht 3	Dämmung	2 cm	Beton	20 cm	Estrich	7 cm	Estrich	7 cm	
Schicht 4	Gipsplatte	1.2 cm			Belag		Belag		
Schicht 5									
Schicht 6									
Material Rahmen									Metall
U-Wert (W/[m ² K])	1.11		0.24		0.65		0.6		4.3
g-Wert (%)									0.75

Foto



Kommentar

Achtung: beim Heizwärmebedarf wurde der parallele Heiz- und Kühlbetrieb des Restaurants abgezogen.
Information:
August Hager, Bilfinger Real Estate AG

Datenquelle

pom+ Consulting AG

Bild 62

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Besonderheiten Gebäude

Das Gebäude beinhaltet im EG ein Restaurant, Läden und einen Fitnessclub. In den mittleren Etagen befinden sich Büros. Im DG sind Wohnungen untergebracht.
Verteilung der Nutzungen: Verwaltung (48 %), Wohnen (27 %), Verkauf (23 %), Restaurant (2 %)

Energieversorgung

Die Energieversorgung wird über Fernwärme realisiert.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BS_06

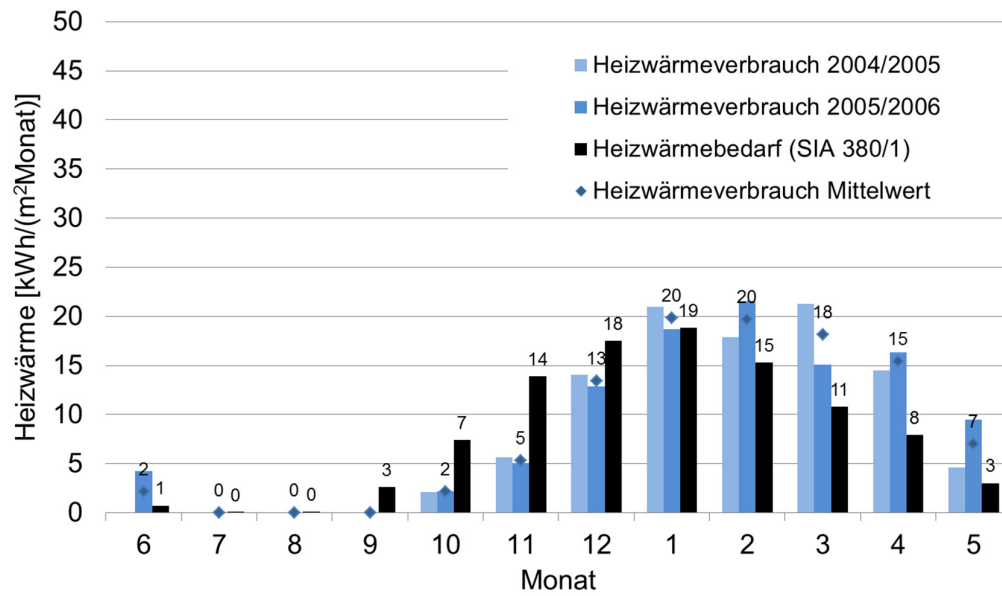


Bild 63

Gegenüberstellung HWB_{St} und HWV für die einzelnen Messjahre

PR_01

Gebäude: Pratteln 01

Allgemeine Angaben

Baujahr	1975
Gebäudetyp	MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	3 + DG und KG
Anzahl Wohnungen	6
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	113 kWh/(m ² a)
Verbrauch	103 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Fernwärme

Flächen

EBF	634,5 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	1,42

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme
Giebelwand	8 cm Mineralwolle
Fenster	2-fach Verglasung

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand Giebel		Aussenwand		Heizkörpernischen		Dach		Decke zu Dach	
Schicht 1 (aussen)	Putz	1,5 cm	Putz	1,5 cm	Putz	1,5 cm	Deckung		Belag	1 cm
Schicht 2	Mineralfaser	8 cm	Mauerwerk	28 cm	Mauerwerk	11 cm	Best. Dach	14 cm	Dämmung	1,5 cm
Schicht 3	Mauerwerk	28 cm	Innenputz	1 cm	EPS	3 cm			Estrich	4 cm
Schicht 4	Innenputz	1 cm			Innenputz	1 cm			Beton	18 cm
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/(m ² K))	0,38		0,93				0,8		1,31	
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Fenster	
Schicht 1 (aussen)	Beton	18 cm	2-fach	
Schicht 2	Dämmung	3 cm		
Schicht 3	Estrich	5 cm		
Schicht 4	Belag	1 cm		
Schicht 5				
Schicht 6				
Material Rahmen			Holz/Metall	
U-Wert (W/(m ² K))	0,76		2,7	
g-Wert (%)			70	

Foto



Lageplan



Kommentar

Verbrauch Mittelwert aus 2011, 2012 und 2013

Datenquelle

Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop
Messdaten: Rapp Enserv AG

Bild 64

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird an das Fernwärmenetz angeschlossen. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf PR_01

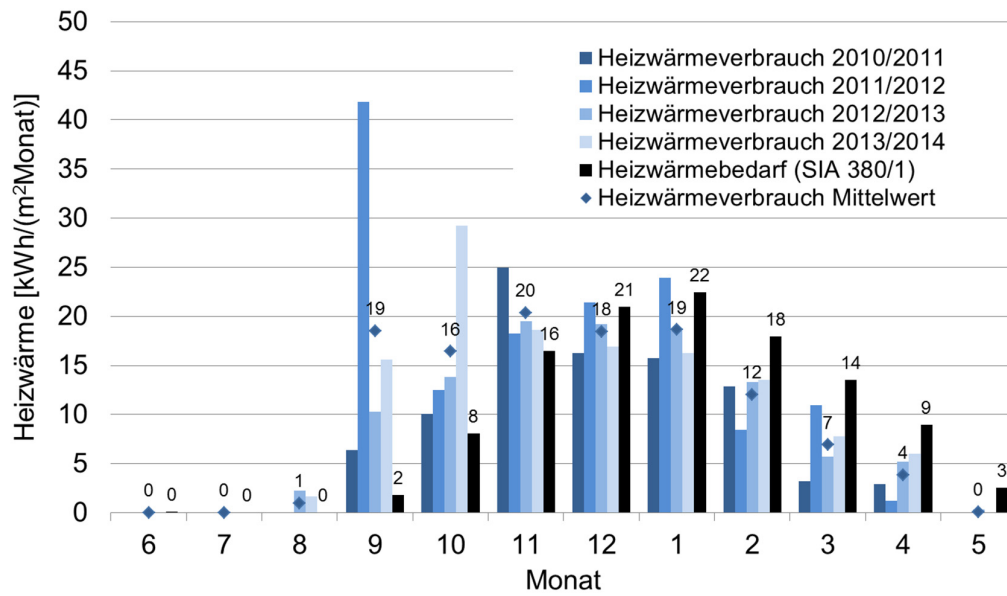


Bild 65

Gegenüberstellung HWB_{st} und HWV für die einzelnen Messjahre

BA_01

Gebäude: Buchs-Aarau 01

Allgemeine Angaben

Baujahr	1961
Gebäudetyp	MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	7
Anzahl Wohnungen	48
Meteostation	Buchs-Aarau

Energie

Bedarf (Qh)	88 kWh/(m ² a)
Verbrauch	110 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Gas

Flächen

EBF	2471 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	0.9 -

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme	Wann
Fenster	Ersatz	90er Jahre

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand (Stirnseite)		Brüstung		Dach		Decke zu Dach		Boden 1. OG zu EG	
Schicht 1 (aussen)	Aussenputz	1 cm	Holzelement	8 cm	Kies	3 cm		cm	Beton	18 cm
Schicht 2	Beton	21.5 cm	Eternit	1 cm	Sand	2 cm		cm	Kork	1.5 cm
Schicht 3	Styropor	4 cm	Styropor	4 cm	Kork	5 cm		cm	Estrich	5 cm
Schicht 4	Innenputz	1.5 cm	Eternit	1 cm	Beton	22 cm			Parkett	1 cm
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/[m ² K])		0.79		0.53		0.79				1.16
g-Wert (%)										

Besondere Konstruktionen

	Boden gegen aussen		Fenster Kunststoff		Fenster Holz/Metall		Stirnseiten Betonwände		Fensterpanel	
Schicht 1 (aussen)	Beton	18 cm	2-fach		2-fach		Eternit	1 cm	Eternit	1 cm
Schicht 2	Kork	1.5 cm					Styropor	4 cm	Styropor	1 cm
Schicht 3	Estrich	5 cm					Eternit	1 cm	Eternit	1 cm
Schicht 4	Parkett	1 cm								
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen			Kunststoff		Holz/Metall					
U-Wert (W/[m ² K])	1.43			1.9		1.6	0.82			
g-Wert (%)				0.6		0.6				

Foto



Kommentar

Es handelt sich um eine Siedlung mit mehreren sehr ähnlichen, bis baugleichen Gebäuden. Genauer untersucht wird ein Gebäudeblock. Die Angaben oben beziehen sich auf diesen Block.

Datenquelle

pom+ Consulting AG
Auskünfte Energieverbrauch: IBB Energie AG

Bild 66

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf BA_01

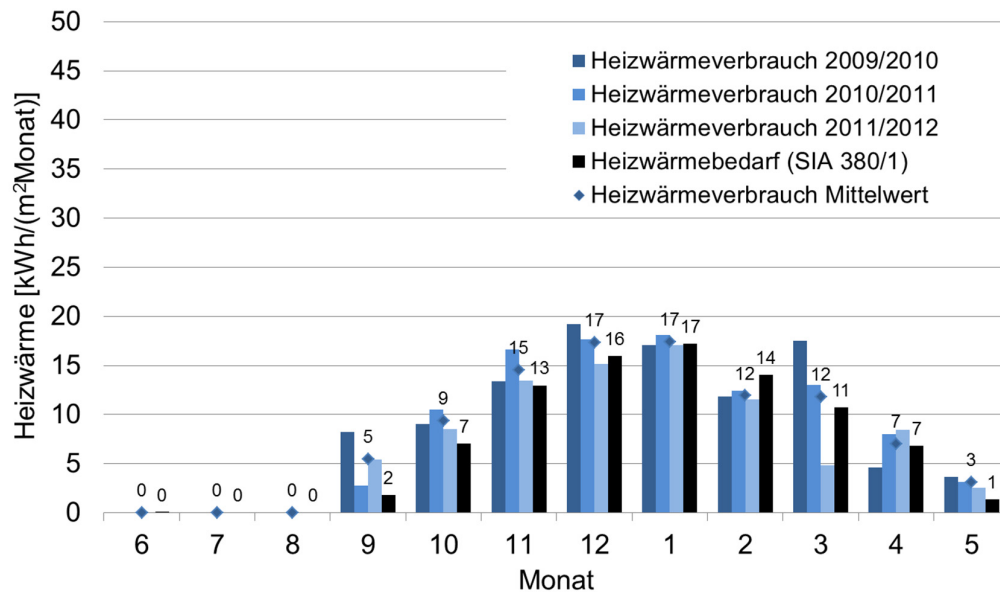


Bild 67

Gegenüberstellung HWB_{St} und HWV für die einzelnen Messjahre

Besonderheiten Gebäude

Es handelt sich um mehrere Blöcke mit insgesamt 530 Wohnungen. Die Wohnblöcke sind hufeisenförmig auf dem Areal verteilt. Im Erdgeschoss der Blöcke sind Allgemeinräume, Abstellräume und kleine Gewerbeeinheiten, die z. B. als Vereinsräume genutzt werden, untergebracht. Ein Kindergarten befindet sich in der Mitte des Geländes. Es gibt ein Restaurant.

Energieversorgung

Alle Gebäude sind an eine zentrale Wärmeversorgung angeschlossen. Die Wärme wird über einen zentralen Gaskessel (unterhalb des Restaurants) erzeugt und über eine Ringleitung auf dem Gelände verteilt. Die Ringleitung verläuft grösstenteils unter den Gebäuden (in der Tiefgarage) und zu einem kleinen Teil im Erdreich. Seit dem Bau wurden keine ergänzenden Dämmmassnahmen für die Leitung ergriffen. In den Wohnblocks selber gibt es jeweils einen Wärmetauscher für die Warmwasserbereitung. Gemäss Auskunft IBB Energie AG sind die Zirkulationsverluste sehr hoch (Schätzung: 50 %). Die Angaben liegen in kWh vor.

Es gibt einen kleinen Ölkessel als Notversorgung.

RE_01

Gebäude: Reinach 01

Allgemeine Angaben

Baujahr	1962 / 1963
Gebäudetyp	MFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	3 + KG
Anzahl Wohnungen	12
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	60 kWh/(m ² a)
Verbrauch	76 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Gas

Flächen

EBF	795 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	1.34 -

Sanierungsmassnahmen

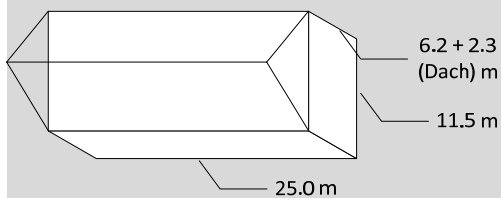
Bauteil	Massnahme
Dach	Erneuerung 2004
Fenster	Erneuerung 1995 (?)
Dachterrass.	Erneuerung 2004
Gaube	Erneuerung 2004

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Heizkörpernische		Wand ungedämmt		Dach		Flachdach	
Schicht 1 (aussen)	Aussenputz	1.5 cm	Aussenputz	1.5 cm	Aussenputz	1.5 cm	Deckung		Platten	3 cm
Schicht 2	Dämmung	6 cm	Dämmung	6 cm	Mauerwerk	30 cm	Sparren / Dä	18 cm	Kies	4 cm
Schicht 3	Mauerwerk	30 cm	Mauerwerk	15 cm	Innenputz	1 cm	Verkleidung	1 cm	Dämmung	12 cm
Schicht 4	Innenputz	1 cm	Innenputz	1 cm					Beton	18 cm
Schicht 5										
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/[m ² K])	0.48		0.53		1.71		0.26		0.30	
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Aussenwand Gaube		Fenster
Schicht 1 (aussen)	Beton	18 cm	Aussenputz	1.5 cm	2-fach
Schicht 2	Dämmung	2.5 cm	Dämmung	10 cm	
Schicht 3	Estrich	5 cm	Mauerwerk	30 cm	
Schicht 4	Belag	1 cm	Innenputz	1 cm	
Schicht 5					
Schicht 6					
Material Rahmen					Kunststoff
U-Wert (W/[m ² K])	0.94		0.3		1.5
g-Wert (%)					0.55

Foto



Kommentar

Datenquelle

Ist dem IEBau bekannt

Bild 68

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_{St}

Energieversorgung

Das Gebäude wird über einen Gaskessel mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten. Der Kesselnutzungsgrad liegt bei 0.85.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf RE_01

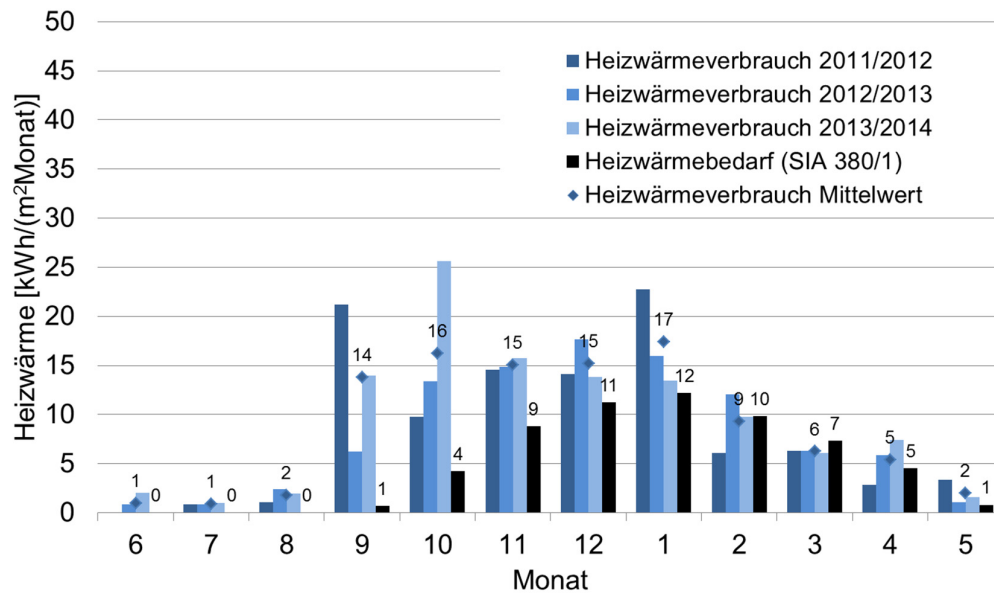


Bild 69

Gegenüberstellung HWB_{st} und HWV für die einzelnen Messjahre

LU_01

Gebäude: Luzern 01

Allgemeine Angaben

Baujahr	1898
Gebäudetyp	EFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	3 + KG (z. T. beheizt)
Anzahl Wohnungen	1
Meteostation	Luzern

Energie

Bedarf (Qh)	225 kWh/(m ² a)
Verbrauch	86 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Gas

Flächen

EBF	293 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	1.55 -

Sanierungsmassnahmen

Bauteil/Raum	Massnahme
Dach	Dämmung 12 + 4 cm
Boden unbeh.	Dämmung 6 cm
Heizungsr.	Dämmung 6 cm (BO), 10 cm (WA)
Raum KG	Dämmung 8 cm (BO), 10 cm (WI), 11 cm (WA)
Dach EG	Dämmung 6 cm
Treppenh. DG	Dämmung 10 cm (WA)

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Brüstung		Dach		Decke zu Estrich		Bodenplatte	
Schicht 1 (aussen)	Verputz	2.5 cm	Verputz	2.5 cm	Deckung	2.5 cm	Spanplatte	2.0 cm	Stahlbeton	14.5 cm
Schicht 2	Sanstein	50.0 cm	Backstein	24.0 cm	Steinw. / Sp.	16.0 cm	Steinwolle	10.0 cm	Schaumglas	7.0 cm
Schicht 3	Innenputz	1.5 cm	Innenputz	1.5 cm	Luftschicht	2.0 cm	Schalung	2.4 cm	Estrich	6.0 cm
Schicht 4					Isorooft	2.4 cm	Luftsch./Balk	10.0 cm	Belag	
Schicht 5							Schlacke/Balk	4.0 cm		
Schicht 6							Luftschicht	2.0 cm		
Material Rahmen							Gipsputz	3.0 cm		
U-Wert (W/(m ² K))		1.69		1.31		0.25		0.31		0.45
g-Wert (%)										

	Boden zu Keller		Fenster	
Schicht 1 (aussen)	Schalung	1.4 cm		
Schicht 2	Steinwolle	6.0 cm		
Schicht 3	Stahlbeton	18.0 cm		
Schicht 4	Estrich	3.5 cm		
Schicht 5	Belag			
Schicht 6				
Material Rahmen				
U-Wert (W/(m ² K))		0.52	im Mittel	1.98
g-Wert (%)				0.75

Foto	Lageplan	Kommentar
		
		Datenquelle Thomas Marti

Bild 70

Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_s.

