Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

BBSR-Online-Publikation Nr. 07/2018

Weiterentwicklung der Methoden für die Leerstandskorrektur beim Energieverbrauch

Instrumentarium zur Erstellung von Verbrauchsausweisen

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) durchgeführt.

ISSN 1868-0097

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31– 37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat II 2 – Energieeinsparung, Klimaschutz
Monika Schröder
monika.schroeder@bbr.bund.de

Auftragnehmer

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Darmstadt
Dr. Volker Ritter, Behrooz Bagherian, Lukas Hannemann

Stand

Januar 2018

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten
Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

Zitierweise

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Weiterentwicklung der Methoden für die Leerstandskorrektur beim Energieverbrauch. BBSR-Online-Publikation 07/2018, Bonn, Juni 2018.

© BBSR Juni 2018



Liebe Leserinnen und Leser,

die Energieeinsparverordnung (EnEV) enthält Vorschriften für die Ausstellung von Energieausweisen. Bei Bestandsgebäuden können solche Ausweise in den meisten Fällen auch auf der Grundlage des erfassten Energieverbrauchs erstellt werden. Dieser geht zum Beispiel aus der Abrechnung von Heiz- und Warmwasserkosten nach der Heizkostenverordnung hervor.

Wie aber ist mit Gebäuden umzugehen, in denen beispielsweise einige Wohnungen längere Zeit unbewohnt waren? Schließlich sollen Gebäude nicht vorteilhafter bewertet werden, nur weil sie wegen teilweisem Leerstand nicht vollständig beheizt wurden. Deshalb sieht die Verordnung vor, dass bei der Ermittlung von Verbrauchsdaten längere Leerstände „rechnerisch angemessen zu berücksichtigen" sind. Das BBSR hatte dafür eine Berechnungsmethode entwickelt, die gegenwärtig – getrennt für Wohn- und Nichtwohngebäude – in zwei amtlichen Bekanntmachungen dargestellt wird.

Ein Forscherteam hat nun untersucht, wie genau das Berechnungsverfahren ist. Es kommt zu dem Schluss, dass die vom BBSR entwickelte Methode die physikalischen Gegebenheiten bei Leerstand hinreichend korrekt abbildet und dass die Leerstandskorrektur zu Recht nur bis 30 % Leerstand zulässig ist. Anhand von repräsentativen Fällen legt der Abschlussbericht die Fehlerbandbreite der aktuellen Regelungen offen. Und er enthält Vorschläge, wie die Regelungen bei künftiger Fortschreibung im Detail noch verbessert werden können.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

Robert Kaltenbrunner

Dr. Robert Kaltenbrunner
Stellvertretender Leiter des Bundesinstituts
für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **5**

Tabellenverzeichnis **8**

Formelverzeichnis **9**

1 Kurzfassung **11**

2 Summary **14**

3 Problem- und Aufgabenstellung **17**

3.1 Problem- und Aufgabenverständnis 17

3.2 Allgemeines methodisches Vorgehen 17

4 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Gebäude **21**

4.1 Wohngebäude in Frankfurt am Main 21

4.2 Nichtwohngebäude Rheinstraße 23

5 Datenauswertung Wohngebäude **26**

5.1 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Warmwasser 26

5.2 Gegenüberstellung tatsächlicher Warmwasserverbräuche mit rechnerischen Verfahren 27

5.2.1 Flächenbezogene Messwertmethode zur Bestimmung des Zuschlags 28

5.2.2 Personenanzahlbezogene Messwertmethode zur Bestimmung des Zuschlags 30

5.2.3 Pauschaler Ansatz zur Bestimmung des Zuschlags 31

5.2.4 Ansatz über Mittelwerte von Juni bis August zur Bestimmung des Zuschlags 32

5.3 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Heizwärme 33

5.4 Gegenüberstellung der tatsächlichen Heizwärmeverbräuche mit dem rechnerischen Verfahren 35

5.4.1 Ansatz flächenbezogener Wärmeverbrauch 35

5.4.2 Untersuchungen zu weiteren möglichen Einflussfaktoren 37

6 Datenauswertung Nichtwohngebäude **38**

6.1 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Heizwärme 38

6.2 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Strom 39

7 Stromverbrauch bei Nichtwohngebäuden **41**

7.1 Korrektur des Beleuchtungsstroms bei teilweise zugänglichen Verbrauchsdaten 41

7.2 Korrektur des Stromverbrauchs bei teilweisem Leerstand des Gebäudes 44

8 Simulationen von Leerständen in Wohn- und Nichtwohngebäude **49**

8.1 Vereinfachungen bei dem Wohngebäudemodell 49

8.1.1 Geometrische Vereinfachungen bei den Wohngebäuden 49

8.1.2 Strukturelle Vereinfachungen der Nutzerprofile bei den Wohngebäuden 50

8.2 Vereinfachungen bei dem Nichtwohngebäudemodell 51

8.2.1 Geometrische Vereinfachungen bei den Nichtwohngebäuden 51

8.2.2 Strukturelle Vereinfachungen der Nutzerprofile bei den Nichtwohngebäuden 52

8.3 Aufbau der Szenarien und Modelle ... 53
8.3.1 Leerstandsszenarien bei den Wohngebäuden ... 53
8.3.2 Leerstandsszenarien bei den Nichtwohngebäuden ... 56
8.4 Weitere Eigenschaften der Wohn- und Nichtwohngebäudemodelle ... 59
8.4.1 Komponenten der Gebäudehüllfläche ... 59
8.4.2 Aspekte zur Mindestraumtemperatur ... 59

9 Auswertung der Simulationen ... 60
9.1 Einfluss von Leerständen auf das Wohngebäude ... 60
9.1.1 Raumtemperatur als Einflussgröße ... 62
9.1.2 Wärmeschutzniveaus als Einflussgröße ... 63
9.1.3 Standort des Gebäudes als Einflussgröße ... 64
9.1.4 Ausrichtung des Gebäudes als Einflussgröße ... 65
9.2 Einfluss von Leerständen auf das Nichtwohngebäude ... 66
9.2.1 Raumtemperatur als Einflussgröße ... 67
9.2.2 Wärmeschutzniveaus als Einflussgröße ... 68
9.2.3 Standort des Gebäudes als Einflussgröße ... 70
9.2.4 Orientierung der Nutzeinheiten als Einflussgröße ... 71
9.2.5 Lage des Leerstandes im Gebäude als Einflussgröße ... 72

10 Verbesserungsvorschläge in Bezug auf die aktuelle Bekanntmachung ... 78
10.1 Erkenntnis in Bezug auf Warmwasser ... 78
10.2 Erkenntnis in Bezug auf Heizwärme beim Nichtwohngebäude ... 79
10.3 Erkenntnis in Bezug auf Heizwärme beim Wohngebäude ... 84
10.4 Betrachtung von längerfristigen Totalleerständen ... 87
10.5 Betrachtung von dispersen Leerständen ... 90

Literaturverzeichnis ... 94

11 Anhang ... 95
11.1 Aufbau der Bauteile ... 95
11.2 Thermische Hüllfläche der untersuchten Leerstände ... 97
11.3 Berechnung des Stromverbrauchs im NWG bei Leerständen ... 98
11.4 Berechnungsbeispiele Leerstandszuschlag für das Modell Wohngebäude ... 99
11.5 Berechnungsbeispiele Leerstandszuschlag für das Modell Nichtwohngebäude ... 101

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: In der Szenario-Matrix sind die untersuchten Kombinationen der vier untersuchten Hauptparameter dargestellt 19
Abb. 2: Auszug aus der Leerstandsmatrix für die Fälle im Erdgeschoss beim Wohngebäudemodell 19
Abb. 3: Auswertung des Vergleichswerkzeugs entsprechend der Vorlage eines Energieausweises 20
Abb. 4: Lageplan Gebäude Frankfurt am Main 21
Abb. 5: Grundriss und Schnitt des Gebäudes in Frankfurt am Main 22
Abb. 6: Flächen der Wohnungen im Gebäude in Frankfurt am Main 23
Abb. 7: Süd-Ansicht sowie allgemeine Wärmedurchgangskoeffizienten des Modellgebäudes in der Rhein-straße 24
Abb. 8: Grundriss des Gebäudes Rheinstraße 65 25
Abb. 9: Schnitt des Gebäudes Rheinstraße 65 25
Abb. 10: Flächen der Zonen im Gebäude Rheinstraße 65 25
Abb. 11: Durchschnittlicher monatlicher Wärmeverbrauch pro Quadratmeter für die Bereitung von Warmwasser im gesamten Gebäude in Frankfurt am Main 26
Abb. 12: Tatsächlicher jährlicher Wärmeverbrauch pro Quadratmeter für die Bereitung von Warmwasser je Wohnung im Gebäude in Frankfurt am Main; Personenbelegung über die Farbe differenziert 27
Abb. 13: Vergleich der Wärmeverbräuche zur Bereitung von Warmwasser bei unterschiedlichen Leerstandsszenarien von tatsächlichen und berechneten Verbräuchen basierend auf der aktuellen Messwertmethode 29
Abb. 14: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Warmwasserverbrauchszuschlag durch die aktuelle rechnerische Leerstandskorrektur und dem tatsächlichem Verbrauch einer Wohnung relativ zum Gesamtverbrauch. Die rot nur wenig unter 0 liegende Linie markiert den Durchschnitt der blau dargestellten Abweichungen der 22 Fälle. 29
Abb. 15: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Warmwasserverbrauch durch die personenbezogene Leerstandskorrektur und dem tatsächlichem Warmwasserverbrauch in der Wohnung relativ zum Gesamtverbrauch. Die rote, nur wenig unter 0 liegende Linie markiert den Durchschnitt der blau dargestellten Abweichungen der 22 Fälle. 30
Abb. 16: Vergleich der Wärmeverbräuche zur Bereitung von Warmwasser bei unterschiedlichen Leerstandsszenarien von tatsächlichen und berechneten Verbräuchen basierend auf dem Pauschalansatz 31
Abb. 17: Vergleich der Wärmeverbräuche zur Bereitung von Warmwasser bei unterschiedlichen Leerstandsszenarien von tatsächlichen und berechneten Verbräuchen basierend auf dem Mittelwertansatz der Verbräuche von Juni bis August 32
Abb. 18: Spezifischer monatlicher Heizwärmeverbrauch pro Quadratmeter der Wohnung mit dem geringsten und höchsten Verbrauch, sowie der Durchschnitt des gesamten Gebäudes in Frankfurt am Main 33
Abb. 19: Spezifischer jährlicher Heizwärmeverbrauch pro Quadratmeter für die Wohnung im Gebäude in Frankfurt am Main; Farben entsprechen durchschnittlichen Raumtemperaturen, Balken skizzieren monatliche Verteilung des Verbrauchs 34
Abb. 20: Leerstandsfaktoren für die einzelnen Wohnung im Gebäude in Frankfurt am Main unter der Annahme eines Leerstands über die gesamte Betrachtungszeit. 36
Abb. 21: Heizwärmeverbrauch mit tatsächlichem Verbrauch der leerstehenden Wohnung (blaue Balken) und hypothetischem Verbrauch der weiterhin belegten Wohnungen (rote Balken) im Vergleich zum rechnerisch bestimmten Verbrauch entsprechend der aktuellen Methode (schwarze Rauten). 36
Abb. 22: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Heizwärmeverbrauchszuschlags durch die aktuelle rechnerische Leerstandskorrektur und dem tatsächlichem Verbrauch einer Wohnung relativ zum Gesamtverbrauch. Die rote Linie markiert den Durchschnitt der blau dargestellten Abweichungen der 22 Fälle. 37
Abb. 23: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Heizwärmeverbrauchs durch die aktuelle rechnerische Leerstandskorrektur dem Heizwärmeverbrauch beim Leerstand der jeweiligen Wohnungen im Gebäude. Rot markiert die jeweilige durchschnittliche Raumlufttemperatur während der Heizperiode. 37
Abb. 24: Klimabereinigter spezifischer Heizwärmeverbrauch [kWh/(m²·a)] des IWU-Gebäudes für das Jahr 2013 und 2014 38

Abb. 25: Monatlicher spezifischer Wärmeverbrauch des IWU-Gebäudes für das Jahr 2014 (nicht klimabereinigt) 39
Abb. 26: Spezifischer Jahresverbrauch für elektrische Energie [kWh/(m²·a)] des IWU-Gebäudes für das Jahr 2013 und 2014 39
Abb. 27: Monatlicher spezifischer Verbrauch der elektrischen Energie des IWU-Gebäudes für das Jahr 2014 (nicht nutzerspezifisch) 40
Abb. 28: Stromverbrauch des IWU-Gebäudes für die Jahr 2013 bis 2015 41
Abb. 29: Energiebedarf Beleuchtung für die Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen mit elektronischem (EVG) und konventionellem Vorschaltgerät (KVG) des Modellgebäudes Rheinstraße 44
Abb. 30: Abweichung des berechneten Leerstandszuschlags von tatsächlichem Verbrauch für die fünf Verwaltungsgebäude. Darstellung in Abhängigkeit von ihren zeitlichen Leerständen (obere Abbildung) bzw. von ihren Verbrauchsniveaus (untere Abbildung) 46
Abb. 31: Geometrische Vereinfachungen im Grundriss des Wohngebäudes 49
Abb. 32: Geometrische Vereinfachungen in der Kubatur des Wohngebäudes 50
Abb. 33: Geometrische Vereinfachungen im Grundriss des Nichtwohngebäudes 51
Abb. 34: Geometrische Vereinfachungen der Kubatur des Nichtwohngebäudes 52
Abb. 35: Beispiel eines Leerstands einer Einzelzone 53
Abb. 36: Beispiel eines Leerstands zweier benachbarten Wohnungen 54
Abb. 37: Beispiel eines geschossweisen Leerstands 54
Abb. 38: Die Leerstandsmatrix stellt die untersuchten Fälle von Leerständen im Wohngebäude dar, die innerhalb jedes einzelnen Grundszenarios untersucht wurden 55
Abb. 39: Die Leerstandsmatrix stellt die untersuchten Fälle von Leerständen im Nichtwohngebäude dar, die innerhalb jedes einzelnen Grundszenariums untersucht wurden 57
Abb. 40: Die Zonen in den Grundrissen des Erdgeschosses, 1.Obergeschoss und 2.Obergescchoss sind identisch aufgebaut und entsprechend nummeriert. Im realen Gebäude sind die Zonen 11-12-13 nach Süden orientiert 58
Abb. 41: Beispiel eines Leerstands einer Einzelzone 58
Abb. 42: Beispiel eines Leerstands von zwei gegenüberliegenden Zonen 58
Abb. 43: Beispiel eines Leerstands von drei nebeneinanderliegenden Zonen 58
Abb. 44: Beispiel für die prozentuale Erhöhung des Heizwärmebedarfs in den angrenzenden Wohnungen durch die leerstehende Wohnung (blau markiert). 61
Abb. 45: Berechneter tatsächlich notwendiger Zuschlagsfaktor für einen spezifischen Fall 61
Abb. 46: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Mindestraumtemperatur auf Basis der Simulationsberechnungen 62
Abb. 47: WG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Wärmeschutzniveaus auf Basis der Simulationsberechnungen 63
Abb. 48: WG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Standortes des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen 64
Abb. 49: WG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Ausrichtung des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen 65
Abb. 50: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Mindestraumtemperatur auf Basis der Simulationsberechnungen 67
Abb. 51: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Wärmeschutzniveaus auf Basis der Simulationsberechnungen 68
Abb. 52: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des

Wärmeschutzniveaus auf Basis der Simulationsberechnungen (ohne Leerstandszenarien mit einem Leerstandsanteil von 66 %) 69
Abb. 53: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Standortes des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen 70
Abb. 54: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Ausrichtung des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen 71
Abb. 55: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude bei einer Mindestraumtemperatur von 19 °C auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes 73
Abb. 56: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude bei einer Mindestraumtemperatur von 23 °C auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes 74
Abb. 57: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude bei einer Mindestraumtemperatur von 21 °C auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes 75
Abb. 58: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude mit dem Wärmeschutzniveau „gut“ auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes 76
Abb. 59: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude mit dem Wärmeschutzniveau „sehr gut“ auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes 77
Abb. 60: Die gemittelten Verbräuche zur Bereitung von Warmwasser pro Wohnung basierend auf unterschiedlichen Methoden im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch und die berechneten Energieverbräuche zur Bereitung von Warmwasser im Gebäude 78
Abb. 61: Prozentuale Abweichung der untersuchten Leerstandszenarien zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen in Bezug auf den spez. Heizwärmeverbrauch des Nichtwohngebäudes mit einem Anteil an Leerstand (Standort: Potsdam) 79
Abb. 62: Der aus den Simulationsergebnissen berechnete theoretische Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Nichtwohngebäudes (Standort: Potsdam) 80
Abb. 63: Der aus den Simulationsergebnissen berechnete theoretische Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Nichtwohngebäudes (für alle behandelten Standorte) 81
Abb. 64: Begrenzung des aus den Simulationsergebnissen berechneten theoretischen Faktors zwischen 0 bis 1 zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Nichtwohngebäudes (für alle behandelten Standorte) 82
Abb. 65: Der aus den Simulationsergebnissen berechnete theoretische Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Wohngebäudes(Standort: Potsdam) 84
Abb. 66: Begrenzung des aus den Simulationsergebnissen berechneten theoretischen Faktors zwischen 0 bis 1 zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Wohngebäudes (für alle behandelten Standorte) 85
Abb. 67: In der Szenario-Matrix des Gesamtleerstands sind die untersuchten Kombinationen der vier untersuchten Hauptparameter dargestellt 87
Abb. 68: Berechneter theoretisch erforderlicher spezifischer Leerstandszuschlag bei Totalleerstand im simulierten Wohngebäude, abhängig von der jeweiligen Mindestraumtemperatur (für alle behandelten Standorte, drei Wärmeschutzniveaus und beide Gebäudeausrichtungen) 88

Abb. 69: Berechneter theoretisch erforderlicher theoretischer Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags bei Totalleerstand basierend auf unterschiedlichen Mindestraumtemperaturen im Wohngebäude (für alle behandelten Standorte, drei Wärmeschutzniveaus und beide Gebäudeausrichtungen) 89
Abb. 70: Erster Abschnitt der Leerstandsmatrix mit den zufällig gewählten Fällen von Leerständen im Wohngebäude, die im Rahmen von dispersen Leerständen für zwei leerstehende Nutzungseinheiten untersucht wurden (Leerstandsflächen mit 13 %). Diese Matrix wird in der folgenden Abbildung fortgesetzt 90
Abb. 71: Zweiter Abschnitt der Leerstandsmatrix mit den zufällig gewählten Fällen von Leerständen im Wohngebäude, die im Rahmen von dispersen Leerständen für drei und vier leerstehende Nutzungseinheiten untersucht wurden (Leerstandsflächen mit 20 % und mit 27 %). Weiterhin sind die Referenzfälle (Fälle No.74 bis No.82) dargestellt, die sich auch in der Matrix in Abb.38 wiederfinden (als Fälle No.16 bis No.25) 91
Abb. 72: Theoretisch erforderlicher Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags bei dispersen Leerständen von unterschiedlich hohen prozentualen Leerstandsflächen im Wohngebäude (für Standort Potsdam, schlechtem Wärmeschutzniveau und südlicher Gebäudeausrichtung, bei einer Raumtemperatur von 21 °C) 92
Abb. 73: Theoretisch erforderlicher Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags bei dispersen Leerständen von unterschiedlich hohen prozentualen Leerstandsflächen im Wohngebäude (für Standort Potsdam, schlechtem Wärmeschutzniveau und südlicher Gebäudeausrichtung, bei einer Raumtemperatur von 21 °C), obere Abbildung bei gutem, untere Abbildung bei sehr gutem Wärmeschutzniveau 93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiebedarfsbilanz für die Beleuchtung für die unterschiedlichen Nutzungseinheiten 42
Tabelle 2: Berechnungsszenarien zur Bestimmung des Energiebedarfs für die Beleuchtung im NWG 43
Tabelle 3: Hochrechnung des Stromverbrauchs für Beleuchtung gemäß der aktuellen Bekanntmachung sowie Ihre Abweichungen in Bezug auf die rechnerischen Bedarfswerte 43
Tabelle 4: Szenarien zur Beurteilung der Methodik für die Leerstandskorrektur des Gesamtstromverbrauchs bei teilweisem Leerstand gemäß der aktuellen Bekanntmachung auf der Grundlage der tatsächlichen Stromverbräuche von 5 Verwaltungsgebäuden 47
Tabelle 5: Aufbau der Bauteile im Modell des Nichtwohngebäudes (Rheinstraße) 95
Tabelle 6: Aufbau der Bauteile im Modell des Wohngebäudes (Frankfurt am Main) 96
Tabelle 7: Thermische Hüllfläche der untersuchten Leerstände im Modell des Nichtwohngebäudes 97
Tabelle 8: Energieverbrauch für das Modellgebäude Rheinstraße für die Jahre 2013 bis 2015 98
Tabelle 9: Berechnungsszenarien zur Bestimmung des Energieverbrauchs für die Beleuchtung für das Modellgebäude Rheinstraße (für 2. Obergeschoss liegen keine Messdaten vor) 98
Tabelle 10: Hochrechnung des Stromverbrauchs für Beleuchtung gemäß der aktuellen Bekanntmachung sowie ihre Abweichungen in Bezug auf die erfassten Messdaten 98

Formelverzeichnis

Formelzeichen	Erläuterung
A_N	Gesamtfläche
$A_{leer,i}$	Leerstandsfläche
A_{NGF}	Energiebezugsfläche m²
$E_{tats.}$	Tatsächlicher Energieverbrauch
$\Delta E_{tats.}$	tatsächlicher Leerstandszuschlag
$E_{VWW,leer}$	Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung bei längerem Leerstand in kWh
ΔE_{VWW}	Leerstandszuschlag für zentrale Warmwasserbereitung in kWh
$E_{VWW,tats.}$	tatsächlicher Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung in kWh
$\Delta E_{VWW,tats.}$	tatsächlicher Leerstandszuschlag für zentrale Warmwasserbereitung in kWh
$\Delta E_{VWW,P}$	personengewichteter Leerstandszuschlag für zentrale Warmwasserbereitung in kWh
$\Delta E_{VWW,\emptyset,\mathrm{SM}}$	Leerstandszuschlag für zentrale Warmwasserbereitung in kWh basierend auf Sommerzeit
$\Delta E_{VWW,pau}$	pauschaler Leerstandszuschlag für zentrale Warmwasserbereitung in kWh
$E_{VWW,spez.}$	spezifischer Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung in kWh
$E_{VH,tats.}$	tatsächlicher Energieverbrauch für Heizung in kWh
$E_{Vhb,Zeitraum}$	Absoluter Energieverbrauchsanteil für Heizung in dem maßgeblichen Zeitraum in kWh/a
ΔE_{VH}	Energieverbrauchsanteil für Heizung in kWh
$\Delta E_{VH,tats.}$	tatsächlicher Energieverbrauchsanteil für Heizung in kWh
ΔE_{simul}	Leerstandszuschlag basierend auf Simulationsergebnissen
$e_{Vhb,12mth}$	Spezifischer witterungsbereinigter mittlerer Energieverbrauchsanteil für Heizung in kWh/(a*m²)
f_{leer}	Leerstandsfaktor
f_{ideal}	Leerstandsfaktor, ideal
$f_{leer,P}$	Leerstandsfaktor, personengewichtet
$f_{(e_{\mathrm{Vhb,12mth}})}$	Zuschlagsfaktor Heizung, basierend auf spezifischen mittleren Energieverbrauchsanteil
m_{abw}	Abweichungen zwischen berechneter Leerstandskorrektur und Simulationsergebnissen
$m_{H,F}$	Abweichung zwischen rechnerischem Verbrauchszuschlag und tatsächlich Verbrauch, Heizwärme
$m_{WW,F}$	Abweichung zwischen rechnerischem Verbrauchszuschlag und tatsächlich Verbrauch, Warmwasser
$m_{WW,P}$	Abweichung zwischen rechnerischem Verbrauchszuschlag und tatsächlich Verbrauch, personenbezogen auf Warmwasser
n_{mth}	Anzahl der Monate des maßgeblichen Zeitraums
$t_{leer,i}$	Zeitraum des Leerstands
t_{gesamt}	Gesamter Zeitraum

$P_{leer,i}$	Reguläre Personenbelegung in aktuell leerstehender Wohnung
P_N	Absolute Anzahl an Personen

1 Kurzfassung

In dieser Studie wurden die bestehenden Verfahren und Annahmen zur rechnerischen Korrektur von Leerständen entsprechend § 19 für Verbrauchsausweise der Energieeinsparverordnung untersucht. Maßgeblich sind hierfür die aktuellen Bekanntmachungen der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand [1] und der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand [2].

Diese Untersuchungen fanden an einem Wohn- und einem Nichtwohngebäude statt, wobei die energetische Qualität der als Modell benutzten realen Gebäude für den Zweck der Untersuchung gezielt verändert wurde. Als Grundlage dienten Informationen zum Gebäude in der in Frankfurt am Main und zum Gebäude in der Rheinstraße 65 in Darmstadt. Die Untersuchungen bezogen sich auf die Zuschläge zu Strom- und Wärmeverbrauch bei Leerständen. Im Bereich des Wärmeverbrauchs wurde weiterhin zwischen der Bereitung von Warmwasser und Heizwärme unterschieden. Es wurden zunächst Untersuchungen mit tatsächlich erhobenen Verbrauchsdaten durchgeführt. Speziell für die Untersuchung zum Verbrauch von Heizwärme wurden umfangreiche Modellstudien durchgeführt. Diese Modellstudien basieren auf Simulationen eines Wohn- und eines Bürogebäudes, bei denen unterschiedliche Leerstandsszenarien unter verschieden Rahmenbedingungen untersucht wurden. Folgende Erkenntnisse konnten gewonnen werden:

Warmwasser

Allgemein zeigt sich bei der Datenauswertung zum Warmwasser, dass in den einzelnen Wohnungen deutlich unterschiedliche Verbräuche anfallen, die von 4 kWh/(m²·a) bis 35 kWh/(m²·a) reichen. Trotzdem entstehen gesamt gesehen über alle Wohnungen im Gebäude monatlich relativ kontinuierliche Verbrauchsmengen, die nur leichte Anstiege in den Wintermonaten aufweisen. Bei der weiteren Untersuchung wurden diese spezifischen Einzelverbräuche in den Wohnungen und der Gesamtverbrauch im Gebäude als Ausgangsdaten verwendet. Über verschiedene Methoden wurde versucht, diese Verbrauchswerte zu prognostizieren unter der Annahme, dass in einzelnen Wohnungen aufgrund von Leerstand die spezifischen Mengen an Warmwasser nicht anfallen würden. Zur Bestimmung des Leerstandszuschlags für Warmwasser wird in der aktuelle Bekanntmachung [1] die Messwertmethode vorausgesetzt, zumal auf Grund ausgelaufener Übergangsvorschriften inzwischen regelmäßig Messwerte des gesamten Energieverbrauchs für Warmwasser vorhanden sein sollten. Neben dieser üblichen Methode wurden drei weitere Verfahren in Bezug auf Anwendbarkeit und Genauigkeit untersucht. Bewertungskriterium waren dabei die Abweichungen, die sich bei den jeweiligen Methoden zwischen dem rechnerischen Zuschlag und dem tatsächlichen Zuschlag (= spezifischer Einzelverbrauch) ergeben. Näheres hierzu in Abschnitt 5.2.

Die vier betrachteten Methoden zur Bildung eines Leerstandszuschlags sind:

- die aktuelle Messwertmethode, bei der eine flächen- und zeitbezogene Gewichtung stattfindet;
- eine erweiterte Messwertmethode, die mit einer personenbezogenen Gewichtung ergänzt wird;
- eine Methode der Mittelwertbildung der Monate Juni-August;
- eine Pauschalwertmethode.

Mit der aktuellen Messwertmethode zur rechnerischen Leerstandskorrektur können relativ gute Ergebnisse erzielt werden. Alle betrachteten Fälle liegen in einer maximalen Abweichung von ±10 %. Etwa 90 % der untersuchten Szenarien besitzen eine maximale Abweichung von ±5 %, und etwa 75 % der untersuchten Szenarien besitzen eine maximale Abweichung von ±3 %.

Die aktuelle Messwertmethode kann über eine erweiterte Messwertmethode mit personengewichtetem Ansatz leicht verbessert werden. Bei diesem Ansatz liegen mehr Fälle nahe der 0 %-Abweichung und nur ein Fall von insgesamt 22 untersuchten Fällen außerhalb der ±5 % Grenze. Da für den Ansatz eine Erhebung mit möglichst exakten Angaben zur Personenzahl im Gebäude nötig ist, stehen die erzielten Verbesserungen bei den Resultaten nicht im Verhältnis zu dem zusätzlichen Erhebungsaufwand, außer die Bewohneranzahl wäre aus anderen Gründen schon bekannt.

Die Methode über die Mittelwertbildung der Monate Juni-August zeigt für das Gebäude in Frankfurt am Main, dass ein über diese Monate gebildeter Mittelwert genügt, der dicht an dem Jahresmittelwert liegt. In dem untersuchten Fall ist dies möglich gewesen, da die monatlichen Verbrauchswerte nicht signifikant schwanken. Im Vergleich zu der aktuellen Messwertmethodik würde sich der Aufwand zur Erfassung der Verbrauchswerte u. U. verringern. Allerdings verringert

eine kontinuierliche 36-monatige Erfassung der Verbrauchswerte die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Fehler die Durchschnittsbildung stark beeinflussen.

Ein genereller Pauschalansatz über eine spezifische Verbrauchsgröße resultierte in größeren Abweichungen zum tatsächlichen Leerstandszuschlag. Besonders bedenklich ist die hohe Anzahl an Überschätzungen des Zuschlags, was zu einer Überschätzung des Anteils des Wärmeverbrauchs für Warmwasser führt.

Zusammenfassend zeigt sich, dass mit der aktuellen Messwertmethode Leerstandszuschläge bestimmbar sind, die akzeptable Prognosen zu den tatsächlichen Verbräuchen darstellen. Gewisse Verbesserungen sind hier über ein personengewichtetes Verfahren möglich. Mit einem verkürzten Verfahren über die Erfassung der Sommermonate Juni bis August können ebenfalls Verbrauchswerte bestimmt werden, die nahe an den tatsächlichen Verbräuchen liegen, allerdings steigt hier die Wahrscheinlichkeit von Fehlern an. Als zu grob erwies sich die Methode der Zuschlagsermittlung über Pauschalwerte.

Heizwärme

Auch in Bezug auf die Heizwärme zeigen sich bei der Analyse des untersuchten Wohngebäudes deutliche Verbrauchsunterschiede bei den einzelnen Wohnungen, die von 3 kWh/(m²·a) bis zu 36 kWh/(m²·a) reichen. In den Monaten Mai bis September fallen im Gesamtgebäude nahezu keine Heizwärmeverbräuche an. Da das Wohngebäude mit nahezu Passivhausstandard realisiert wurde, lassen sich die Gruppe der niedrigen Verbrauchswerte über das besonders sparsame Verhalten der Nutzer begründen. Die hohen Verbrauchswerte sind dementsprechend auf ein (im Sinne des Verbrauchs) nicht optimales Verhalten der Nutzer zurückzuführen, das zu so genannten Rebound Effekten beim Gesamtenergieverbrauch im Gebäude führen kann.

Entsprechend der Bekanntmachung [1] und [2] wird zur Bestimmung des rechnerischen prognostizierten Leerstandszuschlags des Heizwärmeverbrauchs die Messwertmethode vorgegeben. Im Gegensatz zur Berechnungsmethode für Warmwasser wird hier ein pauschaler Abschlag von 0,5 einkalkuliert. Somit werden also nur 50 % des theoretisch bestimmten Leerstandszuschlags bei der Heizwärme einkalkuliert. Begründen lässt sich dies damit, dass in einem Gebäude mit einem Leerstand die weiterhin beheizten Nachbarwohnungen üblicherweise einen etwas höheren Energieverbrauch erfahren, da durch die angrenzenden Flächen gewisse Wärmeströme in die leerstehenden Teile des Gebäudes fließen. Die Nachbarn zum leerstehenden Gebäudeteil müssen also mehr heizen als bei einer Vollbelegung. Würde man bei Leerständen in Gebäuden bei der Korrektur der erfassten Verbräuche die Messergebnisse zu 100 % anstelle von 50 % berücksichtigen, könnten sich deutlich höhere korrigierte Verbräuche als bei Verbrauchsmessungen unter tatsächlicher Vollbelegung ergeben. Zu dieser Sicherheit wurde bei der Korrektur der Faktor 0,5 eingeführt, der den Aspekt der indirekten Mitbeheizung der leerstehenden Wohnung mitberücksichtigt. Allerdings zeigt sich für das untersuchte Wohngebäude, dass die Abweichungen zwischen den tatsächlichen Verbräuchen und den prognostizierten Werten – im Gegensatz zur Auswertung zum Warmwasser – zum Teil Abweichungen bis zu 40 % aufweisen. Daher wurde in Simulationen weiter überprüft, ob die Berücksichtigung von bestimmten Parametern eine deutlichere Verbesserung bei den rechnerischen Verbrauchszuschlägen erzielt. Diese Untersuchungen wurden beim Wohn- und beim Nichtwohngebäude durchgeführt. Die untersuchten Parameter sind:

- Gebäudestandort,
- Ausrichtung des Gebäudes,
- Wärmeschutzniveau,
- Mindestraumtemperatur,
- Ort des Leerstands im Gebäude.

Die Auswertungen der simulierten Wohn- und Nichtwohngebäude zeigen, dass der Gebäudestandort nur relativ geringen Einfluss auf die Abweichungen hat. Die jeweiligen Mittelwerte der drei untersuchten Standorte unterscheiden sich bei Wohngebäuden nur geringfügig um ca. 1 % und bei Nichtwohngebäuden um ca. 2 %. Daher wird dieser Parameter momentan nicht als relevant für eine Verbesserung der Leerstandskorrektur angesehen.

Auch die Ausrichtung des Gebäudes nach Nord-Süd versus West-Ost zeigt nur geringen Einfluss auf die Abweichung. Die jeweiligen Mittelwerte der beiden Gebäudeorientierungen unterscheiden sich bei Wohngebäuden nur geringfügig um ca. 1 % und bei Nichtwohngebäuden von nahezu 0 %. Daher wird momentan auch nicht empfohlen, diese Eigenschaft des Gebäudes für eine Verbesserung der Leerstandskorrektur zu berücksichtigen.