Energieversorgung

Das Gebäude wird über einen kondensierenden Gaskessel mit Wärme versorgt. Die Warmwasserbereitung ist dabei enthalten. Der Kesselnutzungsgrad liegt bei 0.95.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf LU_01

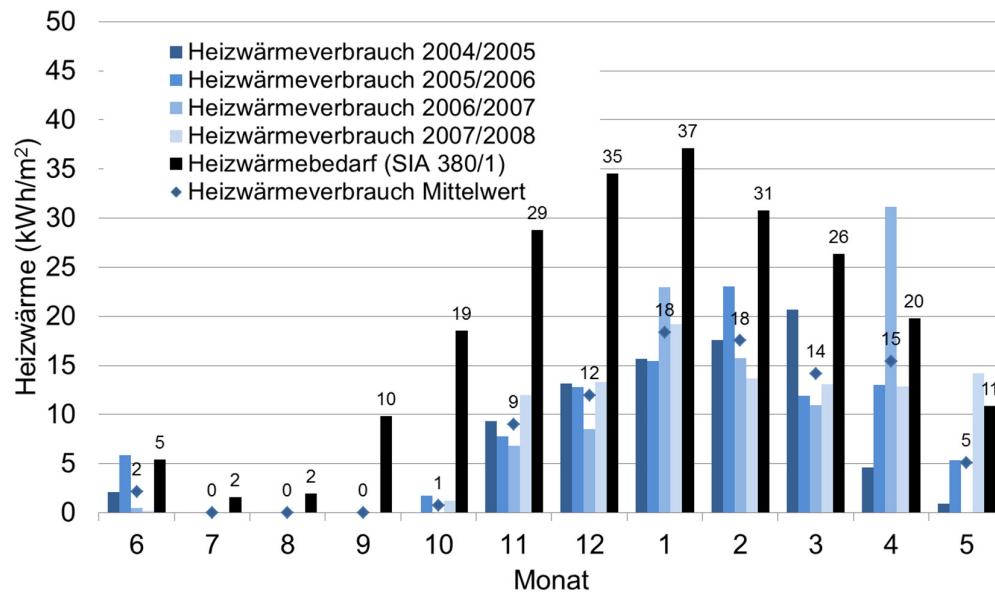


Bild 71

Gegenüberstellung HWB_{st} und HWV für die einzelnen Messjahre

RI_01

Gebäude: Riehen 01

Allgemeine Angaben

Baujahr	1930
Gebäudetyp	REFH
Nutzung	Wohnen
Stockwerke	2+ (unbeh. DG+KG)
Anzahl Wohnungen	1
Meteostation	Basel-Binningen

Energie

Bedarf (Qh)	195 kWh/(m ² a)
Verbrauch	112 kWh/(m ² a)
Brennstoff	Gas

Flächen

EBF	147 m ²
Gebäudehüllzahl A/AE	2.18 -

Sanierungsmassnahmen

Bauteil	Massnahme

Bauteile (wie in SIA 380/1:2009 eingegeben)

	Aussenwand		Flachdächer		Dach		Decke zu Dach		Boden zu Keller	
Schicht 1 (aussen)	Aussenputz	2 cm	Asphalt	2 cm	Deckung		Holzbalkend.	22 cm	Parkett	2 cm
Schicht 2	Backstein	25 cm	Gefälleüberz.	3 cm	Best. Dach	14 cm			Luftraum	2 cm
Schicht 3	Luftschicht	2 cm	Stahlbeton	14 cm					Stahlbeton	14 cm
Schicht 4	Schlackepl.	5 cm	Stroh	4 cm					Polystyrol	4 cm
Schicht 5	Innenputz	1.5 cm	Innenputz	1.5 cm					Verkleidung	0.5 cm
Schicht 6										
Material Rahmen										
U-Wert (W/(m ² K))		1.00		0.92		1.74		1.00		0.60
g-Wert (%)										

	Fenster
Schicht 1 (aussen)	2-fach
Schicht 2	
Schicht 3	
Schicht 4	
Schicht 5	
Schicht 6	
Material Rahmen	Holz
U-Wert (W/(m ² K))	2.80
g-Wert (%)	70.0

Foto	Lageplan	Kommentar
		
		Datenquelle Beat Rothweiler

Bild 72 Stammdaten und Bauteilaufbauten. Die Angabe des "Bedarfs (Qh)" versteht sich als HWB_s

Energieversorgung

Das Gebäude wird über einen Gaskessel mit Wärme versorgt. Der Kesselnutzungsgrad liegt bei 0.85. Die Warmwasserbereitung wird über zwei Elektroboiler realisiert.

Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch und -bedarf RI_01

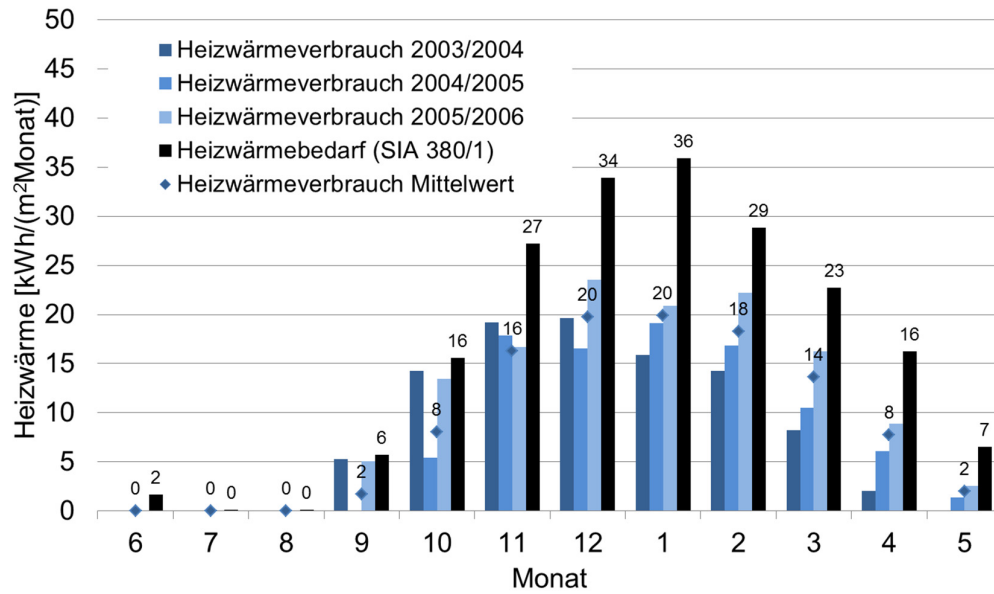


Bild 73

Gegenüberstellung HWB_{st} und HWV für die einzelnen Messjahre

6.2.2 Gebäude mit jährlichen Verbrauchsdaten

Tabelle 13 Übersicht Gebäude GA2. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs gem. SIA 380/1:2009 HWB_{Si} erfolgte mit dem online Tool "GEAK Plus".

	Verbrauch Heizwärme	Bedarf Heizwärme	Energieverbrauch WW	U-Wert Dach / ob. Geschossdecke	U-Wert Aussenwand	U-Wert Kellerdecke	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Klimastation	Anzahl Jahre Ablesung
	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[-]	[-]	[-]
AG EFH 01	30.6	109.0	14.9	0.18	0.58	1.00	1.40	0.60	Buchs Aarau	2
AG MFH 02	92.2	80.0	17.5	0.35	1.10	1.60	2.70	0.75	Buchs Aarau	3
AG MFH 03	43.3	63.0	10.1	0.30	0.30	1.60	1.60	0.70	Buchs Aarau	1
AG EFH 04	126.3	188.0	16.4	0.80	0.90	1.60	1.90	0.60	Buchs Aarau	3
AG EFH 05	77.1	70.0	9.5	0.18	0.24	0.40	1.10	0.60	Buchs Aarau	3
AG EFH 06	34.0	91.0	10.9	0.24	0.80	0.30	2.50	0.72	Buchs Aarau	3
AG EFH 07	120.3	194.0	16.9	0.50	0.90	1.60	1.10	0.50	Buchs Aarau	1
AG EFH 08	149.3	142.0	12.0	0.33	0.90	0.80	2.20	0.75	Buchs Aarau	3
AG EFH 09	134.0	196.0	27.8	0.50	0.90	1.60	1.30	0.60	Buchs Aarau	3
AG EFH 10	98.6	158.0	11.5	0.56	0.29	1.60	2.10	0.71	Buchs Aarau	1
AG EFH 11	58.4	178.0	12.3	0.84	0.70	1.60	1.40	0.60	Buchs Aarau	3
AG EFH 12	130.4	185.0	25.0	0.55	1.10	1.60	2.60	0.74	Buchs Aarau	3
AG EFH 13	83.7	159.0	5.1	0.41	0.90	1.60	2.60	0.75	Buchs Aarau	1
AG MFH 14	52.2	98.0	10.4	0.30	0.90	1.60	2.20	0.75	Buchs Aarau	3
AG EFH 15	99.0	93.0	14.9	0.35	0.30	0.35	2.20	0.65	Buchs Aarau	1
AG EFH 16	61.8	130.0	7.9	0.32	0.60	1.60	1.90	0.60	Buchs Aarau	1
AG EFH 17	82.1	71.0	18.7	0.28	0.30	0.40	1.40	0.50	Buchs Aarau	3
SO MFH 01	62.5	73.0	13.9	0.50	0.40	0.80	1.90	0.60	Wynau	1
SO MFH 02	71.0	77.0	13.9	0.50	0.40	0.80	2.20	0.55	Wynau	1
VD EFH 01	163.4	224.0	6.7	1.40	1.10	1.40	1.50	0.62	Payerne	1

7 Anhang B: Datengewinnung / Messtechnik

7.1 Datengewinnung Gebäude Feinanalyse

7.1.1 Verwendete Messtechnik

Für die Erfassung der messgrössengestützten Eingabeparameter wurden diverse Messgeräte verwendet (s. Bild 74). Vergleiche auch Kap. 3.4.

Präsenzmelder ($\rightarrow Q_p$)



Solarlog ($\rightarrow Q_A + Q_L$)
Lastgangmessung



Verschattungsmessung ($\rightarrow Q_s$)



Netatmo ($\rightarrow Q_v$)

- CO₂
- Rel. Feuchte
- Temperatur



U - Werte ($\rightarrow Q_T$)
Kit von greenTEG



Wärmezähler ($\rightarrow Q_h$)



06.07.2016 9

Bild 74

Messgeräte Büro und Wohngebäude

7.1.2 Genauigkeit

Die Genauigkeiten der verwendeten Messapparaturen sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Die Messunsicherheiten basieren, wenn nicht vom Hersteller spezifiziert, auf eigenen Schätzungen oder Erfahrungswerten anderer Arbeiten.

Tabelle 14 Messgeräte Spezifikationen

Messung	Einheit	Messgerät	Messbereich	Messtoleranz	Messunsicherheit
Raumlufttemperatur	°C	netatmo	0° bis 50° C	± 5 % (Hersteller) 0.3°C	1 - 2 % (geschätzt)
Aussenlufttemperatur	°C	netatmo	-40° bis + 65° C	± 0.3°C	1 - 2 % (geschätzt)
CO ₂ -Konzentration	ppm	netatmo	0 bi 5000 ppm	50 ppm oder + - 5 % (Hersteller)	± 5 % (Hersteller)
Schallpegel	dB	netatmo	35 bis 120 dB	± 1 dB	k.A.
Stromverbrauch	A	Solarlog 300 meter Inkl. Stromwandler	Bis 100 A	± 4 %	Je nach Anteil induktiven Stroms bis zu ± 10 %
Sonnenschutz	-	Garden watch camera	Fotos	Keine, da Bilder visuell ausgewertet	Standardabweichung: 3 %
U-Wert	W/(m ² K)	greenTEG	Wärmefluss: + - 35 W/m ² Temperatur: - 10...65°C	Wärmefluss: < 0.11 W/m ² Temperatur: + - 0.5°C	± 14 % (Hersteller)
Heizleistung	kW	Portable ultrasonic flow meter Typ: HGLS-2000P	Flussgeschwindigkeit: Bis 30 m/s Heizmedium-Temperatur: Bis + 110°C	k.A.	± 2 bis 5 % (typische Werte für clamp-on Ultraschalldurchflussmessgeräte)

7.1.3 Messkonzept Bürogebäude

Elektrische Wärmeeinträge

Der gesamte jährliche Stromverbrauch des Bürogebäudes liegt bei rund 26'000 kWh. Dieser setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Allgemeinstrom (Treppenhaus, Liftanlage) 2'000 kWh
- Elektroboiler (2 Stück): 700 kWh
- Bürostrom (inkl. Teeküchen) und Beleuchtung: 23'300 kWh

Ausserhalb der Nutzungszeit liegt der elektrische Dauerleistungsbezug bei 2 kW. Davon beziehen zwei Serveranlagen inkl. USV, Modem etc. gut 1 kW. Der Rest sind Standby-Verluste von Bürogeräten, Beleuchtung und Teeküchen. Der Stromverbrauch ausserhalb der Nutzungszeit liegt bei rund 50 % des Jahresverbrauchs. Da alle Stromverbraucher inkl. Liftanlage und Treppenhausbeleuchtung innerhalb der Energiebezugsfläche liegen, wird der gesamte Stromverbrauch als interner Wärmeeintrag bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs berücksichtigt. Der massgebende elektrische Wärmeeintrag pro Energiebezugsfläche liegt mit 28 kWh/m² somit deutlich über dem SIA 380/1 Standardnutzungswert für Verwaltungsgebäude von 20 kWh/m².

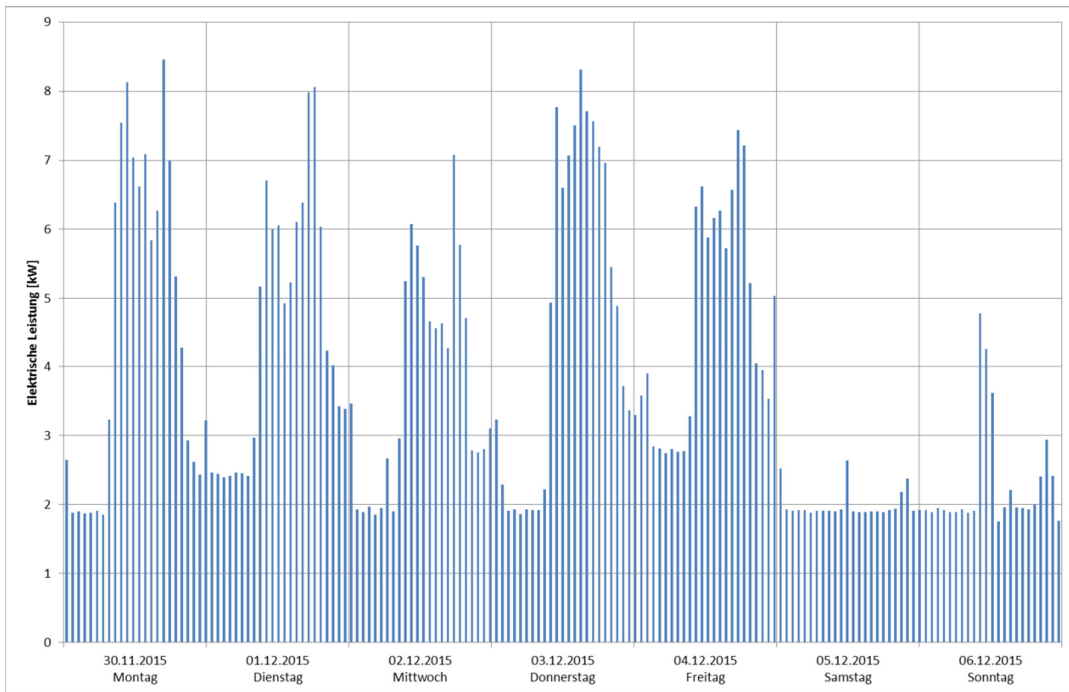


Bild 75 Stromlastprofil Messung November 2015

Geräteprofil

Bild 73 zeigt ein Stromlastprofil für eine Novemberwoche. Die Bandlast, welche hauptsächlich den Servern geschuldet ist, beträgt ungefähr 2 kW. Die Tagesspitzen betragen bis zu 8 kW. Für die Abbildung der internen Lasten (Geräte und Beleuchtung) im TecTool benötigt man ein Tagesprofil, welches die den variablen Stromverbrauch stündlich aufgelöst darstellt. Für die Erstellung eines Tagesprofils der Gerätelasten (für die Rechnung im TEC-Tool), wurde der Stromverbrauch des Bürogebäudes über mehrere Wochen hinweg (seit Juli 2015) gemessen. Die Messreihe wurde anschliessend jeweils pro Tagesstunde (Mo-Fr) gemittelt. D.h. für jede Tagesstunde (0,1, 2, 3,...,24) wurde die mittlere stündliche Leistung ausgerechnet. Von dieser Grundlage aus konnte das Geräteprofil (Bild 76) erstellt werden. Dabei wurde mit 6 kW (Spitzenlast minus Bandlast, siehe oben) normiert, 100 % Gerätelast entsprechen somit 6 kW. Der Standby-Verbrauch im Bürogebäude beträgt rund 33 % (entspricht ca. 2 kW).

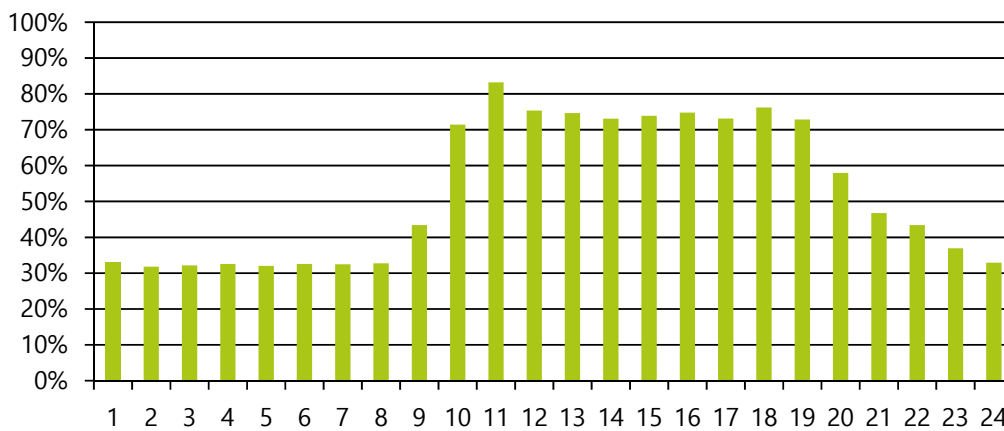


Bild 76 Geräteprofil

Personenbelegung

Eine exakte Messung der stündlichen Personenbelegung im Bürogebäude gestaltete sich bei 33 Personen schwierig. Zunächst wurde versucht, die Anwesenheit über Präsenzmelder zu quantifizieren. Durch ein System von Infrarotsensoren in verschiedenen Büros und Korridoren wurde die Aktivität in den Räumen gemessen (2 Zustände: aktiv (1) = „es gibt anwesende Personen“, nicht aktiv (0) = „keine Personen“). Die Resultate geben die Sensor-Aktivität als Prozent eines 5-Minuten-Messintervalls an. Ein Messwert von bspw. 0.5 für den Messzeitraum 9:55 bis 10:00 sagt also, dass in diesen 5 Minuten während 50 % der Zeit eine Aktivität registriert wurde. Wie diese Aktivität zustande kommt (x Intervalle à Y Sekunden) ist nicht bekannt. Die Sensoren verfügten über eine definierte Sensitivität, welche nicht verändert werden konnte. Nachdem der Sensor eine Aktivität gemeldet hat, darf für min. eine Minute keine Aktivität mehr registriert werden, ehe er „keine Aktivität“ sendet. Diese Regel erlaubt eine Schonung der Batterien, indem sie zu häufiges Senden verhindert.

Problematisch bei dieser Messmethode ist die Indifferenz des Sensors gegenüber der Anzahl Personen. Sind bspw. während einer Stunde fünf Personen im Büro, so wird dies als identisch verbucht mit einer Anwesenheit von einer Person, vgl. Bild 77. Somit kann nur ein Personenprofil mit zwei Zuständen erstellt werden. Für die Berechnung im TecTool ist jedoch ein differenziertes Profil gefordert, s. Bild 78.

Im Bürogebäude konnte über einen zweiten Ansatz die Personenbelegung während des Winterhalbjahrs über den momentanen elektrischen Leistungsbedarf als Proxygröße angenähert werden. Da jeder Arbeitsplatz mit einer Leistung von ca. 70 Watt (190 W inkl. Beleuchtung) eingerichtet ist ergibt das bei 33 Personen eine Leistungsaufnahme von 2.31 resp. 6.27 kW. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass die tägliche Lastschwankung direkt durch die Anzahl anwesender Personen beeinflusst wird. Die Bandlast beträgt, wie Bild 75 zeigt, ungefähr 2 kW.