Bedeutend deutlicher hat das Wärmeschutzniveau Einfluss auf die Abweichung. Die jeweiligen Mittelwerte der drei Wärmeschutzniveaus unterscheiden sich bei Wohngebäuden um ca. 30 % und bei Nichtwohngebäuden um ca. 30 %. Es wird daher empfohlen, dieses Kriterium bei einer Verbesserung der Leerstandskorrektur zu berücksichtigen.

Ein weiterer Parameter mit hohem Einfluss auf die Abweichung ist die Mindestraumtemperatur. Die jeweiligen Mittelwerte der drei untersuchten Mindestraumtemperaturen unterscheiden sich bei Wohngebäuden um ca. 12 % und bei Nichtwohngebäuden um ca. 15 %.

Weiterhin zeigt sich auch bei den Untersuchungen zum Ort des Leerstands im Gebäude, dass eine Berücksichtigung dieses Parameters bei Nichtwohngebäuden zu einer Verbesserung von ca. 35 % führen könnte.

Abschließend wurden lineare Regressionen über eine Gruppe von Modellen mit identischen Mindestraumtemperaturen gebildet. Über die Information des spezifischen Heizwärmeverbrauchs des Gebäudes und der Mindestraumtemperatur kann so ein plausibler Faktor gebildet werden, der unabhängig vom Wärmeschutzniveau, Standort des Gebäudes, Ausrichtung des Gebäudes und Ort des Leerstands im Gebäude, einen verbesserten Leerstandszuschlag erlaubt. Dies wurde separat für Wohngebäude und Nichtwohngebäude durchgeführt.

Strom

Bei den folgenden Fällen sollten die Stromverbrauchdaten bei der Verbrauchsausweiserstellung für Nichtwohngebäude rechnerisch korrigiert werden:

- Bei Datenlücken aufgrund nur teilweise zugänglicher Verbrauchsdaten;
- Bei teilweisem längeren Leerstand des Gebäudes;
- Eine Kombination der oben genannten Fälle.

Der erster Fall tritt laut der aktuellen Bekanntmachung dann ein, wenn bei einem Nichtwohngebäude mit mehreren vermieteten Nutzungseinheiten, bei dem der Energieverbrauch für Beleuchtung über separate Stromzähler für die Nutzungseinheiten jeweils getrennt erfasst wird, dem Eigentümer oder dem Energieausweisaussteller für die Einbeziehung des Stromverbrauchs für die Beleuchtung nicht alle erforderlichen erfassten Daten vorliegen (z. B. aufgrund von Nutzerwechseln). Es kann jedoch auch vorkommen, dass die separaten Stromzähler weitere Verbrauchsdaten zusätzlich zum Verbrauch für Beleuchtung erfassen.

Für die Untersuchung der Einflussgrößen auf den Beleuchtungsstrom wurde ein Berechnungsmodell auf Basis der Energiebilanz nach der DIN 18599 für das Modellgebäude Rheinstraße (NWG) aufgestellt. Da alle relevanten Parameter bereits bei einer Energiebilanz nach genannten DIN berücksichtigt werden, konnte hierdurch die Auswirkung der Einflussgrößen ausreichend quantifiziert werden (vgl. Abschnitt 7.1).

Je differenzierter die baulichen (Fenster, Überhänge etc.) und anlagentechnischen (Beleuchtung, Sonnenschutzeinrichtungen usw.) Gegebenheiten der einzelnen Nutzungseinheiten sind, desto höher können unter Umständen die Abweichungen zwischen rechnerischen und tatsächlichen Beleuchtungsverbräuchen ausfallen. Diese Diskrepanz kann sich verschärfen, wenn die separaten Stromzähler weitere Verbrauchsdaten zusätzlich zum Verbrauch für Beleuchtung erfassen. Insbesondere, wenn sich die fehlenden Verbrauchsdaten auf die Verbraucher beziehen, die saisonal (z. B. dezentrale Klimaanlage) eingesetzt werden.

Es wird bislang in der aktuellen Bekanntmachung verlangt, dass im Rahmen der Erstellung des Energieverbrauchsausweises 70 % der erforderlich erfassten Datensätze vorhanden sind (Datensatz = erfasster Stromverbrauch von zwölf aufeinander folgenden Monaten). Aufgrund der Erkenntnisse dieser Untersuchung wird empfohlen, als ergänzende Anwendungsbedingung festzulegen, dass mindestens ein lückenloser Datensatz zur Abschätzung des Stromverbrauchs vorhanden ist, der sich auf die fehlenden Nutzeinheiten bezieht.

Der bislang für den Stromverbrauch bei Nichtwohngebäude in der Bekanntmachung enthaltene Ansatz konnte dennoch bestätigt werden – eine bessere Herangehensweise, deren Aufwand vertretbar ist und die den Anwendungsbereich nicht unangemessen weiter einschränkt, konnte jedenfalls nicht identifiziert werden.

Leerstandsgrenzen

Bei der Untersuchung der Simulationsmodelle haben sich die aktuellen Betrachtungsgrenzen bei Leerständen der Leerstandsfaktoren von 0,05 bis 0,30 als sinnvoll dargestellt. Überschreitungen dieser Begrenzung durch größere Leerstandsanteile wie z. B. 0,66, führten zu deutlich größeren Abweichungen.

2 Summary

This study examines the existing procedures and assumptions that apply for the considering vacancies in buildings when issuing a consumption-based certificate in accordance with § 19 of the German Energy Saving Ordinance. Relevant regulations in this case are the Official Bulletins for consumption-based certificates for residential buildings [1] and non-residential buildings [2].

The study focused on residential and non-residential buildings. The source of information provided the building in Frankfurt am Main and the building in Rheinstraße 65 in Darmstadt. The study related to the consumption of electricity and heat. The heat consumption was further divided in energy demand to provide hot water and heating. In the first step, the study examines actually collected data of the consumption of the buildings. Furthermore, the results of models allowed answering specific question regarding space heating. The study is based on simulations of a residential and an office building with various setting of vacancies and boundary conditions.

The following findings are:

Hot water

The data analysis of the hot water shows that this value differs significantly from 4 kWh / (m² · a) to 35 kWh / (m² · a), depending on the specific apartment. However, the energy consumption of all residential apartments in the building is relatively steady per month, with only slight increases in the winter months. The further assessment uses these specific individual consumptions per apartment and the total consumption in the building as data. The applied methods in the assessment aim to predict consumptions assuming specific hot water consumption is not existing due to vacancy of single apartments. For the determination of the vacancy surcharge for hot water, the current standard [1] requires the application of the so-called Reading Value method. In addition to this typical method, the study examined three addition methods with regard to applicability and accuracy. The evaluation criterion was the deviations that result from the respective methods between the calculated surcharge and the actual surcharge (= specific individual consumption). For further information, see section 5.2. The four consider methods for forming a vacancy surcharge are:

- the current Value-Reading method, which is based on area and time-related weighting;
- an extended Reading Value method, supplemented by a inhabitant weighting;
- a method of Building a Mean Value using data of the months June-August;
- a lump sum method.

Relatively good results are possible to generate with the current Reading value method for computational vacancy correction. All considered cases are within a maximum deviation of ±10 %. Approximately 90 % of the studied scenarios have a maximum deviation of ±5 % and about 75 % of the studied scenarios have a maximum deviation of ±3 %.

The current Value-Reading method can be easily improved by an extended measured value method with an inhabitant-weighted approach. In this approach, more cases are closer to the 0 % deviation, and only one case of 22 studied cases is outside the ±5 % limit. Since this approach requires a survey with the good data regarding the number of inhabitant in the building, the better results obtained do not justify the additional effort, except that the number of inhabitants is already known for other reasons.

The method of Building a Mean Value of the months June-August shows for the building in Frankfurt am Main that this mean value is close to the actual annual average. This has been possible in the case examined because of overall relatively steady monthly consumption values. Compared to the current Reading method, the effort for recording the consumption values potentially declines. However, a continuous 36-month recording of the consumption values reduces the likelihood that individual errors will strongly affect the mean value.
A general flat-rate approach over a specific consumption factor resulted in major deviations from the actual vacancy

surcharge. This is serious as an overestimated surplus of the share of heat consumption for hot water reduces the share of considered heating that is adjusted of its climate.

In summary, the current measurement method is reasonable to calculate acceptable predictions of actual consumption. An inhabitant-weighted method further improves theses values. With a shortened procedure on the recording of the summer months June to August, consumption values can also be determined that are close to the actual consumption, but the probability of errors increases here. The method of determination of the aggregate value was too crude.

Heating

The assessment of the consumption for space heating of the residential building also shows significant differences depending on the apartment. The values range from 3 kWh/(m²·a) to 36 kWh/(m²·a). There are almost no consumptions for space heating in the building from the months of May to September. Since the building is constructed to almost Passive House Standard, the group of considerably low energy consumption is presumably the result of economical user behavior. On contrary the relatively high energy consumption is closely linked to more wasteful behavior of the users.

According to the notice [1], the Value-Reading method applies to determine the necessary surcharges for the heat consumption of the vacant space. In contrast to the calculation method for hot water, a factor of 0.5 is applied. This results in a 50 % reduction of the theoretically determined vacancy surcharge for the space heating. The reason for this is that neighboring apartments of vacant spaces usually experience somewhat higher energy consumption, since certain heat flows into the vacant parts of the building through the adjoining surfaces. The neighbors to the empty building part must therefore heat more than in case of a fully occupied building. Applying a 100 % instead of 50 % as factor for the correction of the energy consumption during vacancy would predict considerably higher energy consumption for heating for a fully occupied building.to balance this, the factor of 0.5 is used, which takes into account the indirect heating of the vacant apartment.. In contrast to the evaluation of the hot water, the deviations between the actual consumptions and the projected values of space heating show larger deviations of up to 40%. Consequently, further simulations examined whether the consideration of certain parameters will result in a clearer improvement in the calculated surcharges. This has been done for residential and non-residential buildings. The considered parameters are:

- Building location;
- Orientation of the building;
- Heat protection (thermal resistance of envelope);
- Minimum room temperature;
- Location of vacancy in the building.

The analysis of the simulated residential and non-residential buildings shows that the building location has only a relatively little influence on the deviations. The mean values of the three considered locations only differ by about 1 % for residential and 2 % for non-residential buildings. Consequently, this parameter is currently not considered as a relevant improvement to the existing approach.

The orientation of the building of North-South versus East-West also shows only minor influence on the deviation. The mean values of the two considered orientations only differ by about 1 % for residential and almost 0 % for non-residential buildings. Consequently, this parameter is currently not considered as a relevant improvement to the existing approach.

The level of heat protection has a significantly higher effect on the deviation. The mean values of the two considered orientations differ by about 30 % for residential and 30 % for non-residential buildings. Consequently, this parameter needs to be considered in further improvements.

A parameter with a high influence on the deviation is the minimum room temperature. The mean values of the three considered orientations differ by about 12 % for residential and 15 % for non-residential buildings. Consequently, this parameter needs to be considered in further improvements.

In addition, considering the location of vacancy in the building can cause an improvement of approx. 35 %.
Finally, the generation of linear regressions over a group of models with identical minimum-space temperatures allows factors that are more plausible. The improved factors are based on the specific heat consumption of the building and the minimum room temperature. They consider the level of heat protection, location of the building, orientation of the building and location of the vacancy in the building.

Electricity consumption for lighting in case of missing data

A correction of the electrical energy consumption for the consumption-based certificate is necessary if the following cases apply:

- In case of data gaps due to partially accessible consumption data;
- In case of partial longer vacancy of the building;
- A combination of the above cases.

According to the current consumption-based certificate, the first case occurs for a non-residential building with several leased units, when the electricity consumption for lighting is separately recorded for the units of use but documentation gaps in the records exist (e.g. due to user switching). However, it is also possible that separate electricity meters for lighting exist but additional consumption for other appliances than lighting are also recorded.

The assessment regarding the influences on the energy consumption due to lighting is based on a model according to the DIN 18599 for the model building Rheinstraße (NWG). Since all relevant parameters are already taken into account in an energy balance in this DIN, the effect of the influencing variables can be sufficiently quantified (see chapter 7.1).

The more differentiated the structural elements (windows, overhangs etc.) and technical equipment (lighting, sun protection devices, etc.) of the specific usage units are, the higher the deviations between arithmetic and actual lighting consumption. This discrepancy can intensify if the separate electricity meters record additional consumption data besides lighting. In particular, when the missing consumption data relates to the appliances that are used seasonally (e.g. decentralized air conditioning).

It is hitherto required that 70% of the required data records are available during the compilation of the energy consumption certificate (one data record = recorded electricity consumption for twelve consecutive months). Based on the results of this study, we recommend as additional pre-requisite at least one complete data set of the missing usage unit to be able to estimate the missing lighting consumption.

Generally, it was possible to confirm the existing approach that applies for the considering vacancies in buildings when issuing electricity consumption-based certificates. A better approach which justifies higher expenditure and which does not considerably restrict the scope could not be identified.

Vacancy limit

The current limits for vacancies of the vacancy factors from 0.05 to 0.30 proved to be useful in the examined simulation models. Exceeding this limit caused considerably larger deviations.

3 Problem- und Aufgabenstellung

3.1 Problem- und Aufgabenverständnis

Die geltende Energieeinsparverordnung sieht in § 19 für Verbrauchsausweise vor, dass bei der Ermittlung des Energieverbrauchs „längere Leerstände rechnerisch angemessen zu berücksichtigen“ sind. Hierzu „ist ein den anerkannten Regeln der Technik entsprechendes Verfahren anzuwenden.“ Gegenwärtig ist zur rechnerischen Leerstandskorrektur in den Bekanntmachungen sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude ein überschlägiges, vom BBSR entwickeltes Verfahren beschrieben.

Ein wichtiges Ziel der bestehenden Verordnung ist es, mit möglichst geringem Aufwand Verbrauchsaufschläge zu ermitteln, die durch Leerstände entstehen. Diese Methodik soll bei möglichst vielen Gebäuden anwendbar sein. Aufgrund der Komplexität und der Heterogenität von Gebäuden bestehen allerdings Grenzen der Anwendbarkeit einer allgemein formulierten Verordnung, und Zuschläge können nur mit einem gewissen Fehler prognostiziert werden. Es wurde daher untersucht, ob die folgenden grundsätzlichen Parameter Einfluss auf die Verbräuche bei Leerständen haben:

- Gebäudestandort: Es wurde vermutet, dass sich der Leerstand einer Wohnung in einer kalten Region in Deutschland anders auswirkt als der Leerstand in einer eher milden Region.
- Wärmeschutzniveau: Es wurde vermutet, dass in unsanierten Altbauten die leerstehenden Wohnungen stärker auskühlen, da in diesen Bauten ein höherer Wärmestrom durch die Gebäudehülle stattfindet als in Gebäuden mit Hüllen die gut gedämmt sind. Als Folge finden in den leerstehenden Wohnungen in Altbauten auch größere Wärmeströme durch die Wände zu den Nachbarwohnungen statt, weshalb ein höherer Wärmeverbrauch in den Nachbarwohnungen stattfindet.
- Ausrichtung des Gebäudes: Erneut wurde vermutet, dass leerstehende Wohnungen, die nach Süden ausgerichtet sind, sich anders auf den Wärmeverbrauch des Gesamtgebäudes auswirken, als Wohnungen, die nach Norden orientiert sind.
- Mittlere Raumtemperatur (Heizfall): Der Heizwärmeverbrauch hängt deutlich von der Wunschtemperatur im Innenraum ab. Es wurde vermutet, dass sich – ähnlich dem Parameter Gebäudestandard – durch die Wunschtemperatur in den lateralen Räumen zu der leerstehenden Wohnung höhere oder niedrigere Wärmeströme einstellen werden.

Neben diesen grundsätzlichen Parametern zum Gebäude wurde untersucht, ob die folgende Eigenschaft eines Leerstandes den Verbrauch beeinflusst:

- Ort des Leerstands im Gebäude: Es wurde vermutet, dass leerstehende Wohnungen / Nutzeinheiten mit hohem Hüllflächenanteil einen höheren Wärmeverbrauch im Gesamtgebäude bewirken im Vergleich zu Wohnungen / Nutzeinheiten mit geringem Hüllflächenanteil. Ebenfalls wurde hier vermutet, dass sich unterschiedliche Temperaturen in den leerstehenden Wohnungen einstellen.

Hierfür wurden Modelle erstellt und in Simulationen untersucht. Deren Ergebnisse wurden mit den Zuschlägen verglichen, die sich nach der aktuellen rechnerischen Methode ergeben. Es wurden unterschiedlichste Randbedingungen angenommen, um ein möglichst breites Spektrum an Gebäudekonfigurationen abzudecken. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Verbesserungsvorschläge erarbeitet und die Grenzen einer hinreichend validen Anwendbarkeit überprüft. Ebenfalls untersucht und verbessert wurde das Verfahren zur Hochrechnung von nur teilweise bekannten Verbräuchen bei der Betrachtung von Energieverbräuchen der Beleuchtung von Nichtwohngebäuden. Abschließend wurde die Übertragbarkeit der Erkenntnisse bei Mehrfamilienhäusern auf Einfamilienhäuser beleuchtet.

3.2 Allgemeines methodisches Vorgehen

Es wurden grundsätzlich real erhobene Verbrauchswerte von Gebäuden zur Untersuchung der bestehenden rechnerischen Leerstandskorrektur in Bezug auf Energieverbrauch verwendet. Dabei wurden die Mengen zu Warmwasser, die verbrauchte Heizwärme und der Stromverbrauch berücksichtigt. Diese zum Teil sehr detaillierten Informationen über den Verbrauch in einzelnen Wohnungen und Gebäudeabschnitten erlauben Annahmen zu möglichen Verbräuchen bei Teil-

leerständen. Es konnten daher Leerstände in den Gebäuden hypothetisch angenommen und entsprechende Verbräuche bestimmt werden. Diese Resultate wurden dann mit den Ergebnissen der aktuellen Berechnungsmethode zur Leerstandskorrektur verglichen. Eine detaillierte Beschreibung dieser Methode findet sich in Abschnitt 5.

Da der Verbrauch der Heizwärme durch komplexere Vorgänge beeinflusst ist, wurde als Ergänzung zu den Untersuchungen mit realen Daten eine zweite Methode mit einer dynamischen Gebäudesimulation durchgeführt. Hiermit wurde ein synthetischer Datensatz entwickelt, bei dem die Parameter in der Software klar vorgegeben werden konnten. Die Modelle der Wohn- und Nichtwohngebäude in der Software basieren auf realen Gebäudeinformationen. Es wurden Gebäudeeigenschaften und Rahmenbedingungen so verändert, dass eine Vielzahl an Gebäudeausprägungen entstand. Die Ergebnisse wurden ebenfalls mit den Resultaten verglichen, die entsprechend der bestehenden Methode zur Leerstandskorrektur erwartet werden. Mit der Gebäudesimulation konnten die thermischen Effekte nachgebildet werden, die sich infolge von Wärmeströmen durch die Innenbauteile in einem Gebäude zu den leerstehenden Räumen im Gebäude ergeben.

Die Unterscheidungsmerkmale der Grundszenarien sind Standort, Wärmeschutzniveau, Ausrichtung und Wunschtemperatur im Innenraum.

- Es wurden folgende drei Standorte in Deutschland gewählt und die Wetterprofile der Referenzjahre von NREL[1] in der Form „Typical Meteorological Year Format 2“ verwendet:
    - Potsdam als genereller Referenzstandort,
    - Bremen als milder Standort,
    - München als kalter Standort.
- Es wurden folgende drei Wärmeschutzniveaus verwendet, die sich durch eine Abstufung in den Dämmstärken der Außenbauteile und in der Qualität der Fenster unterscheiden:
    - ein Modell in Anlehnung an Passivhausstandard,
    - ein Modell in Anlehnung an die EnEV 2009,
    - ein Modell in Anlehnung an unsanierten Altbaustandard.
- Bei der Gebäudeorientierung wurde folgende Ausrichtungen gewählt:
    - eine Nord-Süd Ausrichtung,
    - eine Ost-West Ausrichtung.
- Das Kriterium der Wunschtemperatur im Innenraum kann nur vereinfacht ein Nutzerverhalten widerspiegeln und wird in Abschnitt 8.4.2 näher erläutert. Es wurden folgende Wunschtemperaturen für den Innenraum berücksichtigt:
    - 19 °C, das einem sparsamen Nutzerverhalten entspricht,
    - 21 °C, das einem typischen Nutzerverhalten entspricht,
    - 23 °C, das einem verschwenderischen Nutzerverhalten entspricht.

Diese Parameter lassen sich wie in der Abb. 1 dargestellt zu 54 Grundszenarien sowohl für das Wohngebäude als auch für das Nichtwohngebäude kombinieren.

[1] National Renewable Energy Laboratory

Szenariomatrix (X=untersuchter Fall)			Standort und Wärmeschutzstandard								
			Bremen			Potsdam			München		
			unsaniert	EnEV2009	nahe PH	unsaniert	EnEV2009	nahe PH	unsaniert	EnEV2009	nahe PH
Ausrichtung und Wunsch-temperatur	Nord-Süd Ausrichtung	19°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		21°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		23°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ost-West Ausrichtung	19°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		21°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		23°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abb. 1: In der Szenario-Matrix sind die untersuchten Kombinationen der vier untersuchten Hauptparameter dargestellt

Innerhalb jedes Grundszenarios wurden verschiedene Fälle von örtlichem Leerstand betrachtet, die von dispersen Einzelleerständen über Leerständen in Zonen bis hin zu geschossweisem Leerstand reichen. Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens bei dieser Methode findet sich in Abschnitt 8. Beispielhaft sollen hier nur die Fälle für das Erdgeschoss im Wohngebäude als Leerstandsmatrix in Abb. 2 gezeigt werden, da eine detaillierte Beschreibung in den jeweiligen Abschnitten für das Wohn- und das Nicht-wohngebäude in Abschnitt 8.3 folgt.

Auszug Leerstandsmatrix (X = leerstehende Zone)	Wohnung_1	Wohnung_2	Wohnung_3	Wohnung_4
Leerstand einzelner Wohnungen/Nutzungen	X			
		X		
			X	
				X
Leerstand benachbarter Wohnungen/Nutzungen	X	X		
			X	X
Leerstand Geschoss	X	X	X	X

Abb. 2: Auszug aus der Leerstandsmatrix für die Fälle im Erdgeschoss beim Wohngebäudemodell

Ziel bei beiden Methoden ist es, Leerstandssituationen möglichst realistisch zu generieren und deren Verbrauchswerte mit Werten zu vergleichen, die durch die aktuelle rechnerische Methode der Leerstandskorrektur entstehen. Für eine leichtere Handhabung wurde ein Werkzeug basierend auf Microsoft Excel entwickelt, mit dem man die Leerstandszuschläge entsprechend der bestehenden Verordnung bestimmen kann. Beispiele solcher Berechnungen sind im Anhang in Abschnitt 11.3 gezeigt. Neben allgemeinen Angaben zum Gebäude werden Leerstandsflächen und -zeiträume eingetragen, und die so ermittelten Leerstandsfaktoren führen zu den so genannten Leerstandszuschlägen. Mit diesen Ergebnissen lässt sich die in Abb. 3 dargestellte Zusammenfassung erzeugen, die hier im Format eines Energieausweises abgebildet ist.

Verbrauchserfassung									
Bezeichnung	Zeitraum		Energie-träger	Primär-Energie-faktor	Energie-Verbrauch Wärme	Anteil Warm-wasser	Anteil Heizung	Klimafaktor	Energie-Verbrauch Strom
[-]	von	bis	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]
Wärme	01.01.2013	01.01.2016	Erdgas	1,1	231.188		231.188	1,21	
Leerstands-zuschlag (Wärme)	01.01.2013	01.01.2016	Erdgas	1,1	7.479		7.479	1,21	
Strom	01.01.2013	01.01.2016	allgemeiner Strommix	1,8					59.354
Leerstands zuschlag (Strom)	01.01.2013	01.01.2016	allgemeiner Strommix	1,8					7.318

Abb. 3: Auswertung des Vergleichswerkzeugs entsprechend der Vorlage eines Energieausweises

4 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Gebäude

Bei der Bearbeitung der Studie wurden in Absprache mit dem Auftraggeber die folgenden zwei Häuser als Modellgebäude herangezogen:

- ein Mehrfamilienhaus in Frankfurt am Main und
- ein Bürogebäude in Darmstadt in der Rheinstraße 65.

4.1 Wohngebäude in Frankfurt am Main

Das Mehrfamiliengebäude in Frankfurt am Main wurde in mehreren Studien durch das IWU ausgewertet und dokumentiert. Das Gebäude wird hier im Bericht im Folgenden als Wohngebäude in Frankfurt am Main bezeichnet. Zur Bearbeitung der Forschungsfragen standen erhobene Verbrauchsdaten und Analysen von diesem Gebäude zur Verfügung. Maßgeblich wurden vier wissenschaftliche Begleitberichte zu diesem Gebäude genutzt. Diese sind: ein Teilbericht zur Planungsphase und dem Null-Emissions-Konzept [3], ein Teilbericht Dokumentation der Bauphase [4], ein Bericht über die Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle [5] und ein Teilbericht zur Mieterbefragung zum Wohnverhalten im Passivhaus und zur Akzeptanz des Warmmietenmodells [6]. Das Gebäude ist Teil einer größeren Wohnsiedlung. Wie in Abb. 4 dargestellt, ist es in der Ausrichtung nur leicht aus der Nord-Süd Achse gedreht. In den Modellen wird vereinfacht eine direkte Nord-Süd-Ausrichtung angenommen.



Abb. 4: Lageplan Gebäude Frankfurt am Main

Das Gebäude ist ein sanierter Altbau, dessen Hüllflächeneigenschaften nahezu Passivhaus-Standard entsprechen. Dies wird auch an der markanten, rotmarkierten Dämmstärke im Grundriss und im Schnitt in Abb. 5 erkennbar. Weitere detaillierte Informationen zur Baukonstruktion und zur Gebäudetechnik finden sich in den oben genannten Berichten.

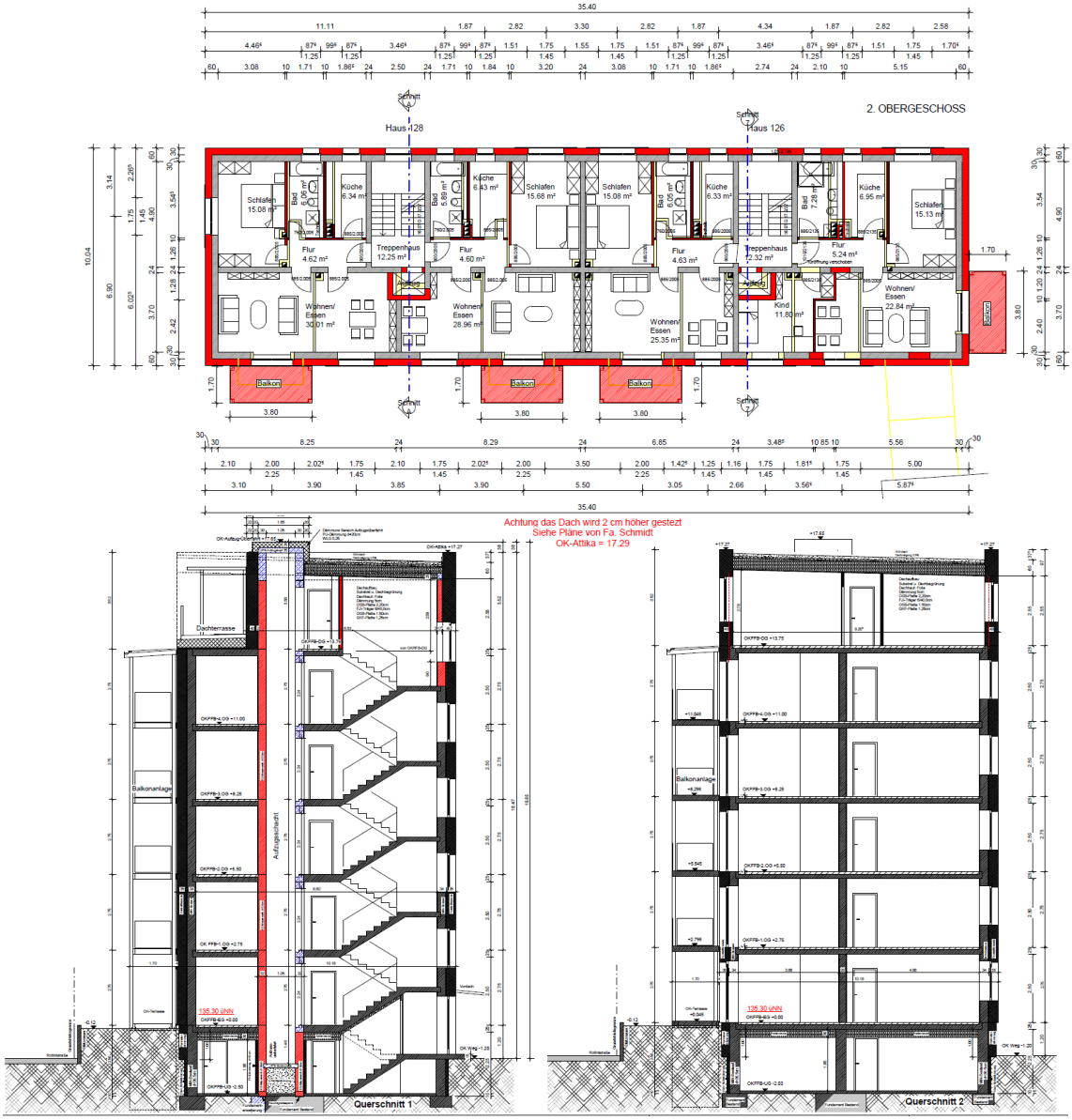


Abb. 5: Grundriss und Schnitt des Gebäudes in Frankfurt am Main

Wie in Abb. 6 dargestellt, besitzen die Wohnungen im Gebäude in Frankfurt am Main unterschiedliche Größen. Dies wurde bei der Datenauswertung berücksichtigt. Die im folgenden Abschnitt repräsentierten Datenauswertungen sind üblicherweise nach dem Schema „Geschoss-Hausnummer-Lage“ bezeichnet worden (z. B. EG_6_L).

Fläche [m²]				
-	Gebäude 6		Gebäude 8	
	links	rechts	links	rechts
5.DG	-	102	105,9	-
4.OG	82,9	65,3	75,5	74,4
3.OG	82,9	65,3	75,5	74,4
2.OG	82,9	65,3	75,5	74,4
1.OG	82,9	65,3	75,5	74,4
0.EG	82,9	65,3	75,5	74,4
KG	300			

Abb. 6: Flächen der Wohnungen im Gebäude in Frankfurt am Main

4.2 Nichtwohngebäude Rheinstraße

Im Bereich der Nichtwohngebäude wurde ein reales mehrgeschossiges Bürogebäude in Darmstadt mit der Adresse Rheinstraße 65 gewählt. Das Gebäude wird im Folgenden hier im Bericht als Nichtwohngebäude Rheinstraße bezeichnet.

Das im Jahr 1962 erbaute Verwaltungsgebäude besitzt drei Vollgeschosse mit Flachdach und ein Kellergeschoss. Im Kellergeschoss befinden sich hauptsächlich die Archiv- und Abstellträume sowie Räume für Heiztechnik. Des Weiteren befindet sich im 2. OG ein ca. 210 m² großer Versammlungssaal.

Im Jahr 2011 wurde das Gebäude auf Basis des Passivhausstandards saniert. Beim Sanierungskonzept wurde dem Wärme- und Schallschutz besondere Bedeutung beigemessen. Kennzeichnend sind die hervorragend gedämmte Gebäudehülle, hochwertige Schallschutzfenster, die Lüftungsanlage mit hochgradiger Wärmerückgewinnung, energieeffiziente Beleuchtungsanlagen sowie energiesparende Bürogeräte. Jalousien mit automatischer Steuerung in Abhängigkeit von Sonneneinstrahlung bzw. Anwesenheit der Nutzer sowie Nachtlüftung mit motorisch kippbaren Fenstern stellen kühle Räume im Sommer sicher. Nach der Sanierung existieren im Erdgeschoss die Sitzungsräume, Foyer und eine große Bibliothek. In allen anderen Etagen sind die Büroräume untergebraucht.



Bauteil	U-Wert [W/(m²*K)]
Dach	0,085
Wand	0,11
Kellerdecke	0,23

Abb. 7: Süd-Ansicht sowie allgemeine Wärmedurchgangskoeffizienten des Modellgebäudes in der Rheinstraße

Zur Bearbeitung der Forschungsfragen standen erhobene Verbrauchsdaten und Analysen von diesem Gebäude zur Verfügung. Sie stammen maßgeblich aus den Monitoring-Untersuchungen des folgenden Berichtes:

- IWU-Haus – Monitoring & Betriebsoptimierung, Behrooz Bagherian, Rolf Born, Margrit Schaede, Institut Wohnen und Umwelt, 2016

Das Gebäude Rheinstraße ist in der Orientierung etwas aus der Nord-Süd Achse gedreht. In den Modellen in Abschnitt 8 wird vereinfacht eine direkte Nord-Süd-Ausrichtung angenommen. Das Gebäude ist ein sanierter Altbau, dessen Hüllflächeneigenschaften nahezu Passivhaus-Standard entsprechen. Dies wird auch an der markanten Dämmstärke im Grundriss und im Schnitt in Abb. 8 und in Abb. 9 erkennbar. Weitere detaillierte Informationen zur Baukonstruktion und zur Gebäudetechnik finden sich in dem oben genannten Bericht zu diesem Gebäude

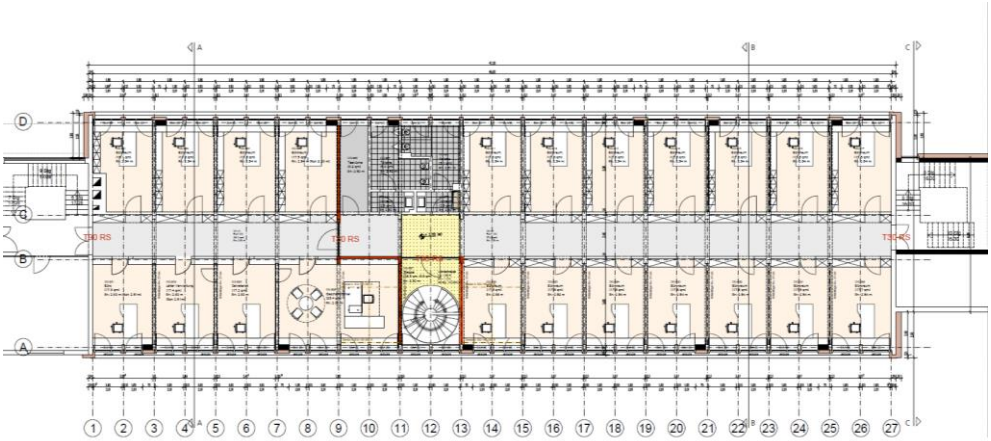


Abb. 8: Grundriss des Gebäudes Rheinstraße 65

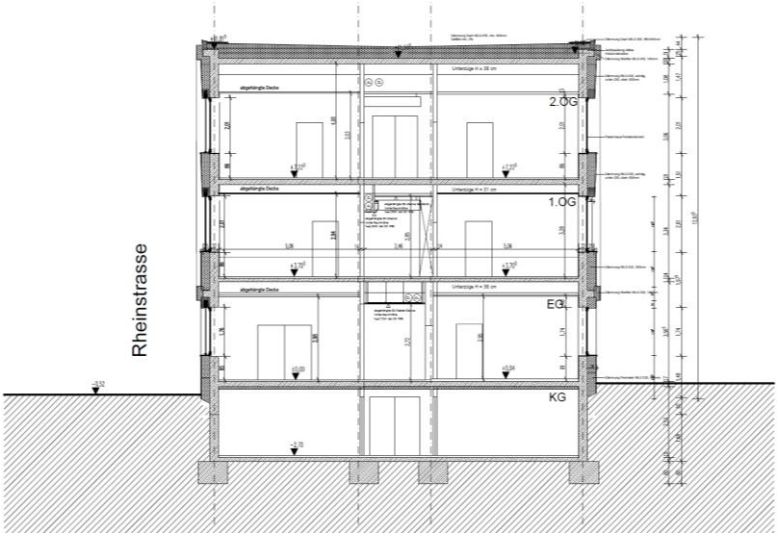


Abb. 9: Schnitt des Gebäudes Rheinstraße 65

Abb. 10 zeigt die Aufteilung der Geschosse in einzelne Zonen in ähnlichen Größen. Für die Bezeichnung der Zonen sind üblicherweise die Nomenklatur „Geschoss Spalte-Zeile“ (z.B. EG_11) verwendet. In Abb. 10 sind diese Bezeichnungen in Klammer dargestellt.

	1	2	3
3	79,2 m² (31)	79,2 m² (32)	79,2 m² (33)
2	36,0 m² (21)	36,0 m² (22)	36,0 m² (23)
1	79,2 m² (11)	79,2 m² (12)	79,2 m² (13)

Abb. 10: Flächen der Zonen im Gebäude Rheinstraße 65

5 Datenauswertung Wohngebäude

Bei der Datenanalyse wurden die im Gebäude Frankfurt am Main erhobenen Verbrauchswerte ausgewertet. Dabei wurden die Datensätze plausibilisiert und in Teilbereichen mit sinnvollen Werten ergänzt, falls Datenlücken bestanden oder Werte nicht nachvollziehbar waren. In diesem Abschnitt werden die folgenden beiden Begriffe in Bezug auf die Verbrauchsdaten verwendet:

- Tatsächliche Verbrauchswerte entsprechend den Angaben, die in Form von Messwerten in der Frankfurt am Main als Verbrauch für Warmwasser und Heizwärme erhoben wurden
- Hypothetische Verbrauchswerte basieren auf der Annahme, dass ein Teil der Wohnungen im Gebäude leer stehen würde. Nur die Verbräuche in den weiterhin belegten Wohnungen werden summiert. Dies sind fiktive Szenarien, die in der Realität so nicht gemessen wurden. Zu beachten ist, dass dies sehr wahrscheinliche Szenarien in Bezug auf den Warmwasserverbrauch darstellen. Beim Heizwärmeverbrauch finden bei Leerständen noch weitere komplexere Wärmeströme im Gebäude statt, weshalb diese in Abschnitt 8 mit Simulationen detaillierter simuliert wurden.

5.1 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Warmwasser

In einem ersten Schritt wurde der tatsächliche Verbrauch an Wärme bestimmt, der im Gebäude Frankfurt am Main pro Quadratmeter für die Bereitstellung von Warmwasser entsteht. Wie in Abb. 11 dargestellt, zeigt sich gesamt gesehen ein relativ konstanter durchschnittlicher Verbrauch mit leichten Erhöhungen in den kalten Monaten. Zur Bestimmung des Energieverbrauchs wurden die erhobenen Warmwassermengen je Wohnung genutzt und mit den durchschnittlichen Temperaturunterschieden im Vor- und Rücklauf des Warmwasserspeichers verrechnet. Es zeigt sich, dass im monatlichen Durchschnitt etwa 1 kWh, bzw. jährlich 12,1 kWh pro Quadratmeter Wohnungsfläche benötigt wird. Bei einer Gesamtfläche von 1698 m² ergibt sich im Jahr so ein totaler tatsächlicher Verbrauch zur Bereitung des Warmwassers von 20,4 mWh.

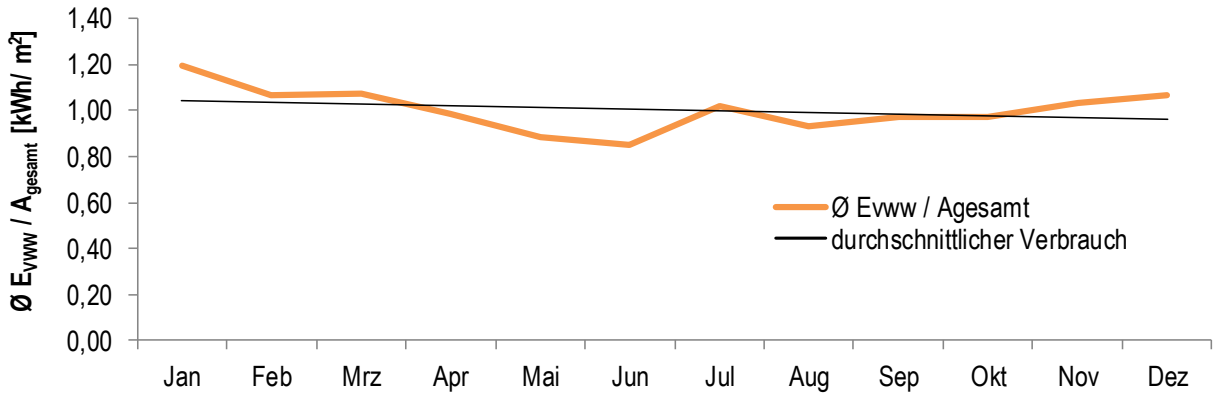


Abb. 11: Durchschnittlicher monatlicher Wärmeverbrauch pro Quadratmeter für die Bereitung von Warmwasser im gesamten Gebäude in Frankfurt am Main

In einem zweiten Schritt wurden die erhobenen Daten für Warmwasser des Gebäudes detailliert analysiert. In Abb. 12 sind die Wohnungen des Gebäudes Frankfurt am Main im Schnitt dargestellt. Die dunkelblauen Balkendiagramme stellen die unterschiedlichen monatlichen tatsächlichen Verbrauchswerte in den Wohnungen für das Jahr 2013 dar. Die nummerischen Angaben beziehen sich auf den tatsächlichen jährlichen Verbrauch pro Quadratmeter der jeweiligen Wohnung. Zu beachten ist hier, dass die Wohnungen unterschiedliche Flächen besitzen.

Bei der detaillierteren Betrachtung zeigt sich, dass sich in den meisten Fällen, auf die einzelne Wohnung bezogen, über das Jahr hinweg relativ geringe monatliche Unterschiede im Verbrauch von Warmwasser ergeben. Bei einer Reihe von Wohnungen sind leichte Erhöhungen im Verbrauch während der kälteren Monate erkennbar, allerdings gilt dies nicht für alle Wohnungen im gleichen Maße. Bei einer Mehrzahl von Wohnungen bestehen Zusammenhänge beim Warmwasserverbrauch und der Anzahl an Personen im Haushalt. In Wohnungen, in denen nachweislich mehr als eine Person lebt, entstehen häufiger höhere Verbräuche.

In vier Fällen konnte nicht die exakte Personenbelegung ermittelt werden. Weiterhin konnte auch kein Profil der Nutzer ermittelt werden, das einen Rückschluss zulässt, ob die gemeldete Anzahl der Personen mit der dort lebenden Personenanzahl übereinstimmt.

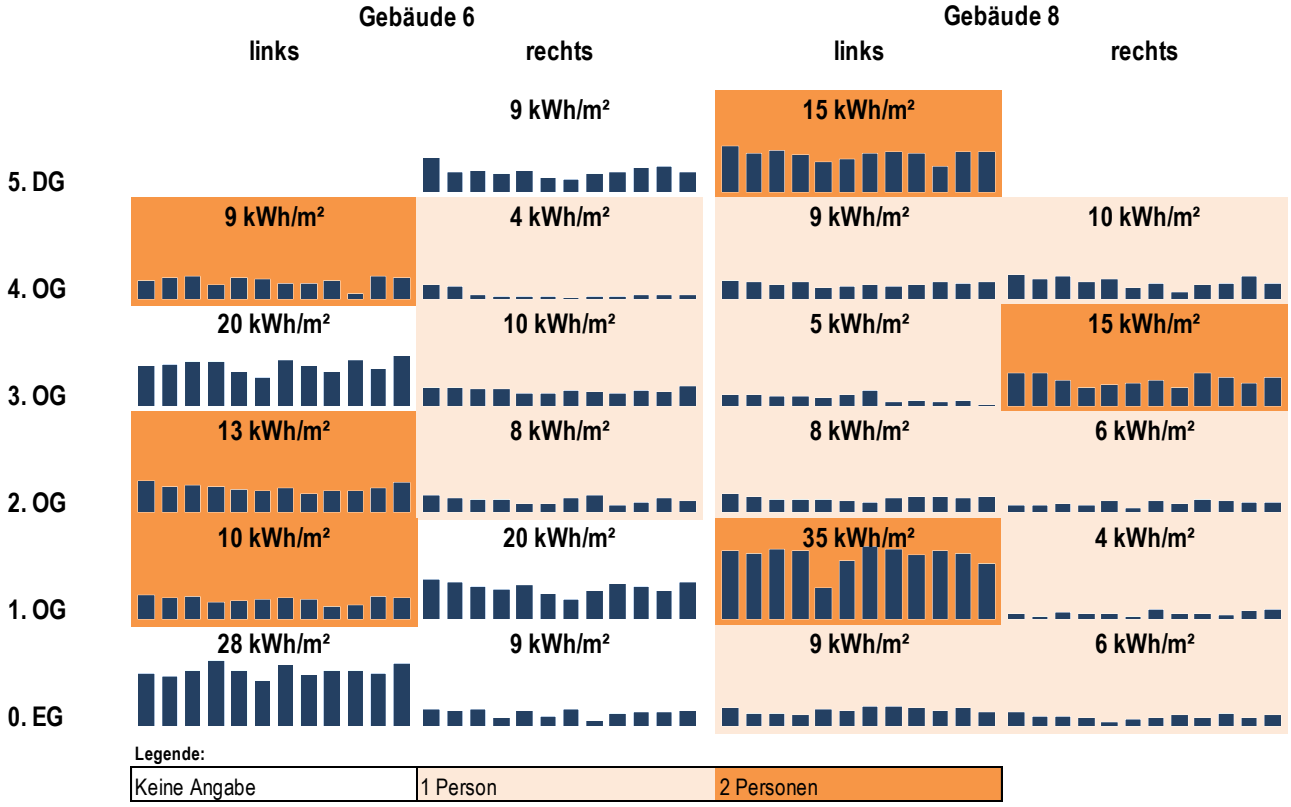


Abb. 12: Tatsächlicher jährlicher Wärmeverbrauch pro Quadratmeter für die Bereitung von Warmwasser je Wohnung im Gebäude in Frankfurt am Main; Personenbelegung über die Farbe differenziert

5.2 Gegenüberstellung tatsächlicher Warmwasserverbräuche mit rechnerischen Verfahren

Die aktuelle Methode zur rechnerischen Leerstandskorrektur erlaubt abhängig von der Nutzungsart des Gebäudes folgende allgemeine Verfahren zur Bestimmung des Energieverbrauchsanteils für zentrale Warmwasserbereitung. Hinzu kommen spezielle Methoden bei wohnungsweiser Warmwasserbereitung:

- Vorrangig sollten Messwerte in Anlehnung an die Heizkostenverordnung erhoben werden. Dies ist für alle Nutzungsarten anwendbar.
- Bei Nichtwohngebäuden sind ersatzweise zur messtechnischen Erfassung folgende Methoden zur Bestimmung des Anteils für Warmwasser am Gesamtverbrauch zulässig:
    - aus Rechenwerten nach anerkannten Regeln der Technik; z. B. nutzungs- und flächenbezogene Werte nach Anlage 2 EnEV, sowie nach DIN V 18599-10: 2011-12;
    - als Pauschalwert von 5 % des gemessenen jährlichen Energieverbrauchs für Heizung und zentrale Warmwasserbereitung eines Gebäudes, sofern keine genaueren Angaben zur Verfügung stehen. Abweichend kann bei Gebäuden, deren Wärmeverbrauch nutzungsbedingt durch den Anteil Warmwasserverbrauch dominiert wird (Schwimmhallen/ Hallenbäder, Krankenhäuser und Küchen), ein Pauschalwert von 50 % angenommen werden;
    - über eine monatsweise Erfassung des Wärmeverbrauchs in den Sommermonaten Juni, Juli und August, in denen üblicherweise keine Wärme für die Heizung benötigt wird. Für die weiteren Berechnungen kann dann näherungsweise von dem Mittelwert dieser Monatswerte als monatlichem Energiever-

brauchsanteil Warmwasser auch für sämtliche Monate des maßgebenden Zeitraums ausgegangen werden.

- Für Ein- und Zweifamilienhäuser sind überdies folgende Ersatzannahmen zulässig
  - Falls bei Gebäude ohne solare Trinkwassererwärmung keine erfassten Daten vorhanden sind, dürfen pauschal 20 kWh/ (m²·a) angesetzt werden.
  - Falls bei Anlagen zur solaren Trinkwassererwärmung keine Daten vorhanden sind, kann unter Annahme eines solaren Deckungsbeitrags von 40 % mit 12 kWh/(m²·a) gerechnet werden.
- Ansonsten führt das Fehlen von erfassten Verbrauchsdaten dazu, dass kein Energieverbrauchsausweis ausgestellt werden darf

Grundsätzlich wäre nach dem aktuellen Verfahren nur die erstgenannte Methode für ein Mehrfamilienhaus wie das in Frankfurt am Main anwendbar. Dennoch sollen auch die übrigen Methoden hier beispielhaft angewendet werden, um zu überprüfen, wie weit deren Ergebnisse voneinander abweichen.

5.2.1 Flächenbezogene Messwertmethode zur Bestimmung des Zuschlags

Wie in Formel 1 dargestellt, wird bei der aktuellen Messwertmethode über eine Flächengewichtung der leerstehenden Fläche $A_{leer,i}$ zur Gesamtfläche A_N sowie einer zeitlichen Gewichtung der jeweiligen Leerstandszeit $t_{leer,i}$ zur Gesamtzeit („maßgeblicher Zeitraum“) t_{gesamt} der Leerstandsfaktor f_{leer} gebildet. Über diesen Faktor lässt sich wie in Formel 2 dargestellt mit den erhobenen Verbräuchen zur Bereitung von Warmwasser $E_{VWW,leer}$ ein Zuschlag ΔE_{VWW} für die leerstehende Fläche bilden, der dem erhobenen Verbrauch aufgeschlagen wird, um den theoretischen Gesamtverbrauch abzubilden.

$$\textbf{Leerstandsfaktor}: \quad f_{leer} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{A_{leer,i}}{A_N} \cdot \frac{t_{leer,i}}{t_{gesamt}} \right) \qquad \text{Formel 1}$$

$$\textbf{Leerstandszuschlag}: \quad \Delta E_{VWW} = f_{leer} \cdot E_{VWW,leer} \qquad \text{Formel 2}$$

Zunächst wurde untersucht, welche Abweichungen sich mit dieser flächenbezogenen Messwertmethode im Vergleich zu real erhobenen Verbräuchen einstellen. Als realer Fall gilt hier nur die Situation der Vollbelegung, bei der die tatsächlichen Verbräuche erhoben wurden. Die untersuchten 22 Fälle mit Leerständen einzelner Wohnungen stellen hypothetische Situationen dar, deren Ergebnisse in Abb. 13 dargestellt sind. Bei einer Vollbelegung des Gebäudes in Frankfurt am Main entsteht ein Verbrauch für die Bereitung von Warmwasser von ca. 20,4 MWh, was mit der gepunkteten orangen Linie dargestellt ist. In jedem der 22 Fälle steht eine Wohnung hypothetisch über den gesamten Betrachtungszeitraum komplett leer, und somit reduziert sich der Verbrauch von 20,4 MWh um den jeweils wohnungsspezifischen Betrag, der in der Abbildung mit den hellblauen Balken dargestellt ist. Der verbleibende Verbrauch zum Bereiten des Warmwassers in den weithin belegten Wohnungen im Gebäude ist mit den roten Balken gekennzeichnet. Da bei dieser Methode eine Flächengewichtung zum Tragen kommt, ergeben sich bei den Balken leichte Sprünge bei den größeren Dachgeschosswohnungen. Die Summe aus roten und blauen Balken entspricht dem gemessenen Gesamtwärmeverbrauch für Warmwasserbereitung bei der Vollbelegung des Gebäudes in Frankfurt am Main mit einem Wert von ca. 20,4 MWh. Mit der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur für Messwerte ergeben sich die mit schwarzen Rauten gekennzeichneten berechneten Gesamtverbräuche (Energieverbrauchsanteil $E_{VWW,leer}$ + Leerstandszuschlag ΔE_{VWW}). Erkennbar ist anhand des Unterschieds zwischen den schwarzen Rauten und dem tatsächlichen Gesamtwärmeverbrauch von ca. 20,4 MWh, dass mit der aktuellen Messwertmethode bei leerstehenden Wohnungen, in denen bei einer Belegung ein relativ hoher Verbrauch entsteht, der angenommene Gesamtverbrauch unterschätzt wird (in Abb. 13 die Fälle 8-1-L bis ca. 8-3-R). Umgekehrt wird bei leerstehenden Wohnungen, in denen bei einer Belegung ein relativ geringer Verbrauch entsteht, der angenommene Gesamtverbrauch nur leicht überschätzt (in Abb. 13 die Fälle 6-3-R bis 6-4-R).

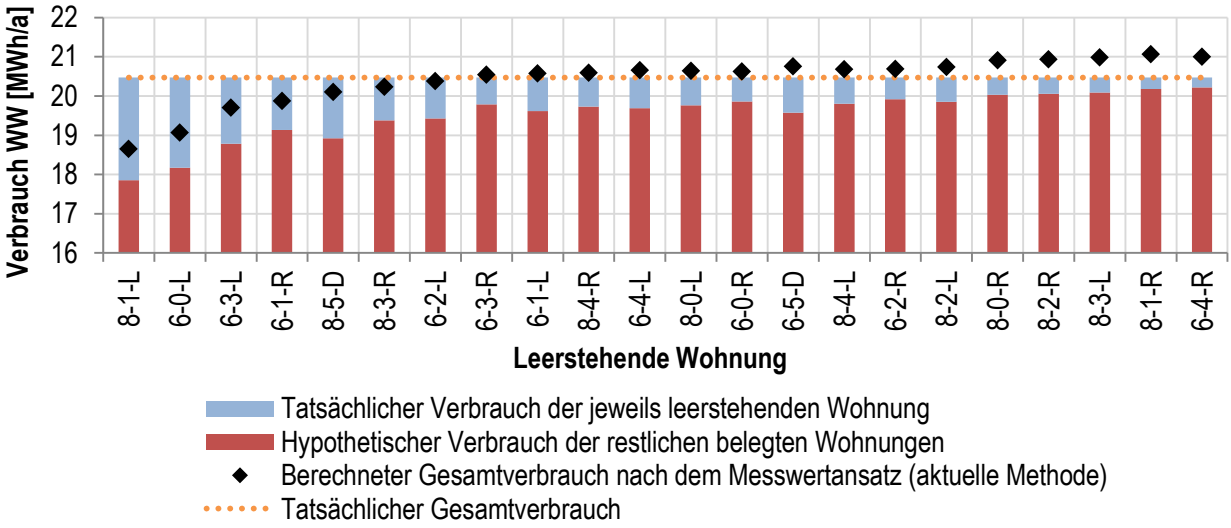


Abb. 13: Vergleich der Wärmeverbräuche zur Bereitung von Warmwasser bei unterschiedlichen Leerstandsszenarien von tatsächlichen und berechneten Verbräuchen basierend auf der aktuellen Messwertmethode

Die in Abb. 13 dargestellten absoluten Abweichungen lassen sich entsprechend der Gleichung Formel 3 für jeden Leerstandsfall auch prozentual über die prozentuale Abweichung $m_{WW,F}$ ausdrücken. Hierbei wird eine Differenz zwischen dem rechnerisch bestimmten Zuschlag ΔE_{VWW} und dem tatsächlichen Verbrauch der jeweils leerstehenden Wohnung $\Delta E_{VWW,tats.}$ relativ zum tatsächlichen Gesamtverbrauch $E_{VWW,tats.}$ von 20,4 MWh betrachtet. Die prozentualen Abweichungen der einzelnen Fälle sind in Abb. 14 dargestellt. Gesamt gesehen gleichen sich diese Abweichungen (bzw. Fehler) relativ gut aus und liegen im Mittelwert bei nahezu null, wie die rote Linie in der Abbildung verdeutlicht. Basierend auf den Daten der in Frankfurt am Main liegen nur die Fälle 8-1-L und 6-0-L außerhalb einer 5 %-Bandbreite. Würde man eine 10%ige Abweichung akzeptieren, lägen also alle 22 betrachteten Fälle mit der aktuellen Messwertmethode in einem akzeptablen Bereich.

$$\textbf{\textit{Prozentuale Abweichung}}(F): \quad m_{WW,F} = \frac{\Delta E_{VWW} - \Delta E_{VWW,tats.}}{E_{VWW,tats.}} \qquad \text{Formel 3}$$

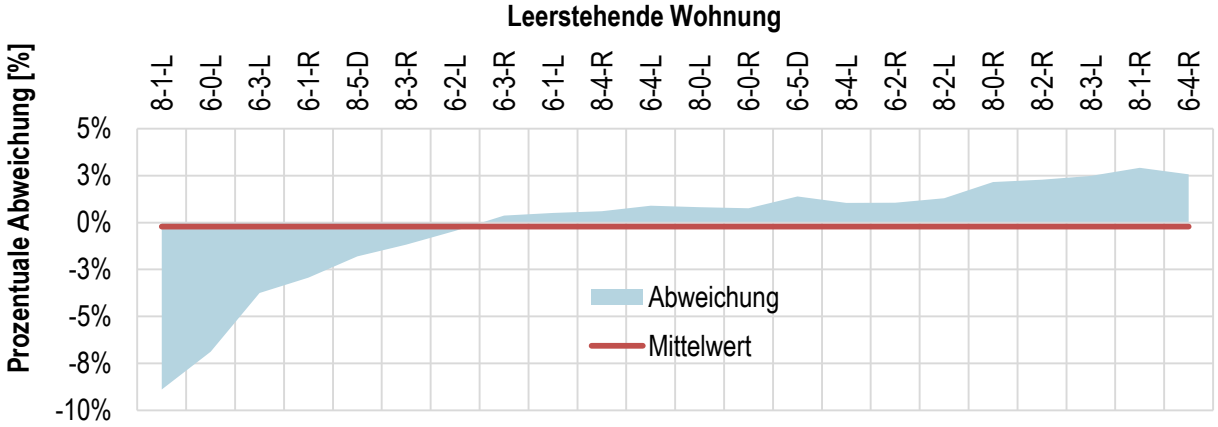


Abb. 14: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Warmwasserverbrauchszuschlag durch die aktuelle rechnerische Leerstandskorrektur und dem tatsächlichem Verbrauch einer Wohnung relativ zum Gesamtverbrauch. Die rot nur wenig unter 0 liegende Linie markiert den Durchschnitt der blau dargestellten Abweichungen der 22 Fälle.

5.2.2 Personenanzahlbezogene Messwertmethode zur Bestimmung des Zuschlags

Die aktuelle rechnerische Messwertmethode berücksichtigt flächenbezogene Warmwasserverbräuche im Gebäude. Da der Warmwasserverbrauch in einer Wohnung markant von der Anzahl an Bewohnern abhängt, wurde untersucht, ob eine Betrachtung des Warmwasserverbrauchs pro Person zu geringeren Abweichungen als mit der aktuellen rechnerischen Messwertmethode führen kann. Dies erfordert allerdings eine Grundkenntnis über die Anzahl der im Gebäude Vollzeit wohnenden Personen. Dies ist häufig erhebungstechnisch nicht einfach und oft nur mit Fehlern erfassbar. Für diese Untersuchung soll allerdings nur der Fehler beurteilt werden, der durch diesen Ansatz entstehen würde.

Für das Gebäude in Frankfurt am Main wird angenommen, dass 31 Personen das Gebäude Vollzeit bewohnen. Somit ergibt sich ein durchschnittlicher Wärmeverbrauch pro Person zur Bereitung von Warmwasser von jährlich 660,3 kWh. Dies entspricht etwa einer Energie bei einer verlustfreien Erzeugung eines täglichen durchschnittlichen Warmwasserbedarfs von 30 l pro Person bei einem Temperaturhub von 40 Kelvin. Obwohl hier keine Bereitschaftsverluste u. a. Systemverluste berücksichtigt sind, werden die erhobenen 660,3 kWh pro Person und Jahr als plausibel betrachtet.

Erneut wurden 22 unterschiedliche Fälle betrachtet, bei denen jeweils eine Wohnung komplett über den Betrachtungszeitraum leer steht. Für jeden der betrachteten Fälle wurde eine prozentuale Abweichung $m_{WW,P}$ berechnet, die eine Differenz zwischen dem rechnerisch bestimmten Leerstandszuschlag $\Delta E_{VWW,P}$ und dem tatsächlichen Verbrauch der jeweils leerstehenden Wohnung $\Delta E_{VWW,tats.}$ relativ zum tatsächlichen Gesamtverbrauch $E_{VWW,tats.}$ von 20,4 MWh darstellt. Der Leerstandszuschlag $\Delta E_{VWW,P}$ wird wie üblich über den Leerstandsfaktor $f_{leer,P}$ gebildet, der hier jedoch um eine personenbezogene Gewichtung erweitert wurde. Diese Gewichtung wird über die übliche Personenanzahl in der leerstehenden Wohnung $P_{leer,i}$ und der absoluten Personenanzahl im Gebäude P_N gebildet.

Formel 4

$$\boldsymbol{Leerstandsfaktor}: \; \boldsymbol{f_{leer,P} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{A_{leer,i}}{A_N} \cdot \frac{t_{leer}}{t_{gesamt}} \cdot \frac{P_{leer,i}}{P_N} \right)}$$

$$\boldsymbol{Leerstandszuschlag}: \; \boldsymbol{\Delta E_{VWW,P} = f_{leer,P} \cdot E_{VWW,leer}}$$

$$\boldsymbol{Prozentuale\ Abweichung}: \quad \boldsymbol{m_{WW,P} = \frac{\Delta E_{VWW,P} - \Delta E_{VWW,tats.}}{E_{VWW,tats.}}}$$

Die Ergebnisse zur prozentualen Abweichung sind in Abb. 15 zusammengefasst dargestellt. Mit dieser Methode liegt nur noch ein Fall über einer 5 % angenommenen Grenze. Weiterhin liegen 6 Fälle bei einer nahezu 0 % Abweichung. Schließlich besitzt auch die mittlere Abweichung aller betrachteten Fälle einen Fehler von nahezu 0 %.

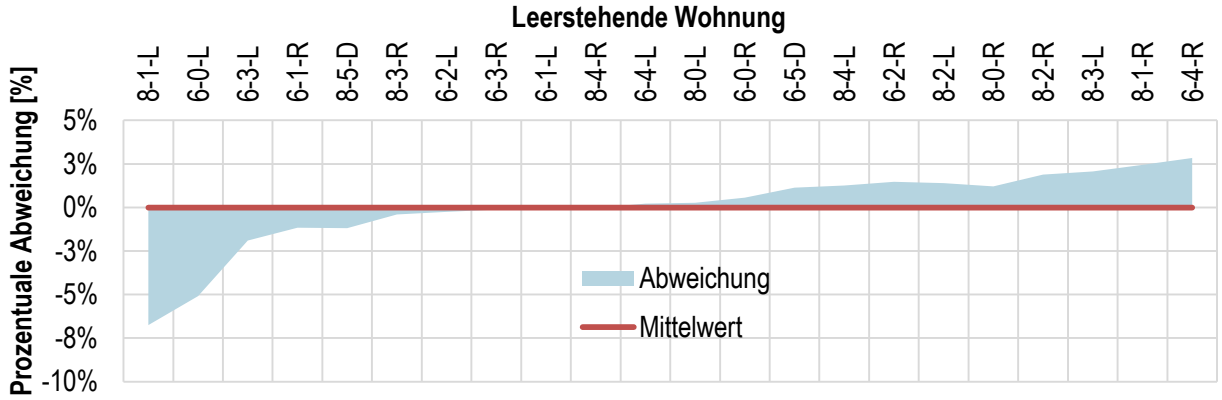


Abb. 15: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Warmwasserverbrauch durch die personenbezogene Leerstandskorrektur und dem tatsächlichem Warmwasserverbrauch in der Wohnung relativ zum Gesamtverbrauch. Die rote, nur wenig unter 0 liegende Linie markiert den Durchschnitt der blau dargestellten Abweichungen der 22 Fälle.

5.2.3 Pauschaler Ansatz zur Bestimmung des Zuschlags

Falls keine Messdaten über den Warmwasserverbrauch vorhanden sind, dürfen entsprechend der aktuellen Methodik für Ein- und Zweifamilienhäuser spezifische flächenbezogene Verbrauchswerte $E_{VWW,spez.}$ angesetzt werden. Pauschal wird bei konventionellen Anlagen 20 kWh/(m²·a) und bei thermischen Solaranlagen mit einem Wirkungsgrad von mind. 40 % ein pauschaler Wert von 12 kWh/(m²·a) angesetzt. Diese Werte folgen der Angabe für Zuschläge in § 19 der EnEV. Grundsätzlich ist diese Methode nicht für Mehrfamilienhäuser gedacht. Die folgenden Überlegungen beim Mehrfamilienhaus in Frankfurt am Main sind also hypothetischer Natur; sie dienen dem Ausschluss einer solchen Alternative für zukünftige Regelungen. Weiterhin kann der Ansatz mit Pauschalwerten zu einer Überschätzung des Energieverbrauchsanteils für die Bereitung von Warmwasser am Gesamtverbrauch führen. Bei einer solchen Überschätzung wird der Verbrauchsanteil an der Heizenergie unterschätzt, was bei der Klimabereinigung dieses Anteils zu einer Fehleinschätzung führt, besonders wenn die Klimafaktoren Werte über 1,0 annehmen. Daher wird der Ansatz mit Pauschalwerten generell eher als problematisch angesehen.

$$\boldsymbol{Pauschalwert}: \boldsymbol{E_{VWW,spez.} = 20\ kWh/(m^2 \cdot a)} \qquad \text{Formel 5}$$

$$\boldsymbol{Pauschalwert}: \boldsymbol{E_{VWW,sol} = 12\ kWh/(m^2 \cdot a)}$$

$$\boldsymbol{Leerstandszuschlag}: \qquad \boldsymbol{\Delta E_{VWW,pau} = E_{VWW,spez.} \cdot A_{leer,i}}$$

Aufgrund der relativ großzügigen Wohnfläche pro Person in der in Frankfurt am Main, die im Vergleich zu der aktuellen durchschnittlichen Wohnfläche von 46,5m² pro Einwohner in Deutschland[2] mit 54,8 m² pro Person darüber liegen, ergeben sich mit Pauschalwerten Überschätzungen des Anteils am Energieverbrauch zur Bereitung von Warmwasser. Mit diesem Ansatz ergäben sich jährliche durchschnittliche Energieverbrauchswerte zur Bereitung von Warmwasser von 1095 kWh pro Person bei einem Pauschalwert von 20 kWh/(m²·a), respektive 660 kWh pro Person bei einem Pauschalwert von 12 kWh/(m²·a). Zwar existiert im Gebäude in Frankfurt am Main eine solarthermische Anlage, die entsprechend dem Ansatz im Bericht [Messung] Seite 93 auch einen solaren Deckungsgrad von über 40 % erreicht, allerdings ist bei den Voruntersuchungen nur die verbrauchte Menge an Warmwasser in den jeweiligen Wohnungen erhoben worden. Es ist daher hier sinnvoll, den Vergleich mit dem eher allgemeineren Pauschalfaktor von 20 kWh/(m²·a) zu führen. Auf Grund des niedrigeren durchschnittlichen tatsächlichem Verbrauchswertes von 12 kWh/(m²·a) (bei total 20,4 MWh/a und einer Gesamtfläche von 1698 m²), liegen die Ergebnisse zum berechneten jährlichen Gesamtverbrauch (Energieverbrauchsanteil $E_{VWW,leer}$ + Leerstandszuschlag $\Delta E_{WWW,pau}$) in Abb. 16 in den meisten Fällen auch über dem tatsächlichen Verbrauch von 20,4 MWh/a.