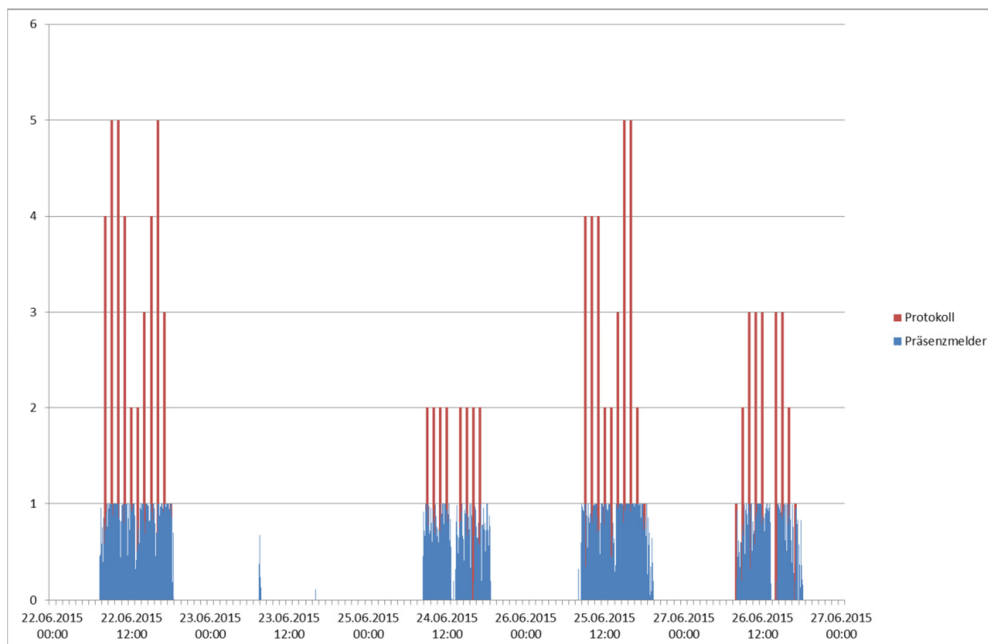


Bild 77 Personenpräsenz: Vergleich Bewegungsmelder und Anwesenheitsprotokoll

Personenprofil

Für das Personenprofil (Bild 78) wurden dieselben Messdaten als Grundlage wie beim Geräteprofil verwendet. Die momentane elektrische Leistungsaufnahme, welche stündlich gemittelt eine mittlere Leistung ergibt, diente als Basis für die Personenbelegung. Dabei mussten zunächst alle Standby-Verbraucher ausgeschlossen werden. Der Standby-Verbrauch ist bekannt und liegt bei knapp 2 kW, resp. kWh. Der verbleibende Verbrauch wird proportional an

der maximalen Belegung (33 Personen=100 %) normiert (Bild 77). Eine Vollbelegung wird im Durchschnitt nicht erreicht.

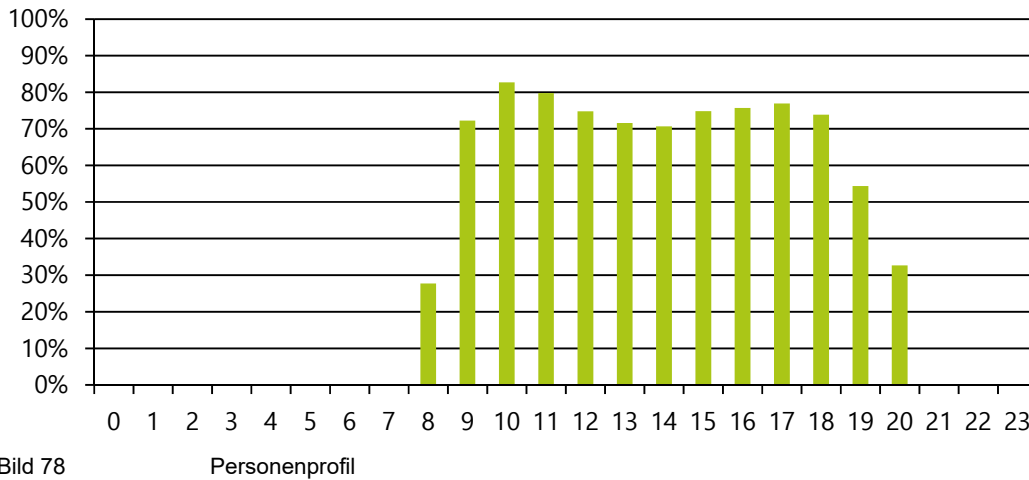


Bild 78

Solare Wärmeeinträge

Entscheidend für die Ausnutzung solarer Wärmeeinträge ist der Verschattungsanteil der Fensterflächen. Für die Abbildung im Rechenmodell, wo nach SIA 380/1 keine Verschattung stattfindet, muss daher eine Anpassung des g-Werts vorgenommen werden. Der Energiedurchlassgrad der Verglasung (g-Wert) mit 0.7 angenommen, wird nach einer linearen Formel neu berechnet. Die Messung des Verschattungsanteils erfolgte über Aufnahmen der West- und Südfassade zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten (siehe Tabelle 16). Pro Tag wurde ein Foto ausgewertet. In der Modell- und Variantenrechnung wurden ausschliesslich Verschattungsgrade aus der Messperiode Januar 2016 verwendet. Messungen im Mai, August und März (Tabelle 15) wurden in der definitiven Modellrechnung nicht verwendet.

Entsprechend Formel (1) erfolgt eine lineare Reduktion des g-Wertes, proportional zum Verschattungsgrad (f_{sh}). Lamellenwinkel wurden nicht berücksichtigt. Bei 0 % Verschattung wird der g-Wert mit 0.7 gleichgesetzt, bei 100 % Verschattung mit 0.1.

$$g - \text{Wert} = 0.7 - 0.6 \cdot f_{sh} \quad (1)$$

Der Verschattungsgrad gibt den Anteil der verschatteten Fensterfläche im Durchschnitt an (siehe Tabelle 15). Natürlich variiert dieser Anteil je nach Strahlungsintensität (bewölkt, sonnig). Für die Fallunterscheidung „sonnig“/„bewölkt“ wurde ein jeweiliger Schwellenwert gewählt, der sich aus dem mittleren Globalstrahlungswert (W/m^2) während dieser Messperiode, ausgewertet zur Zeit der Aufnahme, ergab.

Tabelle 15 Durchschnittlicher Verschattungsgrad der Fenster

Durchschnittlicher Verschattungsgrad	Mai 2015	August 2015	Januar 2016	März 2016
$f_{sh,bewölkt}$	0.11	0.26	0.028	0.11
$f_{sh,sonnig}$	0.28	0.62	0.078	0.18

Tabelle 16 Abgeleitete g-Werte

g-Wert	Mai	Aug	Jan	März
sonnig	0.532	0.328	0.653	0.592
schattig	0.634	0.544	0.680	0.634
















Tabelle 17

Verschattungsmessungen, August – September 2015

<p>Montag, 13:20 Verschattung 14 %</p>	<p>Mittwoch, 13:20 Verschattung 46 %</p>
	
<p>Donnerstag, 13:20 Verschattung 65 %</p>	<p>Freitag, 13:20 Verschattung 25 %</p>
	

Tabelle 18

Verschattung über einen Tag (31.08.2015), Verschattung unverändert 90 %

<p>7:20</p> 	<p>8:20</p> 	<p>9:20</p> 
<p>10:20</p> 	<p>11:20</p> 	<p>12:20</p> 
<p>13:20</p> 	<p>14:20</p> 	<p>15:20</p> 
<p>16:20</p> 	<p>17:20</p> 	<p>18:20</p> 
<p>19:20</p> 	<p>20:20</p> 	

Aussenluftvolumenstrom

Den Lüftungsverlust direkt zu messen, ist technisch sehr aufwändig (Kontaktsensoren an allen Fenstern und Türen, Blowerdoormessung). Eine einfachere, dafür mit mehr Unsicherheiten behaftete Methode, basiert auf einer Luftmengenbilanzierung der CO₂-Moleküle (siehe Formeln (2) - (4)). Dabei dient das CO₂ als „Tracergas“. CO₂-Sensoren sind günstig und können in mehreren Räumen aufgestellt werden. Der Aussenluftvolumenstrom wird aus den Mittelwerten aller CO₂-Messpunkte pro Gebäude berechnet ergibt sich aus Formel (5). Um die Bilanz auflösen zu können, muss die Anzahl anwesender Personen pro Messschritt (=1 Stunde) bekannt sein. Die Personenanwesenheit ist bereits bekannt (siehe Personenprofil, Bild 78).

Bezüglich Messfehler besteht ein grosser Spielraum. Einerseits wird in vier Büros die CO₂-Konzentrationen gemessen und gemittelt. Pro Messung besteht eine Ungenauigkeit von ± 5 %, Die CO₂-Konzentration der Aussenluft schwankt ebenfalls, wird aber für die Rechnung vereinfachend als konstant (400 ppm) angenommen. Die CO₂-Konzentration der Atemluft (40'000 ppm) ist um mehrere Grössenordnungen höher als die der Raumluft und kann als weitere Konstante angenommen werden. Die Personenanwesenheit wird indirekt über das Stromlastprofil berechnet, dort besteht eine Unsicherheit von min. ± 10 %. Da aber in den Büros keine perfekte Durchmischung der Luft stattfindet, kann die Unsicherheit der gemittelten CO₂-Konzentration durchaus noch höher sein. Als grobe Abschätzung gehen wir von einer maximalen Unsicherheit von ± 50 % aus.

CO₂-Bilanz:

$$C_{CO_2, \text{Gebäude}}(t) - C_{CO_2, \text{Gebäude}}(t-1) = \dot{C}_{CO_2, \text{Personen}} - \dot{C}_{CO_2, \text{Lüftung+Infiltration}} \quad (2)$$

(ppm/h)

Bilanzgrössen:

$$\dot{C}_{CO_2, \text{Personen}} = n_P \cdot q_{V, \text{Atemluft}} \cdot C_{CO_2, \text{Atem}} \cdot \frac{1}{V_{\text{Gebäude}}} \text{(ppm/h)} \quad (3)$$

$$\dot{C}_{CO_2, \text{Lüftung+Infiltration}} = (C_{CO_2, \text{Gebäude}}(t) - C_{CO_2, \text{Aussenluft}}) \cdot q_{V, \text{Aussenluft}} \cdot \frac{1}{V_{\text{Gebäude}}} \quad (4)$$

(ppm/h)

Aussenluftvolumenstrom:

$$q_{V, \text{Aussenluft}} = \frac{n_P \cdot q_{V, \text{Atemluft}} \cdot C_{CO_2, \text{Atem}} - V_{\text{Gebäude}} \cdot (C_{CO_2, \text{Gebäude}}(t) - C_{CO_2, \text{Gebäude}}(t-1))}{C_{CO_2, \text{Gebäude}}(t) - C_{CO_2, \text{Aussenluft}}} \text{ [m}^3\text{/(hm}^2\text{)]} \quad (5)$$

Lüftungsprofil

Bild 79 zeigt das stündlich gemittelte Lüftungsprofil. Während der Winterperiode wurde an Werktagen (Mo-Fr) ein durchschnittlicher Luftvolumenstrom von 0.5 m³/hm² (inkl. Infiltration) berechnet. Die nächtliche Infiltration errechnete sich zu 0.22 m³/hm². Der maximale mittlere Luftvolumenstrom wurde zu 1.4 m³/hm² berechnet (inkl. Infiltration). Die Luftvolumenströme sind im Sommer aufgrund der höheren Wärmeeinträge höher als während der Heizperiode (siehe Tabelle 19). Die nächtliche Infiltration konnte mit dem Programm "TGD-Software" (TGD = Tracer Gas Decay) des Instituts Laboratoire d'énergie solaire et physique du bâtiment LESO-PB¹⁸ des EPFL überprüft werden [84]. Die Software ist nicht kommerziell erhältlich. Diese Software rechnet aus nächtlichen CO₂-Konzentrationsgefällen die mittlere Infiltrationsrate. Die so errechnete Infiltration entspricht ziemlich der gerechneten Infiltrationsrate

¹⁸ <http://leso.epfl.ch>

aus der CO₂-Bilanzmethode. Im Prinzip ist die Rechenmethode identisch, wenn davon ausgegangen wird, dass nachts keine Personen anwesend sind.

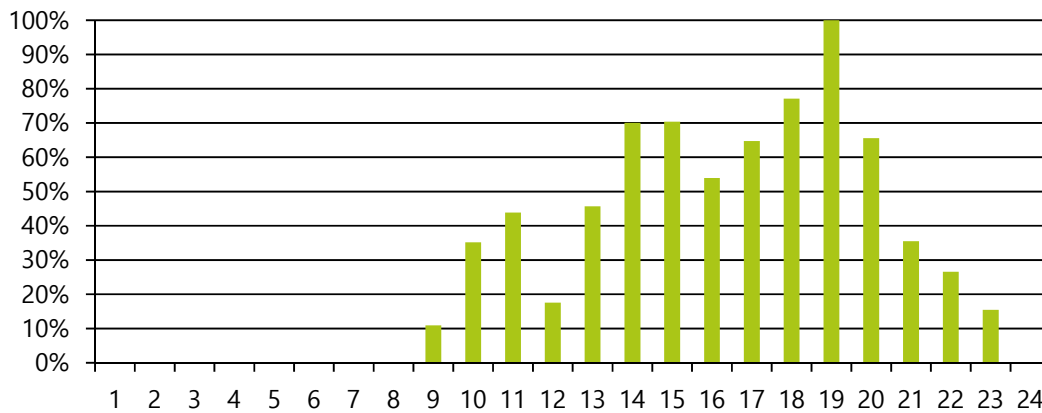


Bild 79 Lüftungsprofil Büro, 100 % entspricht dem max. mittleren Luftvolumenstrom

Tabelle 19 Aussenluftvolumenströme Büro, aus CO₂-Bilanz, bzw. mit TGD-Software

Aussenluftvolumenstrom	Einheit	CO ₂ -Bilanz	TGD-Software
August 2015 Mittelwert Tagsüber (Mo-Fr) tags	m ³ /(hm ²)	1.74	-
August 2015 Max. stündlicher Mittelwert	m ³ /(hm ²)	2.10	-
August 2015 Nächtliche Infiltration	m ³ /(hm ²)	0.38	-
Heizperiode 2015/16 Mittelwert (Mo-Fr) tags	m ³ /(hm ²)	0.52	-
Heizperiode 2015/16 Max. stündlicher Mittelwert	m ³ /(hm ²)	1.20	-
Heizperiode 2015/16 Nächtliche Infiltration	m ³ /(hm ²)	0.22	0.23

U-Werte

Die effektiven U-Werte der massgeblichen Bauteile wurden mit unterschiedlichen Berechnungs- und Messmethoden ermittelt:

- Statische Berechnung anhand der Schichtdicken und Wärmeübergangskoeffizienten
- Messungen des Wärmestroms mit greenTEG-Sensoren
- Dynamische Berechnung anhand einer Bauteilsimulation mit WUFI

Statische Berechnung

Die Resultate der statischen Berechnung sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Für die Berechnung des HWB_{kor} wurden die U-Werte der messdatengestützten, statischen SIA-EC-Tool Rechnung verwendet.

Tabelle 20 U-Werte Büro: Statische vs. dynamische Rechnung und Messung

Bauteil	Material	Dicke	TEC-Tool	TEC-Tool	WUFI	Messung
			Statische Rechnung $\alpha=0.3$ $hi/he=7.7/25.0$ $W/(m^2K)$	Statische Rechnung $\alpha=0.6$ $hi/he=5.6/4.0$ $W/(m^2K)$	Dynami- sche Rechnung $\alpha=0.6$ $hi/he=5.6/4.0$ $W/(m^2K)$	greenTEG
		cm	$W/(m^2K)$	$W/(m^2K)$	$W/(m^2K)$	$W/(m^2K)$
Dach	Stahlbeton (2 %)	22	0.99	0.77	-	0.75 ± 0.1 (72h)
	Kork	4				
Fassade Ost	Aussenputz	2	0.96	0.73	-	0.89 ± 0.1 (72h)
	Stahlbeton (2 %)	36				
	Innenputz	2				
Fassade Süd	Stahlbeton (2 %)	15	1.37	1.01	-	0.90 ± 0.1 (72h)
	Kork	2				
	Modulbackstein	5				
	Innengipsputz	2				
Fassade West	Stahlbeton (2 %)	15	1.37	1.01	0.86	1.40 ± 0.2 (Dez15 – März16) 0.86 ± 0.1 (72h, Nov14)
	Kork	2				
	Modulbackstein	5				
	Innengipsputz	2				

Messung mit greenTEG Sensoren

Die U-Werte von verschiedenen Fassadenabschnitten des Wohn- und Bürogebäudes wurden mit Hilfe des greenTEG Kits gemessen. Dabei erfasst ein Sensor den Wärmestrom durch das Bauteil (Wärmeflussmethode), sowie zwei Temperaturfühler die Innen- und Aussenlufttemperaturen. Der U-Wert ist gleich der Summe der Wärmeströme, geteilt durch die Temperaturdifferenz innen-aussen. Idealerweise werden U-Werte unter stationären Bedingungen gemessen. Dies ist jedoch nicht möglich, da der Tageszyklus natürlicherweise Temperaturschwankungen vorgibt. Daher wird normativ [85] eine Messdauer von min. 72h (3 Tagen) empfohlen. Bei der Messung der Westfassade im Winter 2015/16 stieg der U-Wert kontinuierlich bis auf $1.4 W/(m^2K)$ an. Dieses unerwartet hohe Messergebnis ist überraschend, wurde doch ein Jahr zuvor mit demselben Gerät ein U-Wert von $0.86 W/(m^2K)$ gemessen. An den anderen Fassaden wurden ebenfalls U-Wertmessungen gemacht, allerdings über kürzere Zeiträume (72h). Die Messung kann laut Messbedingungen der ISO9869

(Angaben via Hersteller, greenTEG) beendet werden, sobald die Tagesschwankung (über 24h) des U-Werts weniger als 5 % beträgt. Diese Messbedingungen wurden eingehalten.

Bild 80 zeigt die Langzeit-U-Wertmessung an der Westfassade. Man sieht, dass vor allem die Aussentemperatur (gelbe Kurve, T2) in der tageszeitlichen Schwankung sehr grosse Werte annimmt. Für die Wärmeflussmethode wird eine konstante minimale Temperaturdifferenz von 5K empfohlen, welche hier zeitweise nicht mehr eingehalten wird. Der U-Wert konvergiert dennoch rasch auf 1.4 W/(m²K). Der Grund für dieses Messergebnis ist nicht bekannt. Eine Überhitzung des Aussentemperaturfühlers ist möglich.

Eine Substitution der vom Messgerät erfassten Aussentemperatur durch Klimadaten der Messstation SMA in Zürich Fluntern (Quelle: MeteoSchweiz) mit einer Klimakorrektur von + 2K (Wärmeinseleffekt und Höhendifferenz zur Messstation), ergab einen neu berechneten U-Wert von 1.05 W/(m²K). Vergleicht man diesen Wert mit dem statisch berechneten U-Wert aus dem TEC-Tool (1.01 W/(m²K)) unter Annahme von tiefen Wärmeübergangskoeffizienten ($h_i/h_e = 5.6$ resp. 4 W/(m²K)), so könnte dies eine plausible Annäherung an den echten U-Wert sein.