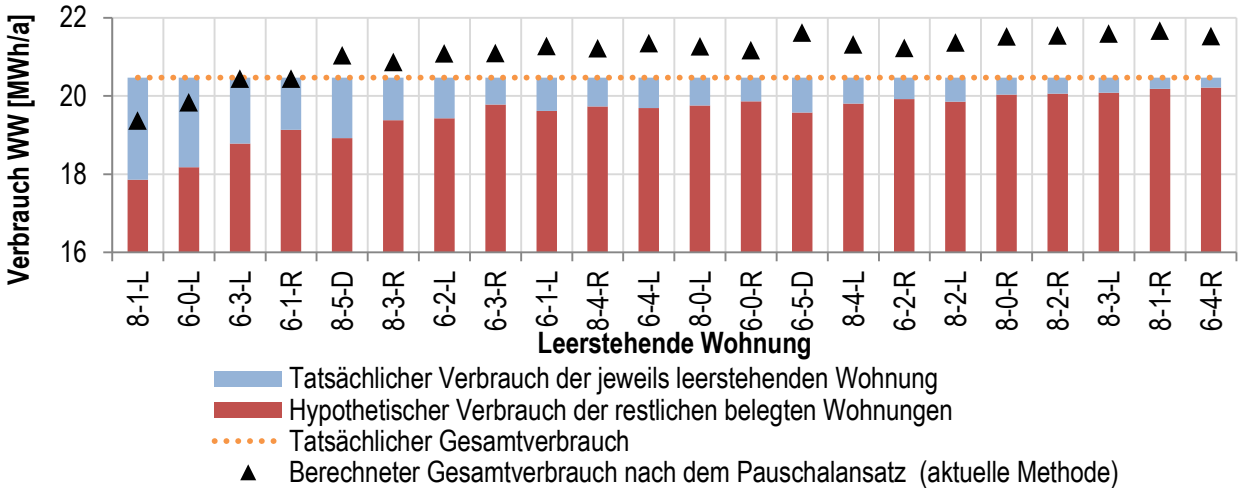


Abb. 16: Vergleich der Wärmeverbräuche zur Bereitung von Warmwasser bei unterschiedlichen Leerstandsszenarien von tatsächlichen und berechneten Verbräuchen basierend auf dem Pauschalansatz

[2] http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/siedlungsflaechenbelegung-fuer-wohnen#textpart-2

5.2.4 Ansatz über Mittelwerte von Juni bis August zur Bestimmung des Zuschlags

Bei zahlreichen Nichtwohngebäuden existiert in den warmen Monaten von Juni bis August kein Heizwärmebedarf. Dementsprechend spiegeln die Wärmeverbräuche in diesen Monaten den Verbrauch zur Bereitstellung von Warmwasser wider. Bei diesen Gebäuden erlaubt die Verordnung entsprechend der Formel 6 eine Projektion auf die restlichen Monate im Jahr unter der Annahme, dass der Mittelwert $E_{VWW,\emptyset,SM}$ in den Monaten Juni bis August dem Gesamtmittelwert im Jahr $E_{VWW,\emptyset,}$ entspricht, da keine signifikant höheren Verbrauchswerte in den kalten Monaten im Jahr in Bezug auf Warmwasser bestehen.

$$\emptyset\boldsymbol{Verbrauch\ Sommermonate}: \quad \boldsymbol{E_{VWW,\emptyset,SM}} = \sum_{i=6}^{i=8} \frac{E_{VWW,M,i}}{3} \qquad \text{Formel 6}$$

$$\boldsymbol{Leerstandszuschlag}: \quad \boldsymbol{\Delta E_{VWW,\emptyset,SM}} = \boldsymbol{E_{VWW,\emptyset,SM}} \cdot \boldsymbol{f_{leer}}$$

Derzeit ist diese Methode für Wohngebäude weder nach HeizkostenV noch nach geltender Bekanntmachung zulässig. Trotzdem wird sie hier in Hinblick auf eventuelle zukünftige Anpassung der bestehenden Regelungen untersucht. Die in Abb. 11 dargestellten Messwerte zum gesamten Warmwasserverbrauch im Gebäude in Frankfurt am Main zeigen, dass die monatlichen Durchschnittsverbräuche in Bezug auf Warmwasser allgemein relativ konstant sind, mit nur geringen Anstiegen in den kalten Monaten des Jahres. Somit liegen die nur auf die Monate Juni bis August bezogenen Durchschnittswerte $E_{VWW,\emptyset,SM}$ nahe am Jahresdurchschnittswert $\Delta E_{VWW,\emptyset}$. Die in Abb. 16 dargestellten Rechtecke stellen die mit Abb. 17 prognostizierten Verbräuche bei hypothetischen Leerständen dar (zu hypothetischen Leerständen siehe Abschnitt 5.2.1). Es können mit dieser Methode ebenfalls Ergebnisse erstellt werden, die nahe an den tatsächlichen Verbrauch reichen.

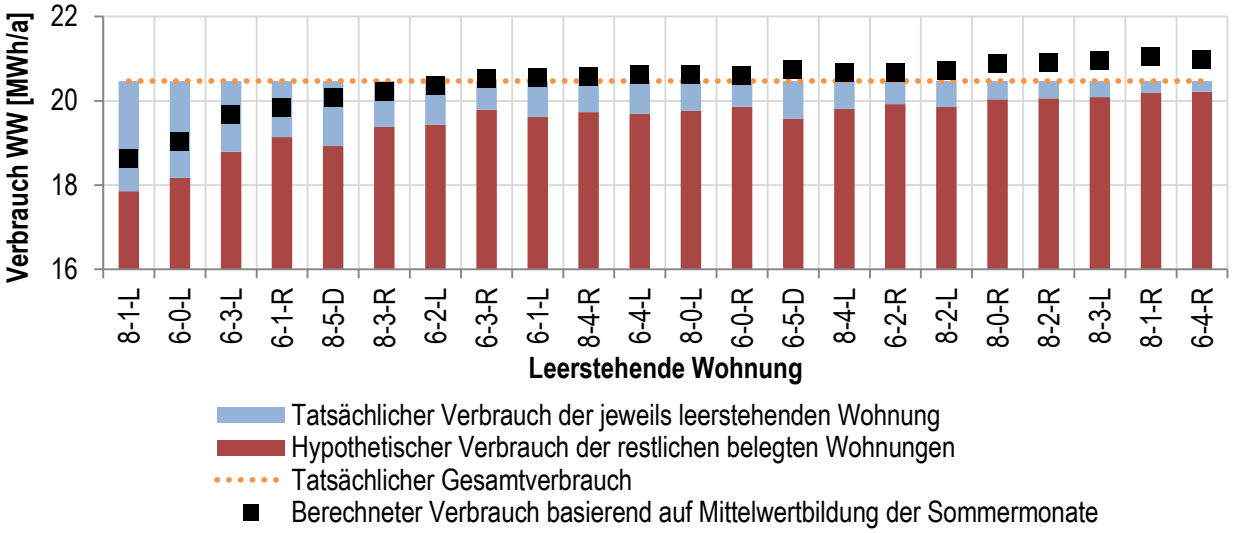


Abb. 17: Vergleich der Wärmeverbräuche zur Bereitung von Warmwasser bei unterschiedlichen Leerstandsszenarien von tatsächlichen und berechneten Verbräuchen basierend auf dem Mittelwertansatz der Verbräuche von Juni bis August

5.3 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Heizwärme

In einem ersten Schritt wurde der tatsächliche Verbrauch an Wärme bestimmt, der im Gebäude Frankfurt am Main pro Quadratmeter für die Bereitstellung von Heizwärme entsteht. Wie in Abb. 18 dargestellt, zeigt sich gesamt gesehen ein typischer Verbrauch über das Jahr mit hohen Verbräuchen in den kalten Monaten. Allerdings zeigt sich eine deutliche Streuung beim Heizwärmebedarf zwischen den einzelnen Wohnungen. In Abb. 18 ist der minimale, maximale und der durchschnittliche Verbrauch dargestellt.

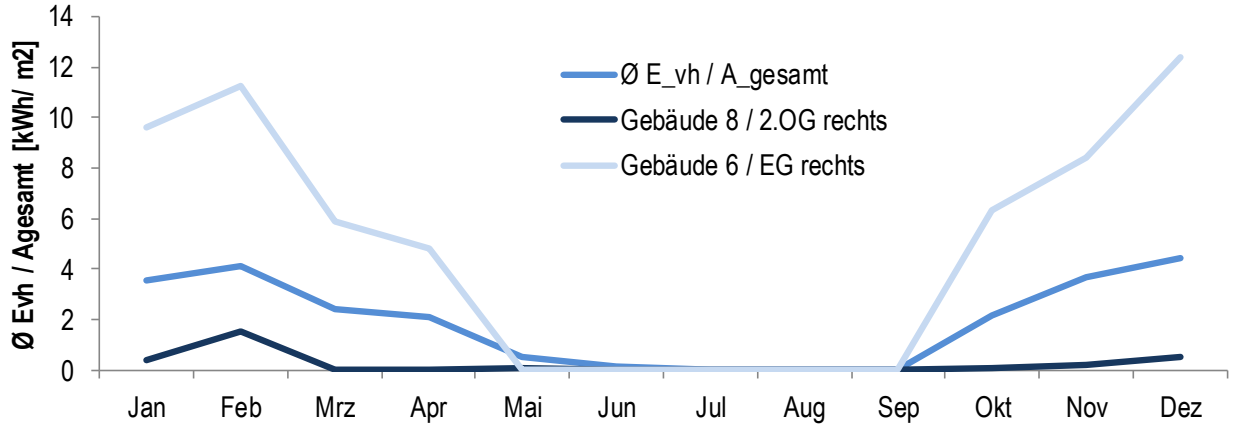


Abb. 18: Spezifischer monatlicher Heizwärmeverbrauch pro Quadratmeter der Wohnung mit dem geringsten und höchsten Verbrauch, sowie der Durchschnitt des gesamten Gebäudes in Frankfurt am Main

In einem zweiten Schritt wurden die erhobenen Daten für Heizwärme des Gebäudes detailliert analysiert. In Abb. 19 sind die Wohnungen des Gebäudes Frankfurt am Main im Schnitt dargestellt. Die dunkelblauen Balkendiagramme stellen die unterschiedlichen monatlichen tatsächlichen Verbrauchswerte in den Wohnungen dar. Die nummerischen Angaben beziehen sich auf den tatsächlichen jährlichen Verbrauch pro Quadratmeter der jeweiligen Wohnung. Zu beachten ist hier, dass die durchschnittlichen Raumtemperaturen während der Heizperiode unterschiedlich hoch waren. Dies ist mit den farbigen Flächen entsprechend der Legende markiert. Es wird angenommen, dass bei Fällen mit hohem Wärmeverbrauch zum Heizen und relativ niedrigen Raumlufttemperaturen eine überdurchschnittlich hohe Fensterlüftung in der entsprechenden Wohnung stattfand (z. B. Gebäude 6 / EG rechts). Umgekehrt deuten relativ hohe Raumlufttemperaturen bei niedrigem Wärmeverbrauch zum Heizen auf äußerst geringe Fensterlüftung hin (z. B. Gebäude 8 / 2.OG links).

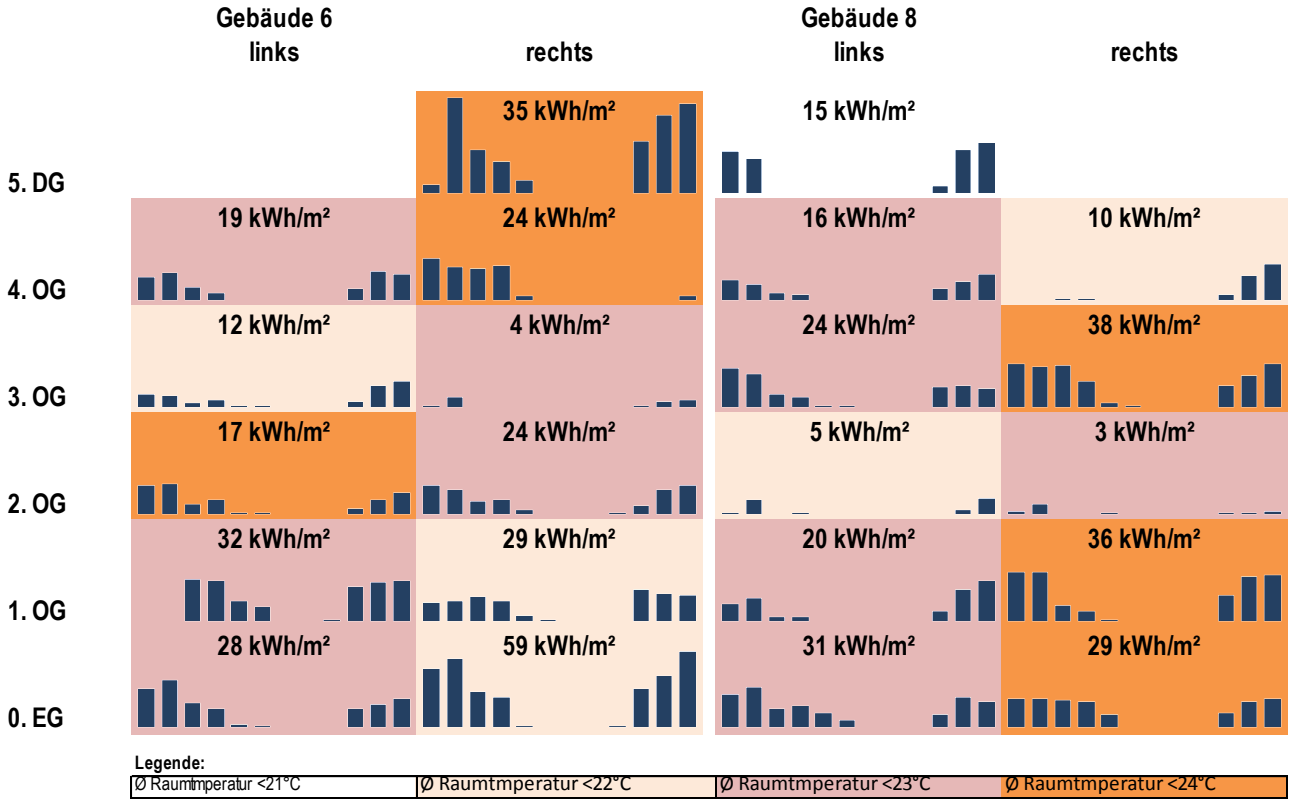


Abb. 19: Spezifischer jährlicher Heizwärmeverbrauch pro Quadratmeter für die Wohnung im Gebäude in Frankfurt am Main; Farben entsprechen durchschnittlichen Raumtemperaturen, Balken skizzieren monatliche Verteilung des Verbrauchs

5.4 Gegenüberstellung der tatsächlichen Heizwärmeverbräuche mit dem rechnerischen Verfahren

Die aktuelle Methode zur rechnerischen Leerstandskorrektur nutzt einen flächengewichteten Ansatz. In den folgenden Abschnitten wird dieses Verfahren für das Wohngebäude Frankfurt am Main untersucht.

5.4.1 Ansatz flächenbezogener Wärmeverbrauch

Wie in Formel 7 dargestellt, wird bei der aktuellen Messwertmethode über eine Flächengewichtung der leerstehenden Fläche $A_{leer,i}$ zur Gesamtfläche A_N sowie eine zeitliche Gewichtung der (Leerstandszeit $t_{leer,i}$ zur Gesamtzeit („maßgeblicher Zeitraum“) t_{gesamt}zum Gesamtzeitraum) der Leerstandsfaktor f_{leer} gebildet[3]. Über diesen Faktor lässt sich mit den erhobenen Verbräuchen der witterungsbereinigten Heizwärme $E_{VHb,leer}$ ein Zuschlag ΔE_{VH} für die leerstehende Fläche bilden. Dieser wird wie in Formel 7 dargestellt mit dem Wert 0,5 multipliziert, d. h. um die Hälfte reduziert. Dieser Aspekt berücksichtigt das indirekte Mitbeheizen der leerstehenden Wohnung durch die regulär belegten Nachbarwohnungen. Allerdings zeigt sich für das untersuchte Wohngebäude, dass die Abweichungen zwischen den tatsächlichen Verbräuchen und den prognostizierten Werten – im Gegensatz zur Auswertung zum Warmwasser – zum Teil Abweichungen bis zu 40 % besitzen. Daher wurde in Simulationen weiter überprüft, ob die Berücksichtigung von bestimmten Parametern eine deutlichere Verbesserung bei den rechnerischen Verbrauchszuschlägen erzielt.

Allerdings wird hier nicht im Detail untersucht, wie die zusätzlichen Wärmeströme in die leerstehende Wohnung die Bilanz des Gebäudes negativ beeinflussen. Diese Untersuchung findet in Abschnitt 8 der Simulationen statt. Dieser Leerstandszuschlag wird dem erhobenen Verbrauch aufgeschlagen, um den theoretischen Gesamtverbrauch abzubilden.

$$\textbf{\textit{Leerstandszuschlag}}: \qquad \boldsymbol{\Delta E_{VH} = 0{,}5 \cdot f_{leer} \cdot E_{VHb,leer}} \qquad \text{Formel 7}$$

Zunächst wurde untersucht, welche Abweichungen sich mit dieser flächenbezogenen Messwertmethode theoretisch im Vergleich zu real erhobenen Verbräuchen einstellen. Als realer Fall gilt hier nur die Situation der Vollbelegung, bei der die tatsächlichen Verbräuche von ca. 33,6 MWh erhoben wurden, was mit der gepunkteten orangen Linie in Abb. 21 dargestellt ist. Die hier untersuchten 22 Fälle stellen hypothetische Situationen mit Leerständen einzelner Wohnungen über den gesamten Betrachtungszeit dar. In jedem der 22 Fälle reduziert sich daher der Verbrauch von 33,6 MWh um den jeweils wohnungsspezifischen Betrag, der in der Abbildung mit den hellblauen Balken dargestellt ist. Die verbleibende Menge des hypothetischen Heizwärmeverbrauchs im Gebäude ist mit den roten Balken in Abb. 21 dargestellt. Die Summe aus roten und blauen Balken entspricht also dem real gemessenen totalen Heizwärmeverbrauch bei einer Vollbelegung. Theoretisch müsste mit der bestehenden Methode der Leerstandskorrektur also jeweils der blaue Balken prognostiziert werden. Entsprechend der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur für Messwerte ergeben sich die mit schwarzen Rauten gekennzeichneten berechneten Gesamtverbräuche (Energieverbrauchsanteil $E_{VHb,leer}$ + Leerstandszuschlag ΔE_{VH}). Aufgrund der unterschiedlichen Flächen der Wohnungen im Gebäude in Frankfurt am Main ergeben sich wie in Abb. 20 dargestellt leichte Unterschiede bei den Leerstandsfaktoren. Da hier eine Flächengewichtung zum Tragen kommt, ergeben sich bei den Balken leichte Sprünge bei den größeren Dachgeschosswohnungen. Erkennbar ist anhand des Unterschieds zwischen den schwarzen Rauten und dem tatsächlichen Gesamtwärmeverbrauch von ca. 33,6 MWh, dass mit der aktuellen Messwertmethode bei leerstehenden Wohnungen, in denen bei einer Belegung ein relativ hoher Verbrauch entsteht, der angenommene Gesamtverbrauch unterschätzt wird (in Abb. 21 die Fälle 8-1-L bis ca. 8-4-L). Umgekehrt wird bei leerstehenden Wohnungen, in denen bei einer Belegung ein relativ geringer Verbrauch entsteht, der angenommene Gesamtverbrauch nur leicht überschätzt (in Abb. 21 die Fälle 6-3-L bis 8-2-R). Erkennbar ist eine deutlich häufigere Unterschätzung des Heizwärmeverbrauchs bei den Wohnungen in der in Frankfurt am Main. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen in der Simulation in Abschnitt 8 für Gebäude mit besserem Wärmeschutz.

[3] Die Gleichung wird in der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand“ als Gleichung (5) und in der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Nichtwohngebäudebestand“ als Gleichung (7) dargestellt.

Leerstandsfaktoren				
-	6		8	
	links	rechts	links	rechts
5.DG	-	0,09	0,09	-
4.OG	0,07	0,06	0,06	0,06
3.OG	0,07	0,06	0,06	0,06
2.OG	0,07	0,06	0,06	0,06
1.OG	0,07	0,06	0,06	0,06
0.EG	0,07	0,06	0,06	0,06

Abb. 20: Leerstandsfaktoren für die einzelnen Wohnung im Gebäude in Frankfurt am Main unter der Annahme eines Leerstands über die gesamte Betrachtungszeit.

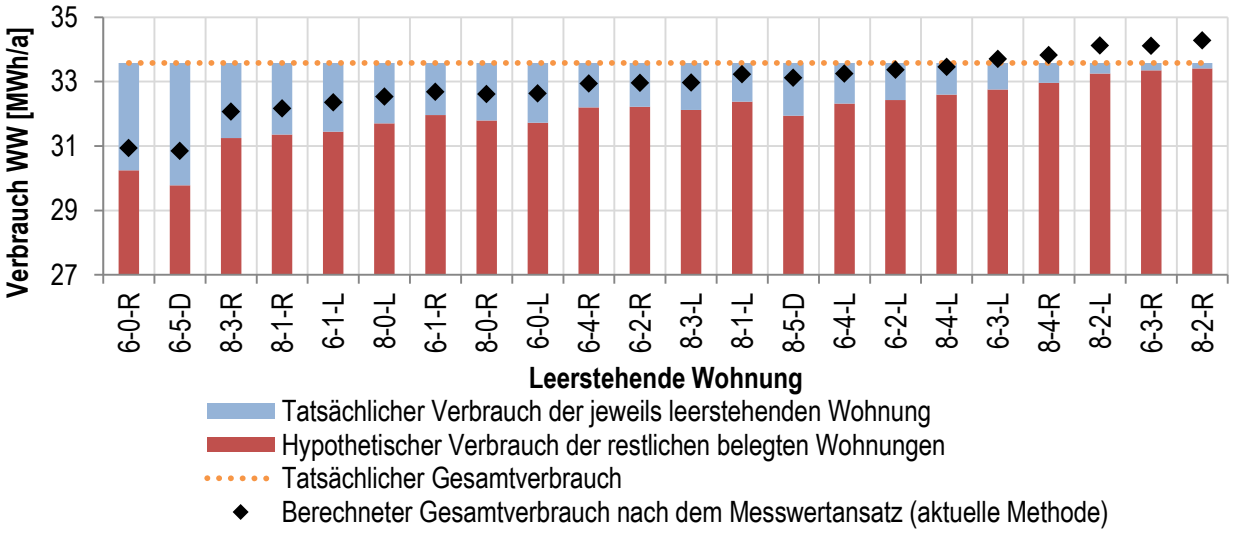


Abb. 21: Heizwärmeverbrauch mit tatsächlichem Verbrauch der leerstehenden Wohnung (blaue Balken) und hypothetischem Verbrauch der weiterhin belegten Wohnungen (rote Balken) im Vergleich zum rechnerisch bestimmten Verbrauch entsprechend der aktuellen Methode (schwarze Rauten).

Die in Abb. 21 dargestellten absoluten Abweichungen lassen sich entsprechend der Gleichung in Formel 8 für jeden Leerstandsfall auch prozentual über die prozentuale Abweichung $m_{H,F}$ ausdrücken. Hierbei wird eine Differenz zwischen dem rechnerisch bestimmten Zuschlag ΔE_{VH} und dem tatsächlichen Verbrauch der jeweils leerstehenden Wohnung $\Delta E_{VH,tats.}$ relativ zum tatsächlichen jährlichen Gesamtverbrauch $E_{VH,tats.}$ von 33,6 MWh betrachtet. Die prozentualen Abweichungen der einzelnen Fälle sind Abb. 14 dargestellt. Gesamt gesehen zeigt sich eine mittlere Abweichung (bzw. ein Fehler) von ca. 10 %, wie die rote Linie in der Abbildung verdeutlicht. Basierend auf den Daten der in Frankfurt am Main liegen nur die Fälle 6-2-R bis 8-2-R innerhalb einer ±10 % Bandbreite. Würde man eine ±10 % Abweichung akzeptieren, lägen also nur 12 von 22 betrachteten Fällen mit der aktuellen Messwertmethode in einem akzeptablen Bereich. Dramatisch ist die maximale Abweichung von ca. 40 % vom Fall 6-0-R.

$$\textbf{\textit{Prozentuale Abweichung}}: \quad m_{H,F} = \frac{\Delta E_{VH}}{E_{VH,tats.}} - \frac{\Delta E_{VH,tats.}}{E_{VH,tats.}} \qquad \text{Formel 8}$$

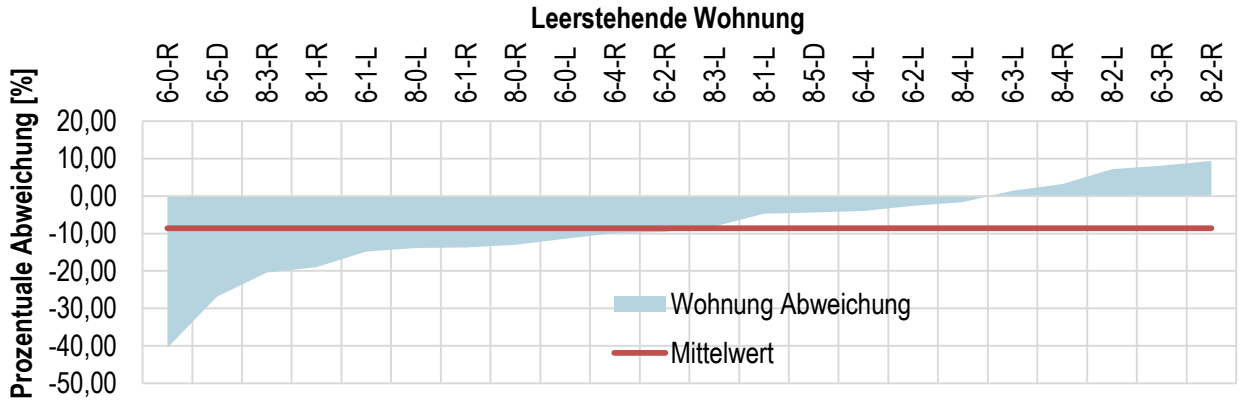


Abb. 22: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Heizwärmeverbrauchszuschlags durch die aktuelle rechnerische Leerstandskorrektur und dem tatsächlichem Verbrauch einer Wohnung relativ zum Gesamtverbrauch. Die rote Linie markiert den Durchschnitt der blau dargestellten Abweichungen der 22 Fälle.

5.4.2 Untersuchungen zu weiteren möglichen Einflussfaktoren

Weitere Untersuchungen fanden bezüglich Raumlufttemperatur und dem Anteil an der Hüllfläche der jeweiligen Wohnung im Gebäude statt. Eine entsprechende Auswertung in Bezug auf die durchschnittliche Raumlufttemperatur während der Heizperiode ist in Abb. 23 dargestellt, wobei die Abweichungen nach der Raumlufttemperatur sortiert sind. Allgemein konnte kein direkter Zusammenhang zu den ermittelten Abweichungen gefunden werden. Es wird vermutet, dass das Lüftungsverhalten der Bewohner im Gebäude sich deutlich voneinander unterscheidet und so die Aspekte Raumlufttemperatur und Hüllflächenanteil in Bezug auf die ermittelten Abweichungen überlagert. Thermografie-Aufnahmen des Gebäudes bei Nacht weisen darauf hin, dass in einigen Wohnungen hinter geschlossenen Fensterläden die Fenster in der kalten Jahreszeit offen oder auf Kippstellung stehen. Daher können die z. T. hohen Abweichungen nicht alleine mit der Raumlufttemperatur oder dem Hüllflächenanteil begründet werden. Die Aspekte Raumlufttemperatur und Hüllflächenanteil wurden daher in den Simulationen in Abschnitt 8 eingehender untersucht.

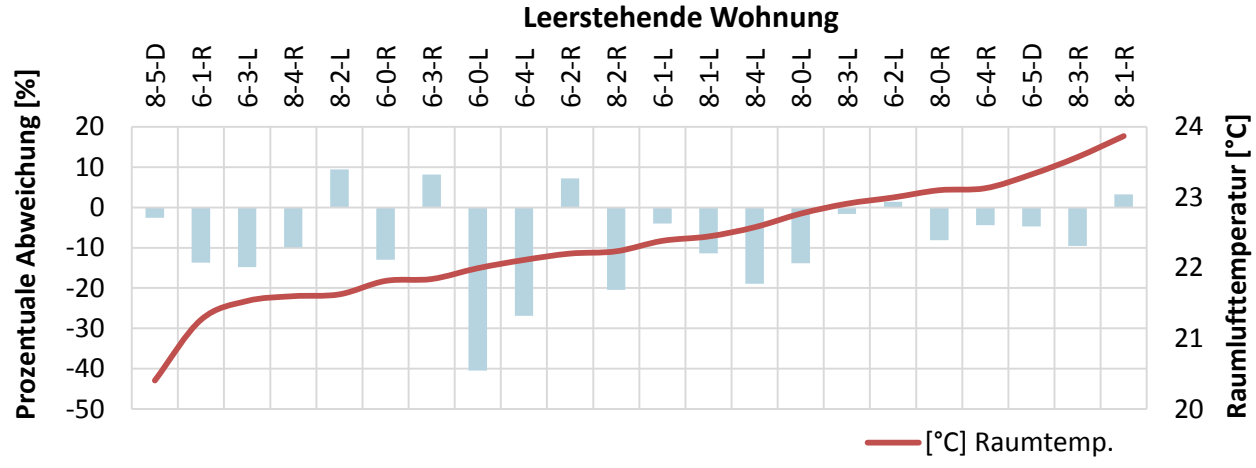


Abb. 23: Prozentuale Abweichungen zwischen einem ermittelten Heizwärmeverbrauchs durch die aktuelle rechnerische Leerstandskorrektur dem Heizwärmeverbrauch beim Leerstand der jeweiligen Wohnungen im Gebäude. Rot markiert die jeweilige durchschnittliche Raumlufttemperatur während der Heizperiode.

6 Datenauswertung Nichtwohngebäude

Bei der Datenanalyse wurden die im Gebäude Rheinstraße über mehrere Jahre erhobenen Verbrauchswerte ausgewertet. Dabei wurden die Datensätze plausibilisiert und in Teilbereichen mit sinnvollen Werten ergänzt, falls Datenlücken bestanden oder Werte nicht nachvollziehbar waren. Die Energiebezugsfläche des Gebäudes beträgt 1500 m².

6.1 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Heizwärme

Das IWU-Gebäude wurde nachträglich mit drei Wärmemengenzählern (für den Süd- und Nord-Strang der Wärmeverteilung der Heizung sowie für die Heizregister der Lüftungsanlage) nachgerüstet, um den Wärmeverbrauch des Gebäudes detailliert zu erfassen.

Abb. 24 zeigt exemplarisch den klimabereinigten Jahresverbrauch der Heizwärme für das Jahr 2013 (57,5 kWh/(m²·a)) und 2014 (45,23 kWh/(m²·a)). Im Vergleich zum Jahr 2013 wurde der Wärmeverbrauch im Jahr 2014 um 21 % reduziert. Laut [7] sind die Gründe hierfür u. a.:

- die im Jahr 2014 stattgefundenen Betriebsoptimierungen
- energiebewusstes Verhalten der Gebäudenutzer sowie ausgefeilte Handhabung der Steuerung der Jalousien bzw. Heizungsthermostate

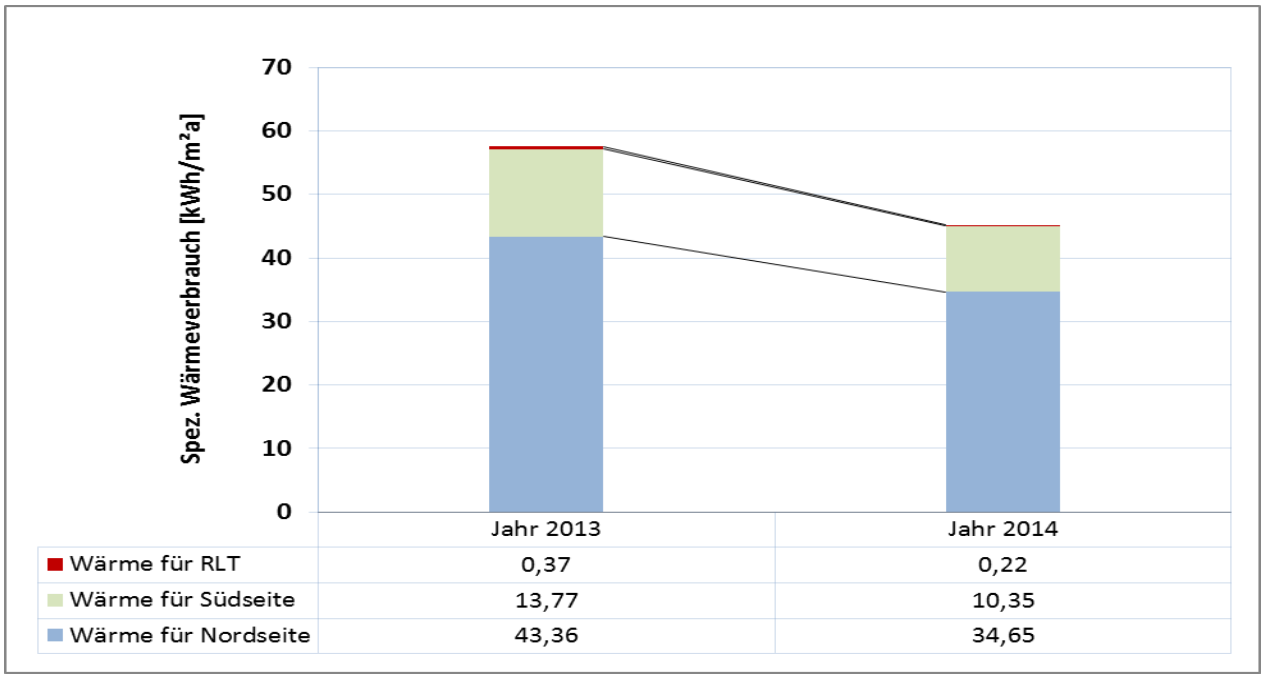


Abb. 24: Klimabereinigter spezifischer Heizwärmeverbrauch [kWh/(m²·a)] des IWU-Gebäudes für das Jahr 2013 und 2014

Abb. 25 stellt zudem die monatlichen Wärmeverbräuche im Jahr 2014 dar. Es ist offensichtlich, dass die Südseite geringere Heizwärme als die Nordseite benötigt.

Die Gründe hierfür sind einerseits, dass der Nordstrang der Wärmeverteilung einen größeren Bereich des Gebäudes (insbesondere den ca. 210 m² großen Saal) mit Wärme versorgt. Des Weiteren werden die Heizkörper in einem großen Bereich des Erdgeschosses wie dem Foyer (56 m²) und der Bibliothek (etwa 70 m²), die sich auf der Südseite befinden und nur gelegentlich benutzt werden, selten aufgedreht.

Ein wichtiger Grund besteht zudem darin, dass in der Heizperiode die Steuerung der Jalousien (Südseite) auf manuell umgeschaltet wird, um die solaren Einstrahlungen für die Beheizung des Gebäudes optimal verwenden zu können. Daher werden die Heizkörper in den auf der Südseite befindlichen Büros kaum angestellt. Aus Abb. 25 ist weiterhin zu entnehmen, dass der Wärmeverbrauch für das Heizregister der Lüftungsanlage vergleichsweise sehr gering ausfällt.