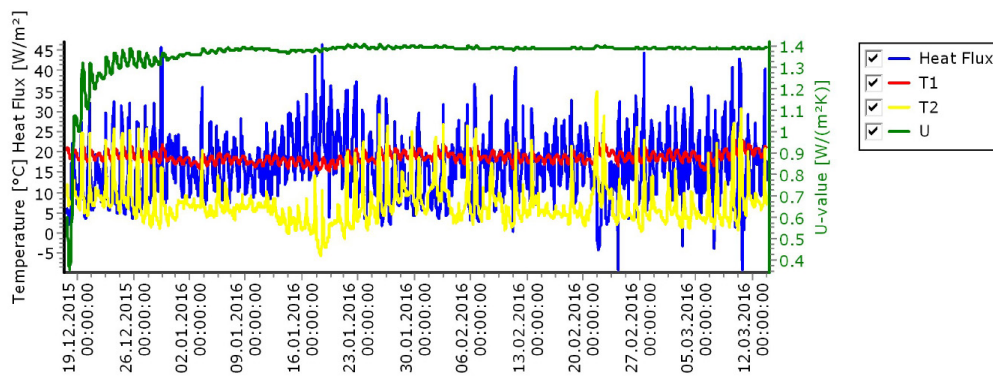


Bild 80 U-Wertmessung Westfassade Bürogebäude, 19.12.2015 – 12.03.2016

Dynamische Simulation mit WUFI

Um die Messung nachzusimulieren, wurde in WUFI das Bauteil der Westfassade gerechnet. Simulationen Nr. 1 bis 5 in Tabelle 21 zeigen die Resultate für Standardwärmübergangskoeffizienten und unterschiedliche Absorptions- und Emissionskoeffizienten. Als Innentemperatur wurde konstant 21°C angenommen, als Aussenlufttemperatur die im Programm hinterlegten Klimadaten von Meteonorm für den Standort Zürich, sowie klimakorrigierte Messdaten von MeteoSchweiz. Die Simulation Nr. 6 rechnet mit tieferen Wärmeübergangskoeffizienten, da die mittlere Luftgeschwindigkeit in Zürich weniger als 4 m/s beträgt (der Durchschnitt aus stündlichen Luftgeschwindigkeiten für 2015 aus der Meteostation SMA beträgt 2 m/s).

Tabelle 21

Mit WUFI berechnete U-Werte für die Aussenwand West; 15.10.2015 – 15.04.2016

Nr.	Strahlung	kurzwellige Absorption	langwellige Emission	hi/he W/m ² K	Ti/Te °C	U-Wert (W/m ² K)
1	Nur Emission	$\alpha = 0.0$	$\epsilon = 1.0$	7.7/25.0	21/Meteonorm Zürich	1.17
2	Nur Absorption	$\alpha = 1.0$	$\epsilon = 0.0$	7.7/25.0	21/Meteonorm Zürich	0.99
3	Keine Absorption/Emission	$\alpha = 0.0$	$\epsilon = 0.0$	7.7/25.0	21/Meteonorm Zürich	1.13
4	Absorption und Emission	$\alpha = 1.0$	$\epsilon = 1.0$	7.7/25.0	21/Meteonorm Zürich	1.03
5	Putz dunkel	$\alpha = 0.6$	$\epsilon = 0.9$	7.7/25.0	21/Meteonorm Zürich	1.10
6	Putz dunkel, tiefe Wärmeübergangskoeffizienten	$\alpha = 0.6$	$\epsilon = 0.9$	5.6/4.0	21/Meteonorm Zürich	0.86
7	Putz dunkel, tiefe Wärmeübergangskoeffizienten	$\alpha = 0.6$	$\epsilon = 0.9$	5.6/4.0	Klimamessdaten	0.58

7.1.4 Messkonzept Wohngebäude

Elektrische Wärmeeinträge und Geräteprofil

Die Wärmeeinträge durch elektrische Geräte und Beleuchtung werden anhand des elektrischen Energieverbrauchs der fünf Wohnungen erfasst. Der jährliche Stromverbrauch ist gering und lag über die vergangenen 8 Jahre konstant bei 10 kWh/m². Da nur die Hälfte davon in die Heizsaison fällt (Winteranteil 51 %), ist der Einfluss der elektrischen Wärmeeinträge auf den HWV sehr beschränkt. Die elektrischen Wärmeeinträge werden daher im Stundenverfahren nicht mit einem Geräteprofil, sondern als konstante Wärmeleistung von 1.14 W/m² berücksichtigt.

Personenbelegung und Personenprofil

Die Personenbelegung im Wohngebäude ist im Unterschied zum Bürogebäude messtechnisch schwieriger zu erfassen. Die Messung des Schallpegels in zwei Wohnungen eignet sich nur beschränkt zur Erfassung der Belegung.

Die Personenpräsenz wurde versuchsweise über eine Schallpegelmessung approximiert. Dabei wurde der stündlich aus 5-Minuten-Messwerten gemittelte Schallpegel mit einem Schlüssel auf die Personenzahl umgerechnet (siehe Tabelle 22). Dieser Schlüssel beruht auf einer Schätzung und schafft es, die Personenbelegung nur ansatzweise abzubilden. Als Beispiel zeigt Bild 81 den Schallpegel (schwarz) und die abgeleitete Personenbelegung (grün, max. = 4 P) für eine Woche im November 2015. Morgens und abends ist der erhöhte Schallpegel gut erkennbar. Störgeräusche aus Nachbarwohnungen oder von draussen sind nicht auszuschliessen. Aufgrund der hohen Unsicherheit der Messmethode und der geringen Relevanz für den HWV wurde auf eine messtechnische Ermittlung eines Personenprofils bei Wohngebäude verzichtet.

Die internen Wärmeeinträge durch Personen werden daher nur grob anhand der Nutzungszeiten ermittelt. Die sieben Bewohner sind unter der Woche in der Regel von 8 bis mindestens 18 Uhr ausser Haus. Auch an den Wochenenden ist das Haus nur teilweise belegt. Die Wärmeeinträge durch Personen werden daher anhand von 7 Personen mit einer Wärmeleistung von 70 W pro Person und einer Präsenzzeit von 12 Stunden pro Tag abgeschätzt. Mit 5 kWh/m², wovon nur die Hälfte in die Heizsaison fallen, haben die Personen praktisch keinen direkten Einfluss auf den HWV.

Tabelle 22 Personenproxy anhand des Schallpegels (eigene Schätzung, Messunsicherheit wird auf min. 20 % geschätzt)

Schallpegel	Einheit	Personenzahl
< 40	dB	0
<= 55	dB	1
<= 60	dB	2
<= 63	dB	3
> 63	dB	4

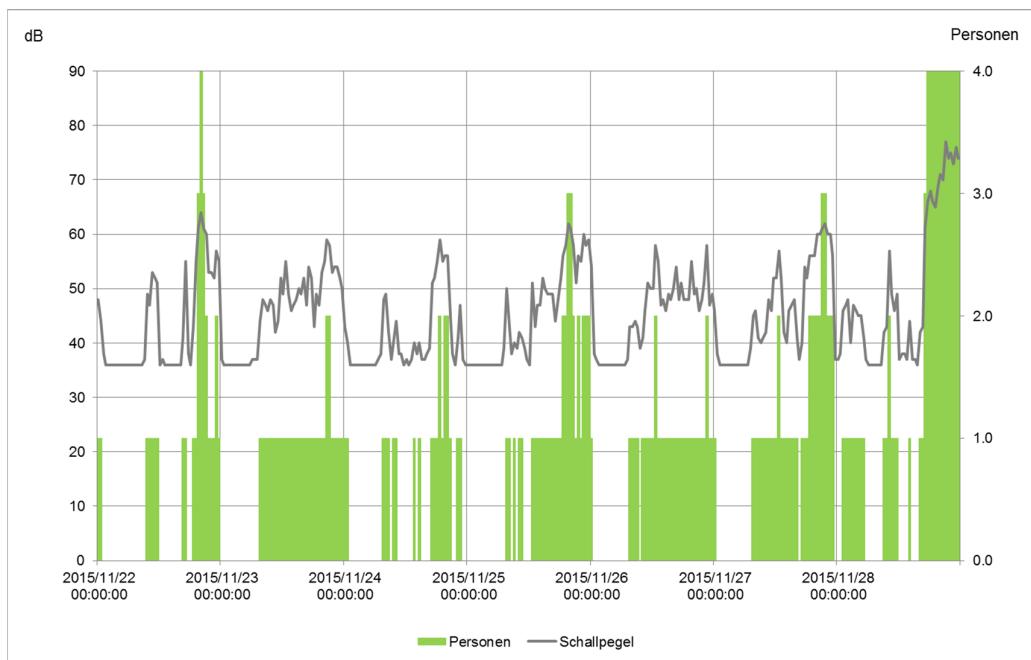


Bild 81 Abschätzung der Personenbelegung (grün) anhand des Schallpegels im Wohnzimmer

Sonnenschutz und solare Wärmeeinträge

Einige Fenster des Wohnhauses verfügen über Klappläden, welche aber gemäss Angaben der Bewohner nie geschlossen werden. Anhand von periodischen Sichtkontrollen während der Heizperiode kann dies bestätigt werden. Der g-Wert der Lärmschutzverglasung mit einer 10 mm VSG-Scheibe auf der Aussenseite liegt gemäss Herstellerangaben bei 0.5. Die Verschattung der Balkonfenster durch die Balkone an der Südfassade wird mit einem Überhangwinkel von 60° (Verschattungsfaktor 0.72) berücksichtigt. Die zusätzliche Verschattung der Südfassade, besonders des Erdgeschosses, durch eine Tanne, wird vernachlässigt. Die effektiven Solargewinne dürften daher etwas geringer sein, als in der Berechnung berücksichtigt. Aufgrund des verhältnismässig geringen Fensteranteils wirken sich die solaren Wärmeeinträge bei diesem Gebäude insgesamt nur beschränkt auf den HWV aus.

Aussenluftvolumenstrom

Aufgrund der grossen Unsicherheit bei der Abschätzung des Personenprofils anhand der Schallpegel kann der Aussenluftvolumenstrom nur unzureichend abgeschätzt werden. Für die Messperiode vom 01. Okt 2015 – 14. Dez 2016 ergibt sich ein mittlerer Aussenluftvolumenstrom von 0.4 m³/(hm²) mit einer Standardabweichung von 0.6 (negativer Aussenluftvolumenstrom, wenn im Raum die CO₂-Konzentration steigt, obwohl keine Personenanwesenheit verzeichnet wird). Die Messunsicherheit des Aussenluftvolumenstroms ist also auch beim MFH relativ hoch.

Die Abschätzung des nächtlichen Infiltrationsvolumenstroms ist dagegen einfacher, da unabhängig von der Personenzahl. Gemäss Angaben der Bewohner werden die Fenster aufgrund der hohen Aussenlärmbelastung nahezu nie geöffnet. Anhand von periodischen Sichtkontrollen während der Heizperiode konnte dies bestätigt werden. Die in 4 Wohnungen gemessene CO₂-Konzentration liegt im Bereich von 500 bis 1200 ppm. Der Durchschnittswert während der ganzen Heizperiode liegt bei 750 ppm. In einem Schlafzimmer werden nachts vereinzelt Werte über 2000 ppm gemessen.

Der Infiltrationsluftvolumenstrom wurde für einen menschenleeren Raum einmal mit der CO₂-Bilanzmethode (Formeln siehe Abschnitt Aussenluftvolumenstrom für das Bürogebäude) und der Tracer-Gas-Decay-Methode (TGD-Software, siehe Abschnitt 0) gerechnet. Tabelle 23 zeigt die Resultate. Die Messmethoden bringen ähnliche Resultate, wobei die Differenz aus

der Länge der Evaluationsperioden stammt. Bei der CO₂-Bilanzmethode wurde ein längerer Messzeitraum ausgewertet und es ist nicht auszuschliessen, dass in manchen Nächten dennoch für eine gewisse Zeit Fenster geöffnet wurden. Für die Decay-Methode wurden vier Nächte ausgewählt und gemittelt.

Tabelle 23 Aussenluftvolumenströme im Wohngebäude

Aussenluftvolumenstrom	Einheit	CO ₂ -Bilanz	TGD-Software
Heizperiode 2015/16 Nächtliche Infiltration	m ³ /(hm ²)	0.19 ± 0.15	0.17 ± 0.04

U-Werte

Die mit dem Wärmeflussensor gemessenen U-Werte weichen zum Teil deutlich von den statisch berechneten U-Werten ab (Tabelle 12). Sowohl die Berechnung als auch die Messung der U-Werte ist allerdings mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Bei der Aussenwand liegen die Messwerte tiefer als die Berechnung. Bei den mit Schallschutzverglasung versehenen Fenstern ist es umgekehrt: der gemessenen U-Wert der Verglasung ist fast doppelt so hoch, wie vom Lieferanten deklariert.

Raumlufttemperatur

Die Raumlufttemperatur wurde in vier der fünf Wohnungen erfasst (s. Ausschnitt in Bild 82). Der Mittelwert während der Heizsaison lag bei 21°C. Zusätzlich wurde die Raumlufttemperatur im Keller und im Estrich gemessen. Die minimale Raumlufttemperatur im Keller (1 m über Boden) lag bei 15°C, was etwa einem b-Wert von 0.25 entspricht. Die minimale Temperatur im Estrich lag bei 1°C bei einer Aussentemperatur von - 4°C. Dies entspricht einem b-Wert von 0.79.

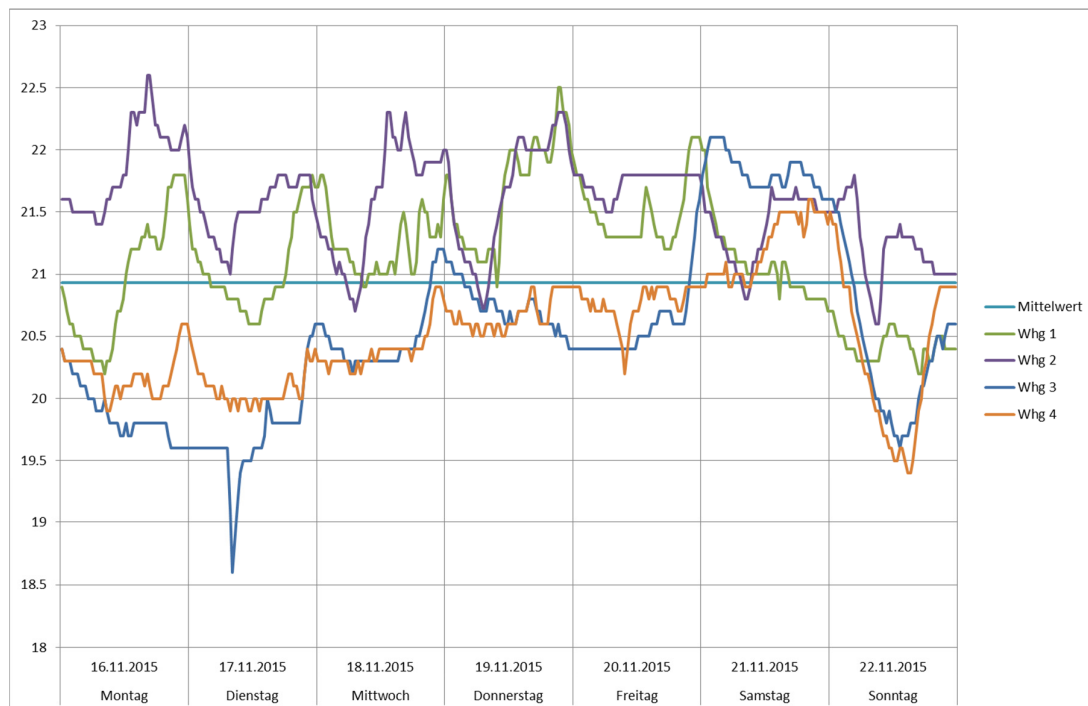


Bild 82 Raumlufttemperaturen MFH

7.1.5 Datenbereinigung

Für den mittleren jährlichen HWV wurde eine Heizgradtag –Korrektur vorgenommen. Für alle anderen Messdaten war soweit keine weitere Bereinigung nötig, da die Messungen spezifisch auf die zu untersuchenden Messgrößen vorgenommen wurden.

7.2 Datengewinnung Gebäude Grobanalyse

7.2.1 Datenherkunft

Die Daten stammen aus den folgenden Quellen:

- BS_01, BS_02, BS_03, BS_04, BS_05 und PR_01:
Informationen Gebäude: CPV/CAP Pensionskasse Coop,
Messdaten: Rapp Enserv AG
- BA_01, BS_06: pom+ Consulting AG
- LU_01: Thomas Marti
- RI_01: Beat Rothweiler
- Gebäudemessdaten und GEAK Plus Berechnungen GA2: Christoph Siebold,
(IEBau, FHNW)

7.2.2 Datenbereinigung allgemein

Heizgradtagsbereinigung (alle Gebäude)

Die Daten sind jeweils heizgradtagsbereinigt. Verwendet werden dafür die Daten des HEV (www.hev-schweiz.ch). Als langjähriges Mittel wird der Mittelwert gem. 2028 [86] verwendet. Er gilt für die Jahre 1984 - 2003.

Abzüge (alle Gebäude)

Die Abzüge beim Heizenergieverbrauch werden wie folgt vorgenommen. Nach dem Abzug des Kesselnutzungsgrades werden die Verluste der Wärmeverteilung abgezogen und gleichzeitig, falls erforderlich, der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung.

- Kesselnutzungsgrad
In der Regel werden hier die Werte eingesetzt, die der Minergieberechnung zugrunde liegen (http://www.minergie.ch/media/161221_produktdokument_minergie_p_a_v2017.1_d.pdf). Bei bestehenden Öl- und Gasfeuerungen liegt der Nutzungsgrad bei 0.85, für neuere Feuerungen zwischen 0.91 und 0.95. Für Fernwärme und Elektroheizstäbe wird ein Nutzungsgrad von 1.0 angenommen.
- Ermittlung Verluste Wärmeverteilung
Die Verluste der Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle werden gemäss [87] ermittelt (Werte aus Tabelle 2-1 entnommen). Leitungsverluste innerhalb der thermischen Hülle werden nicht ermittelt, da sie indirekt das Gebäude beheizen.
- Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung
BS_01, BS_05: hier lagen Daten von elektronischen Heizkostenverteilern vor. Dabei wird gem. [80] von einem Temperaturhub von 50 K ausgegangen (von 10°C auf 60°C),. Pro Kelvin sind 1.16 kWh/m³ erforderlich.
RI_01: das Warmwasser wird über einen Elektroboiler erwärmt, die Verbrauchsdaten wurden monatlich abgelesen.
BS_06: es liegen jährliche Wärmemengenzählungen vor.
BA_01: der Warmwasserbedarf inkl. Zirkulationsverluste wird abgeschätzt (Datenquelle IBB Energie AG).
Übrige Gebäude GA1: es werden die Standardwerte gem. SIA 380/1 [4] für EFH/MFH verwendet.
Gebäude GA2: Der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung wurde entweder jährlich abgelesen oder es werden Standardnutzungsdaten gem. SIA 380/1:2009 verwendet (siehe Tabelle 13).

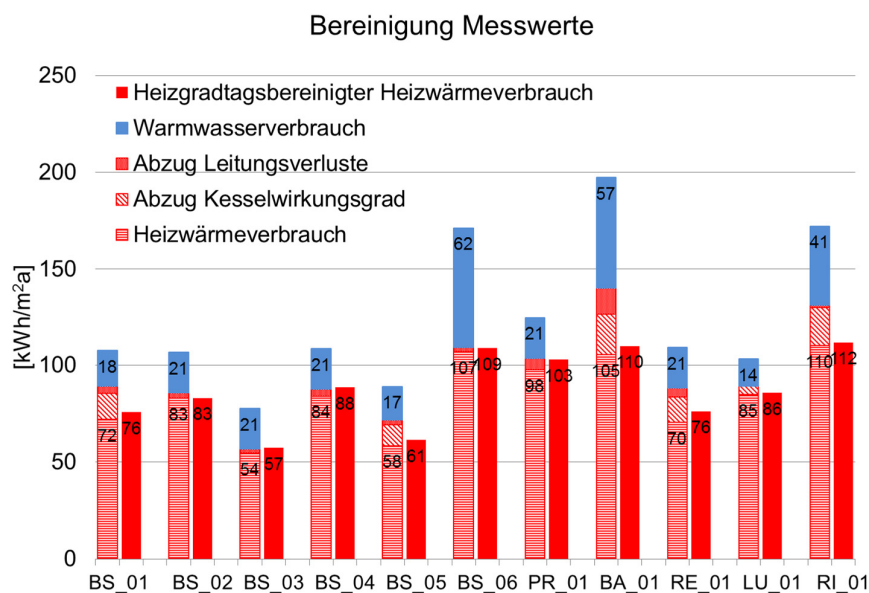


Bild 83 Bereinigung Messwerte GA1

7.2.3 Gebäudebezogene Informationen zur Datenbereinigung

BS_01, BS_02, BS_03, BS_05, BS_06 und PR_01

Für diese Gebäude liegen die Verbrauchsdaten in Absolutzahlen aus Abrechnungen des Wärmeversorgers für das entsprechende Jahr vor (Datenquelle CPV/CAP Pensionskasse Coop). Die Einheit der Daten ist kWh (mit Ausnahme von Gebäude BS_01, hier Liter Öl). Die monatliche Aufteilung wurde über Daten der elektronischen Heizkostenverteiler vorgenommen. Diese Daten wurden von der Rapp Enserv AG bezogen.

BS_06

Die Angaben zu den monatlichen Heizwärmeverbräuchen stammen aus den Abrechnungen des Energieversorgers. Für die hausinterne Verteilung gibt es im Gebäude Zähler. Diese unterscheiden zwischen dem Wärmebedarf WW und Heizung, zum Teil auch in Bezug auf die unterschiedlichen Nutzungen.

- 1) Fitnessclub (Wärmelieferung für betriebseigene Klimaanlage und für Aufheizung Schwimmbad und Jacuzzi)
- 2) Wärmelieferung Restaurant (Klimaanlage und Warmwasserbereitung)
- 3) Wärmeverbrauch Klimaanlagen
- 4) Wärmelieferung Grundlastheizung
- 5) Wärmelieferung Heizung Wohnungen und Kiosk
- 6) Wärmelieferung zentraler Warmwasserboiler

Die obengenannten Unterteilungen liegen als Jahreswerte aus der Zeit 2004 bis 2007 vor.

Um den HWV zu ermitteln werden in Absprache mit der betreuenden Firma Bilfinger Real Estate AG vom Gesamtbetrag die Position 1) und 6) komplett und die Position 2) teilweise abgezogen. Begründung Pos.1): Beim Fitnessclub ist die dominierende Grösse der Aufwand für die Schwimmbadbeheizung und den Jacuzzi. Begründung Pos.2): Beim Restaurant fallen für die Beheizung auch im Sommer sehr hohe Beträge an. Es wird von einer Fehlsteuerung der Klimaanlage ausgegangen. Für den Abzug wird folgendes Vorgehen gewählt: Neben dem Standardenergiebedarf für die Warmwasserbereitung in Restaurants (SIA 380/1) wird von der restlichen Summe der im wärmsten Monat (Juli oder August) anfallende Betrag für die Raumheizung pauschal für jeden Monat abgezogen und damit die Fehlsteuerung der Klimaanlage berücksichtigt.

Weiter werden die Verluste der Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle abgezogen.

BA_1

Weil der Verbrauch sehr hoch ist, wurde die IBB Energie AG (Herr S. Fehlmann) mit einer internen Studie zur Ursachenerforschung beauftragt. Die Analyse zeigt, dass der Grund für den hohen Verbrauch das Gesamtsystem ist und nicht einzelne Fehleinstellungen. Auf dieser Analyse beruht die Messdatenbereinigung, z. B. stammen die Angaben für den WW-Verbrauch (inkl. Zirkulationsleitungsverluste) und die Angaben zum Energieverbrauch Restaurant aus der Analyse.

Die Erfassung basiert auf den monatlichen Abrechnungen des Energieversorgers. Die Daten stammen aus den Jahren 2011 bis 2014. Der Gasverbrauch liegt in kWh vor.

Vom Wärmeverbrauch werden die folgenden Abzüge gemacht:

- Kesselnutzungsgrad
- HWV Restaurant (monatliche Ablesung aus dem Jahr 2011). Dieser wurden für die folgenden Jahre übernommen.
- Wärmeverbrauch Warmwasserbereitung: die Menge beruht auf der Schätzung des IBB
- Verluste Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle

RE_01

Die Angaben zu den monatlichen Heizwärmeverbräuchen stammen aus Aufzeichnungen der Bewohner. Die Daten liegen für die Jahre 2011 - 2014 vor. Die Einheit ist m³ Gas. Gemäss Rechnung Energieversorger wurde hier als Umrechnungsfaktor (Heizwert) 10.75 kWh/m³ angenommen.

Vom Heizenergieverbrauch werden die folgenden Abzüge gemacht:

- Kesselnutzungsgrad
- Wärmeverbrauch Warmwasserbereitung. Die Menge beruht auf dem Standardwert SIA 380/1 für MFH.
- Verluste Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle

LU_01

Die Angaben zu den monatlichen Heizwärmeverbräuchen stammen aus Aufzeichnungen der Bewohner. Die Daten liegen für die Jahre 2004 - 2008 vor. Die Einheit ist m³ Gas. Gemäss Rechnung Energieversorger wurde hier als Umrechnungsfaktor (Heizwert) 10.3 kWh/m³ angenommen.

Vom Heizenergieverbrauch werden die folgenden Abzüge gemacht:

- Kesselnutzungsgrad
- Wärmeverbrauch Warmwasserbereitung. Die Menge beruht auf dem Standardwert SIA 380/1 für EFH.

Die Wärmeverteilung befindet sich innerhalb der thermischen Hülle (Heizungsraum gedämmt).

RI_01

Die Angaben zu den monatlichen Wärmeverbräuchen für Heizwärme und Warmwasser stammen aus Aufzeichnungen der Bewohner. Die Daten liegen für die Jahre 2003 - 2007

vor. Die Einheit ist m³ Gas. Gemäss Rechnung Energieversorger wurde hier als Umrechnungsfaktor (Heizwert) 10.75 kWh/m³ angenommen.

Vom Heizenergieverbrauch werden die folgenden Abzüge gemacht:

- Kesselnutzungsgrad
- Verluste Wärmeverteilung ausserhalb der thermischen Hülle

7.2.4 "Anomalien" Heizgradtagsbereinigung

Bei der Bereinigung nach Heizgradtagen fällt auf, dass in den folgenden Monaten mit Bereinigung ein deutlich höherer HWV auftritt als ohne Bereinigung:

- Januar 2012
- September 2011
- Oktober 2013
- November 2010

Speziell deutlich ist dies bei den Gebäuden BS_01 (Bild 53), BS_02 (Bild 55), BS_03 (Bild 59), BS_04 (Bild 61) und BS_05 (Bild 63) auf.

Das Phänomen lässt sich am Beispiel September 2011 erklären: Dieser Monat hat als Gradtagzahl 9 Kd/Monat (12°C/20°C). Im Mittel (bezogen auf die Jahre 1984 - 2003) traten 49 Kd/Monat auf. Wird nun das Verhältnis aus beiden Werten für die Bereinigung gebildet ($HEV_{spez} * [GTZ_{mittel} / GTZ_{spez}]$), so muss der HWV mit dem Faktor 5.4 multipliziert werden. Dies kann auch bei einem geringen HWV im September zu hohen "bereinigten" Werten führen.

Bild 84 zeigt, dass die fraglichen Monate immer als Minimalwert auftreten. Sie sind mit Ausreissertestverfahren (z. B. Dean-Dixon Ausreissertest für Stichprobenumfänge <30) allerdings nicht als Ausreisser zu definieren, da es innerhalb der Stichprobe mehrere Monate mit sehr kleinen Werten gibt. Daher ist davon auszugehen, dass für die Anomalien nicht allein die Heizgradtage verantwortlich sind.

Nachfolgend werden mögliche Gründe für die Anomalien untersucht und diskutiert.

Heizgradtage Basel (1984-2003)

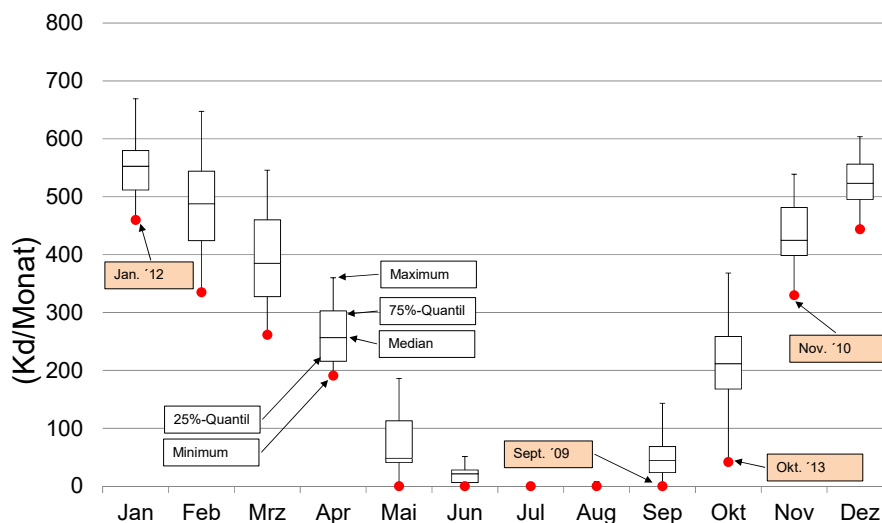


Bild 84

Analyse Heizgradtage Basel 1984 - 2003

Grund 1: Sonnige, warme Tage mit klaren, kalten Nächten lassen Bewohner mehr heizen

Unter der Prämisse, dass die Heizung bereits angeschaltet ist (oder ganzjährig in Betrieb ist) besteht die Möglichkeit, dass wegen kalter, klarer Nächte mehr geheizt wird als die tiefe Heizgradtagszahl dies vermuten lässt. Dies könnte im Frühjahr oder Herbst der Fall sein.

Tabelle 24 Analyse der Aussentemperatur und der Globalstrahlung für die Monate mit Anomalien. Datenquelle MeteoSchweiz. Verwendete Abkürzungen:
* = Datenquelle: Meteorologische Station Basel-Binningen.
** = Es wird nicht definiert, auf welchen Normwert sich die Angabe bezieht.

		Jan 2012	Sep 2011	Okt 2013	Nov 2010
Mittlere Monatstemperatur	°C	3.8	17.4	12.6	6.3
Mittel 2028:2010	°C	1.7	14.9	10.9	5.4
Sonnenstunden Monat*	h	55.4	237.4	111	41.8
"Norm" *, **	h	63	166	122	77
Globalstrahlung Monat	W/m ²	36	174	86	38
Mittel 2028:2010		30.5	99.4	62.5	33.0
HGT Monat	Kd/Monat	503	9	98	374
HGT 2028-C1:2015	Kd/Monat	602	67	263	464

- Jan 2012: Die mittlere Lufttemperatur ist 2.1 K wärmer als der Durchschnitt. Es gibt 13 % mehr Sonnenstunden im Monat als gem. Norm und 20 % mehr Solarstrahlung.
- Sep 2011: Die Mitteltemperatur liegt 2.5 K über dem Durchschnitt. Auffallend ist die deutlich höhere Anzahl der Sonnenstunden (43 %) und der Globalstrahlung (75 %) als das Mittel. Bei Betrachtung der Einzeltage fällt auf, dass die Tage mit tiefen Temperaturen (20.09. - 22.09.2011: Temperaturminimum 7.4 - 9.2°C) zugleich auch eine hohe Globalstrahlung aufweisen (Tagesmittel: 184 - 203 W/m²). Dies deutet auf klare, kalte Nächte hin, in denen geheizt wird.
- Okt 2013: Die mittlere Lufttemperatur liegt 1.7 K über dem Durchschnitt. Die Sonnenstunden und die Globalstrahlung liegen 9, bzw. 38 % über den Mittelwerten. Auch hier könnte das für den September beschriebene Heizverhalten zutreffen. Zum Beispiel 12. - 13.10.2013: Temperaturminimum 5.7 bis 4.5°C, Tagesmittel Globalstrahlung 92 bis 235 W/m².
- Nov 2010: Auch hier liegt die Temperatur etwas über dem Mittel (0.9 K). Die Sonnenstunden übersteigen das Mittel deutlich (83 %), die Globalstrahlung nur bedingt (15 %).

Fazit: beim September 2011 und beim Oktober 2013 liegt die Vermutung nahe, dass wegen kalter, klarer Nächte mehr geheizt wird. Ob die Heizung manuell eingeschaltet wird oder ganzjährig in Betrieb ist, konnte ausser beim Gebäude BS_02 (ganzjährig an) nicht ermittelt werden.

Grund 2: Fehler beim Abspalten des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung

Liegen keine Messwerte für den Wärmebedarf der Warmwasserbereitung (WWB) vor, so könnte es sein, dass der Wärmebedarf der WWB deutlich höher ist als gedacht und es daher zu den Anomalien kommt. Nimmt man für das Gebäude BS_01 beispielhaft an, dass sich der Wärmebedarf der WWB verdoppelt, so sinkt der HWV von 28.8 kWh/m²a auf 19.5 kWh/m²a.

Liegen Daten von elektronischen Heizkostenverteiltern vor (BS_01 und BS_05), so muss ein Temperaturhub angenommen werden. Gem. [80] wird von einem Temperaturhub von 50 K ausgegangen (von 10°C auf 60°C). Geht man stattdessen von 60 K aus, so erhöht sich der Wärmebedarf für die WWB um 27 %.

Beide Untersuchungen zeigen, dass der Grund für die Anomalien nicht alleine die Falschberechnung des WW-Verbrauchs ist.

Grund 3: Auswirkungen des Energieträgers auf den Nutzungsgrad Heizkessel

Zwei Studien, bei denen es in einer ausschliesslich um Neubauten [88], in der anderen als Schwerpunkt um Neubauten geht [28], befassen sich mit dem Thema der Energieträger und daraus resultierend dem Nutzungsgrad der Heizung. Es wird die Beobachtung geschildert, dass die Minergie-Gebäude (nur hier wurde der Effekt nachgewiesen, da bei anderen Gruppen keine Gasheizung), welche einen Gaskessel haben, eher eine Überschreitung des Planungswertes durch den Messwert aufweisen. In [88] wird kein Grund angegeben (nicht erklärbar), in [28] wird bezogen auf Minergie Neubauten MFH die Vermutung geäussert, dass ein tieferer Nutzungsgrad der Heizung (bezogen auf hohe Vorlauf- und Speichertemperaturen) der Grund dafür sein kann.

Ob dies auch bei den hier untersuchten Gebäuden zutrifft kann nicht abschliessend geklärt werden.

Grund 4: Verwendung von ATD statt HGT

Gemäss SIA 380:2015 [32] sollten statt der Heizgradtage (HGT) Akkumulierte Temperaturdifferenzen (ATD) verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Verwendung der ATD einen realistischeren Jahresverlauf ergibt, als die Verwendung der HGT [89].

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verwendung der ATD zur Klimabereinigung für das Gebäude BS_01.

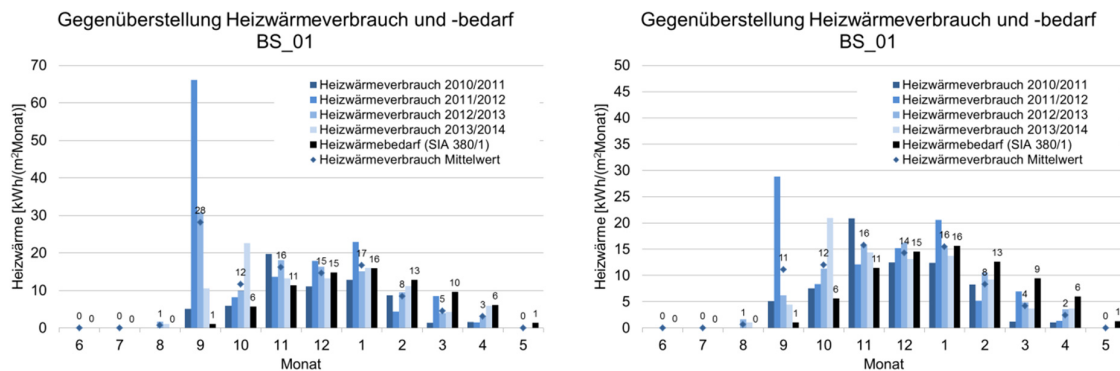


Bild 85 Links der mit ATD bereinigt HWV, rechts der mit HGT bereinigten HWV für das Gebäude BS_01.

Der Vergleich (Bild 85) zeigt eine eher schlechtere Datenbereinigung. Der HWV verändert sich kaum (< 1 %).

- HWV HGT bereinigt: 75.6 kWh/m²a
- HWV ATG bereinigt: 75.3 kWh/m²a

Für das Projekt werden daher weiter die HGT verwendet.

Fazit:

Der Hauptgrund scheint das Benutzerverhalten beim Heizen zu sein. Es ist also anzunehmen, dass mehr geheizt wird, obwohl dies von der Aussentemperatur her nicht unbedingt erforderlich ist.

8 Anhang C: Literaturrecherche

8.1 Zusatzinformationen zu Kapitel 3

Tabelle 25 Übersicht über Studien mit Messungen zum Heizenergiebedarf und - Verbrauch bei Bestandsgebäuden.

Auswertungszeitraum, Land	Anzahl Gebäude und Gebäudetyp	Messung	Berechnung	Literatur
-	-	kWh/m ² a	kWh/m ² a	-
	90 Wohnungen, 3 MFH	175 (abgelesen von Grafik), Primärenergie, Auswertung mehrerer Heizperioden (abgelesene Werte)	350 (abgelesen von Grafik), Primärenergie, EnEV (?)	[17]
Deutschland, 2003 - 2004	50 EFH 70 MFH (DENA Feldversuch)	MFH 170 kWh/m ² a EFH 140 kWh/m ² a	MFH 240 kWh/m ² a EFH 175 kWh/m ² a Verfahren: nicht ganz klar	[18], zitiert in [17] und [21],
Ab 2012, Luxemburg	230 = 125 EFH, 105 MFH	Brennstoffmenge, Stromzähler Endenergie EFH: 200 kWh/m ² a MFH: 142 kWh/m ² a (Zahlen abgelesen von Grafik und selber ein zahlengewichtetes Mittel gebildet)	ähnlich wie: EN 832, DIN V 4108-6, DIN V 4701-10 EFH: 390 kWh/m ² a MFH: 190 kWh/m ² a (Endenergie) (Zahlen abgelesen von Grafik Bildung eines zahlengewichteten Mittelwertes)	[19]
vor 1995, Deutschland (Raum Frankfurt, Mannheim)	47 MFH, Baujahr 1983 - 1991	Heizkostenabrechnung mehrerer Jahre, Flächengewichteter Mittelwert Heizenergieverbrauch (auf Jahresnutzungsgrad 0.72 normiert): 141 kWh/m ² a	DIN 4701 VDI 2067 WSchVO: 151 EPASS: 137 DIN EN 832: 146 kWh/m ² a	[26]
2009, Niederlande	200'000 EFH, MFH 1945 - 2007	1 Jahr, Heizgradtagsbereinigt A: 12 m ³ Gas/m ² D: 17 m ³ Gas/m ² G: 21 m ³ Gas/m ² Endenergie (?)	ISSO 82.3, 2009 A: 9 m ³ Gas/m ² D: 20 m ³ Gas/m ² G: 43 m ³ Gas/m ²	[20]
Deutschland, Querauswertung mehrerer Studien	3'400 alle Gebäudetypen	150 kWh/m ² a (Endenergie)	Standardrechenmethode nach DIN V 4108-6:2003: 225 kWh/m ² a (Endenergie)	[21]
2009, Hamburg	42 EFH, MFH	Alte Gebäude: 140 kWh/m ² a Neue Gebäude: 115 kWh/m ² a	Gem. EnEV 2007: alte und neue Gebäude: 190 kWh/m ² a	[22]

8.2 Zusatzinformationen zu Kapitel 5

8.2.1 Vergleich dynamische Simulation versus Berechnung im Stundenverfahren und Monatsverfahren

Tabelle 26 Unterschiede zwischen "Ausführlichem Simulationsverfahren", "Vereinfachtem Stundenverfahren" und "Quasi-stationärem Monatsbilanzverfahren"

	Ausführliches Simulationsverfahren	Vereinfachtes Stundenverfahren	Quasi-stationäres Monatsverfahren
Beschreibung	<p>Berechnung mit dynamischen Simulationsverfahren, Zeitschritt frei wählbar (in der Regel < 1 h). Der Zustand am Ende eines jeweiligen Berechnungsschrittes stellt den Ausgangswert für den nächsten Zeitschritt dar.</p> <p>Es wird eine detaillierte Energiebilanz als Differentialgleichungssystem aufgestellt und unter Berücksichtigung der Energieerhaltung gelöst. Das Differentialgleichungssystem gibt die zeitliche Veränderung der Zustandsgrösse "Temperatur des Innenraums" an. Über diese Temperaturänderung ist die Be- und Entladung der Wärmekapazität der Bauteile des Gebäudes berücksichtigt.</p>	<p>In der EN ISO 13790 vollständig beschriebenes, vereinfachtes dynamisches Stunden-Berechnungsverfahren.</p>	<p>In der EN ISO 13790 vollständig beschriebenes, quasi-stationäres Monats-Berechnungsverfahren.</p> <p>Dynamische Auswirkungen werden durch die Einführung von Korrelationsfaktoren berücksichtigt (z. B. beim Heizen über den Ausnutzungsgrad für die internen und externen Wärmeeinträge).</p> <p>Es werden erst die Verlust- und Gewinnleistungen integriert und dann (unter Berücksichtigung des Ausnutzungsfaktors) die Energiesumme bilanziert.</p> <p>Annahme Innentemperatur konstant, Aussentemperatur variiert (monatlich).</p>
Aussage zu Raumlufttemperaturverläufen	möglich	bedingt	nein
Einschränkungen (bei korrekter Anwendung)	keine	Das Verfahren wurde eingeführt, um die Anwendung stundenbezogener Nutzungsprofile zu vereinfachen. Gem.[33], S. 24 wurden die Ergebnisse für die einzelnen Stunden nicht validiert, und die Ergebnisse für einzelne Stunden können grosse relative Fehler aufweisen.	Liefert gem. [33], S. 24 korrekte Ergebnisse auf jährlicher Grundlage, die Ergebnisse der einzelnen Monate können jedoch grosse relative Fehler aufweisen.