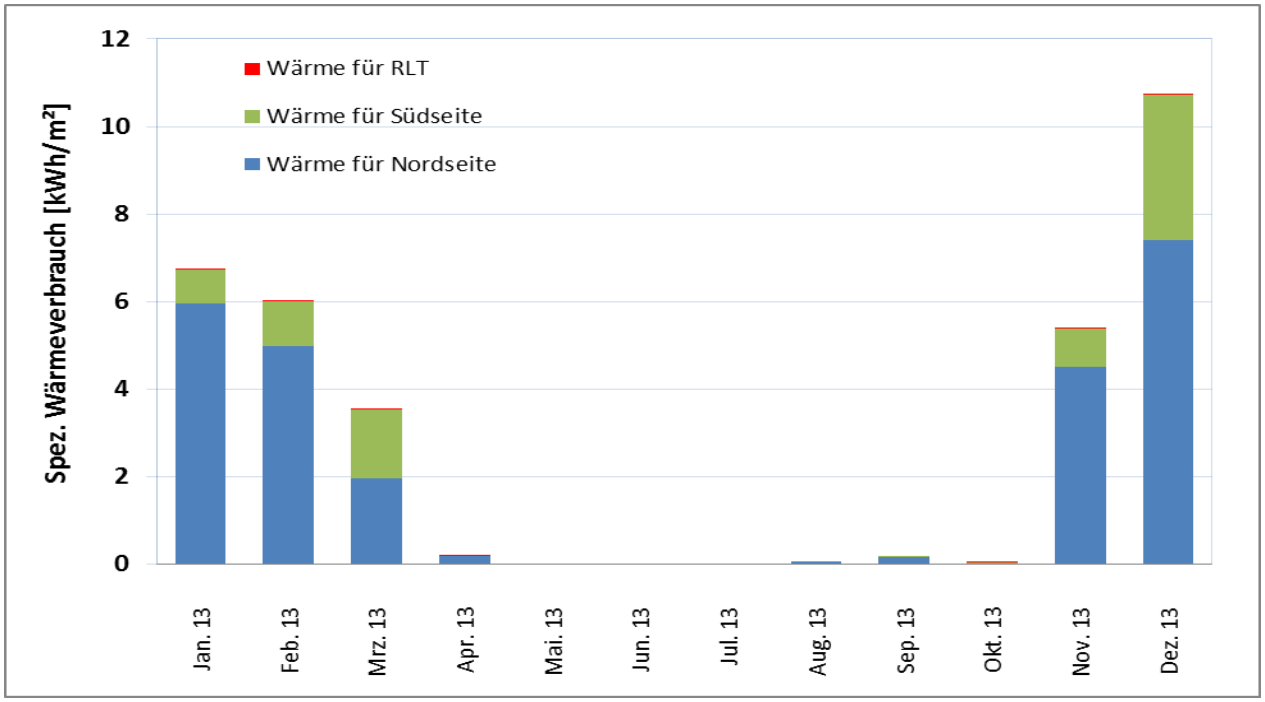
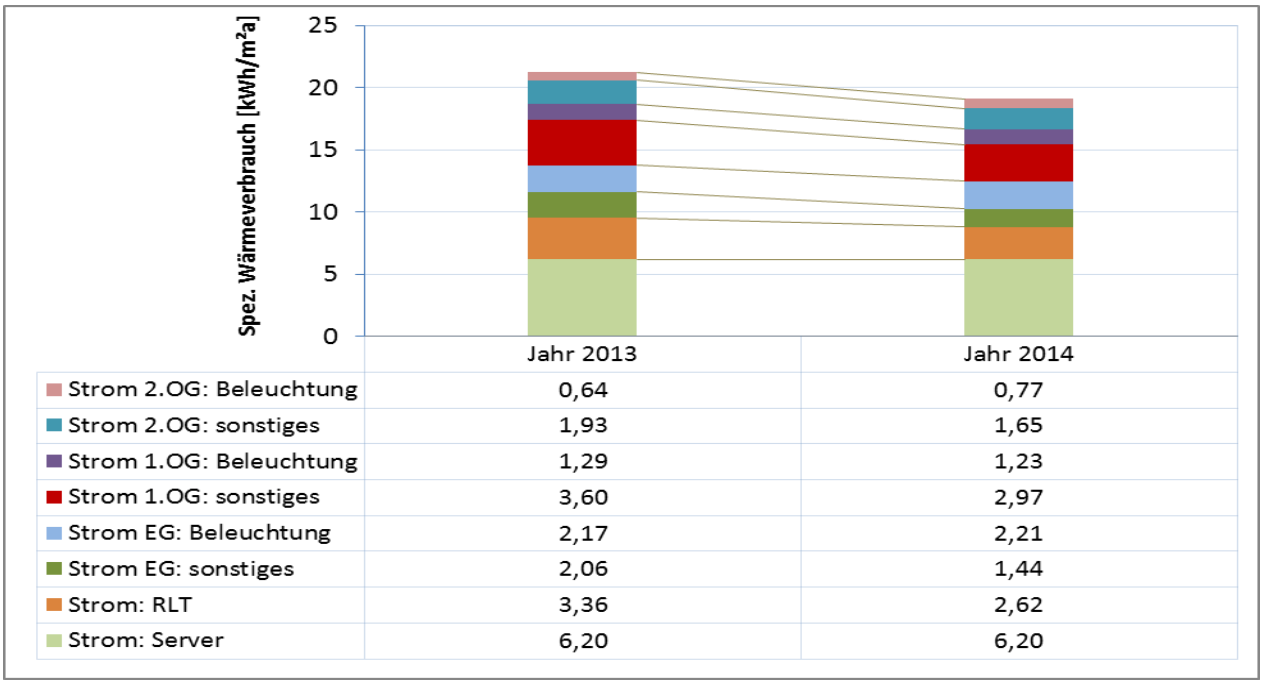


Abb. 25: Monatlicher spezifischer Wärmeverbrauch des IWU-Gebäudes für das Jahr 2014 (nicht klimabereinigt)

6.2 Datengrundlage zum Energieverbrauch im Bereich Strom

Im IWU-Gebäude wird für jedes Stockwerk die elektrische Energie für Beleuchtung und Sonstiges getrennt gemessen. Unter Sonstiges fällt vor allem der Energieverbrauch für Bürogeräte wie Computer, Monitore, Drucker etc. Der Stromverbrauch für Lüftungsanlage wird separat erfasst.

Abb. 27 stellt die elektrische Energie für Beleuchtung und Sonstiges im Jahr 2013 und 2014 gegenüber. Es ist ersichtlich, dass sich der Stromverbrauch für Sonstiges vom Jahr 2013 auf 2014 reduziert hat. Als Grund hierfür kann im Zuge des Austauschs der Arbeitsgeräte die Anschaffung der energieeffizienten Geräte wie Notebooks, genannt werden.



	Jahr 2013	Jahr 2014
Strom 2.OG: Beleuchtung	0,64	0,77
Strom 2.OG: sonstiges	1,93	1,65
Strom 1.OG: Beleuchtung	1,29	1,23
Strom 1.OG: sonstiges	3,60	2,97
Strom EG: Beleuchtung	2,17	2,21
Strom EG: sonstiges	2,06	1,44
Strom: RLT	3,36	2,62
Strom: Server	6,20	6,20

Abb. 26: Spezifischer Jahresverbrauch für elektrische Energie [kWh/(m²·a)] des IWU-Gebäudes für das Jahr 2013 und 2014

Abb. 27 veranschaulicht exemplarisch die nicht nutzerspezifischen Verbräuche der Elektroenergie in Monaten für das Jahr 2014. Der elektrische Energieverbrauch für Beleuchtung liegt für das Erdgeschoss höher als für Obergeschosse für die, obwohl sich im Erdgeschoss wenige Büros befinden. Das liegt daran, dass in den Bereichen Foyer und Bibliothek viele Beleuchtungseinrichtungen installiert sind. In der Bibliothek sind häufig alle Leuchten eingeschaltet, obwohl wenige Personen anwesend sind. Trotz Unterteilung der Beleuchtungseinrichtungen in Gruppen für das Foyer, schalten sie sich vielmals am Tag aufgrund des hohen Personenaufkommens in dem Bereich an.

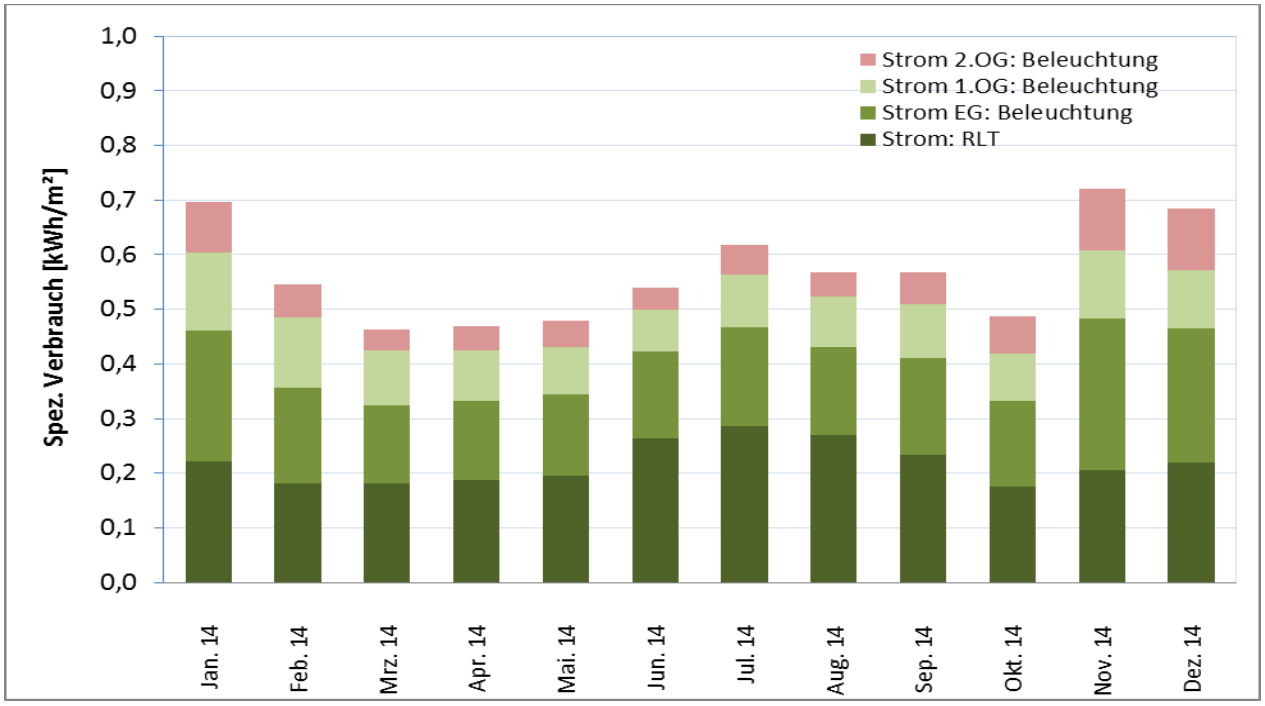


Abb. 27: Monatlicher spezifischer Verbrauch der elektrischen Energie des IWU-Gebäudes für das Jahr 2014 (nicht nutzerspezifisch)

7 Stromverbrauch bei Nichtwohngebäuden

7.1 Korrektur des Beleuchtungsstroms bei teilweise zugänglichen Verbrauchsdaten

Gemäß der aktuellen Bekanntmachung besteht neben der Bereinigung des Stromverbrauchs im Falle von Leerstand (siehe Abschnitt 7.2) auch folgende Möglichkeit zur rechnerischen Korrektur des Stromverbrauchs für Beleuchtung im Falle nur teilweise zugänglicher Verbrauchsdaten in einem Gebäude:

„Liegen bei einem Nichtwohngebäude mit mehreren vermieteten Nutzungseinheiten, bei dem der Energieverbrauch für Beleuchtung über separate Stromzähler für die Nutzungseinheiten jeweils getrennt erfasst wird, dem Eigentümer oder dem Energieausweisaussteller für die Einbeziehung des Stromverbrauchs für die Beleuchtung nicht alle erforderlichen erfassten Daten vor (z. B. aufgrund von Nutzerwechseln), so kann auf der Grundlage von mindestens 70 % der für die Bildung des Stromverbrauchswertes insgesamt erforderlichen erfassten Datensätze (Datensatz = erfasster Stromverbrauch von zwölf aufeinander folgenden Monaten bei einer Nutzeinheit) wie folgt vorgegangen werden:

a) *Die vorliegenden erfassten Verbrauchswerte einer Nutzeinheit für zwölf aufeinander folgende Monate sind auf die Fläche der jeweils zugehörigen Nutzeinheit zu beziehen.*
b) *Aus den nach Buchstabe a ermittelten Einzelwerten ist ein Mittelwert zu bilden.*
c) *Für alle anderen, gemeinschaftlich im Gebäude erfassten Stromverbrauchsanteile (Hilfsenergie, Klimatisierung, Beleuchtung von gemeinschaftlich genutzten Flächen) ist ein Verbrauchswert unter Anwendung von Nummer 3.4 dieser Bekanntmachung zu ermitteln.*
d) *Der Stromverbrauchswert des Gebäudes insgesamt ist bei dieser Vorgehensweise die Summe der nach den Buchstaben b und c ermittelten Werte.“*

Die oben dargestellte Methodik zur Hochrechnung des Beleuchtungsstroms soll hier anhand des getrennt gemessenen Stromverbrauchs für die Beleuchtung des Modellgebäudes Rheinstraße überprüft werden. Hierzu wurde der Stromverbrauch von drei Jahren herangezogen. Abb. 28 veranschaulicht die absoluten Stromverbräuche für die Jahre 2013 bis 2015.

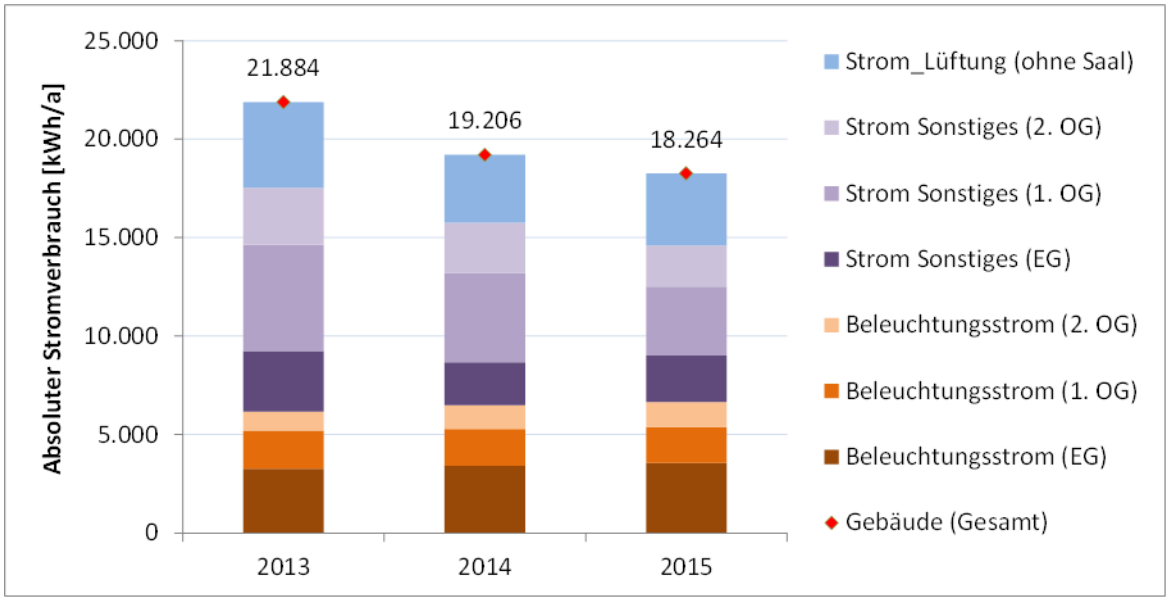


Abb. 28: Stromverbrauch des IWU-Gebäudes für die Jahre 2013 bis 2015

Es wurden zwei Szenarien untersucht:

- Geschossweise fehlende Datensätze (Datenbasis: Tatsächliche Verbrauchsdaten)
- Fehlende Datensätze einiger Nutzungseinheiten (Datenbasis: Kombination aus Verbrauchsdaten und rechnerischen Bedarfswerten)

Geschossweise fehlende Datensätze

Zuerst wird der Fall untersucht, in dem keine Datensätze für den Stromverbrauch der Beleuchtung für das 2. Obergeschoss (eine imaginäre Nutzungseinheit) vorliegen würde. Da für diese Untersuchung die Stromverbräuche der einzelnen Geschosse getrennt vorliegen, können die Stromverbrauchsdaten direkt verwendet werden. Der Anteil der Energiebezugsfläche des 2. OG beträgt in diesem Fall 23 %. Entsprechend der bestehenden Berechnungsmethodik ergibt sich ein Verbrauch der mit 1,75 %[4] vom gemessenen Verbrauch abweicht. Die sich somit ergebende Abweichung liegt in einem akzeptablen Bereich.

Der Stromverbrauch der Beleuchtung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Wesentlich sind hierbei u. a. die Nutzung des Gebäudes und der Lichtbedarf im Inneren (Büros, Kaufläden mit Schaufenstern etc.), der Tageslichtanteil im Innenraum (Fensterflächenanteils, Sonnenschutz, Raumtiefe usw.), die Effizienz der installierten Beleuchtungsanlagen (Lampentyp, Präsenserfassung, tageslichtabhängige Regelung, u. a.).

Fehlende Datensätze einiger Nutzungseinheiten

Bei der zweiten Untersuchung wird angenommen, dass die Datensätze einiger Nutzungseinheiten des Gebäudes fehlen würden. Da keine differenzierten Stromverbräuche nach Nutzungseinheiten vorhanden sind, wurde eine Energiebilanz nach DIN 18599 für die Ermittlung des Energiebedarfs der Beleuchtung der einzelnen Nutzungseinheiten aufgestellt. Damit lassen sich die oben genannten Einflussgrößen berücksichtigen und quantifizieren werden. Dieses Modell ergänzt das in Kapitel 8 beschriebene Simulationsmodell.

Folgende reale Randbedingungen wurden für das Modell berücksichtigt:

- Leuchtstofflampe stabförmig mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG)
- variabler Sonnenschutz für die Südseite
- Präsenzerfassung bzw. tageslichtabhängige Regelung (ein/aus) der Anlagen für alle Nutzungseinheiten außer Nutzungseinheiten 2, 5, 7 und 8 (siehe Tabelle 1)

Tabelle 1 die Ergebnisse der Energiebilanz in Bezug auf den Energiebedarf Beleuchtung für die definierten Nutzungseinheiten (Zonen) des Gebäudes. Zudem wurden die Energiebezugsflächen der Nutzungseinheiten sowie ihre prozentualen Anteile dargestellt.

Tabelle 1: Energiebedarfsbilanz für die Beleuchtung für die unterschiedlichen Nutzungseinheiten

Nutzungs-Nummer	Nutzungseinheiten	Strombedarf der Beleuchtung	Spez. Strombedarf der Beleuchtung	Energie-Bezugsfläche	Anteil der Energiebezugsfläche
[-]	[-]	kWh/a	kWh/(m²·a)	m²	[%]
1	Büro	9.743	12,63	771	46%
2	Besprechung	1.576	20,46	77	5%
3	Verkehrsflächen	837	2,28	367	22%
4	Sanitär	505	7,8	65	4%
5	Lager und Technik	7	0,32	23	1%
6	Bibliothek	3.048	17,09	178	11%
7	Saal	3.903	18,74	208	12%
8	Keller (nicht berücksichtigt)	0	0	0	0
Summe		19.619	11,61	1689	100%

Um den Einfluss der unterschiedlichen Nutzungen auf die Höhe des Beleuchtungsstroms darzustellen, wird in Tabelle 2 davon ausgegangen, dass der Strombedarf für die Nutzungseinheiten „Besprechung“, „Bibliothek“ sowie „Saal“ nicht bei

[4] Die Berechnung kann aus dem Anhang entnommen werden.

der Verbrauchserfassung zur Verfügung stünde. Hierbei beträgt der Anteil der Energiebezugsflächen mit fehlenden Verbräuchen 27 %. Wird die oben beschriebene Methodik für Beleuchtungsstrom im Falle fehlender Datensätze angewendet, ergeben sich für den Buchstaben a) die Werte in der Spalte 4 und für b) der mittlere spezifische Strombedarf von 5,75 kWh/(m²·a) (vgl. letzte Zeile in der Tabelle 2).

Tabelle 2: Berechnungsszenarien zur Bestimmung des Energiebedarfs für die Beleuchtung im NWG

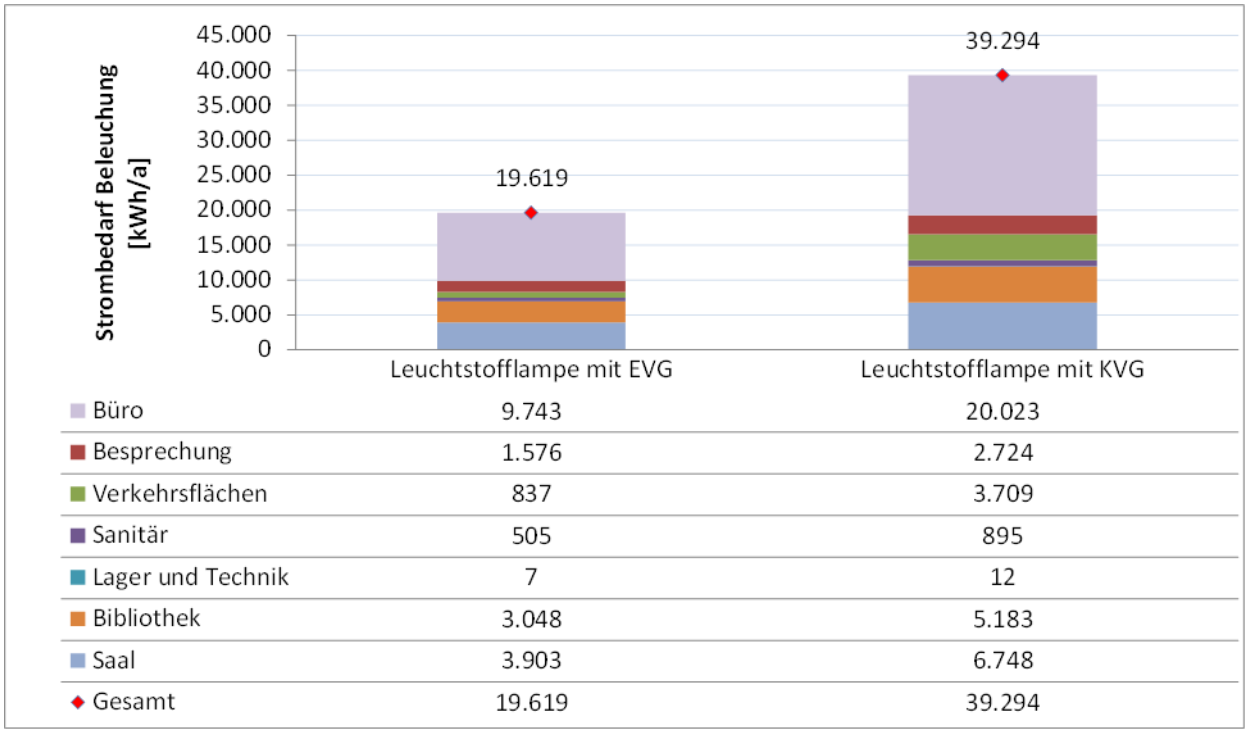
Verbrauch liegt vor:	Nutzungseinheit [-]	Beleuchtungsstrom kWh/a	Beleuchtungsstrom kWh/(m²·a)	fehlender Anteil in [%]
ja	Büro	9.743	12,63	
nein	Besprechung	-	-	5%
ja	Verkehrsflächen	837	2,28	
ja	Sanitär	505	7,80	
ja	Lager und Technik	7	0,32	
nein	Bibliothek	-	-	11%
nein	Saal	-	-	12%
Summe		11.092		27%
Mittelwert der einzelnen Beleuchtungsverbräuche			5,76	

Werden anschließend die gemeinschaftlichen (sonstigen) Stromverbräuche hinzuaddiert, resultieren die in Tabelle 3 dargestellten korrigierten Werte für die Fälle, in denen alle bzw. teilweise die Verbräuche vorliegen. Es ist ersichtlich, dass es im Falle des fehlenden Beleuchtungsstroms in den vorgenannten Nutzungseinheiten mit differenzierter Gebäudenutzung zu großen Abweichungen bei der Hochrechnung nach der Bekanntmachung kommen kann.

Tabelle 3: Hochrechnung des Stromverbrauchs für Beleuchtung gemäß der aktuellen Bekanntmachung sowie Ihre Abweichungen in Bezug auf die rechnerischen Bedarfswerte

Bezeichnung	Stromverbräuche [kWh/(m²·a)] liegen vollständig vor	Stromverbräuche [kWh/(m²·a)] liegen zum Teil vor	Abweichung bzw. Anteil
$\bar{e}_{Vs,12mth,Beleuchtung}$	11,33	5,76	-49,2%
$\bar{e}_{Vs,12mth,sonstiges}$	12,07	12,07	0,00%
$\bar{e}_{Vs,12mth,gesamt}$	23,40	17,83	-23,8%
Anteil des vorhandenen Stromverbrauchs (erforderlich: min. 70%)			89,4%

Je differenzierter die baulichen (Fenster, Überhänge etc.) und anlagentechnischen (Beleuchtung, Sonnenschutzeinrichtungen usw.) Gegebenheiten der einzelnen Nutzungseinheiten sind, desto höher können unter Umständen die Abweichungen zwischen rechnerischen und tatsächlichen Beleuchtungsverbräuchen ansteigen. Abb. 29 zeigt beispielsweise die unterschiedliche Höhe des Energiebedarfs für Beleuchtung in Bezug auf die Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) bzw. mit konventionellem Vorschaltgerät (KVG) des Modellgebäudes Rheinstraße.



	Leuchtstofflampe mit EVG	Leuchtstofflampe mit KVG
Büro	9.743	20.023
Besprechung	1.576	2.724
Verkehrsflächen	837	3.709
Sanitär	505	895
Lager und Technik	7	12
Bibliothek	3.048	5.183
Saal	3.903	6.748
Gesamt	19.619	39.294

Abb. 29: Energiebedarf Beleuchtung für die Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen mit elektronischem (EVG) und konventionellem Vorschaltgerät (KVG) des Modellgebäudes Rheinstraße

Bei der aktuellen Bekanntmachung werden zur Hochrechnung des fehlenden Beleuchtungsstroms zwar die insgesamt erforderlich erfassten Datensätze von mindestens 70 % vorausgesetzt, diese Bedingung ist aber nicht ausreichend, um die oben dargestellten Abweichungen zu begrenzen.

Da die Berücksichtigung aller Einflussgrößen in Bezug auf den Beleuchtungsstrom bei der Erstellung eines Energieverbrauchsausweises nicht zielführend ist, wird empfohlen, dass ergänzend zu den 70 % erforderlich erfassten Datensätzen für alle oder zumindest für die stark differenzierteren Nutzungseinheiten (beispielsweise ein Bürogebäude mit einer separaten Nutzungseinheit Kaufhaus mit Schaufenstern) mindestens ein kompletter Datensatz (erfasster Stromverbrauch von zwölf aufeinander folgenden Monaten) vorhanden sein muss. Da in einem Datensatz alle baulichen und anlagentechnischen Gegebenheiten der einzelnen Nutzungseinheiten einfließen, stellen sich bei der Hochrechnung nach dem Verfahren allenfalls Abweichungen infolge des Nutzerverhaltens bzw. der unterschiedlichen solaren Einstrahlungen innerhalb der nicht erfassten Zeiträume ein. Zur Hochrechnung des Beleuchtungsstroms sollten daher ausschließlich die Verbräuche derjenigen Jahre herangezogen werden, in denen ein kompletter Datensatz vorliegt.

Um hierbei die unterschiedlichen Fallunterscheidungen zu vermeiden und somit die Regelung in der Bekanntmachung einfach zu halten, empfiehlt es sich, das Verfahren ohne Differenzierung der Nutzereinheiten zu verwenden, da die Vorgehensweise sowohl für die einfachen als auch für stark differenzierteren Nutzungseinheiten anwendbar ist.

7.2 Korrektur des Stromverbrauchs bei teilweisem Leerstand des Gebäudes

Generell kommen folgende Fallunterscheidungen bezüglich der Gesamtstromverbräuche infrage:

- Verbräuche sind vollständig
  - → Keine Leerstandskorrektur der Verbräuche notwendig
- Bei den Verbräuchen existieren nur Verbrauchslücken wegen der fehlenden Verbräuche für Beleuchtung
  - → Hochrechnung der Verbräuche für Beleuchtung auf der Grundlage von mindestens einem nicht lückenhaften Datensatz (12 Monate eines Jahres) der Verbräuche für Beleuchtung sowie

→ 70 % der für die Bildung des Stromverbrauchswertes insgesamt erforderlichen erfassten Datensätze (vgl. Abschnitt 7.1)

- Bei den Verbräuchen existieren nur Verbrauchslücken wegen der Leerstände
  → Leerstandskorrekturen der Verbräuche nach der Bekanntmachung notwendig, soweit der Leerstandsfaktor ≥ 5 % bzw. ≤ 30 % beträgt.
- Bei den Verbräuchen existieren Verbrauchslücken wegen der Leerstände und der fehlenden Verbräuche für Beleuchtung
  a) Fehlende Verbräuche für Beleuchtung decken sich räumlich und zeitlich nicht mit denen des Leerstandes
     → Kumulativer Ansatz: Vorerst die Anwendung vom Fall2) und anschließend die Anwendung vom Fall3)
  b) Fehlende Verbräuche für Beleuchtung decken sich räumlich und zeitlich mit denen des Leerstandes
     → Nur die Anwendung vom Fall3)

Bestimmte technische Anlagen, die in Gebäuden Strom verbrauchen, sind über das Jahr hinweg nicht konstant in Betrieb. Dies betrifft z.B. die Kälte- und Wärmeerzeugung, aber auch Beleuchtungseinrichtungen. Üblicherweise ist allerdings auf Grund der Zählerstruktur nicht bekannt, welchen Verbrauch die jeweiligen Anlagen besitzen, sondern es liegt nur ein gesamthafter Verbrauchswert vor. Daher wurde untersucht, welchen Einfluss die Betriebsphase im Jahresverlauf auf den Leerstandszuschlag haben könnte.

Grundlage der Untersuchung sind fünf Gebäude, für die monatliche Verbräuche für das gesamte Gebäude vorlagen. Bei den betrachteten Gebäuden lässt sich über den spezifischen Stromverbrauch pro Quadratmeter Nettogrundfläche einordnen, welches Stromverbrauchsniveau die Gebäude besitzen (eingeordnet von sehr hoch bis sehr niedrig). Diese Verbrauchswerte können durch den Ausstattungsgrad im Gebäude und/oder durch das Verhalten der Nutzer beeinflusst sein.

Es wurden folgende Szenarien untersucht:

- Leerstand im Gebäude während der ersten 6 Monate im Jahr (Januar-Juni)
- Leerstand im Gebäude während der letzten 6 Monate im Jahr (Juli-Dezember)
- Leerstand im Gebäude während der 4 Wintermonate (November-Februar)
- Leerstand im Gebäude während der 4 Sommermonate (Juni-September)
- Leerstand im Gebäude während der 4 Sommer- plus 4 Wintermonate (Juni-September & November-Februar)

In jedem Szenario wurde angenommen, dass das gesamte Gebäude zu diesem Zeitraum leer steht und die Anlagen keinen Stromverbrauch erzeugen. Diese Annahme stellt eine Vereinfachung dar, die in einem Fall zu Leerstandsfaktoren von 0,33 führt, der über der Grenze von 0,3 der aktuellen Bekanntmachung liegt. Da es sich hierbei um eine rein theoretische Untersuchung handelt und die Stromverbräuche während der Vollbelegung existieren, kann dennoch hier den Fall mituntersucht werden. Das gleiche gilt für den Zeitraum der Datenerfassung im Fall des Gebäudes (6), der geringer als 36 Monate ist.

Als Vergleichsgröße werden in dieser Untersuchung, ähnlich den Betrachtungen zu Warmwasser (siehe Kapitel 5.2), die Abweichungen zwischen dem tatsächlichen Stromverbrauch und einem berechneten Verbrauch bestimmt. Der berechnete Verbrauch ergibt sich dabei aus dem Verbrauch, der sich während des theoretischen Leerstands einstellen sollte und einem entsprechenden Leerstandszuschlag, der mit der Berechnungsmethode der aktuellen Bekanntmachung bestimmt wurde.

Allgemein liegen die so bestimmten Abweichungen für die hier betrachteten Gebäude im negativen Bereich (vgl. Abb. 30), was auf eine leichte Unterschätzung des Leerstandszuschlags nach der aktuellen Berechnungsmethode hinweist. Allerdings fallen diese Abweichungen mit maximal -11% relativ gering aus. Bei dem Gebäude mit dem höchsten Strom-

verbrauchsniveau ergeben sich auch die größten Abweichungen (vgl. Tabelle 4). Bei einer genaueren Betrachtung liegen die höchsten Stromverbräuche in den Monaten März, Mai und August, weshalb gerade das zuletzt genannte Szenario zu so deutlichen Abweichungen führt.

Da die hier bestimmten Abweichungen für relativ gering gehalten werden (mit Ausnahme des Gebäudes mit sehr hohem Stromverbrauchsniveau), wird die aktuelle rechnerische Methode zur Leerstandsberechung für diese Verwaltungsgebäude als für anwendbar betrachtet.