	Ausführliches Simulationsverfahren	Vereinfachtes Stundenverfahren	Quasi-stationäres Monatsverfahren
Knotenmodell	Mehrzonen-2*-Knoten-Netzwerkmodell: jeder Raum hat einen Lufttemperaturknoten und ein Sternknoten zur approximierten Behandlung des langwelligen Strahlungsaustauschs sämtlicher Umfassungsflächen	1*-Modell: es gibt pro Raum einen Temperaturknoten, der einer Kombination aus Raumlufttemperatur und einer dem Strahlungsfeld entsprechenden Temperatur entspricht. Die "Kombination" definiert sich wie folgt: 3 (Temperatur-) Knoten: Raumlufttemperatur (RT), Massentemperatur (MT) und Zentraltemperatur (= Mittel aus RT, MT und Oberflächentemperatur der umgebenden Bauteile). Dieses Modell wird als Widerstands-Kapazitäten-Modell bezeichnet (5R1C) [33], Abschn. 7.2.2.1.	Ein einfacher Berechnungsknoten pro Zone
Berücksichtigung erdbe-rührte Bauteile	Annähernd dreidimensionaler Wärmetransport vom Gebäude zum Erdreich	Gem. SN EN ISO 13789, bzw. SN EN ISO 13370. Das Verfahren sieht die Berechnung eines Leitwertes als monatsbezogene Grösse vor [90], Abschn. 2.1.5.1.	Gem. SN EN ISO 13789, bzw. SN EN ISO 13370. Das Verfahren sieht die Berechnung eines Leitwertes als monatsbezogene Grösse vor.
Wärmekopplung zwischen den Zonen ¹	ja	Verfahren mit und ohne Wärmekopplung zwischen den Zonen möglich. Allerdings wird die Wärmekopplung zwischen den Zonen "üblicherweise nur für spezielle Situationen angewendet". [33] S. 30. Für diesen Fall gibt die Norm im Anhang B.2 die Berechnungssystematik vor.	Verfahren mit und ohne Wärmekopplung zwischen den Zonen möglich. Allerdings wird die Wärmekopplung zwischen den Zonen "üblicherweise nur für spezielle Situationen angewendet". [33] S. 30. Für diesen Fall gibt die Norm im Anhang B.3 die Berechnungssystematik vor.
Wärmeströme	Aufteilung der konvektiven Wärmeströme und der Wärmeströme über Strahlung.	Aufteilung der konvektiven Wärmeströme und der Wärmeströme über Strahlung.	keine Aufteilung
Konvektiver Wärmeübergang	aussen: temperaturabhängig, windabhängig, abhängig von Umgebung innen: temperaturabhängig, richtungsabhängig	aussen und innen: konstant [90], Abschn. 2.1.3	aussen und innen: konstant
Wärmeübergang infolge langwelliger Strahlung	Wird über ein Strahlungsaustauschmodell für die atmosphärische Gegenstrahlung und eine Formel für konvektiven Wärmeübergang inkl. Verschattung berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt pro Zeitschritt [91], S. 291	Vereinfachte Berücksichtigung über die "Strahlungslufttemperatur". Diese wird stündlich berechnet. Die Verschattungsfaktoren werden nicht berücksichtigt. [90], Abschn. 2.1.5.2	keine Berücksichtigung
g-Wert	Definition von Gläsern mit Schichtaufbau und Materialkennwerten, winkelabhängig	statischer g-Wert [90] Abschn. 2.2.2.2	statischer g-Wert

	Ausführliches Simulationsverfahren	Vereinfachtes Stundenverfahren	Quasi-stationäres Monatsverfahren
U-Wert	Definition der Bauteile mit Materialkennwerten, Berechnung von Speicherung, Verluste / Gewinne im Zeitschritt	Definition der Bauteile mit Materialkennwerten, Berechnung Verluste / Gewinne im Zeitschritt	Definition des U-Wertes (Materialkennwerte nicht erforderlich)
Angewandtes Verfahren in der Schweiz	SIA 382/2: Klimatisierte Gebäude - Leistungs- und Energiebedarf (2011) sieht für die Berechnungen (theoretisch) eine ausführliche Simulation vor (sofern das Programm den Anforderungen gem. EN 15255 und EN 15265 entspricht).	SIA 382/2: Klimatisierte Gebäude - Leistungs- und Energiebedarf (2011) sieht als "Standardrechenverfahren" (S. 4) das Stundenverfahren vor. Das Verfahren und die Randbedingungen werden in der SIA Dokumentation 2044 [90] beschrieben, ausdifferenziert und z. T. erweitert (TABS-Modell). Das Rechenprogramm SIA TEC-Tool übernimmt das Verfahren.	SIA 380/1:2009 mit kleinen Abweichungen (Ausnutzungsgrad für Bürogebäude).
Nationale Besonderheiten CH		Es wird keine Wärmekopplung zwischen den Zonen berücksichtigt. Berücksichtigung Erdreich über Reduktionsfaktoren gem. SIA 380/1:2009	Es wird keine Wärmekopplung zwischen den Zonen berücksichtigt. Berücksichtigung Erdreich über Reduktionsfaktoren gem. SIA 380/1:2009

¹= gem. [33] müssen Zonen dann nicht einzeln berücksichtigt werden, wenn

- sich die Solltemperatur nicht um > 4 K unterscheidet,
- oder mindestens 80 % der Nutzfläche durch die selbe (oder keine) Lüftungsanlage versorgt werden,
- oder der Luftaustausch innerhalb der Räume um nicht mehr als einen Faktor 4 innerhalb 80 % der Nutzfläche abweicht

²= Werden die Wärmeströme nicht getrennt, so erfolgt eine stärkere Anbindung der Lufttemperatur an die Wände, was bei Strahlungsgewinnen zu einer starken Aufheizung der Zone (-> hohe Kühllast) führt [92], S. 176

8.2.2 Vergleich Fassung SIA 380/1:1988 mit SIA 380/1:2009

Nachfolgend werden nur die Bereiche der Heizwärmebedarfsberechnung aufgelistet, in denen es Änderungen gab. Der Fokus liegt auf dem Rechenverfahren und den Unterschieden zwischen der Fassung von 1988 und der von 2009 und nicht auf den Anforderungen an die Gebäude. Die Fassung von 1988 sah noch Anforderungen an den Nutzungsgrad der haustechnischen Anlagen vor. Diese entfielen in den Fassungen ab 2001 und werden hier nicht weiter erläutert.

Tabelle 27

Unterschiede SIA 380/1:1988 und SIA 380/1:2009

Verwendete Abkürzungen: ↑ = der Heizwärmebedarf (HWB_{St}) steigt im Vergleich zur SIA 380/1:2009, ↓ = der HWB_{St} sinkt im Vergleich zur SIA 380/1:2009

		SIA 380/1:1988	SIA 380/1:2009	Bewertung
1	Wärmeeinträge			
1.1	Wärmeeinträge Personen [Wh/d]	siehe Beispielrechnung unten: EFH: 19.2 MFH: 32.4	siehe Beispielrechnung unten: EFH: 14.0 MFH: 21.0	interne Wärmeeinträge Personen sind bei SIA 380/1:1988 bei EFH um 27 % höher, bei MFH um 54 % höher. HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↑
1.2	Gewinnfaktor / Ausnutzungsgrad Wärmeeinträge	Verhältnis zwischen Wärmeeinträgen und Verlusten, Regelung Raumheizung wird vereinfacht berücksichtigt	Verhältnis zwischen Wärmeeinträgen und Verlusten, Regelung Raumheizung wird differenzierter berücksichtigt Neu: Berücksichtigung Zeitkonstante Gebäude	Auswirkung projektabhängig
1.3	Solare Gewinne	pauschale Verschattungsfaktoren zwischen 0.6 und 0.8	differenzierte Verschattungsfaktoren (Horizont, Überhang und Seitenblende)	Auswirkung projektabhängig
2	Verluste			
2.1	Lüftung [1/h]	EFH: 0.4* MFH: 0.6 * = 0.7 m ³ /hm ² , bei 2.4 m Raumhöhe	EFH und MFH: 0.29	der thermisch wirksame Außenluftwechsel ist bei der Ausgabe SIA 380/1:2009 tiefer. HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↓
1.2	Transmission (Wärmeübergangskoeffizienten) [W/m ² K]	α innen: 8 α aussen: 20	α innen: 8 α aussen: 25	Der U-Wert verschlechtert sich bei SIA 380/1:2009. Die Anforderungen werden also etwas strenger HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↑
2.3	Wärmebrücken	Stand Norm: Es werden Zuschläge auf den k-Wert vorgegeben [42], die im Nachweis entsprechend zu berücksichtigen sind Stand der Praxis: keine Berücksichtigung	Wärmebrücken müssen in die Berechnung mit eingehen und separat erfasst werden	Der zusätzliche Verlust über Wärmebrücken erhöht bei SIA 380/1:2009 die Transmissionswärmeverluste. HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↑
2.4	Reduktionsfaktor Wärmeverlust gegen unbeheizte Räume und Erdreich	Stand der Praxis: Verluste werden anhand vorgegebener Temperaturen ermittelt. Bsp: Kellertemperatur 12°C entspräche einem b-Faktor zwischen 0.44 und 0.88 (je nach Monatsmittel Aussentemperatur).	Stand der Praxis: Verwendung von Standardwerten zwischen 0.7 und 0.9	SIA 380/1:2009 ist bezüglich der b-Faktoren deutlich strenger geworden. HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↑

		SIA 380/1:1988	SIA 380/1:2009	Bewertung
3	Wärmespeicherfähigkeit [MJ/m ² K]	Keine Berücksichtigung	je nach Bauweise zwischen 0.05 (sehr leicht) und 0.5 (schwer)	Auswirkung gering.
4	Klimadaten			
4.1	Temperatur			Bsp. Basel: während der Heizmonate (Okt - Apr) ist die Temperatur im Mittel um 1.3 K gestiegen. HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↓
4.2	Globalstrahlung			Bsp. Basel: während der Heizmonate (Okt - Apr) ist die Globalstrahlung im Mittel um 8 kWh/m ² gesunken. HWB _{St} SIA 380/1:2009: ↓
4.3	HGT	nimmt Bezug auf HGT	nimmt keinen Bezug auf HGT	Bsp. Basel: während der Heizmonate (Okt - Apr) sind die Heizgradtage um 12 % gesunken.

Zusatzinformation zu 1.1

	EFH	MFH	Verwaltung	Alle Nutzungen	Alle Nutzungen
	Belegung [m ² _{AE} / Person]	Belegung [m ² _{AE} / Person]	Belegung [m ² _{AE} / Person]	Wärmeabgabe W/Person	Nutzungszeit h/Tag
SIA 380/1:1988	50	30	20	80	12
SIA 380/1:2009	60	40	20	70 (Wohnen) 80 (Verwaltung)	70 (Wohnen) 80 (Verwaltung)

Rechenbeispiele

a) EFH:

SIA 380/1:1988: 100 m²_{AE} = 2 Pers. = 160 W, bzw. 1.6 W/m² * 12 h = 19.2 Wh/d

SIA 380/1:2009: 100 m²_{AE} = 1.7 Pers. = 117 W, bzw. 1.17 W/m² * 12 h = 14.0 Wh/d

b) MFH:

SIA 380/1:1988: 100 m²_{AE} = 3.33 Pers. = 266.7 W, bzw. 2.7 W/m² * 12 h = 32.4 Wh/d

SIA 380/1:2009: 100 m²_{AE} = 2.5 Pers. = 175 W, bzw. 1.75 W/m² * 12 h = 21.0 Wh/d

Fazit: interne Wärmeeinträge Personen sind bei der alten SIA 380/1:1988 bei EFH um 27 % höher, bei MFH um 54 %.

Bei der Nutzung Verwaltung bleiben die Werte bis auf die Nutzungszeit gleich, dadurch verringern sich die internen Wärmeeinträge Personen.

Zusatzinformation zu 1.2

Der Gewinnfaktor berücksichtigt die Tatsache, dass die Wärmeeinträge nicht zu 100 % genutzt werden können. Sie können nur genutzt werden, wenn sie kleiner als die Verluste sind, oder wenn die überschüssigen Gewinne in der Konstruktion abgespeichert werden können. Um die Konstruktion als Speicher zu aktivieren, muss die Solltemperatur überschritten werden.

SIA 380/1:1988

Hier wird der "Gewinnfaktor freie Wärme" f_g in die stationäre Bilanz eingeführt, um das dynamische Verhalten des Gebäudes zu berücksichtigen. Es wird zwischen einer Monatsbilanz und einer Jahresbilanz unterschieden.

In der Jahresbilanz ist

$$f_g = 1 - 0.3 * x$$

x = Wärmeeinträge (Solar, Personen, Abwärme) / Verluste (Transmission, Lüftung)

Der Faktor f_g muss um 0.2 gemindert werden, wenn in einem Gebäude die Raumheizung nur nach Aussenluft und nicht auch nach der Raumlufttemperatur geregelt wird.

In der Monatsbilanz ist

$$f_g = \frac{1.21}{1 - x^2(0.06x^2 - 0.18x - 0.08)} - 0.21$$

x = Wärmeeinträge (Solar, Personen, Abwärme) / Verluste (Transmission, Lüftung)

Der Gewinnfaktor ist dann höher, wenn er in der Monatsbilanz gebildet wird, dies wurde mit dem Hintergedanken konzipiert, die Anwendung des Monatsbilanzverfahrens zu fördern.

SIA 380/1:2009

Hier wird der Faktor η_g in die Bilanz eingeführt. Er gibt weiterhin an, welcher Anteil der Gewinne heizwirksam ist. Wie bisher ist er abhängig vom Verhältnis der Gewinne zu den Verlusten und neu von der Trägheit des Gebäudes (Zeitkonstante des Gebäudes, in welche die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes eingeht). Es wird auch der Einfluss der Heizungsregelung berücksichtigt (3 Möglichkeiten). Der Ausnutzungsgrad η_g wird mit der folgenden Formel beschrieben [93]:

$\eta_g = \eta_{g0} * F_g$	Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge mit Reduktionsfaktor für die Heizungsregelung
$\eta_{g0} = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$	Wenn $\gamma \neq 1$
$\eta_{g0} = a / (a + 1)$	Wenn $\gamma = 1$
$a = a_0 + (\tau / \tau_0)$	$a_0 = 1$, $\tau_0 = 15$ h für rund um die Uhr benutzte Gebäude (SIA 2001: 16 h)
$\gamma = (Q_i + Q_s) / (Q_T + Q_V)$	Gewinn-Verlust-Verhältnis
$\tau = C/H$	Zeitkonstante des Gebäudes
C	Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes
H	spezifischer Wärmeverlust des Gebäudes

Der Ausnutzungsgrad ist in der SIA 380/1:2009 immer höher als in der SIA 380/1:1988.

Zusatzinformation zu 2.4

- SIA 380/1:1988: Die Norm nimmt auf S. 48 Bezug auf die damals gültige SIA 180:1988 [94]. Zusammen mit dieser Empfehlung gilt die SIA 180/1: Nachweis des mittleren k-Wertes der Gebäudehülle [95]. Hier werden als b-Faktoren für unbeheizte Räume und Erdreich jeweils 0.5 genannt. Alternativ können die Transmissionswärmeverluste auch mit vorgegebenen (S. 66), oder selber berechneten Temperaturwerten (gem. SIA 384/2, Anhang 3, Verweis in [96] S. D66) für angrenzende Räume berechnet werden. Aus der Anwendungshilfe [96] lässt sich schliessen, dass hauptsächlich die Methode mit den Temperaturwerten

bei der Berechnung von Projekten angewendet wurde.

Die Werte liegen

- für unbeheizte Dachräume zwischen 6 und 10°C,
- für Keller bei 12°C und
- für Bauteile an Erdreich zwischen 6 und 8°C.

Die Transmissionswärmeverluste Q_t [MJ/m²] wurden mit folgender Formel berechnet:
 $Q_t = \text{Fläche [m}^2\text{]} * \text{k-Wert [W/(m}^2\text{K)]} * \text{Heiztage [Tage/a]} * \text{Raumlufttemperatur [}^\circ\text{C]} * \text{angrenzende Temperatur [}^\circ\text{C]}$

Anstelle der Standardwerte kann die Temperatur von unbeheizten Räumen auch berechnet werden [19], S. D66.

- SIA 380/1:2009:
Unbeheizte Räume: der b-Faktor kann gem. SN EN ISO 13789 berechnet werden (eingehende Grössen: Temperaturen, Transmissions- und Lüftungswärmeverluste). Alternativ können auch Standardwerte verwendet werden. Diese liegen für unbeheizte Räume und Kellerräume zwischen 0.7 und 0.9. Stand der Praxis ist die Verwendung der Standardwerte.
Erdreich: Eine detaillierte Berechnung der Verluste kann gem. SN EN ISO 13370 erfolgen. Alternativ wird der b-Faktor über eine einfache Berechnung ermittelt (eingehende Grössen: U-Wert, Fläche, Umfang, Tiefe im Erdreich), die in der Norm vorgegeben wird. Die Verwendung der vereinfachten Berechnung ist Stand der Praxis.
- Bei der Basisversion GEAK Plus werden die U-Werte für die Kellerdecke pauschal auf 0.3 W/m²K gesetzt. Es gibt auch hier b-Faktoren.

Rechenbeispiel Decke gegen unbeheizten Keller

In der SIA 380/1:1988 wird von einer Kellertemperatur von 12°C ausgegangen. Welchen Kellertemperaturen dies in der SIA 380/1:2009 entspricht zeigt die nachstehende Berechnung.

Gemäss der in SIA 380/1:2009 unter 3.5.4.7 angegebenen Formel kann der b-Faktor gemäss SN EN ISO 13789 [41] berechnet werden. Berechnet man die b-Faktoren für eine Decke zwischen einem unbeheizten Kellergeschoss so errechnet sich bei einem Keller der bis 1.7 m im Erdreich liegt (Gebäude PR_01) ein b-Faktor von 0.78. Dies deckt sich mit den Vorgaben von SIA 380/1:2009 mit b-Faktoren zwischen 0.7 und 0.8 für Kellerräume. Gemäss [41] kann anhand des b-Faktors auch die Raumlufttemperatur des unbeheizten Raumes berechnet werden. Im Beispiel liegt diese bei 8.3°C (bei einer mittleren Aussentemperatur von 5.1°C für die Heizmonate Okt. - März). Durch Reduktion der Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten für den Keller um den Faktor 0.32 ergibt sich eine Temperatur für den Keller von 12°C (entsprechend SIA 380/1:1988) und ein entsprechender b-Faktor von 0.54. Wird dieser für die Kellerdecke eingesetzt, so verringert sich der HWB_{Kor} um 4 % (von 116 kWh/m²a auf 111.4 kWh/m²a).

Insgesamt entsteht der Eindruck, dass die Berechnung gemäss dem normativen Verfahren gem. SN EN ISO 13789 in sehr tiefen Kellertemperaturen resultiert.

Zusatzinformation zu 4

- SIA 380/1:1988: Die Norm bezieht sich auf die Klimadaten gem. SIA 381/2:1988 [22]. Es werden standortbezogenen Heizgradtage mit Heizgrenze 12°C eingesetzt. Die Daten (Temperatur und Heizgradtage) gehen auf langjährige Mittelwerte von 1961 - 1970 zurück [97]. Die Strahlungswerte auf das Jahr 1985 [98].
- SIA 380/1:2009: Diese Fassung bezieht sich auf die Monatsmitteltemperatur (ausser) ohne Heizgrenze und ohne Heizgradtage. Als Klimadaten werden die Werte gem. SIA 2028:2010 [76] verwendet. Anmerkung: die SIA 380/1 referenziert auf die aktuell gültige SIA 2028 (S. 33). Es gelten die Mittelwerte eines jeden Monats für die Periode von 1984 - 2003 [76] (Achtung: dies steht nicht in der Norm, Information per Mail G. Zweifel 23.09.2015).

Der nachfolgende Vergleich wird für den Standort Basel-Binningen durchgeführt.

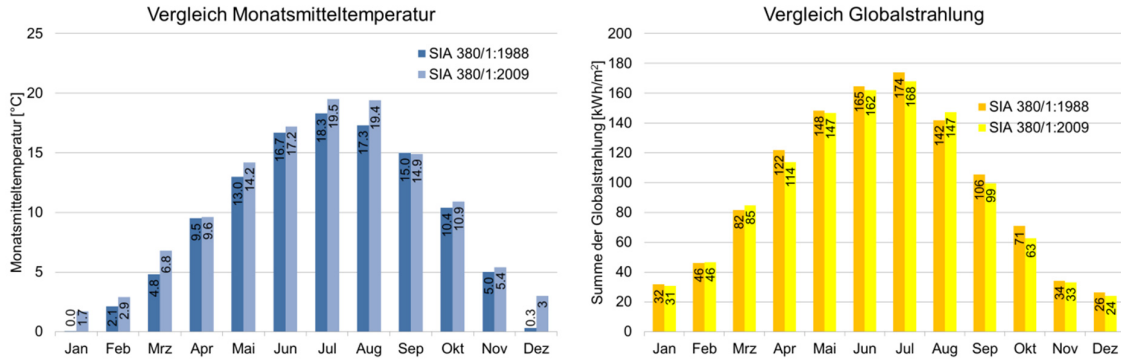


Bild 86 Vergleich Monatsmitteltemperatur, Globalstrahlung in SIA 380/1:1988 und SIA 380/1:2009, Standort Basel-Binningen

Fazit:

- Die Temperatur ist im Mittel 1.1 K gestiegen. Während der Heizmonate (Okt - Apr) um 1.3 K
- Die Globalstrahlung ist in der Heizperiode (jeweils April und Oktober) um 8 kWh/m² gesunken, während der übrigen Heizmonate liegen die Änderungen im Bereich ± 2 kWh/m². Ausgewiesen werden die Monatssummen.

Vergleich Berechnung HWB_{St} mit SIA 380/1:1988 und SIA 380/1:2009

Gebäude, bei denen der HWB_{St} den HWV übersteigt oder gleich ist

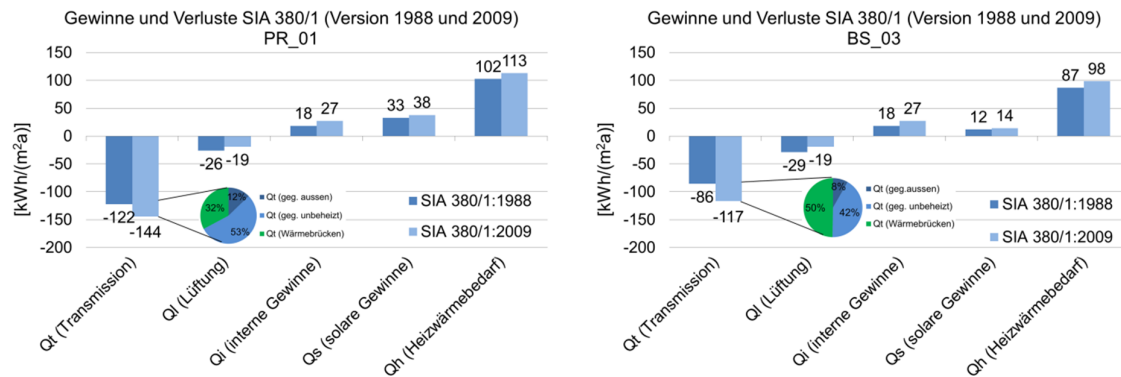


Bild 87 Berechnungsergebnisse Vergleich HWB_{St} SIA 380/1 (Version 1988 und 2009) für die Gebäude PR_01 und BS_03

Tabelle 28

Kommentar zu den Berechnungsergebnissen Vergleich HWB_{St} SIA 380/1 (Version 1988 und 2009) für die Gebäude PR_01 und BS_03

	PR_01	BS_03
HWB _{St} SIA 380/1:1988	102.4 kWh/m ² a	86.8 kWh/m ² a
HWB _{St} SIA 380/1:2009	112.8 kWh/m ² a	98.3 kWh/m ² a
HWV	102.8 kWh/m ² a	57.2 kWh/m ² a
Transmissionswärmeverluste	SIA 380/1:2009 Wärmebrückenanteil an Transmissionswärmeverlusten: 4.9 % Im Vergleich mit der SIA 380/1:1988 sind die höheren Transmissionswärmeverluste bei SIA 380/1:2009 hauptsächlich (53 %) auf die strengeren b-Faktoren zurückzuführen.	Wärmebrückenanteil eher hoch (13.3 % der Transmissionswärmeverluste). Im Vergleich mit der SIA 380/1:1988 sind die höheren Transmissionswärmeverluste bei SIA 380/1:2009 hauptsächlich (50 %) auf die Wärmebrücken zurückzuführen.
Lüftung	Hier sind die Verluste bei SIA 380/1:1988 7.2 kWh/m ² a höher als bei SIA 380/1:2009. Die Differenz ist auf den veränderten Aussenluftwechsel zurückzuführen.	gleich wie PR_01, da Standardwerte
Interne Wärmeeinträge:	Die internen Wärmeeinträge für Personen sind bei SIA 380/1:1988 höher. Die internen Wärmeeinträge für Geräte sind gleich geblieben. Die Bilanz (welche die obige Tabelle zeigt) wird bei SIA 380/1:1988 aber über 214 Heiztage gebildet, bei SIA 380/1:2009 über das ganze Jahr. Damit sind die Werte von SIA 380/1:2009 in der Summe höher. Vergleicht man den Februar, so sind die internen Wärmeeinträge bei SIA 380/1:1988 ca. 15 % höher.	gleich wie PR_01, da Standardwerte
Solare Gewinne:	SIA 380/1:1988 etwas tiefer als SIA 380/1:2009.	ähnlich
Nutzungsfaktor 1= Mittel Heizperiode Jahresbilanz 2= Mittel Heizmonate (Okt - März)	SIA 380/1:1988: 0.90 ¹ SIA 380/1:2009: 0.999 ²	SIA 380/1:1988: 0.92 ¹ SIA 380/1:2009: 0.998 ²

Gebäude, bei denen der HWB_{St} tiefer ist als der HWV

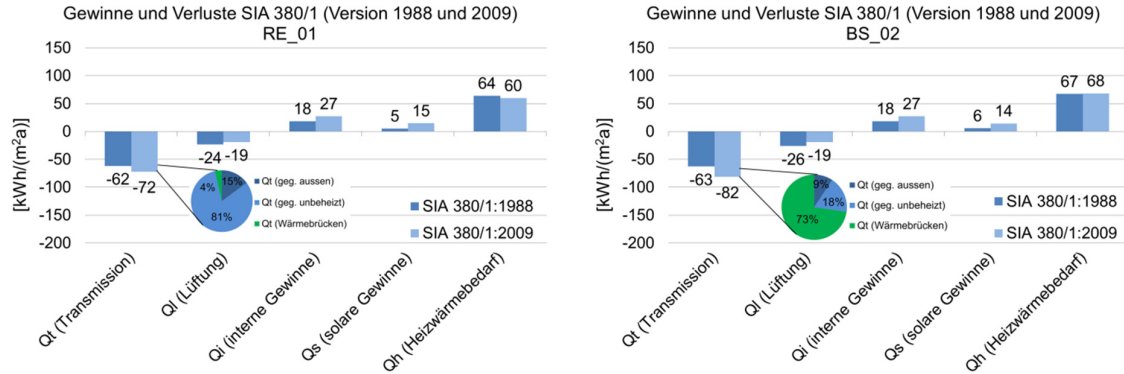


Bild 88 Berechnungsergebnisse Vergleich HWB_{St} SIA 380/1 (Version 1988 und 2009) für die Gebäude RE_01 und BS_02

Tabelle 29 Kommentar zu den Berechnungsergebnissen Vergleich HWB_{St} SIA 380/1 (Version 1988 und 2009) für die Gebäude RE_01 und BS_02

	RE_01	BS_02
HWB _{St} SIA 380/1:1988	63.9 kWh/m²a	67.1 kWh/m²a
HWB _{St} SIA 380/1:2009	59.7 kWh/m²a	68.3 kWh/m²a
HWV	76.1 kWh/m²a	83.0 kWh/m²a
Transmissionswärmeverluste	Wärmebrückenanteil nur klein (0.5 % der Transmissionswärmeverluste). Im Vergleich mit der SIA 380/1:1988 sind die höheren Transmissionswärmeverluste bei SIA 380/1:2009 hauptsächlich (81 %) auf die strengeren b-Faktoren zurückzuführen: Abminderungsfaktoren geg. Keller und Wintergarten (hier Temperatur gem. [99] selber berechnet).	Wärmebrückenanteil ist gross (16.8 % der Transmissionswärmeverluste). Im Vergleich mit SIA 380/1:1988 sind die höheren Transmissionswärmeverluste bei SIA 380/1:2009 hauptsächlich (73 %) auf die Wärmebrücken zurückzuführen.
Lüftung	gleich wie PR_01, da Standardwerte	gleich wie PR_01, da Standardwerte
Interne Gewinne:	gleich wie PR_01, da Standardwerte	gleich wie PR_01, da Standardwerte
Solare Gewinne:	SIA 382/1:1988 tiefer	SIA 382/1:1988 tiefer
Nutzungsfaktor ¹= Mittel Heizperiode Jahresbilanz ²= Mittel Heizmonate (Okt - März)	SIA 380/1:1988: 0.92¹ SIA 380/1:2009: 1.00	SIA 380/1:1988: 0.92¹ SIA 380/1:2009: 0.999²

Fazit aus diesem Vergleich:

Je kleiner die Differenz bei den Transmissionswärmeverlusten ist, desto näher liegen die Berechnungsergebnisse beieinander. Bei sehr kleinen Transmissionswärmeverlusten kann der HWB_{St} gem. SIA 380/1:1988 auch höher sein.

Einflussreiche Faktoren

- b-Faktor zum Keller
- Wärmebrücken

Projektbezogen (hier nicht der Fall) können auch die solaren Gewinne einen Unterschied machen. Sie können bei Berechnungen gem. SIA 380/1:2009 aufgrund der differenzierteren Verschattungsfaktoren geringer ausfallen. Beispielsweise würde dieser Unterschied z. B. bei

einem Gebäude mit grossen Glasflächen gegen Süden, die durch Balkone verschattet werden, auftreten.

8.2.3 Klimadaten: Vergleich Standardklimadaten zu realen Daten des Messjahres

Für die Standardberechnung werden in SIA 380/1:2009 die standortbezogenen Klimadaten SIA 2028:2010 verwendet.

Für die vorliegende Untersuchung werden diese mit realen Klimadaten für den Standort Basel (Datenquelle MeteoSchweiz) für die Jahre 2011 - 2014 ersetzt. Für diese Jahre liegt der HWV für die Gebäude vor. Eine Übersicht über die Jahre zeigen Tabelle 30 und Tabelle 31.

Tabelle 30 Reale Temperaturen für die Messperiode Basel-Binningen und Standardtemperaturen gemäss SIA 2028:2010 Standort Basel-Binningen [76]
Definition Winter: Okt - April

	Lufttemperatur [°C]				
	2011	2012	2013	2014	SIA 380/1:2009
Januar	2.5	3.8	1.6	4.5	1.7
Februar	3.8	-2.5	0.4	5.7	2.9
März	7.5	8.7	3.8	8.5	6.8
April	13.4	9.6	10.1	12.2	9.6
Mai	16.6	15.3	11.9	13.9	14.2
Juni	18.1	18.2	17.5	19.2	17.2
Juli	17.4	19.2	21.6	19.1	19.5
August	20.2	20.9	19.5	17.4	19.4
September	17.4	15.2	15.7	16.4	14.9
Oktober	11.0	11.0	12.7	13.6	10.9
November	6.5	6.9	5.3	8.0	5.4
Dezember	5.3	3.5	3.0	3.8	3.0
Mittelwert Winter	7.1	5.9	5.3	8.0	5.8
Mittelwert Jahr	11.6	10.8	10.3	11.9	10.5

Tabelle 31 Reale Globalstrahlung (horizontal) für die Messperiode Basel-Binningen und Standardglobalstrahlung gemäss SIA 2028:2010 Standort Basel-Binningen [76]
Definition Winter: Okt - April

	Globalstrahlung horizontal [kWh/(m ² a)]				
	2011	2012	2013	2014	SIA 380/1:2009
Januar	27.4	26.9	26.3	31.6	31
Februar	9.6	10.1	12.2	9.6	46
März	15.3	11.9	13.9	14.2	85
April	18.2	17.5	19.2	17.2	114
Mai	19.2	21.6	19.1	19.5	147
Juni	20.9	19.5	17.4	19.4	162
Juli	15.2	15.7	16.4	14.9	168
August	11.0	12.7	13.6	10.9	147
September	6.9	5.3	8.0	5.4	99
Oktober	3.5	3.0	3.8	3.0	63
November	10.9	10.3	11.9	10.5	33
Dezember	0.0	0.0	0.0	0.0	24
Mittelwert Winter	12.1	11.4	12.5	12.3	56.4
Mittelwert Jahr	13.2	12.9	13.5	13.0	93.2

Die Messdaten liegen immer ab der Jahresmitte vor, sodass nicht die Kalenderjahre, sondern jeweils die Periode von 01.07. bis zum 30.06. betrachtet wird. Die Strahlung bezogen auf eine vertikale Fläche nach Norden, Osten, Süden und Westen wird mit dem Simulationsprogramm ESP-r berechnet. Tabelle 32 zeigt die Temperatur- und Strahlungswerte für die betrachteten Jahre und die Heizperioden (Oktober bis April).

Tabelle 32 Reale Klimadaten für die Messperiode Basel-Binningen und Standardklimadaten gemäss SIA 2028:2010 Standort Basel-Binningen [76]

Basel-Binningen	Mittl. Temperatur Jahr	Mittl. Temperatur Heizp.	Strahlung	Strahlung Heizperiode	Abweichung mittl. Temperatur Heizperiode	Abweichung Strahlung Heizperiode
	[°C]	[°C]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[%]	[%]
SIA 2028:2010	10.5	5.8	1118	511		
2011/12	10.9	6.1	1240	444	5.1	-13.1
2012/13	10.2	5.3	1102	361	-7.2	-29.4
2013/14	11.8	7.4	1289	454	28.6	-11.1

Tabelle 33 Meteodaten Warmes Jahr DRY für Basel-Binningen [76]

Basel	Warmes Jahr	Standard Jahr SIA	Differenz
Jan	5.2	1.7	3.5
Feb	7.8	2.9	4.9
Mrz	10.3	6.8	3.5
Apr	11.8	9.6	2.2
Mai	16.2	14.2	2.0
Jun	23.3	17.2	6.1
Jul	22.4	19.5	2.9
Aug	23.8	19.4	4.4
Sep	17.8	14.9	2.9
Okt	14.2	10.9	3.3
Nov	8.7	5.4	3.3
Dez	5.6	3.0	2.6
Mittelwert Winter	9.1	5.8	3.3
Mittelwert Jahr	13.9	10.5	3.5

8.2.4 Interne Wärmeeinträge

Tabelle 34 Stromverbrauch aller im Hauptteil zitierten Studien in der Übersicht. Grau markiert: Originaldaten Studien, weiss markiert: eigene Umrechnung. Zahlenbasis für Umrechnung auf spezifische Werte: 45 m²/Person. Annahme Haushaltsgrösse 2 Personen.
Quellen: Quellen: Rev. 380/4 [50]; Nipkow [51]; Schlomann [52], Strom.check [54]; Stromspiegel [55]; REMODECE [53]; SIA 380/1:2009 [1]

EFH	MFH	Wohnen	EFH	MFH	Wohnen	Personen	Fläche	Datenquelle
[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]	[Stk.]	[m ²]	[-]
3500	2650		38.9	29.4		2	45	Rev. 380/4
3550	2750		39.4	30.6		2	45	Nipkow
4063	2717		31.1	31.4		[-]	[-]	Schlomann
		3090			32.6	2	[-]	Schlomann
		2850			29.7	2	[-]	Strom.check
3200	2200		35.6	24.4		2	45	Stromspiegel
		2909			32.3	2	45	REMODECE
			22.2	27.8		[-]	[-]	SIA 380/1:2009

8.2.5 Lüftungswärmeverluste

Tabelle 35

Gemessene Luftwechsel in diversen Projekten
 Verwendete Abkürzungen: Whg. = Wohnungen, Wohneinheit, E = Etage,
 G = Gebäude, F = Fenster, FL = Fensterlüftung, LW = Luftwechsel