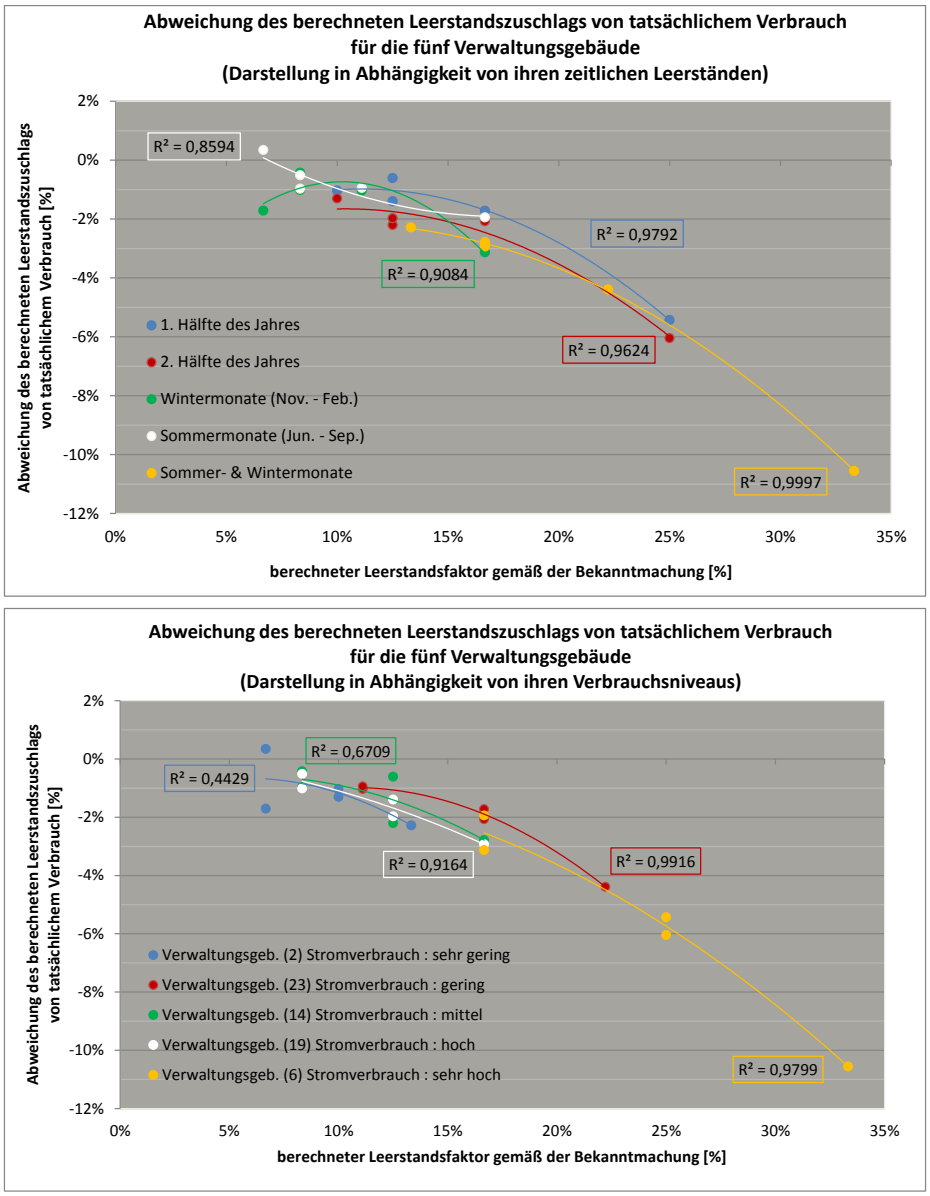


Abb. 30: Abweichung des berechneten Leerstandszuschlags von tatsächlichem Verbrauch für die fünf Verwaltungsgebäude. Darstellung in Abhängigkeit von ihren zeitlichen Leerständen (obere Abbildung) bzw. von ihren Verbrauchsniveaus (untere Abbildung)

Tabelle 4 veranschaulicht die gemessenen Verbräuche sowie berechneten Leerstandszuschläge gemäß oben dargestellten Szenarien.

Tabelle 4: Szenarien zur Beurteilung der Methodik für die Leerstandskorrektur des Gesamtstromverbrauchs bei teilweisem Leerstand gemäß der aktuellen Bekanntmachung auf der Grundlage der tatsächlichen Stromverbräuche von 5 Verwaltungsgebäuden

Bezeichnung des Gebäudes		Verwaltung Geb. (2)	Verwaltung Geb. (23)	Verwaltung Geb. (14)	Verwaltung Geb. (19)	Verwaltung Geb. (6)
Nettogrundfläche des Gebäudes [m²]		4.185	30.570	20.349	4.842	7.641
Leerstandsfläche [m²]		4.185	30.570	20.349	4.842	7.641
Anzahl der gemessenen Jahre		5	3	4	4	2
Gesamtverbrauch bei der Vollbelegung über Jahre [kWh]		478.924	3.858.321	4.051.181	1.281.636	1.520.046
Betrachtungsjahr während des Leerstands		2007	2004	2005	2007	2009
Jahrverbrauch in Vollbelegung im Betrachtungsjahr [kWh]		97.226	1.227.760	1.001.363	323.151	747.534
Spez. Jahrverbrauch in Vollbeleg. des Betrachtungsjahr [kWh/m²]		23,23	40,16	49,21	66,73	97,83
Stromverbrauchsniveau des Gebäudes im Betrachtungsjahr		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Tatsächlicher Stromverbrauch [kWh] mit einem (theoretischen) Leerstand für:	1. Hälfte des Jahres	49.201	619.690	529.446	164.858	377.493
	2. Hälfte des Jahres	48.025	608.070	471.917	158.293	370.041
	Wintermonate (Nov. - Feb.)	59.618	806.070	673.833	212.578	489.638
	Sommermonate (Jun. - Sep.)	68.850	809.330	653.468	218.448	505.058
	Sommer- & Wintermonate	31.242	387.640	325.938	107.875	247.162
berechneter Leerstands-zuschlag [kWh] gemäß aktueller Bekanntmachung	1. Hälfte des Jahres	43.090	541.708	447.408	140.418	287.501
	2. Hälfte des Jahres	42.972	539.772	440.217	139.597	285.638
	Wintermonate (Nov. - Feb.)	29.421	381.848	310.304	97.589	210.358
	Sommermonate (Jun. - Sep.)	30.037	382.210	308.607	98.078	212.928
	Sommer- & Wintermonate	55.059	670.711	562.626	177.727	339.891
Abweichung des berechneten Zuschlags [%] von tatsächlichem Verbrauch	1. Hälfte des Jahres	-1,03%	-1,72%	-0,60%	-1,39%	-5,43%
	2. Hälfte des Jahres	-1,30%	-2,07%	-2,20%	-1,97%	-6,04%
	Wintermonate (Nov. - Feb.)	-1,71%	-1,03%	-0,43%	-1,01%	-3,13%
	Sommermonate (Jun. - Sep.)	0,35%	-0,94%	-0,97%	-0,52%	-1,94%
	Sommer- & Wintermonate	-2,28%	-4,39%	-2,78%	-2,93%	-10,56%
berechneter Leerstandsfaktor [%] gemäß aktueller Bekannt-machung	1. Hälfte des Jahres	10%	17%	13%	13%	25%
	2. Hälfte des Jahres	10%	17%	13%	13%	25%
	Wintermonate (Nov. - Feb.)	7%	11%	8%	8%	17%
	Sommermonate (Jun. - Sep.)	7%	11%	8%	8%	17%
	Sommer- & Wintermonate	13%	22%	17%	17%	33%

Eine weitere Überlegung wäre es, festzustellen, welche Auswirkung der anlagentechnischen (Kälte, mechanische Lüftung usw.) Gegebenheiten der einzelnen Nutzungseinheiten auf den Stromverbrauch in einem längeren Leerstand haben. Das Problem liegt - wie oben bereits erwähnt - hierbei darin, dass in den meisten Fällen sich der Versorgungsbereich einer Anlagentechnik wie eine Kältemaschine bzw. Lüftungsanlage über mehrere Nutzungseinheiten erstreckt. Sollte der Energieverbrauch der gewünschten Nutzungseinheit ermittelt werden, müssten alle Anlagen, die diese versorgen über einen separaten Stromzähler verfügen.

Bei der Erstellung des Energieverbrauchsausweises liegen dem Ausweisersteller häufig über die Energieverbräuche hinausgehende Informationen vor (wie bauliche und anlagentechnische Eigenschaften). Werden diese Informationen bei der Erstellung des Energieverbrauchsausweises herangezogen, können die Energieverbräuche bzw. Leerstandszuschläge auf der Ebene der Nutzungseinheiten prognostiziert werden. Die beschriebene Herangehensweise (Teilenergiekennwert-Methode) wird zurzeit in einem parallel laufenden Forschungsprojekt zur Bestimmung der Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) vom Institut Wohnen und Umwelt untersucht.

8 Simulationen von Leerständen in Wohn- und Nichtwohngebäude

Die hierfür verwendete Software TRNSYS erlaubt es, transiente Zustände zu berechnen, indem die Differenzialgleichungen der thermischen Zustände aufgestellt und mathematisch gelöst werden. Eine genaue Beschreibung der Berechnungsmethodik dieser Simulationssoftware bieten die Handbücher dieser Software, die in zahlreichen Projekten validiert wurde. Die Simulationen erfolgten in Stundenschritten über 8760h (d. h. annährend Jahresgang). Dabei wurde der Nutzwärmebedarf der einzelnen Zonen berechnet. Die Resultate sind für jeden Monat und für das gesamte Jahr erfasst worden.

8.1 Vereinfachungen bei dem Wohngebäudemodell

Die Modelle zur Simulation der unterschiedlichen Leerstandsszenarien basieren auf der Struktur der realen Gebäude in Frankfurt und in der Rheinstraße 65 in Darmstadt, jedoch wurde das Modell in gewissen Punkten vereinfacht. Diese Vereinfachungen dienen dazu, die bessere Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten Szenarien zu ermöglichen.

8.1.1 Geometrische Vereinfachungen bei den Wohngebäuden

Die geometrischen Vereinfachungen betreffen zunächst die äußere Kubatur. Es wurde auf eines der mittleren Geschosse verzichtet, da das 2. Obergeschoss bereits den Zustand des entfernten Geschosses repräsentiert. Daher werden bei der vorliegenden Studie nur die Fälle Erdgeschoss, 1. Obergeschoss, 2. Obergeschoss und Dachgeschoss untersucht. Das Dachgeschoss wurde im Vergleich zum realen Gebäude in der Kubatur leicht vereinfacht, ohne dass die Geschossfläche, bzw. Hüllfläche sich maßgeblich änderte. Weiterhin wurde eine Spiegelsymmetrie in den Grundrissen der Wohnungen und im Gebäude erzeugt, die im realen Gebäude nicht existiert. Dabei wurde die gesamte Nettonutzfläche des Gebäudes mit identischen Grundrissen bzw. Nutzflächen in den einzelnen Regelgeschossen beibehalten. Somit ist eine deutlich bessere Vergleichbarkeit bei den untersuchten Fällen ermöglicht worden. Die Einzelfenster wurden je Wohnung und Orientierung der Außenwand zu einem Bandfenster zusammengefügt (bei gleichbleibender Fläche des Rahmenanteils), was keinen Einfluss auf die Resultate aber auf die Rechengeschwindigkeit hat.

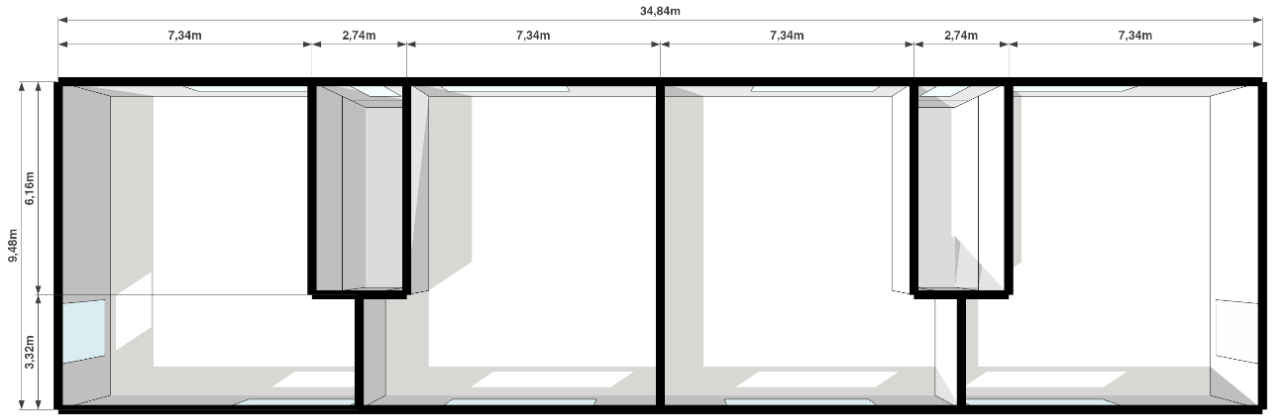


Abb. 31: Geometrische Vereinfachungen im Grundriss des Wohngebäudes

Das Modell des Wohngebäudes wurde für die Simulationsrechnungen in 17 Zonen unterteilt. Diese sind nach den vier Zonengruppen Keller, Treppenhäuser, Regelgeschoss- und Dachgeschosswohnungen unterschieden worden. Die Zone des Kellergeschosses wurde vereinfacht als eine Gesamtzone im Untergeschoss angenommen. Diese Zone ist als nicht beheizt modelliert worden. Die Außenbauteile des Kellers grenzen überwiegend an das Erdreich an. Die Temperatur des Erdreichs wird vereinfacht über einen sinusförmigen Verlauf, mit einem Tiefpunkt am Ende des Monats Januar, über das Jahr abgebildet. Ein Teil der Kellerwände ist als Perimeterstreifen zur Außenluft hin exponiert modelliert. Die Kellerdecke dieser Zone grenzt an die Wohnungen im Erdgeschoss an. Ein Teil der Innenraumwände des Kellers grenzt an die Wände der Treppenhäuser an. Die Wände der beiden Zonen der Treppenhäuser grenzen darüber hinaus zum Teil an das Erdreich, den Außenraum und die Wohnungen an. Die Treppenhäuser sind vereinfacht ebenfalls als nicht beheizt modelliert worden. Die in den drei Regelgeschossen spiegelsymmetrisch aufgebauten Wohnungen grenzen in gleichen

Verhältnissen an die Treppenhäuser. Die Eckwohnungen besitzen allerdings, entsprechend dem Gebäude in Frankfurt am Main, auf den Stirnseiten zusätzliche Fenster. Die Dachwohnungen besitzen eine größere Grundfläche und auf Grund der komplexeren Kubatur ein höheres Verhältnis von Außenwandfläche zu Wohnraumvolumen im Vergleich zu den übrigen Wohnungen in den Regelgeschossen. Die Dachwohnungen besitzen, entsprechend typische Attikageschosse, eine Terrasse, d. h. die Wohnungen im zweiten OG grenzen zum Teil mit ihren Decken an den Fußboden der Dachgeschosswohnungen und zum Teil direkt an den Außenraum. Diese Wohnräume sind als beheizte Räume modelliert worden. Abb. 32 veranschaulicht das erstellte vereinfachte Modellgebäude in Frankfurt am Main.

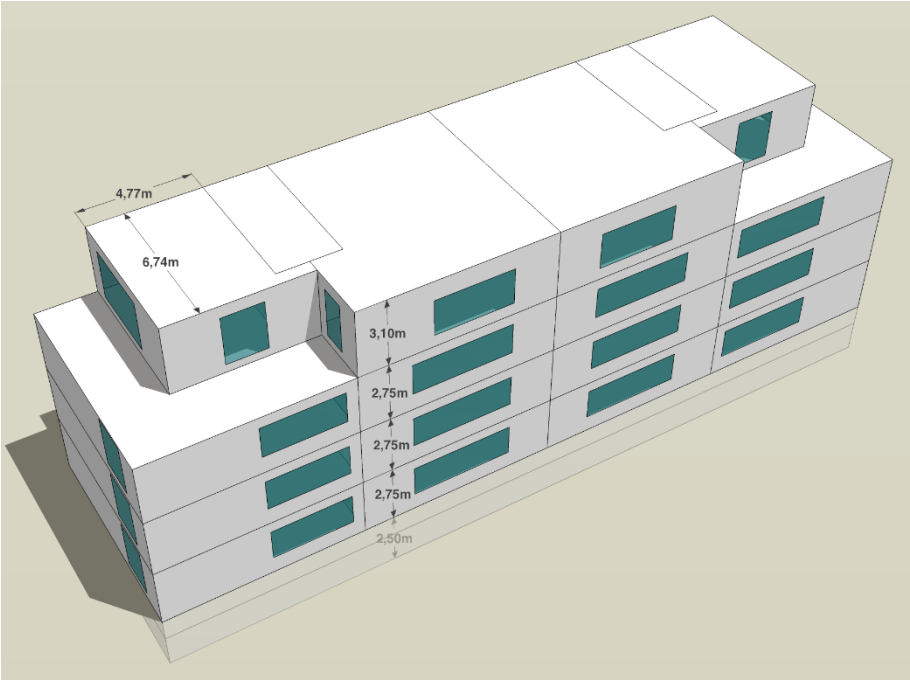


Abb. 32: Geometrische Vereinfachungen in der Kubatur des Wohngebäudes

8.1.2 Strukturelle Vereinfachungen der Nutzerprofile bei den Wohngebäuden

Während im realen Gebäude in Frankfurt am Main in jeder Wohnung ein individuelles Nutzerprofil existiert, wurden in den Szenarien-Modellen deutliche Anpassungen bei diesen Profilen vorgenommen, um eine Übertragbarkeit und Vergleichbarkeit der untersuchten Fälle zu ermöglichen. Es wurde hier ein möglichst realistisches Nutzerprofil erstellt, das einer Wohnsituation eines Mehrpersonenhaushalts bei konstanter Anwesenheit entspricht. Somit ist bei der Simulation der jeweiligen Szenarien das Nutzerprofil in allen Wohnungen stets identisch angenommen worden. Allerdings wurde der starken Differenzierung der Nutzerprofile im realen Gebäude dahingehend Rechnung getragen, dass drei unterschiedliche Sätze an Nutzerprofilen entwickelt wurden, die separat untersucht wurden. Hier wurde die Wunschtemperatur der Nutzer in den Wohnungen während der Heizperiode unterschiedlich hoch angenommen. Dies basiert auf der Erkenntnis der Studie zum Gebäude in Frankfurt am Main [6], in der als wichtigster Faktor bezüglich der Energieverbräuche die Wunschtemperatur erkannt wurde. Es wurden drei Profiltypen differenziert, die Simulationen mit Raumtemperaturen von 19 °C bei „sparsamen“ Bewohnern, Raumtemperaturen von 21 °C bei eher „üblichen“ Verbrauchern und Raumtemperaturen von 23 °C bei hohen Verbrauchern ermöglichen. Die Möglichkeit der Nachtabsenkung auf 16 °C ist in dem Modell hinterlegt. Sie wurde jedoch nicht als weiterer Parameter simuliert, um die Anzahl an Fällen handhabbar zu halten.

Auf eine noch stärkere Differenzierung der Nutzerprofile (z. B. in Bezug auf mögliche unterschiedliche Stromverbräuche und damit auf unterschiedliche interne thermische Gewinne) wurde verzichtet, um eine Vergleichbarkeit der Fälle untereinander weiterhin zu ermöglichen. In Bezug auf die internen Gewinne wurde das Nutzerprofil entsprechend der Empfehlung der DIN V 18599 mit internen Gewinnen von insgesamt 90Wh/m^2 am Tag konzipiert. Als Dauerlast wurden hier die Personenbelegung und eine gewisse konstante Abwärme durch elektrische Geräte angenommen. Die elektrische

Beleuchtung – beim Wohngebäude nicht für die Verbrauchserfassung relevant, aber als interner Wärmegewinn – wurde vereinfacht über Sommer- und Winterzyklen simuliert. In der Sommerperiode wurden die Zeiten von 6:00-10:00 und von 17:00-23:00 angenommen und in der Winterperiode die Zeiten von 6:00-11:00 und von 16:00-23:00. Damit sollen auch Zeiten abgedeckt werden, an denen durch Bewölkung u. U. längere Betriebszeiten entstehen. Die Beleuchtungsstärke wurde so gewählt, dass im Durchschnitt in der Summe täglich die anvisierten 90Wh/m^2 interne Lasten entstehen.

8.2 Vereinfachungen bei dem Nichtwohngebäudemodell

Die Modelle zur Simulation der unterschiedlichen Leerstandszenarien basieren auf der Struktur der realen Gebäude in Frankfurt und in der Rheinstraße 65 in Darmstadt, jedoch wurde das Modell in gewissen Punkten vereinfacht. Diese Vereinfachungen dienen dazu, die bessere Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten Szenarien zu ermöglichen.

8.2.1 Geometrische Vereinfachungen bei den Nichtwohngebäuden

Auch im Modell des Nichtwohngebäudes wurden Kubatur und die Zonierung angepasst. Zunächst wurden drei identische Geschosse, basierend auf dem 1. Obergeschoss des realen Gebäudes. erstellt. Die Gesamtlänge und -breite des Gebäudes ist mit dem realen Gebäude identisch, die Geschosshöhe wurde einheitlich auf 3,5 m festgelegt. Es wurde eine streng symmetrische Aufteilung im Innenraum vorgenommen. Der Fensterflächenanteil ist entsprechend dem realen Gebäude gewählt, allerding als ein großes Fensterband pro Zone.

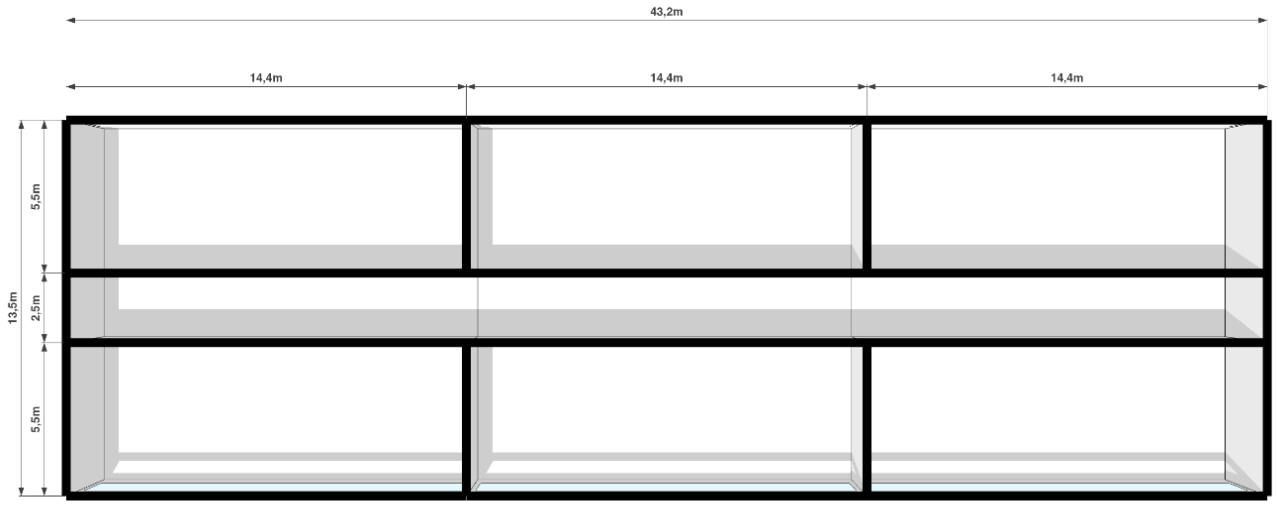


Abb. 33: Geometrische Vereinfachungen im Grundriss des Nichtwohngebäudes

Das Modell wurde für die Simulationsrechnungen in 28 Zonen unterteilt. Diese sind zudem nach den drei Zonengruppen Keller, Flur und Nutzungszone unterschieden worden. Die Zone des Kellergeschosses wurde vereinfacht als eine Gesamtzone im Untergeschoss angenommen. Diese Zone ist wie in der Realität als nicht beheizt modelliert worden. Die Außenbauteile des Kellers grenzen überwiegend an das Erdreich an. Die Temperatur des Erdreichs wird vereinfacht über einen sinusförmigen Verlauf, mit einem Tiefpunkt am Ende des Monats Januar, über das Jahr abgebildet. Ein Teil der Kellerwände ist als Perimeterstreifen zur Außenluft hin exponiert modelliert. Die Kellerdecke dieser Zone grenzt an die Flur- und an die Nutzungszone im Erdgeschoss an. Die in den drei Regelgeschossen spiegelsymmetrisch aufgebauten Nutzungszonen grenzen in gleichen Verhältnissen an die Flurzonen an. Alle Nutzungszonen besitzen den gleichen Fensterflächenanteil. Es wurde vereinfacht angenommen, dass sich die Treppenzone im Bereich der Flurzone befindet. Bei dem Modellgebäude Rheinstraße befindet sich in den Verkehrsflächen kein Heizkörper, da sie aufgrund der meist offenen Türen der Büroräume (keine thermische Trennung) über Büros mitbeheizt werden. Dies bedeutet, dass in den Flurzonen die gleichen Wunschtemperaturen wie in den Büroräumen herrschen. Dieser Sachverhalt wurde zur Vereinfachung des Simulationsmodells übernommen. Allerdings kann in anderen Bürogebäuden die beheizte Zone sich alleine auf Büros beschränken, wenn eine thermische Trennung existiert (z. B. wenn Türen aus Sicherheits- oder Diskretions-

gründen permanent geschlossen sind) und die Flächenanteile von unbeheizten Erschließungsflächen groß sind bzw. die Flächenanteile der Gebäudehülle auf Grund der Lage der Erschließungszonen im Gebäude groß sind.

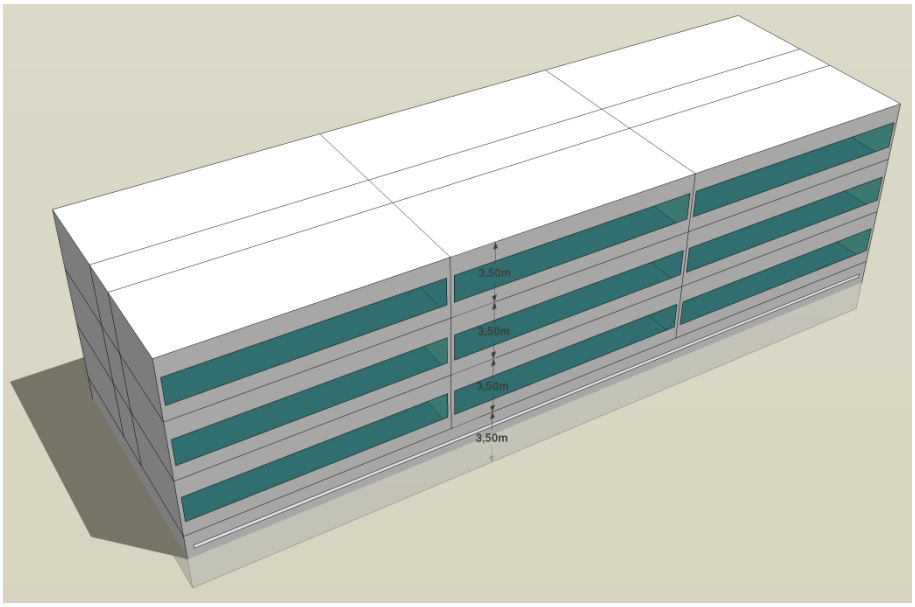


Abb. 34: Geometrische Vereinfachungen der Kubatur des Nichtwohngebäudes

8.2.2 Strukturelle Vereinfachungen der Nutzerprofile bei den Nichtwohngebäuden

Auch im realen Bürogebäude in der Rheinstraße zeigt sich, dass die Nutzer individuell unterschiedlichen Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Dies lässt sich in diesem Gebäude auf der Wärme- und Stromseite nachweisen. Da mit den Modellen aber eine Übertragbarkeit und eine Vergleichbarkeit der Resultate anvisiert war, sind einheitliche Nutzerprofile entwickelt worden. Entsprechend den Aspekten, die in Abschnitt 8.1.2 für das Wohngebäude formuliert sind, wurden im Nichtwohngebäude ebenfalls drei Profile mit Wunschtemperaturen von 19 °C, 21 °C und 23 °C berücksichtigt. Allerdings wird in den Modellen zum Nichtwohngebäude davon ausgegangen, dass differenzierte Nutzungs- und Betriebsstunden existieren. Entsprechend der DIN V 18599 wurde daher zwischen Nutzungszeiten der Personen (7:00-18:00) und Betriebszeiten der Anlagen (5:00-18:00) unterschieden. Feiertage wurden nicht gesondert berücksichtigt. Außerhalb der Betriebszeiten (nachts und an Wochenenden) wurde in allen Räumen höchstens eine Temperatur von 16 °C gehalten. Während der Betriebszeiten wurde in den jeweiligen leerstehenden Zonen diese Mindesttemperatur von 16 °C weiter garantiert, die Raumtemperatur aber entsprechend der jeweiligen Wunschtemperatur (19 °C, 21 °C oder 23 °C) im Winter gehoben. Es wurde im Sommerbetrieb ab einer Innenraumtemperatur von 24 °C eine erhöhte Luftwechselrate angenommen. In Kombination mit einem über die solare Einstrahlung geregelten außenliegenden Sonnenschutz wurde in den Modellen garantiert, dass die Innenraumtemperatur nur in seltenen Ausnahmefällen auf über 26 °C steigt. Bei den internen Wärmegewinnen wurden die pauschalen Ansätze der DIN V 18599 genutzt. Hier wurden mittlere Werte bezüglich des Wärmeeintrags durch Personen und Arbeitshilfen pro Quadratmeter angenommen, die an die Nutzungszeiten gekoppelt sind.

Bei den Modellen mussten besonders in Bezug auf den Wärmeeintrag durch die Beleuchtung Vereinfachungen vorgenommen werden. In der Praxis findet sich eine große Streuung einerseits in Bezug auf Beleuchtungssysteme (Leuchtmittel, Regelung, etc.) und andererseits in Bezug auf Betriebsstunden (abhängig vom Nutzer, vom Anteil an Tageslicht im Innenraum, etc.). Daher wurde ein Kompromiss gesucht, der eine Reihe von Situationen abdeckt. Grundsätzlich wurde bei der Beleuchtung zwischen den Nutzungszonen und den Fluren unterschieden. In Bezug auf die Regelung der Beleuchtung wurde angenommen, dass entsprechend eines Nutzerprofils die Beleuchtung im Winter 6 Stunden (7:00-10:00 und 15:00-18:00) und im Sommer 3 Stunden (7:00-9:00 und 17:00-18:00) in Betrieb ist. Mit diesen vereinfachten Regelungen sollen Tage ohne und Tage mit erhöhtem elektrischem Beleuchtungsbedarf als Durchschnitt abgebildet werden.

In Gebäudevarianten mit einer höheren Wärmschutzklasse wurde angenommen, dass auch eine verbesserte Innenraumbeleuchtung mit höherer Effizienz existiert. Vereinfacht wurde dies über den Wärmeeintrag pro Quadratmeter Innenraum dargestellt. In den Nutzungszonen der höchsten Wärmeschutzklasse wurde vereinfacht ein Wärmeeintrag durch die Beleuchtung von 5W/m^2 angenommen. Dies entspricht einer Beleuchtung mit Fluoreszenzleuchtmittel, das am Arbeitsplatz 500lux ermöglicht. Im Vergleich zu den Nutzungszonen wurde in den Flurzonen die Beleuchtung entsprechend des Nutzungsprofils Verkehrsflächen mit einem Wärmeeintrag von 1 W/m^2 geringer angesetzt. In den Flurzonen wurden weiterhin keine Wärmeeinträge durch Personen oder Arbeitshilfen angenommen. Bei den beiden geringeren Wärmeschutzklassen wurde die Leistung auf 5 W/m^2 in den Nutzungszonen bzw. Fluren erhöht. Vereinfacht sind Konvektive und Strahlungsanteile hier als gleich hoch angesetzt.

8.3 Aufbau der Szenarien und Modelle

Die untersuchten Fälle sind so strukturiert, dass in Grundszenarien jeweils ein Satz von unterschiedlichen Leerstandssituationen ausgewertet wurde. Die Gesamtzahl an Fällen beträgt beim Wohngebäude 1404 (mit 54 Grundszenarien bei 26 Leerstandssituationen), und beim Nichtwohngebäude beträgt die Gesamtanzahl 2160 (mit den 54 Grundszenarien bei 40 Leerstandssituationen). Die Resultate der Leerstandssimulationen wurden mit den Ergebnissen einer angenommenen Vollbelegung der jeweiligen Grundszenarien der Gebäude verglichen. Jedes Resultat durch die Berechnung mit TRNSYS wurde mit den theoretischen Ergebnissen durch die aktuelle Methode der rechnerischen Leerstandskorrektur verglichen.

8.3.1 Leerstandsszenarien bei den Wohngebäuden

Es ist eine enorme Vielzahl an möglichen Leerständen sowohl im Wohngebäude als auch im Nichtwohngebäude denkbar. So unterscheiden sich Leerstände nicht nur in Bezug auf die leerstehenden Flächen, sondern auch durch Ihre jeweilige Dauer im Gebäude. Der Fokus in dieser Arbeit liegt in den Wärmeströmen, die unbeabsichtigt von belegten Zonen in leerstehende Bereiche während der Heizperiode fließen, da diese zusätzlichen Wärmeströme zu einer gewissen Verzerrung gegenüber einer Vollbelegung in Bezug auf die spezifischen Verbräuche pro Quadratmeter führen. Der Wärmestrom in den leerstehenden Bereich wird durch die niedrigere Raumtemperatur in dieser Zone angetrieben und diese Raumtemperatur ist maßgeblich durch das Volumen, bzw. den Anteil an der Hüllfläche mit beeinflusst. Der zeitliche Einfluss des Leerstands auf die Raumtemperatur wird demgegenüber als geringer eingeschätzt, weshalb zeitliche Differenzierungen in dieser Studie nicht vorgenommen wurden, sondern die aus Sicht des Auftragnehmers relevantesten Kombinationen in Bezug auf Flächenunterschiede untersucht. Diese lassen sich als folgende drei Leerstandsituationen im Wohngebäude beschreiben und sind beispielhaft in Abb. 35 bis Abb. 37 dargestellt:

- Einzelleerstand einer Wohnung,
- Leerstand von benachbarten Wohnungen und
- geschossweiser Leerstand.

In der Praxis treten auch Situationen mit nicht zusammenhängenden Leerstandsflächen auf. Ferner ist der Fall des vollständigen Leerstands eines Gebäudes über eine begrenzte Zeit zu betrachten. Beide Situationen sind Gegenstand gesonderter Betrachtungen in den Abschnitten 10.4 und 10.5.

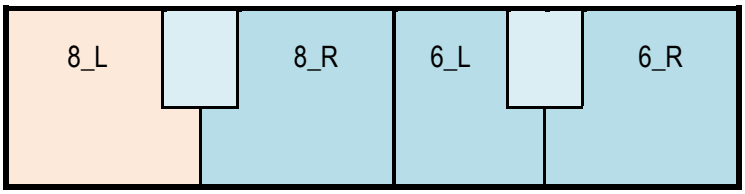


Abb. 35: Beispiel eines Leerstands einer Einzelzone

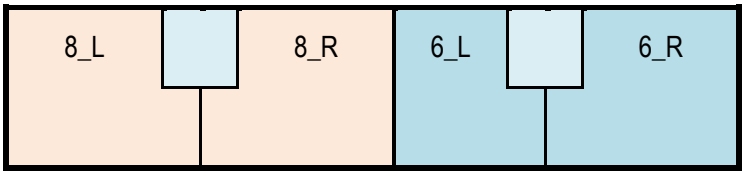


Abb. 36: Beispiel eines Leerstands zweier benachbarten Wohnungen

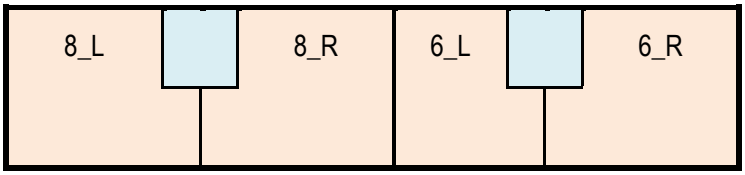


Abb. 37: Beispiel eines geschossweisen Leerstands

Die in der Matrix der Abb. 38 dargestellten Leerstände sind entsprechend der Hausnummer und der Position im Grundriss (L=links und R=rechts) abgebildet. Diese 24 Fälle wurden jeweils mit dem Simulationsergebnis der Vollbelegung verglichen. Für jeden Fall konnte so ein Heizwärmeverbrauch durch eine Simulation über einen Jahresgang mit Stundenschritten vorhergesagt und dieses Ergebnis mit den Resultaten entsprechend der aktuellen Methode zur rechnerischen Leerstandskorrektur verglichen werden.

In den Wohnungen, die in den Simulationen als leer angenommen wurden, wird nur so viel Heizwärme zugeführt, dass eine Mindesttemperatur von 16 °C garantiert bleibt. Die Ergebnisse der Simulationen mit einer Raummindesttemperatur von 16 °C zeigen, dass dies besonders das Ergebnis des Heizwärmebedarfs im Bereich der Grundszenarien mit Altbauten beeinflusst, d.h. dass besonders die Wohnungen im Dachgeschoss weiterhin etwas Heizwärme benötigen, um diese Temperatur zu garantieren. Der Aspekt einer Mindesttemperatur bei Leerständen wird in der Praxis unterschiedlich gehandhabt. Besonders bei Altbauten kann diese Temperatur höher liegen, um einerseits baukonstruktive Schäden zu vermeiden (z. B. Tauwasser) oder andererseits, wenn gebäudetechnische Einrichtungen ein individuelles Absenken der Temperaturen nicht ermöglicht. Weiterhin sind Fälle bekannt, bei denen bei Leerständen die Heizung in Wohnungen dann komplett ausgeschaltet ist und keine Mindesttemperatur geliefert wird. Der Aspekt bezüglich der Mindesttemperaturen wurde in dieser Studie nicht weiter vertieft untersucht.

Weiterhin sind bei Leerständen keine internen Gewinne durch Personen oder Geräte angenommen worden, was in der Praxis als wahrscheinlich angenommen werden kann. Es wurde für die leerstehenden Wohnungen auch keine Lüftung simuliert. Hier wurde angenommen, dass in den Modellen ohne lüftungstechnische Anlagen die Fenster immer geschlossen sind (Wärmeschutzklasse EnEV 2009 und Altbau) und in den Modellen mit lüftungstechnischen Anlagen die Gebäudetechnik eine geregelte wohnungsweise Lüftung erlaubt (Ist-Zustand).

Leerstandsmatrix (X = leerstehende Nutzungseinheit)			Zonen im Gebäude in Frankfurt am Main													
			Erdgeschoss				1. Obergeschoss				2. Obergeschoss				Dachgeschoss	
			8_R	8_L	6_R	6_L	8_R	8_L	6_R	6_L	8_R	8_L	6_R	6_L	8	6
Fall	1	Vollbelegung														
	2	Leerstand einzelner Nutzungseinheit	X													
	3			X												
	4				X											
	5					X										
	6						X									
	7							X								
	8								X							
	9									X						
	10										X					
	11											X				
	12												X			
	13													X		
	14														X	
	15															X
	16	Leerstand benachbarter Nutzungseinheit	X	X												
	17				X	X										
	18						X	X								
	19								X	X						
	20										X	X				
	21												X	X		
	23	Geschoss-weiser Lerstand	X	X	X	X										
	24						X	X	X	X						
	25										X	X	X	X		

Abb. 38: Die Leerstandsmatrix stellt die untersuchten Fälle von Leerständen im Wohngebäude dar, die innerhalb jedes einzelnen Grundszenarios untersucht wurden

8.3.2 Leerstandsszenarien bei den Nichtwohngebäuden

Für dieses Projekt wurde der Effekt von folgenden vier relevanten Situationen in Bezug auf Leerstände im Nichtwohngebäude untersucht:

- Leerstand von einzelnen beheizten Nutzeinheiten
- Leerstand von zwei benachbarten beheizten Nutzeinheiten
- Leerstand von einer Zeile beheizter Nutzeinheiten und
- etagenweiser Leerstand (Beispiele s. Abb. 41 bis Abb. 43).

Die in der Matrix der Abb. 39 dargestellten Leerstände sind entsprechend der Nutzungszonen (siehe Abb. 10) benannt und nach Erdgeschoss, 1. Obergeschoss und 2. Obergeschoss unterschieden. Die Zonen mit den Kennziffern 21, 22 und 23 sind üblicherweise als Flurzone behandelt worden. Die Ausnahme bildet die Simulation von zwei gegenüberliegenden Nutzungszonen, wo die dazwischenliegende Flurzone dann als Teil der Nutzfläche angenommen wurde, um Situationen wie größere Sitzungszimmer abbilden zu können. Flure und Nutzflächen wurden entsprechend der DIN V 18599 mit den Kennwerten zu Büroräumen und Verkehrsflächen abgebildet, die im Abschnitt 8.2.2 formuliert sind. Die Ergebnisse zu den untersuchten Situationen sind daher von diesen Nutzungsprofilen geprägt und lassen sich somit nicht auf Gebäude mit einer Mischung von stark unterschiedlichen Nutzungen direkt übertragen, insbesondere in Bezug auf die Erkenntnisse zu den Zuschlägen beim Energieverbrauch der Heizwärme (s. Abschnitt 10.2). Eine detaillierte Untersuchung zu der Vielzahl an möglichen Varianten zu gemischten Nutzungszeiten und unterschiedlichen Raumtemperaturen ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich gewesen.

Leerstands-matrix (X = leerstehende Zone)			Zonen im Gebäude Rheinstraße																										
			Erdgeschoss									1. Obergeschoss										2. Obergeschoss								
			Nutzungszone (Süd)			Flurzone (i.d.R.)			Nutzungszone (Nord)			Nutzungszone (Süd)			Flurzone (i.d.R.)			Nutzungszone (Nord)			Nutzungszone (Süd)			Flurzone (i.d.R.)			Nutzungszone (Nord)		
			EG_11	EG_12	EG_13	EG_21	EG_22	EG_23	EG_31	EG_32	EG_33	OG1_11	OG1_12	OG1_13	OG1_21	OG1_22	OG1_23	OG1_31	OG1_32	OG1_33	OG2_11	OG2_12	OG2_13	OG2_21	OG2_22	OG2_23	OG2_31	OG2_32	OG2_33
Fall	1	Vollbelegung																										
	2	Leerstand einzelner Nutzeinheiten	X																									
	3			X																								
	4				X																							
	5								X																			
	6									X																		
	7										X																	
	8											X																
	9												X															
	10													X														
	11																	X										
	12																		X									
	13																			X								
	14																				X							
	15																					X						
	16																						X					
	17																									X		
	18																										X	
	19																											X
	20	Leerstand von Grossräumen	X			X			X																			
	21			X			X			X																		
	22				X			X			X																	
	23											X			X			X										
	24												X			X			X									
	25													X			X			X								
	26																				X			X		X		
	27																					X			X			X	
	28																						X						X
	29	Zeilenweiser Leerstand	X	X	X																							
	30								X	X	X																	
	31											X	X	X														
	32																	X	X	X								
	33																				X	X	X					
	34																									X	X	X
	35	Geschoss-weiser Leerstand	X	X	X	X	X	X	X	X	X																	
	36											X	X	X	X	X	X	X	X	X								
	37																				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	38		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
	39		X	X	X	X	X	X	X	X	X										X	X	X	X	X	X	X	X	X
	40											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abb. 39: Die Leerstandsmatrix stellt die untersuchten Fälle von Leerständen im Nichtwohngebäude dar, die innerhalb jedes einzelnen Grundszenariums untersucht wurden

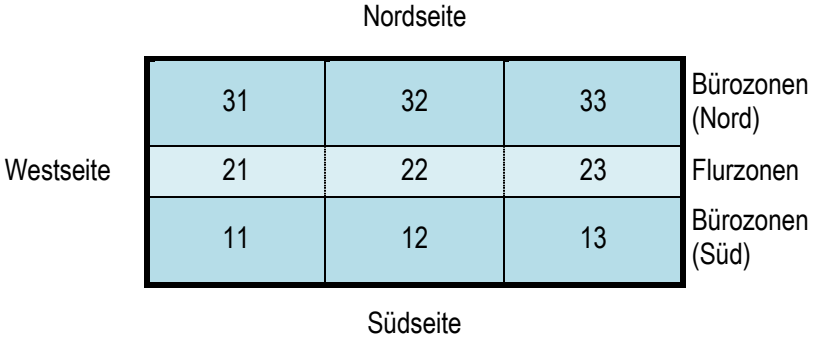


Abb. 40: Die Zonen in den Grundrissen des Erdgeschosses, 1.Obergeschoss und 2.Obergescchoss sind identisch aufgebaut und entsprechend nummeriert. Im realen Gebäude sind die Zonen 11-12-13 nach Süden orientiert

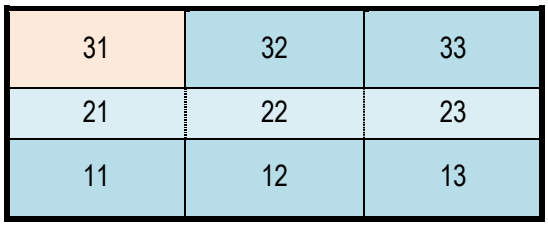


Abb. 41: Beispiel eines Leerstands einer Einzelzone

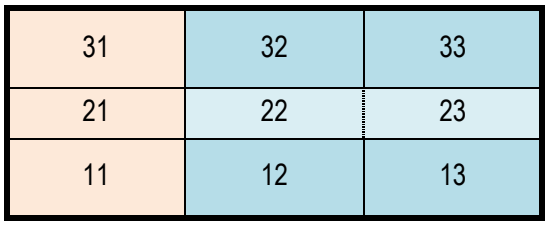


Abb. 42: Beispiel eines Leerstands von zwei gegenüberliegenden Zonen

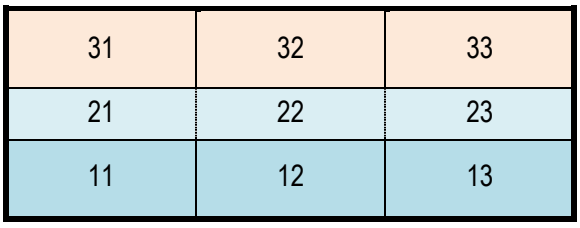


Abb. 43: Beispiel eines Leerstands von drei nebeneinanderliegenden Zonen

Die 36 Fälle der Leerstandssituation wurden jeweils mit dem Simulationsergebnis der Vollbelegung verglichen. Für jeden Fall konnte so ein Heizwärmebedarf durch eine Simulation über einen Jahresgang mit Stundenschritten bestimmt und dieses Ergebnis mit den Resultaten entsprechend der aktuellen Methode zur rechnerischen Leerstandskorrektur verglichen werden.

In den Zonen, die in den Simulationen als leer vorausgesetzt wurden, sind keine internen Gewinne durch Personen oder Geräte angenommen worden. Weiterhin wurde für die leer stehenden Zonen keine Lüftung simuliert. Hier wurde angenommen, dass in den Modellen ohne lüftungstechnische Anlagen die Fenster immer geschlossen sind (Wärmeschutzklasse EnEV 2009 und Altbau) und in den Modellen mit lüftungstechnischen Anlagen die Gebäudetechnik eine geregelte zonenweise Lüftung erlaubt (Ist-Zustand). Dies ist eine Vereinfachung, die in der Praxis zum Teil gebäudetechnisch nicht möglich ist (zentrale Lüftungsanlage) oder vom Betreiber nicht umgesetzt wird.

8.4 Weitere Eigenschaften der Wohn- und Nichtwohngebäudemodelle

8.4.1 Komponenten der Gebäudehüllfläche

Der Rahmenanteil der Fenster wurde entsprechend der realen Gebäude in den Modellen angenommen. Die Eigenschaften der Verglasung (g-Werte und u-Werte) entsprechen in den Modellen (nahezu) den Werten der Fenstergläser in den realen Gebäuden. Für die Fenster wurde ein außenliegender Sonnenschutz angenommen, der automatisch bei zu hoher solarer Einstrahlung herunterfährt. Dies reduziert vor allem die Überhitzung im Sommer. Allerdings hat dies für den in dieser Studie betrachteten Heizwärmebedarf nur geringe Bedeutung, da der Einfluss durch Sonnenschutz höchstens in der Übergangszeit die solaren Gewinne beeinflusst. Da TRNSYS keine Beleuchtungsstärken im Innenraum berechnet, wurde die Regelung des Sonnenschutzes direkt über die solare Einstrahlung auf die Fenster vorgenommen. In Kombination mit einem Verschattungsfaktor von 0,4 wurde in den Simulationen eine plausible Situation erzeugt, da in der Realität der Sonnenschutz üblicherweise nicht in allen Wohnungen gleichzeitig heruntergefahren wird.

In Modellen, die der hohen Wärmeschutzklasse entsprechen, ist die Schichtung der opaken Außenbauteile des Modells entsprechend den realen baukonstruktiven Gegebenheiten der realen Gebäude aufgebaut, die in Bezug der thermischen Wärmekapazität und der thermischen Widerstände den Originalbauteilen entsprechen. Weiterhin wurden den Bauteilen entsprechend ihrer Lage (horizontal oder vertikal) Wärmeübergangskoeffizienten zugewiesen, was eine gewisse Vereinfachung der realen Wärmeübergänge darstellt, aber die Simulationsgeschwindigkeit deutlich erhöht, ohne das signifikante Unterschiede zu einer Berechnung mit stets intern neu berechneten Übergangskoeffizienten führt.

In den beiden Wärmeschutzklassen „EnEV2009“ und „Unsaniert“ wurden gewisse Annahmen getroffen, die nach Kenntnis des Auftraggebers realistische Hüllflächeneigenschaften abbilden. So wurden die thermischen Wärmekapazitäten und die thermischen Widerstände entsprechend den Angaben im Anhang bei Außenwand, Dach, Kellerdecke und Fenster angepasst.

8.4.2 Aspekte zur Mindestraumtemperatur

Es wurde in allen Modellen von einer Mindestraumtemperatur ausgegangen, die bei 16 °C angesetzt wurde. Diese Annahme basiert auf der Erkenntnis, dass Gebäudeeigentümer bzw. Betreiber üblicherweise leerstehende Wohnungen oder Nutzungszonen nicht komplett auskühlen lassen, um damit Schäden am Bauwerk zu vermeiden (u. a. durch Kondensatbildung und damit die Bildung von Schimmel, Rost). Entsprechend den Nutzerprofilen und den darin enthaltenen Wunschtemperaturen, liefert in den Modellen eine in der Leistung nicht begrenzte, fiktive Heizanlage genügend Heizleistung, um diese Temperatur zu gewährleisten. Diese Leistung wird in jedem Zeitschritt neu berechnet und den Zonen entsprechend zugeführt. In Abweichung zur Realität liefert die angenommene Heizanlage in diesem Modell also immer exakt die gewünschte, ideale Leistung, um die Wunschtemperatur zu erreichen. Da sich in der Realität Raumtemperaturen über den Zeitverlauf kontinuierlich ändern, kann mit dem Modell nur eine Annäherung an die Realität geleistet werden. Weiterhin spiegeln die Ergebnisse der Modelle nur den Nutzenergiebedarf wider. Verluste in den Anlagen und bei der Verteilung in den Gebäuden sind nicht ermittelt worden. Je nach Gebäudestandard können diese einen deutlichen Anteil am Energieverbrauch eines Gebäudes ausmachen. Daher sollten die Resultate zum Energieverbrauch aus den Simulationen nicht direkt mit den gemessenen Energieverbrauchswerten verglichen werden.

9 Auswertung der Simulationen

In der aktuellen Methode zur rechnerischen Leerstandskorrektur wird zur Bestimmung des Leerstandszuschlags die in Abschnitt 5.4.1 genannten Formel 7 angewendet. Somit werden nicht 100 % des theoretisch bestimmten Heizwärmeverbrauchs eines Leerstands einkalkuliert, sondern nur 50 %. Begründen lässt sich dies damit, dass in einem Gebäude mit einem Leerstand die weiterhin beheizten Nachbarwohnungen üblicherweise einen etwas höheren Energieverbrauch erfahren, da durch die angrenzenden Flächen gewisse Wärmeströme in die leer stehenden Teile des Gebäudes gehen. Somit ist in einem Gebäude mit einem Leerstand der Heizwärmeverbrauch der genutzten Teile pro Quadratmeter Energiebezugsfläche gesehen höher als bei Vollbelegung. Würde dieser höhere spezifische Heizwärmeverbrauch ohne jedweden Abschlag auf die Leerstandsfläche übertragen, hätte das Gebäude folglich einen höheren Verbrauch als im Falle der Vollbelegung. Zur Korrektur wurde im aktuellen Verfahren nach den Bekanntmachungen [1, 2] der Faktor 0,5 eingeführt, der ungewollte Verbrauchserhöhungen ausgleichen soll.

Da dieser Faktor einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des rechnerischen Leerstandszuschlags für den Energieverbrauchsanteil für Heizwärme hat, wurde er besonders intensiv durch Simulationen untersucht. Als grundsätzlicher Basisreferenzfall wurden folgende Einstellungen gewählt:

- Standort des Gebäudes: Potsdam
- Ausrichtung des Gebäudes: Süd-Ausrichtung
- Wärmeschutzniveaus: Altbau
- Mindestraumtemperatur: 21 °C

Ausgehend davon wurde jeweils ein einzelner Parameter in den Simulationen variiert, um dessen Einfluss auf den Faktor zu überprüfen. Zur besseren Einschätzung, für welche Fälle dieser Faktor sinnvoll anwendbar ist, wurden mit Formel 9 die Abweichungen berechnet, die sich zwischen der berechneten Leerstandskorrektur entsprechend den aktuellen Bekanntmachungen und den Simulationsergebnissen von Leerständen im Gebäude ergeben. Somit deuten positive Abweichungen darauf hin, dass der 0,5-Faktor zu einer entsprechenden prozentualen Überschätzung und negative Werte zu einer entsprechenden Unterschätzung führen.

$$\boldsymbol{Prozentuale\ Abweichung}: \quad \boldsymbol{m_{abw} = \frac{\Delta E_{simul}}{E_{tats.}} - \frac{\Delta E_{tats.}}{E_{tats.}}} \qquad \text{Formel 9}$$

9.1 Einfluss von Leerständen auf das Wohngebäude

Die Resultate der unterschiedlichen Leerstandsszenarien wurden zunächst einzeln ausgewertet. Als Beispiel einer solchen Auswertung ist Abb. 44 dargestellt, bei der die Wohnung im 1.OG rechts des Gebäudes 126 als leerstehend angenommen wurde. Der Einfluss dieses Leerstands auf die Nachbarwohnungen ist mit den prozentualen Angaben in der Abbildung dargestellt, die einen entsprechend höheren Heizwärmebedarf in den jeweiligen Wohnungen ausdrücken. Erkennbar ist, dass die unmittelbar angrenzenden Wohnungen über und unter der leerstehenden Wohnung deutlich betroffen sind. Aber auch die Nachbarwohnungen links und rechts der leerstehenden Wohnungen sind betroffen, jedoch nicht im selben Umfang. Weiterhin ist erkennbar, dass der Einfluss des Leerstands auf die übrigen Wohnungen im Gebäude, die nicht unmittelbar an die leerstehende Wohnung angrenzen, relativ gering ausfällt.

	links	rechts	links	rechts
DG		0,68%	0,15%	
2. OG	0,64%	20,52%	0,80%	0,13%
1. OG	2,56%	-100,00%	8,20%	0,16%
0. EG	0,78%	20,65%	0,93%	0,19%

Abb. 44: Beispiel für die prozentuale Erhöhung des Heizwärmebedarfs in den angrenzenden Wohnungen durch die leerstehende Wohnung (blau markiert).

Für jeden untersuchten Fall wurde ein spezifischer tatsächlich notwendiger Zuschlagsfaktor bestimmt, um den in den Simulationen bestimmten Bedarf korrekt zu prognostizieren. Ein Beispiel einer solchen Berechnung ist in Abb. 45 dargestellt. Hier wäre anstelle des 0,5-Faktors der Idealfaktor 0,62.

	Bezeichnung	Formel	Absolut	
Gegeben:				
Bedarf bei Vollbelegung	E		20505	kWh/a
Bedarf bei einem Leerstand	$E_{vhb,leer}$		19684	kWh/a
Nach aktueller Methode:				
Fläche Leerstand	A_{leer}		74	m²
Gesamtfläche	A_{NGF}		1104	m²
Zuschlagsfaktor	X_0		**0,50**	-
Leerstandsfaktor	f_{leer}	A_{leer} / A_{NGF}	0,067	-
Leerstandszuschlag	ΔE_{vh}	$X_0 * f_{leer} * E_{vhb,leer}$	660	kWh/a
Bedarf nach aktueller Methode	E_{vh}	$E_{vhb,leer} + \Delta E_{vh}$	20344	kWh/a
Verbesserung:				
Tatsächlich notwendiger Zuschlagsfaktor	X_1	$(E / E_{vhb,leer} - 1) / f_{leer}$	**0,62**	-
Tatsächlicher Leerstandszuschlag	$\Delta E_{vh,1}$	$X_1 * f_{leer} * E_{vhb,leer}$	821	kWh/a
Tatsächlicher Bedarf	E	$E_{vhb,leer} + \Delta E_{vh,1}$	20505	kWh/a

Abb. 45: Berechneter tatsächlich notwendiger Zuschlagsfaktor für einen spezifischen Fall

Da eine Vielzahl an Fällen für Wohngebäude (1404) und Nichtwohngebäude (2160) untersucht wurde, ist es nicht sinnvoll, jeden Fall in der obigen Form darzustellen. Daher wurden Gruppen für die Auswertung gebildet, die sich in folgenden Einzelparametern unterscheiden.

- Mindestraumtemperatur
- Wärmeschutzniveaus
- Standort des Gebäudes
- Ausrichtung des Gebäudes

9.1.1 Raumtemperatur als Einflussgröße

Die Raumtemperatur spielt eine wesentliche Rolle bei den Wärmeströmen in einem Gebäude. Um den Einfluss der Raumtemperatur in Bezug auf die Leerstände zu quantifizieren, wurde die Mindestraumtemperatur mit 19 °C, 21 °C, 23 °C in den Modellen variiert. Sie spiegeln das Nutzerverhalten in Bezug auf den Heizwärmeverbrauch wider. Es ergeben sich für diese drei Raumtemperaturen entsprechend der in Abb. 38 dargestellten Leerstandsmatrix je 25 Einzelfälle. Das Netzdiadiagramm in Abb. 46 zeigt somit insgesamt 75 Resultate, die sich auf den gestrichelten Linien entsprechend den Temperaturen befinden. Bei allen Fällen, wo die gestrichelte Linie deckungsgleich mit dem durchgezogenen Lilakreis liegt (0,5-Faktor), existiert keine Abweichung zwischen dem 0,5-Faktor und dem Simulationsergebnis. Die dahinter liegende hellrote Fläche gibt für den jeweiligen Fall den Anteil des Leerstands in Prozent an. Die betrachteten Fälle bewegen sich entsprechend der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand“ zwischen 5 % und 30 %. Die Fälle 1 bis 25 sind entsprechend diesem Anteil hier sortiert dargestellt.

Allgemein werden folgende Abweichungen festgestellt:

- Mindestraumtemperatur (19 °C): Abweichung -13 % bis 25 % (Rot gestrichelte Linie)
- Mindestraumtemperatur (21 °C): Abweichung -32 % bis 22 % (Blau gestrichelte Linie)
- Mindestraumtemperatur (23 °C): Abweichung -48 % bis 21 % (Grün gestrichelte Linie)

Deutliche Abweichungen von über +20 % werden bei fünf Leerstandssituationen festgestellt (Fälle 10, 13, 14, 15 und 19). In diesen Fällen grenzt die leerstehende Wohnung an die Dachfläche an. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Bei Mindesttemperaturen von 21 °C oder 19 °C sollte der 0,5-Faktor leicht angepasst werden.

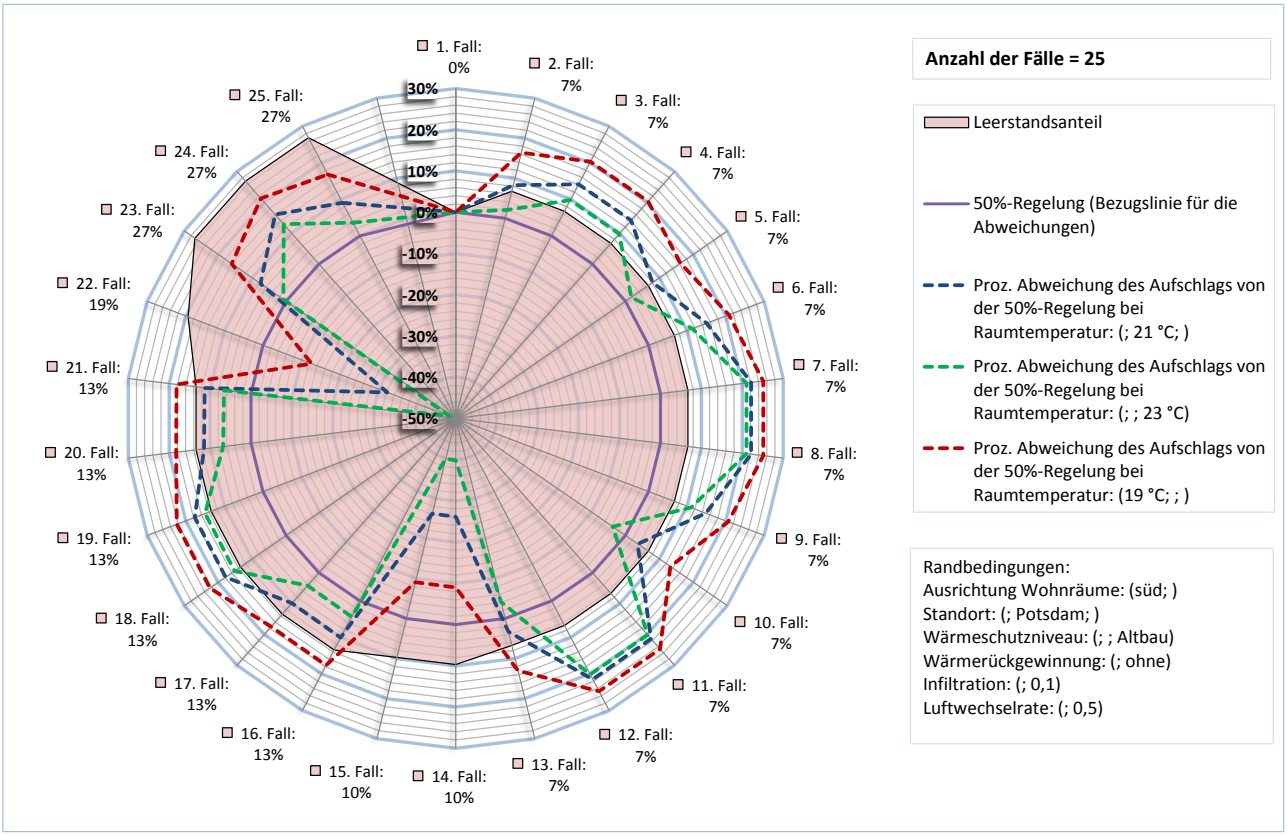


Abb. 46: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Mindestraumtemperatur auf Basis der Simulationsberechnungen

9.1.2 Wärmeschutzniveaus als Einflussgröße

Neben der Mindestraumtemperatur wurden die Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle als Parameter untersucht. Es wurden entsprechend der Auswertung von Abb. 47 drei verschiedene Wärmeschutzklassen betrachtet. Die Wärmeschutzklasse „Altbau“ entspricht einem unsanierten Gebäude, die Wärmeschutzklasse „gut“ dem EnEV-2007-Niveau und die Wärmeschutzklasse „sehr gut“ einem Passivhausniveau. Die Hüllflächeneigenschaften der drei Kategorien sind im Anhang aufgelistet.

Allgemein werden folgende Abweichungen festgestellt:

- Unsanierter-Standard („Altbau“): Abweichung -32 % bis 22 % (Blau gestrichelte Linie)
- EnEV-Standard („gut“): Abweichung -67 % bis 0 % (Grün gestrichelte Linie)
- Passivhaus-Standard („sehr gut“): Abweichung -76 % bis 0 % (Rot gestrichelte Linie)

Erkennbar ist, dass nur die Fälle der Wärmeschutzklasse „Altbau“ relativ geringe Abweichungen zu dem pauschalen Faktor von 0,5 ergeben (50 %-Regelung). Hier erzeugen Leerstände, die an die Dachfläche grenzen erneut markante Hochpunkte. Deutliche Abweichungen zum 0,5-Faktor ergeben sich mit den Wärmeschutzklassen „gut“ und „sehr gut“. Beide weichen ähnlich stark von dem 0,5-Faktor ab mit Mittelwerten zwischen -21 % und -22 %. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Bei Wärmeschutzklassen „gut“ und „sehr gut“ sollten deutliche Anpassungen zum 0,5-Faktor vorgenommen werden.

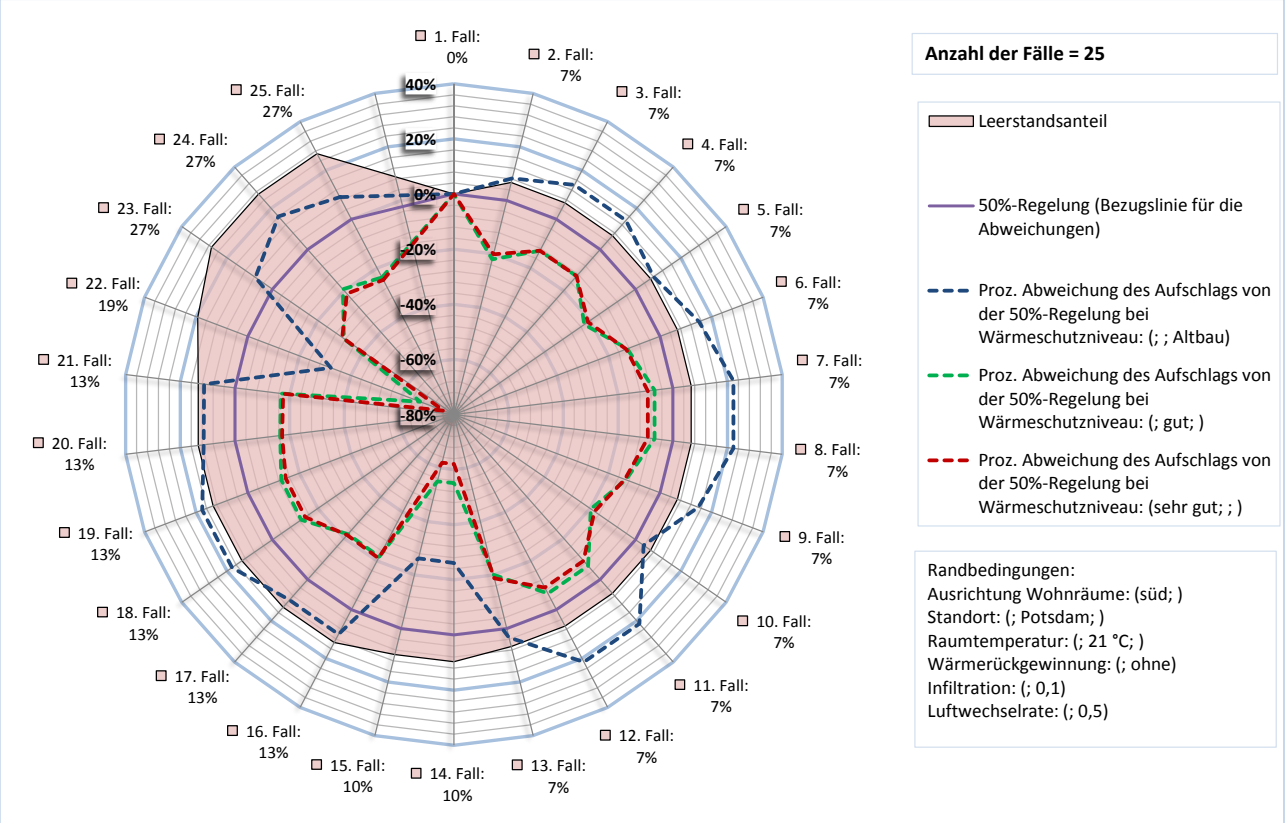


Abb. 47: WG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Wärmeschutzniveaus auf Basis der Simulationsberechnungen

9.1.3 Standort des Gebäudes als Einflussgröße

Auch der Standort wurde als Einflussgröße in den Studien untersucht. Dabei wurde zwischen den Standorten Potsdam, Bremen und München unterschieden.

Allgemein werden folgende Abweichungen festgestelt:

- Potsdam („Referenz“): Abweichung -31 % bis 25 % (Blau gestrichelte Linie)
- München („kalt“): Abweichung -32 % bis 22 % (Grün gestrichelte Linie)
- Bremen („mild“): Abweichung -48 % bis 21 % (Rot gestrichelte Linie)

Für alle drei Standorte ergeben sich relativ ähnliche Mittelwerte von 6 % bis 8 % bei den Abweichungen zum 0,5-Faktor. Zwischen den gewählten Standorten konnten somit nur sehr geringe Unterschiede in den Resultaten festgestellt werden. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Der Standort spielt eine untergeordnete Rolle.