Auswertungszeitraum, Stadt, Land	Whg. / E / G	Gebäudetyp und Baujahr	Messtechnik (bezogen auf Fensteröffnung)	Ergebnis und Kommentar	Lit.
Kernwinter 2009/2010 Ludwigshafen, D	36 / 3 / 2 (untersucht: 6 Whg.)	MFH, Baujahr 1965, saniert (unterschiedliche Standards)	Fensteröffnungsdauer über Funkfensterkontakte (zu, gekippt, aufgedreht), Indikatorgasmessungen zu bestimmten typischen Fensteröffnungszustände 1. Identifizierung typische Fensteröffnungsereignisse und Dauer, 2. LW anhand von Indikatorgasmessungen bestimmen (in leerer Whg.), S. 7	Durchschnitt Whg. mit FL jedes F. pro Tag 207 Minuten offen (am häufigsten Bad und Schlafzimmerfenster), Messung bei AT <0 bis 10°C Pro Whg. (Kombination Messung und Abschätzungen) Aussenluftwechsel zwischen 0.33 1/h und 0.18 1/h. Minderung von 11 % wegen Weihnachten (S. 18).	[65]
Heizperiode, Diverse Standorte in D, A		EFH, MFH	Fensteröffnungsdauer (Art der Öffnung egal). Mittlere Öffnungszeit: Öffnungszeiten F. addiert und durch Anzahl der F. und Betrachtungszeitraum dividiert.	Mittlere Fensteröffnungsdauer: 0.62 und 0.07 h/h. "Normallüfter": 0.21 h/h. Als mittlere Luftwechselzahl ergeben sich für die Fensteröffnungszeit von 2.1 h/h (aus Grafik abgelesen) Werte zwischen 0.6 und 1.3 1/h. Weitere Aufschlüsselung nach Aussen-temperaturen: < 0°C: 0.1 h/h: 0.41 - 0.81 1/h 0 - 10°C: 0.18 h/h: 0.6 und 1.3 1/h.	[63]
Tagsüber, Januar 2005, Zürich, CH	7 / - / - (Whg. mit Messung und FL)	MFH, Saniert mit FL	Tracergas	Infiltrationsluftwechsel (hier "natürlicher LW") zwischen 0.1 - 0.4 1/h (S. 31), mit Spaltlüftung bei ca. 1.4 1/h (S. 31)	[64]
Kopenhagen und Umgebung, DK	8 / 1 - 2 / 8 Whg. mit Messung und FL gezählt	EFH, BJ: 1x1928, 6x1945, 1x1967, unsaniert	CO ₂ -Konzentration, Fensterkontakte (auf / zu), HOB0 U9, 3 Gebäude Öffnungswinkel F.	Die zwei Hauptgründe die F. zu öffnen waren: 1. Raumluftqualität (hier über CO ₂ -Konzentration bestimmt), 2. Aussen-temperatur	[100]
7 Tage, Januar-März 2012 (3x Tag, 2x Abend, 2x Nacht)	3 Siedlungen (Siedlungen mit FL)	MFH	Infrarotkamera, visueller Eindruck bei Begehung Art der Öffnung und LW berechnet	Prozent Fenster geöffnet: 0°C: 16.4 % (Tag, Abend, Nacht), 0.55 1/h 5 - 10°C: 23 % (Abend, Nacht), 0.77 1/h Kommentar in Absprache mit H. Huber HSLU: die Fensteröffnung ist korrekt berechnet, allerdings berücksichtigt der daraus abgeleitete LW nicht, dass Gardinen oder Rollläden vor dem F. sind. Der angegebene LW stellt damit den Maximalwert dar. Eine Minderung um ca. 30 % ist aus unserer Sicht zulässig.	[68]
Kassel, September 1994 - April 1995	1 / 1 / -	Testraum	Tracergas, Fensteröffnung für den Versuch festgelegt, LW über Heizperiode errechnet	Kippstellung 10 cm, Fensteröffnung 7 - 9 u. 11 - 14 u. 17 - 20 Uhr, Heizgrenztemperatur 12°C, Infiltration 0.05 1/h: 0.47 1/h Mittelwert LW über Heizzeit Höhere Infiltration (0.1 1/h): 0.5 a/h	[69]
10. März und 18. Mai 2008 (Messungen), Insel Odense, DK	294/-/ 294 mit FL (insgesamt 500)	EFH; RH, MFH, immer Kinderschlafzimmer	Nutzerbefragung und Kinderzimmer CO ₂ -Messungen für jeweils 2.5 Tage, ausgewertet nur die Nächte, LW daraus berechnet	0.44 1/h (geometrisches Mittel)	[70], [71]

Auswertungszeitraum, Stadt, Land	Whg. / E / G	Gebäudetyp und Baujahr	Messtechnik (bezogen auf Fensteröffnung)	Ergebnis und Kommentar	Lit.
Dänemark, 1991	123/-/(alle Lüftungstypen zusammen)	EFH, MFH 1983 - 1986	Keine Aussage zur Messtechnik	EFH FL: 0.33 1/h Originalquelle: Bergsøe, N.C., Luftsifte – feltmålinger i 100 huse. VVS 1991; 27(8): S. 4-8 [in Danish]. Zitiert in den angegebenen Quellen	[71], [72]
Schweden, 1994	-/1143 G (alle zusammen)	EFH, RH, MFH		EFH mit FL 0.83 m ³ /h.m ² , bzw. 0.34 1/h MFH mit FL 1.19 m ³ /h.m ² , bzw. 0.50 1/h (bei 2.4 m Raumhöhe) Originalquelle: [101], zitiert in angegebener Quelle Repräsentativ für Schwedischen Gebäudebestand	[72],

8.2.6 Unschärfe bei der Ermittlung U-Werte für bestehende Bauteile

Messung der U-Werte

Es wurde bei insgesamt 7 Gebäuden 9 U-Werte gemessen. Eine Übersicht über die Gebäude gibt Tabelle 36.

Bei den Messungen wird das Gerät gSKIN® KIT-2615C verwendet. Das Gerät setzt sich aus zwei Temperaturfühlern (Genauigkeit: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$; Messbereich: - 10 bis + 65°C) und einer Wärmestrommessplatte zusammen. Gemäss Auskunft der Firma (Mail 02.03.2016, Herr Krebs) setzt sich die Messunsicherheit von insgesamt 14 % aus den folgenden Faktoren zusammen:

- Kalibrationsgenauigkeit von Wärmestrommessplatte und Temperaturfühlern: 5 %
- Variationen aufgrund Unterschiede im thermischen Kontakt zw. Wand u. Sensor: 5 %
- Operativer Fehler des Wärmeflussmessers: 3 %
- Variation von T und HF über Zeit: 10 %
- Temperaturunterschiede im Raum und Unterschiede zwischen Luft- und Strahlungstemperatur: 5 %

Die Messungen wurden im Zeitraum November 2015 bis Februar 2016 durchgeführt. Es galten die folgenden Regeln:

Die Wärmestromplatte wird direkt auf das Bauteil gesetzt (kein Kitt etc.) und am Rand mit Klebeband fixiert. Die Temperaturfühler werden mit jeweils mindestens 5 cm Abstand vom Bauteil angebracht. Aussen sind die Temperaturfühler jeweils verschattet. Die Temperaturfühler und die Wärmestromplatte werden möglichst in der Bauteilmitte, also im ungestörten Bereich platziert. Die minimale Messdauer beträgt gem. [85] mindesten 72 Stunden. Die Bedingung für das Messende ist, dass der U -Wert sich weniger als $\pm 5 \%$ von dem Wert, der 24 Stunden früher gemessen wurde unterscheidet. Das Messintervall beträgt 10 Minuten. Es wird nur bei einer Temperaturdifferenz von mindestens 10 K zwischen innen und aussen gemessen.

Besonderheiten bei der Messung:


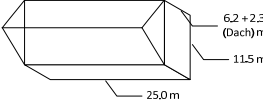
Zürich 01: Bei der Messung wurden der Innentempersensor und der Aussentempersensor nicht im erforderlichen Abstand von 3 - 4 cm weg von der Wand angebracht. Vermutlich waren die gemessenen Temperaturen daher eher die Oberflächentemperaturen und nicht die Lufttemperaturen. Somit ist der gemessene U-Wert vermutlich etwas zu hoch (da das ΔT gemessen kleiner ist als das ΔT effektiv). Das wirkt sich aber nicht auf die

Überlegungen zur signifikanten Abweichung aus. Diese wird mit einem tieferen U-Wert eher grösser.

Rheinfelden 01: Die U-Wert Messung beim Projekt Rheinfelden ist vermutlich nicht korrekt. Begründung: Es gibt zwischen der innenseitigen Gipskartonplatte und dem Mauerwerk eine Luftschicht. Der Wärmefluss-Sensor war auf der GK-Platte angebracht. Das Mauerwerk ist durch die Luftschicht von der GK-Platte entkoppelt und der gemessene Wärmefluss somit nicht korrekt.

Tabelle 36 Übersicht über die gemessenen U-Werte

	Baujahr / Bautyp	Foto	Konstruktion und Messergebnis U-Wert
Zürich 01	1905, MFH		Aussenwand 1. und 2. OG Aufbau: Aussenputz, 30.0 cm Backstein, Innenputz Messergebnis: 1.16 W/(m ² K) Messung: L. Carisch, Dez. 2015
Muhen 01	1965, EFH		Aussenwand EG Aufbau: Aussenputz, 2x12.0 cm Hochlochziegel mit 3.0 cm Kerndämmung (Glaswolle), Innenputz Messergebnis: 0.59 W/(m ² K) Messung: IEBau, Nov. 2015
Wegenstetten 01	1850, MFH		Aussenwand 1. und 2. OG Aufbau: Aussenputz, 67.5 cm Kalkstein, 3.0 cm Holzverkleidung Messergebnis: 1.14 W/(m ² K) Messung: C. Siebold, Dez. 2015
Küttigen 01	1953, EFH		Aussenwand UG Aufbau: 33.0 cm Stahlbeton Messergebnis: 2.69 W/(m ² K) Messung: C. Siebold, Dez. 2015
Rheinfelden 01	ca. 1600, EFH		Aussenwand EG Aufbau: von aussen nach innen: Aussenputz, 55.0 cm Bruchsteinmauerwerk aus Sandstein, 3.0 cm Luftschicht, 2.5 cm Gipskartonplatte Messergebnis: 0.63 W/(m ² K) Messung: B. Weickgenannt, Jan. 2016

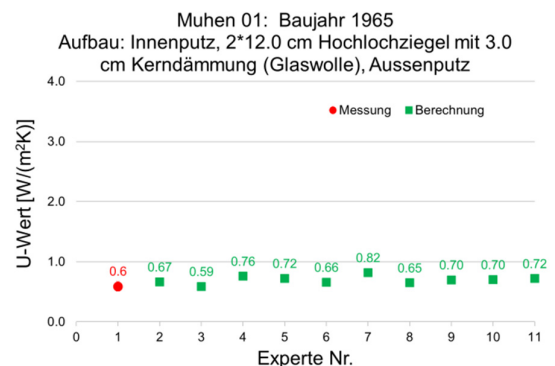
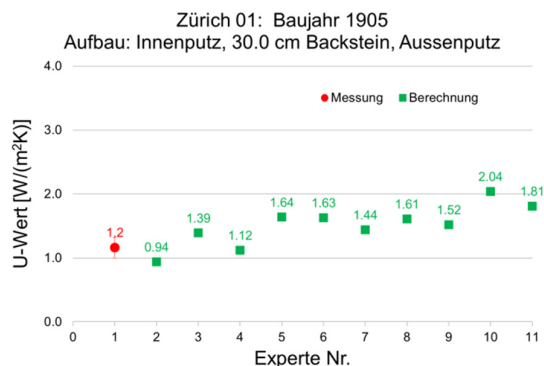
	Baujahr / Bautyp	Foto	Konstruktion und Messergebnis U-Wert
Münchenstein 01	1925, EFH		<p>Aussenwand UG, 40 cm Stampfbeton, verputzt, ungedämmt (Plan UG rotes Quadrat)</p> <p>Messergebnis: 1.78 W/(m²K)</p> <p>Aussenwand EG, 2x 12 cm Backstein mit 6 cm Luftspalt, 3 cm Putz, ungedämmt (Plan EG rotes Quadrat)</p> <p>Messergebnis: 1.05 W/(m²K)</p> <p>Messung: B. Burger, Jan. 2016</p>
Reinach 01	1962/1963		<p>Aussenwand 2. OG</p> <p>Aufbau 1: Aussenputz, 6.0 cm Dämmung (Steinwolle, λ 040) 30.0 cm Beton</p> <p>Messergebnis: 0.68 W/(m²K)</p> <p>Aufbau 2: Aussenputz, 30.0 cm Spezialbeton, Innenputz</p> <p>Messergebnis: 1.30 W/(m²K)</p> <p>Messung: IEBau, Feb. 2016</p>

Berechnung der U-Werte

Für die Berechnung der gemessenen U-Werte wurden 10 GEAK-Experten beauftragt. Die Experten wurden per Zufallsverfahren aus der online einsehbaren GEAK-Adressdatenbank (Stand Februar 2016) ausgewählt. Als Grundlage für die U-Wert Berechnung wurden Fotos und Pläne des jeweiligen Gebäudes und der Konstruktionsaufbau (siehe Tabelle 36) bereitgestellt. Die Messergebnisse selber wurden nicht kommuniziert.

Vergleich Berechnung und Messung

Beim Vergleich werden sowohl bei der Messung als auch bei der Berechnung die Wärmeübergangswiderstände innen und aussen berücksichtigt.



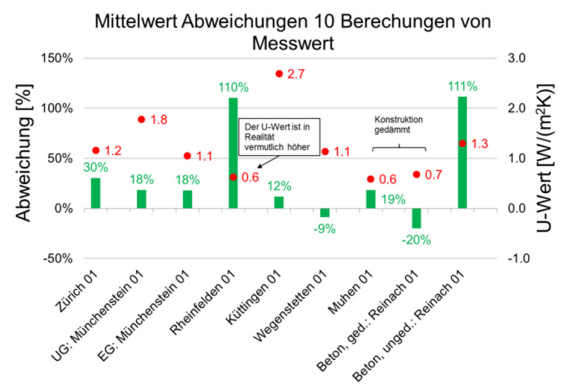
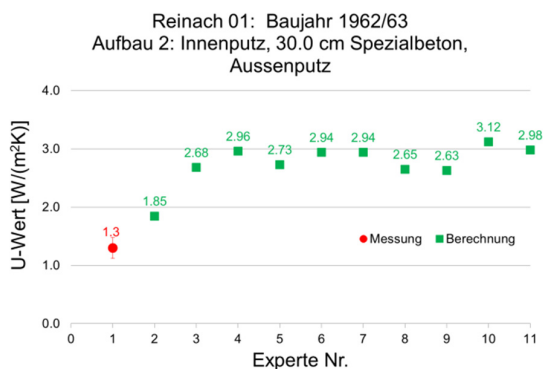
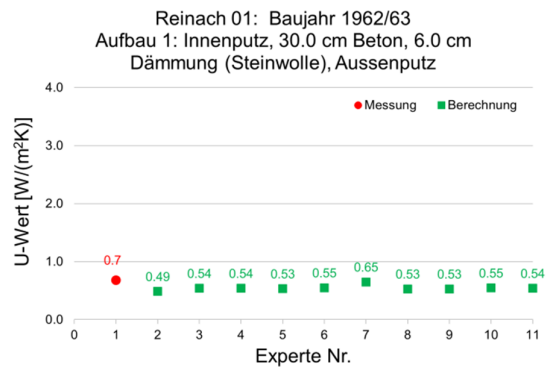
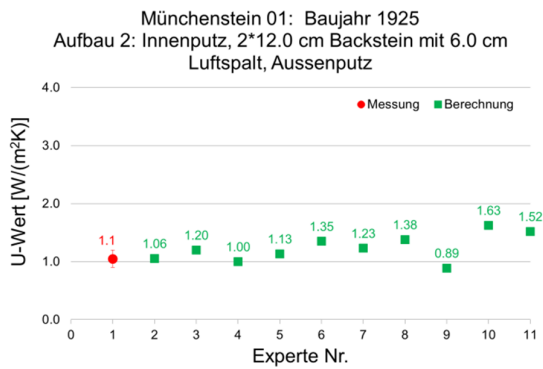
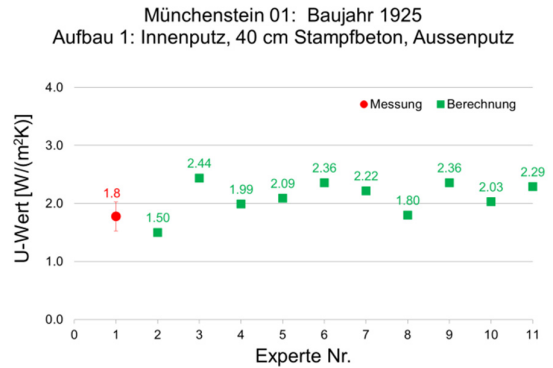
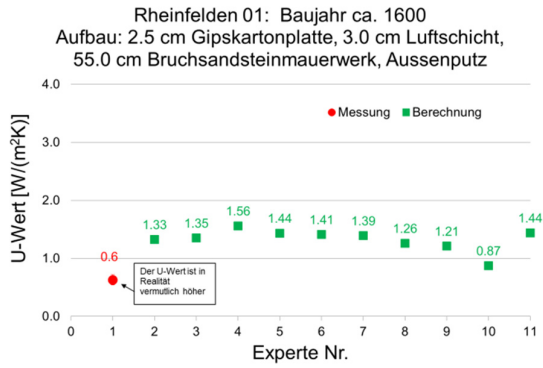
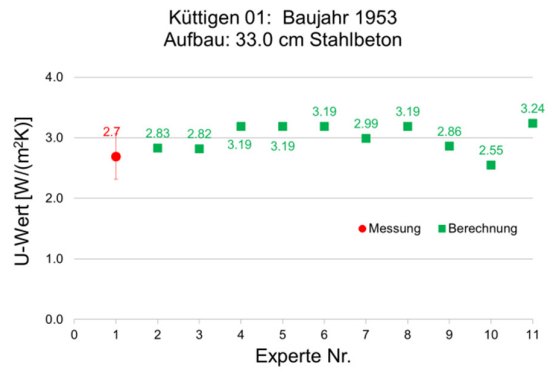
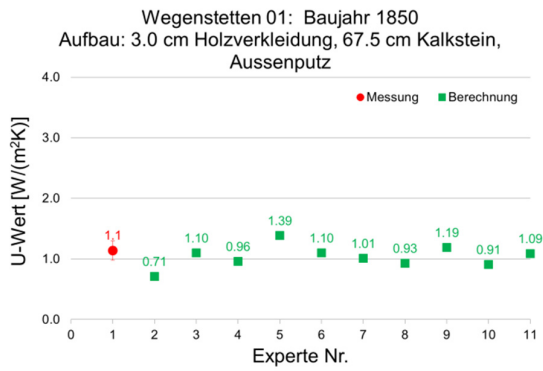


Bild 89

Messergebnisse (M) und Berechnung (B) der U-Werte. Bei der Berechnung der Abweichung (A) gilt: $A = ((B-M)/M) \cdot 100$

Verwendete Formeln für die Berechnung der Standardabweichung:

$$\text{Standardabweichung } \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n - 1}}$$

$$\text{Standardabweichung Mittelwert } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

n = Anzahl Einzelwerte (Stichprobenumfang)



x = Einzelwert

μ = Mittelwert

8.2.7 Minderungsfaktoren für unbeheizte Räume

Tabelle 37 Übersicht über die Kellerräume in denen die Raumlufthtemperatur gemessen wurde

	Baujahr	Foto	Lage Keller
Zürich (Büro)	1951		Erdreich
Basel 07	1928		2/3 im Erdreich
Basel 08	50er Jahre		Erdreich

	Baujahr	Foto	Lage Keller
Basel 09	50er Jahre		2/3 im Erdreich
Basel 10	1918		2/3 im Erdreich
Münchenstein 01	1925		2/3 im Erdreich
Reinach 01	1962/1963		2/3 im Erdreich

9 Anhang D: Dank

Für die finanzielle Unterstützung des Projekts bedanken wir uns beim BFE Bundesamt für Energie.

Bei den Mitgliedern der Begleitgruppe bedanken wir uns für die konstruktiven Rückmeldungen während der Projektdurchführung.

- Prof. Dr. Achim Geissler, Vertreter GEAK, FHNW
- Christoph Gmür, AWEL, Kanton Zürich
- Matthias Haldi, AUE, Kanton Bern
- Stefan Mennel, Kommissionspräsident SIA 380/1
- Rolf Moser, BFE

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
- BA_01, BS_06:
pom+ Consulting AG
- LU_01:
Thomas Marti
- RI_01: Beat Rothweiler

Der Dank für die Gebäudemessdaten GA2 geht an folgende Person:

- Christoph Sibold, (IEBau, FHNW)