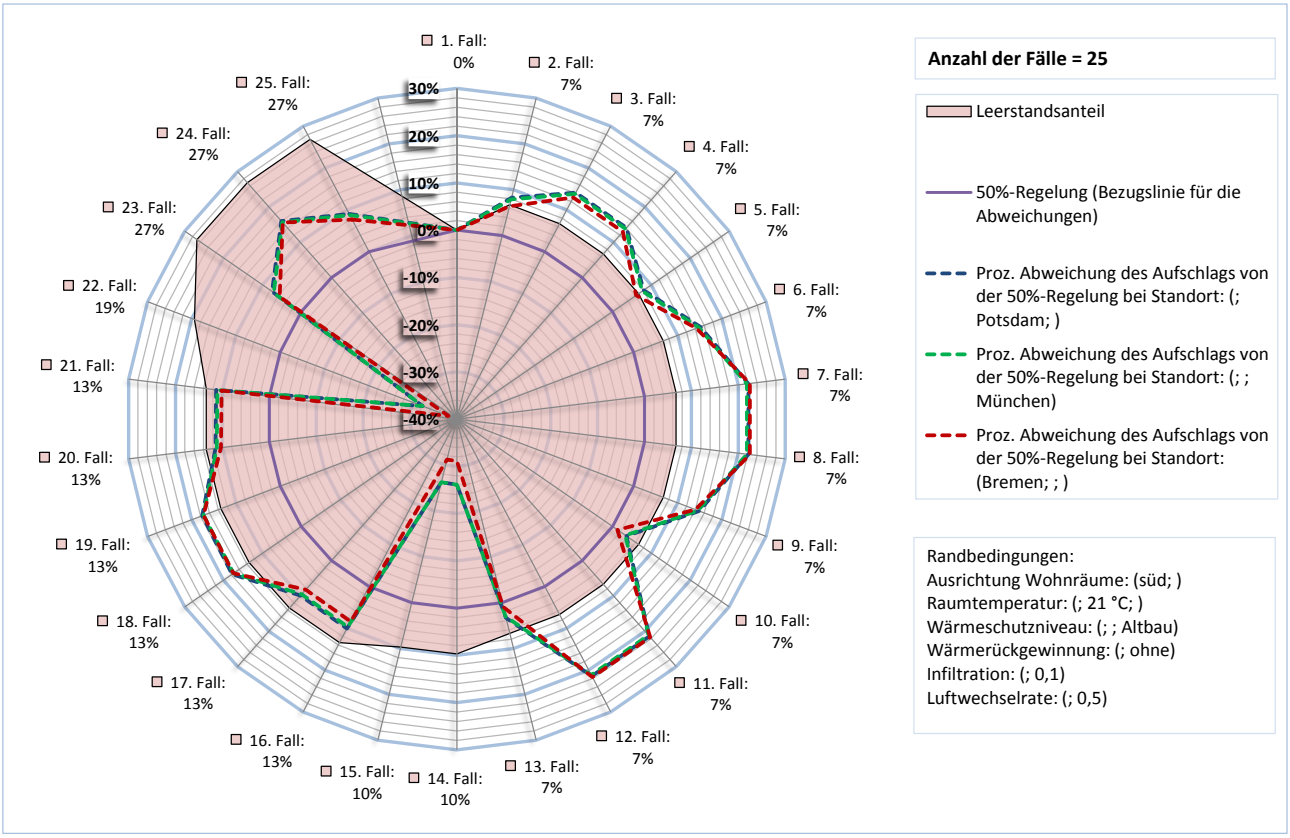


Abb. 48: WG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Standortes des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen

9.1.4 Ausrichtung des Gebäudes als Einflussgröße

Als weitere Einflussgröße wurde die Ausrichtung des Gebäudes untersucht. Es wurde die Ausrichtung nach Nord-Süd und West-Ost untersucht.

Allgemein werden folgende Abweichungen festgestellt:

- Nord-Süd-Ausrichtung: Abweichung -32 % bis 22 % (Blau gestrichelte Linie)
- Ost-West-Ausrichtung: Abweichung -31 % bis 22 % (Rot gestrichelte Linie)

Beide Ausrichtungen resultieren in nahezu identischen Mittelwerten von 8 % bei den Abweichungen zum 0,5-Faktor. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Die Ausrichtung des Gebäudes spielt eine untergeordnete Rolle.

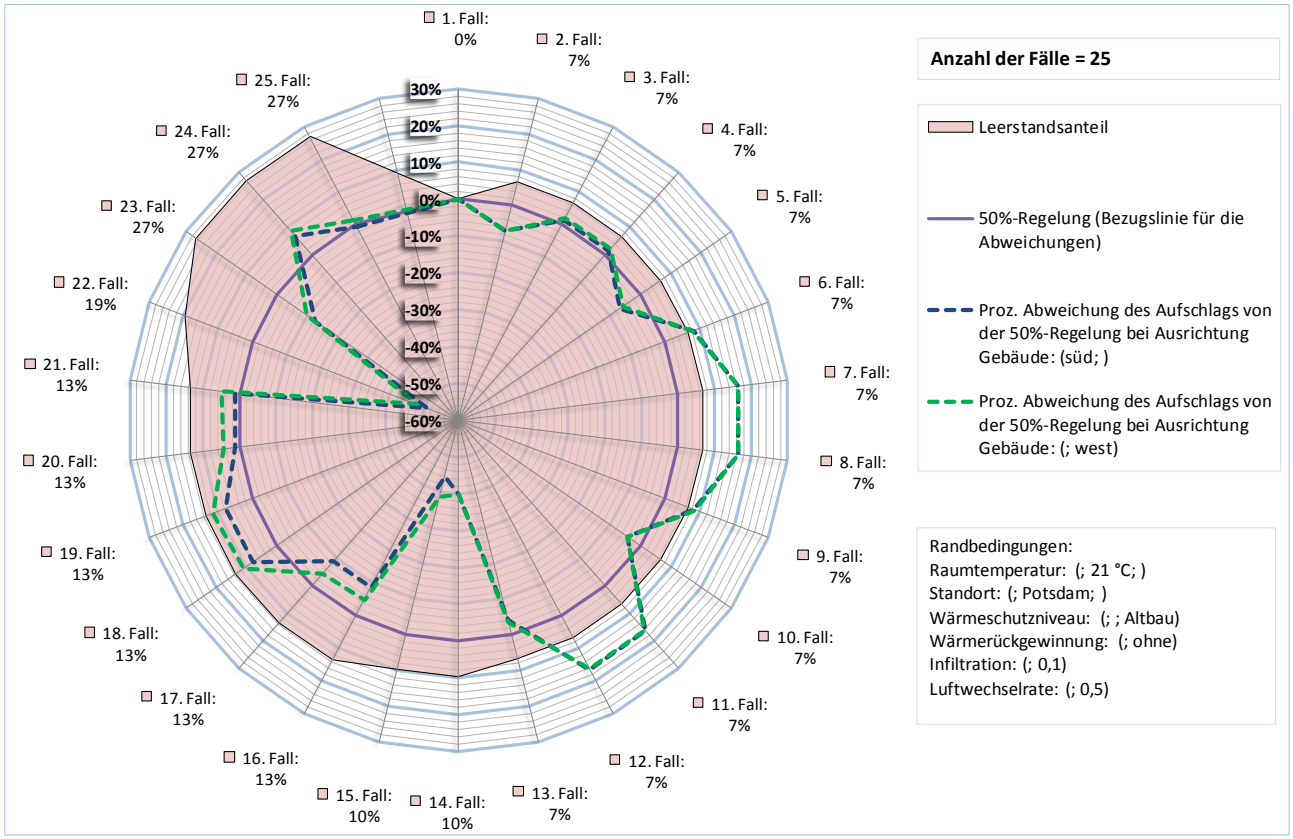


Abb. 49: WG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Ausrichtung des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen

9.2 Einfluss von Leerständen auf das Nichtwohngebäude

Wie beim Wohngebäude wurden die Resultate der unterschiedlichen Leerstandsszenarien für das Modell Nichtwohngebäude zunächst einzeln ausgewertet (40 Fälle, siehe Abb. 39). Diese Herangehensweise der Auswertung ist in Abschnitt 9 beschrieben und anhand eines Beispiels in Abschnitt 9.1 (siehe Abb. 45) demonstriert.

Nachfolgend werden die Einzelergebnisse der Simulationsberechnungen in vier relevanten Einflussgrößen wie folgt zusammengefasst und gegenübergestellt:

- Mindestraumtemperatur
- Wärmeschutzniveaus
- Standort des Gebäudes
- Ausrichtung des Gebäudes

Aufgrund der großen Anzahl der zu bewerteten Leerstandsszenarien werden die Auswertungen wie zum Modellwohngebäude in Form von Netzdiagrammen grafisch dargestellt. Sie veranschaulichen die Abweichungen des theoretischen Energiebedarfs der Leerstandsszenarien zum berechneten Bedarf basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen (siehe Abschnitt 9). Der lila Kreis in den Netzdiagrammen kennzeichnet die Null Prozent-Abweichung zum s.g. 0,5-Faktor. Simulationsergebnisse, die mit diesem Kreis deckungsgleich sind, besitzen keine Abweichungen, und eine Anpassung des 0,5-Faktors ist hier nicht nötig. Die dahinter liegende hellrote Fläche entspricht dem Anteil des Leerstands in dem jeweiligen Fall in Prozent. Die betrachteten Fälle bewegen sich über die in der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte bei Nichtwohngebäuden“ vorgeschlagenen Grenzen von 5 % und 30 % hinaus. Somit kann hier auch die Sinnfälligkeit dieser Grenzen untersucht werden. Die Fälle 1 bis 40 sind entsprechend diesem Anteil hier sortiert dargestellt.

9.2.1 Raumtemperatur als Einflussgröße

Wie bei der Untersuchung bei Wohngebäuden soll die Mindestraumtemperatur von 19 °C, 21 °C und 23 °C bei den Simulationsberechnungen das Nutzerverhalten in Bezug auf den Heizwärmeverbrauch widerspiegeln. Es ergibt sich entsprechend Abb. 50 folgende Bandbreite für die Abweichungen je nach Mindestraumtemperatur, Lage und Anteil des Leerstands:

- Mindestraumtemperatur (19 °C): Abweichung -1 % bis 18 % (Rot gestrichelte Linie)
- Mindestraumtemperatur (21 °C): Abweichung -18 % bis 11 % (Blau gestrichelte Linie)
- Mindestraumtemperatur (23 °C): Abweichung -36 % bis 6 % (Grün gestrichelte Linie)

Hierbei deuten positive Abweichungen darauf hin, dass der 0,5-Faktor der rechnerischen Korrektur des Leerstandszuschlags für den Heizwärmeverbrauch entsprechend prozentual überschätzt und bei negativen Werten entsprechend unterschätzt wird. Wird beispielsweise eine Abweichung von -10 % errechnet, sollte der 0,5-Faktor um 0,1 auf 0,6 erhöht werden. Bei den gegebenen Randbedingungen führen niedrige Mindestraumtemperaturen von 19 °C im Durchschnitt zu einer Überschätzung und Temperaturen von 23 °C im Durchschnitt eher zu einer Unterschätzung. Weiterhin ist erkennbar, dass hohe Leerstandsanteile von 66 % deutlichen Einfluss auf diese Aussage haben, da hier in der Regel für alle drei Kategorien eine Unterschätzung vorliegt. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Bei allen Mindesttemperaturen sollte der 0,5-Faktor basierend auf der Mindestraumtemperatur und entprechend dem Hüllflächenanteil angepasst werden.

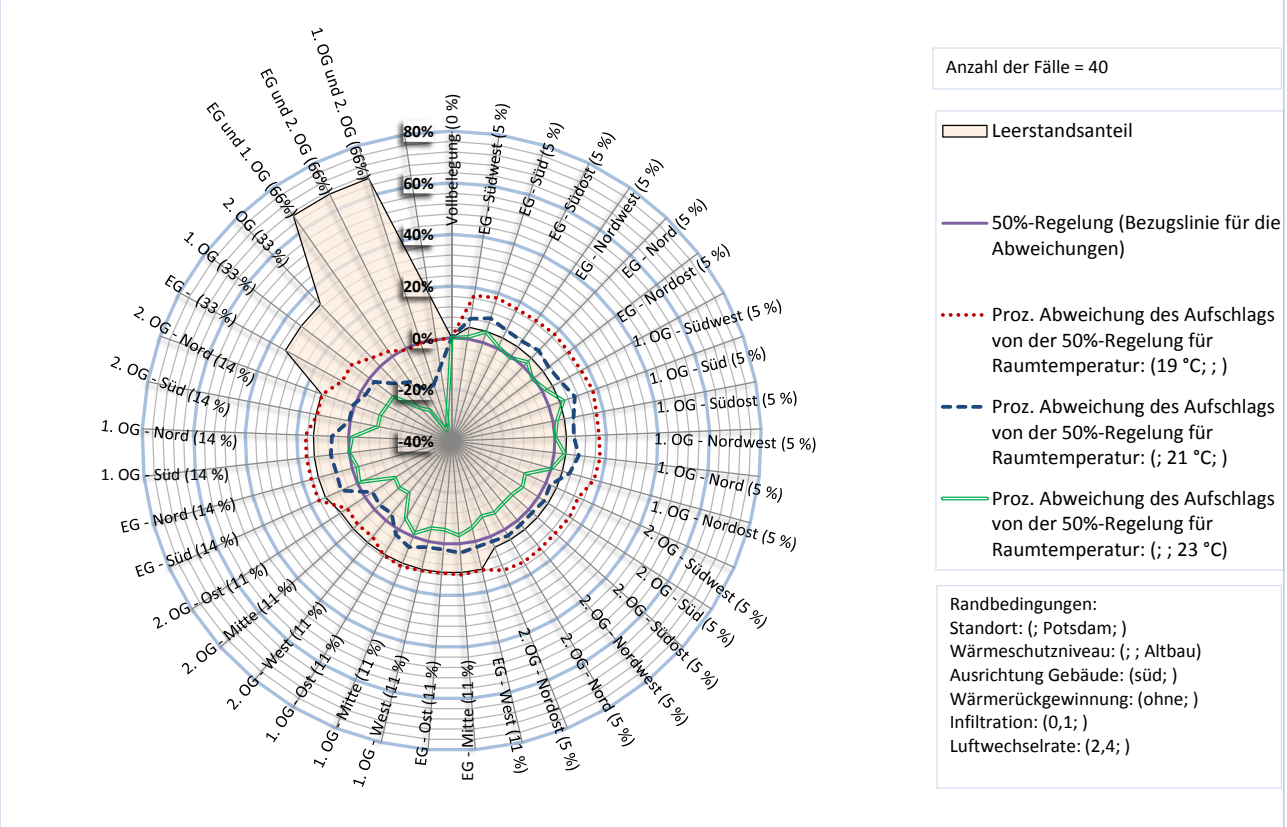


Abb. 50: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Mindestraumtemperatur auf Basis der Simulationsberechnungen

9.2.2 Wärmeschutzniveaus als Einflussgröße

Bei den Simulationsberechnungen wurden drei Wärmeschutzniveaus berücksichtigt (siehe Anhang). Je nach Wärmeschutzniveau, Lage und Anteil des Leerstands resultieren folgende Bandbreiten für die Abweichungen von der 50 %-Regelung (vgl. Abb. 51; bitte die Skalar beachten):

- Wärmeschutzniveau (Altbau): Abweichung -18 % bis 11 % (Blau gestrichelte Linie)
- Wärmeschutzniveau (Gut): Abweichung -85 % bis -10 % (Grün gestrichelte Linie)
- Wärmeschutzniveau (Sehr gut): Abweichung -175 % bis -14 % (Rot gestrichelte Linie)

Hierbei deuten positive Abweichungen darauf hin, dass der 0,5-Faktor zu einer entsprechenden prozentualen Überschätzung und negative Werte zu einer entsprechenden Unterschätzung des rechnerischen Leerstandszuschlags für den Heizwärmeverbrauch führen. Aus Abb. 51 geht hervor, dass die Steigerung des Wärmeschutzes eine Unterschätzung des rechnerischen Leerstandszuschlags zur Folge hat. Dieser Effekt ist umso höher, je größer der Leerstandsanteil ist.

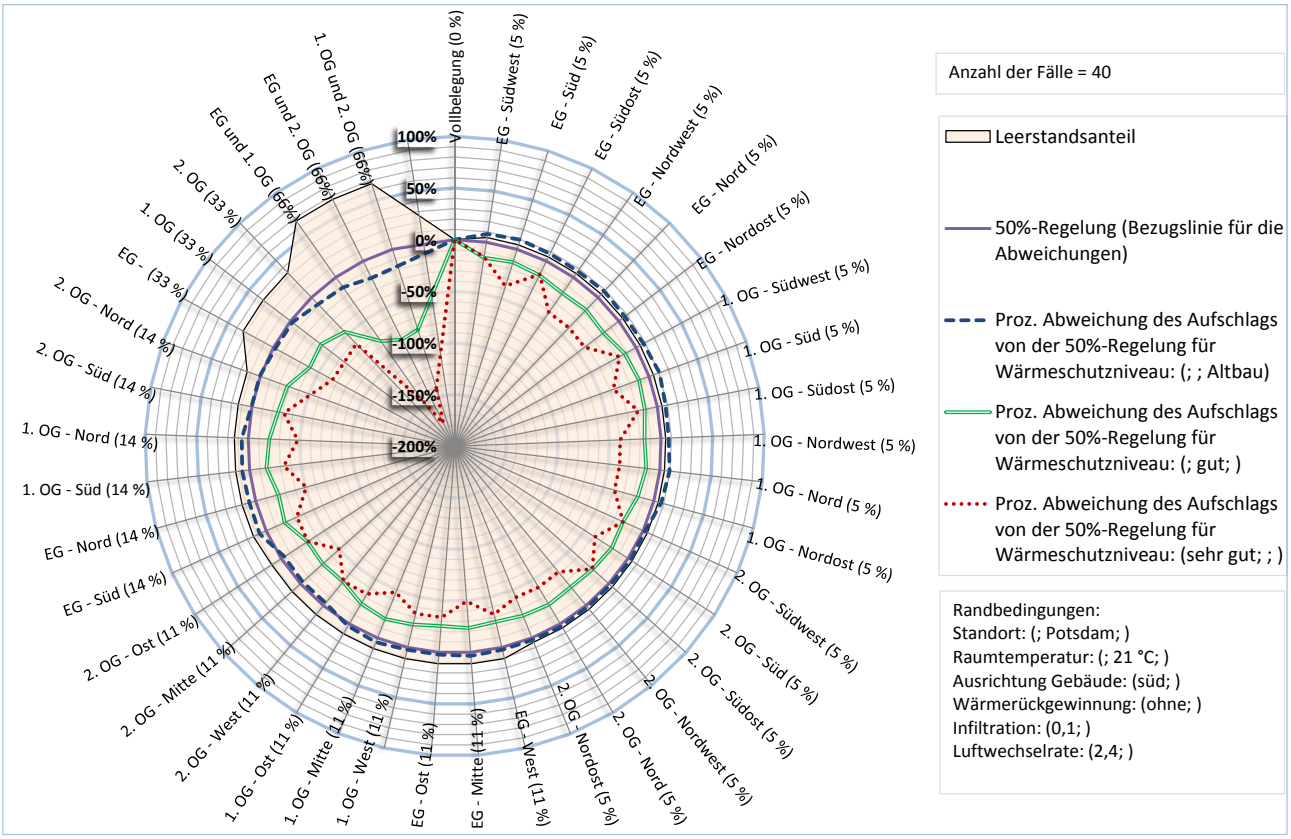


Abb. 51: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Wärmeschutzniveaus auf Basis der Simulationsberechnungen

Deutlich ist in dieser Auswertung, dass Leerstandsszenarien mit größerem Flächenanteil (66 %) hier hohen Einfluss auf die allgemeinen Tendenzen haben und Unterschätzungen verursachen. Werden Leerstandsszenarien mit größerem Flächenanteil ausgeschlossen, ergeben sich folgende Bandbreiten (vgl. Abb. 52).

- Wärmeschutzniveau (Altbau): Abweichung -9 % bis 11 % (Blau gestrichelte Linie)
- Wärmeschutzniveau (Gut): Abweichung -46 % bis -10 % (Grün gestrichelte Linie)
- Wärmeschutzniveau (Sehr gut): Abweichung -66 % bis -14 % (Rot gestrichelte Linie)

Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Bei Wärmeschutzklassen „gut“ und „sehr gut“ sollten deutliche Anpassungen zum 0,5-Faktor vorgenommen werden.

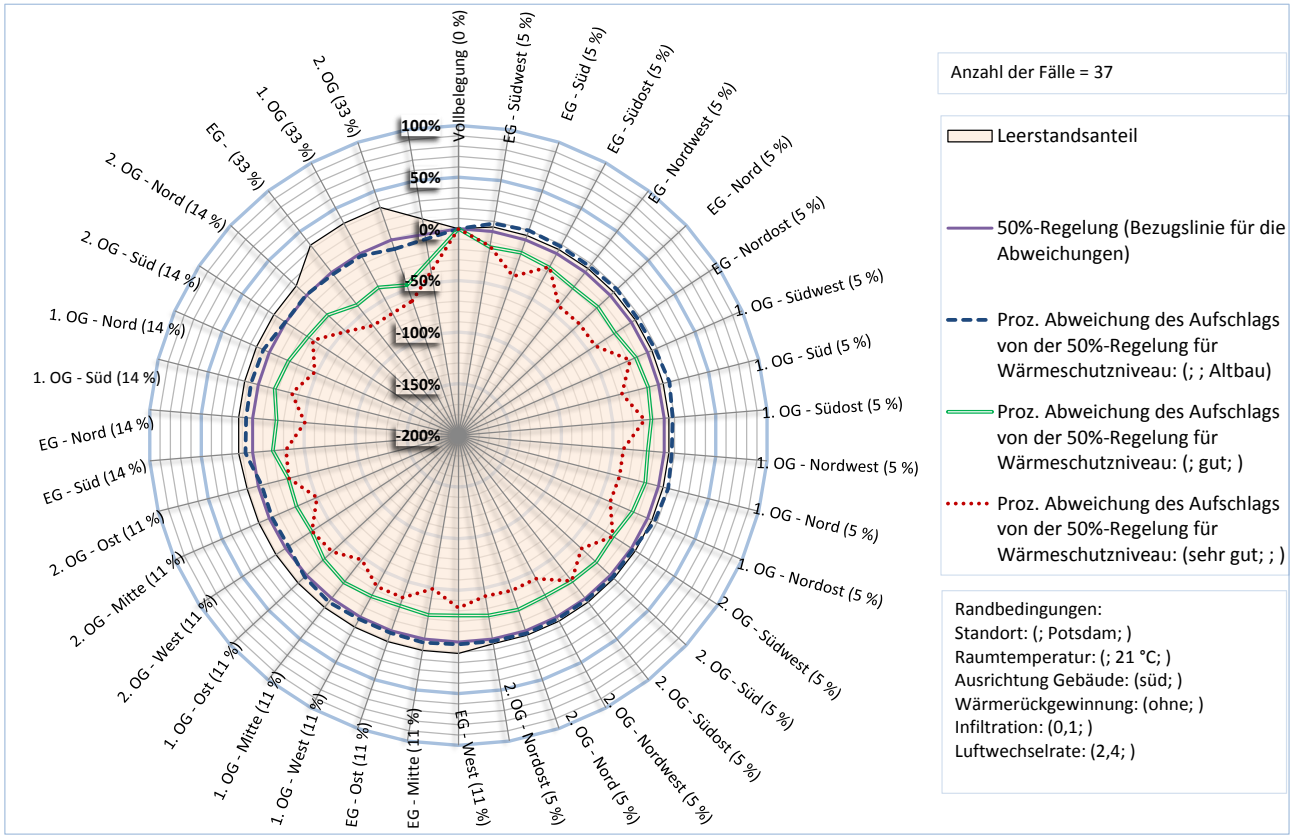


Abb. 52: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Wärmeschutzniveaus auf Basis der Simulationsberechnungen (ohne Leerstandszenarien mit einem Leerstandsanteil von 66 %)

9.2.3 Standort des Gebäudes als Einflussgröße

Abb. 53 veranschaulicht die Abweichungen infolge der Variation des Gebäudestandortes. Die hierzu resultierenden Spektren der Abweichungen vom 0,5-Faktor können je nach Standort des Gebäudes, Lage und Anteil des Leerstands wie folgt beziffert werden:

- Standort des Gebäudes (Potsdam): Abweichung -18 % bis 11 % (Blau gestrichelte Linie)
- Standort des Gebäudes (München): Abweichung -21 % bis 10 % (Grün gestrichelte Linie)
- Standort des Gebäudes (Bremen): Abweichung -22 % bis 11 % (Rot gestrichelte Linie)

Es ist offensichtlich, dass der Standort des Gebäudes im Allgemeinen praktisch keine Auswirkung auf die Bandbreiten der berechneten Leerstandsaufschläge nach der aktuellen Bekanntmachung hat und sich die spezifischen Abweichungen bei einzelnen Fällen kaum voneinander unterscheiden. Auch hier treten die maximalen Abweichungen für alle drei Standorte bei den Leerstandsszenarien mit größerem Flächenanteil an Leerständen (66 %) hervor. Ohne diese Szenarien liegen die Abweichungen zwischen -13 % bis 11 % und der hierbei resultierende Mittelwert zwischen 2 % bis 4 %. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Der Standort spielt eine untergeordnete Rolle.

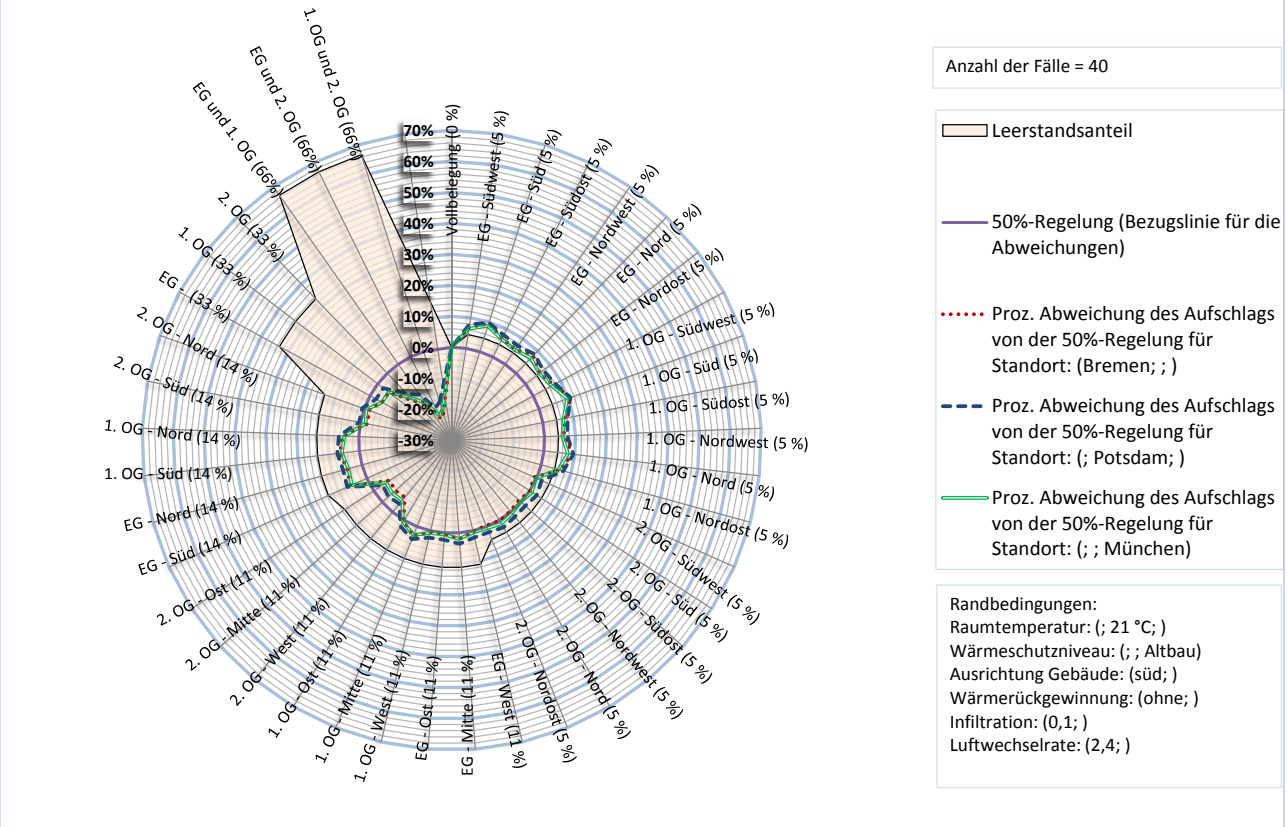


Abb. 53: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung des Standortes des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen

9.2.4 Orientierung der Nutzeinheiten als Einflussgröße

Als weitere Einflussgröße wurde die individuelle Orientierung der jeweils leerstehenden Nutzeinheit untersucht. Im Unterschied zur allgemeinen Ausrichtung des Gebäudes (nach Nord-Süd oder Ost-West) kann eine leerstehende Nutzungseinheit eine eigene Orientierung haben. So gibt es z.B. bei beiden Gebäudeausrichtungen eine Nutzungseinheit, die nach Süd orientiert ist.

Es wurden zwei Grundszenarien analysiert, bei denen das Gebäude einmal nach Nord-Süd und einmal nach West-Ost ausgerichtet wurde. Die jeweils leerstehenden Nutzeinheiten in den beiden Szenarien zeigen die in Abb. 54 dargestellten prozentuellen Abweichungen von der 50 %-Regelung. Die hierzu berechneten Toleranzen können je nach Ausrichtung des Gebäudes, Lage und Anteil des Leerstands wie folgt zusammengefasst werden:

- Bei Ausrichtung des Gebäudes (Nord-Süd): Abweichung -18 % bis 11 % (Blau gestrichelte Linie)
- Bei Ausrichtung des Gebäudes (Ost-West)[5]: Abweichung -16 % bis 11 % (Grün gestrichelte Linie)

Aus Abb. 54 geht hervor, dass die individuelle Orientierung der leerstehenden Nutzeinheit ziemlich ähnliche Auswirkung auf die Toleranzen der berechneten Leerstandsaufschläge hat, wie die drei in den vorherigen Abschnitten behandelten Einflussgrößen. Ohne Leerstandsszenarien mit größerem Flächenanteil an Leerständen (66 %) liegen die Abweichungen zwischen -9 % bis 11 % und der hierbei resultierende Mittelwert zwischen 4 % bis 5 %. Aus der Untersuchung ergibt sich folgende Erkenntnis für eine verbesserte rechnerische Leerstandskorrektur:

- Die individuelle Orientierung einer Nutzeinheit spielt eine untergeordnete Rolle.

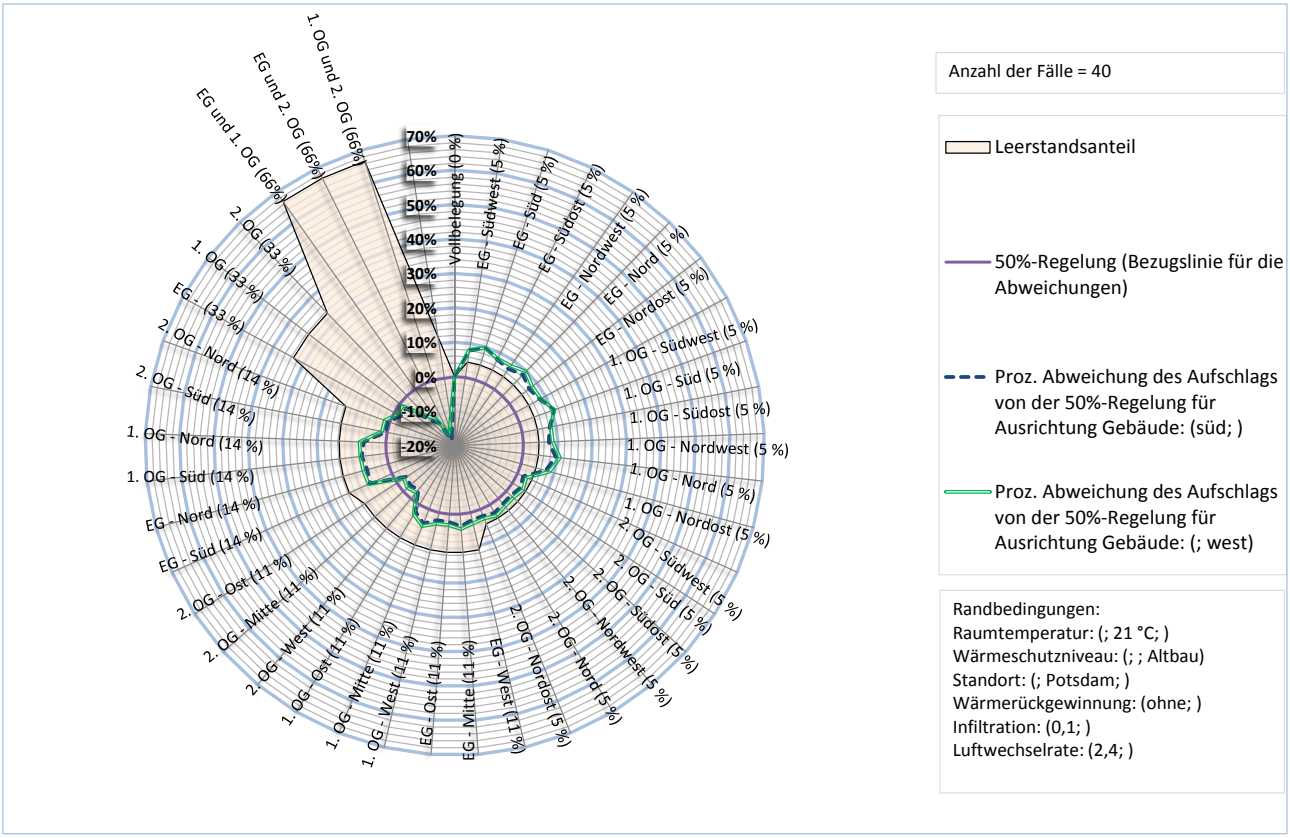


Abb. 54: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum berechneten Verbrauch basierend auf dem 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Ausrichtung des Gebäudes auf Basis der Simulationsberechnungen

[5] Die in Abb. 54 genannten Himmelsrichtung der beheizten Nutzeinheiten gelten für die Nord-Süd Ausrichtung des Gebäudes.

9.2.5 Lage des Leerstandes im Gebäude als Einflussgröße

Die bisherigen Auswertungen haben gezeigt, dass die Variation der Mindestraumtemperatur bzw. des Wärmeschutzniveaus im Vergleich zum Standort des Gebäudes respektive Orientierung der Nutzungszonen signifikante Auswirkung auf die Ergebnisse hat. Des Weiteren führt bei allen vier untersuchten Einflussgrößen ein hoher Leerstandsanteil (z. B. 66 %) zu deutlichen negativen Abweichungen (vgl. Abb. 54 bis Abb. 54) vom 0,5-Faktor der aktuellen Bekanntmachung. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass bei diesen Fällen der Leerstandszuschlag höher liegen wird. Daher ist die Begrenzung des Leerstandsanteils wie die aktuelle Bekanntmachung vorsieht (5 % bis 30 %), angemessen. Um auch die Lage des Leerstandes in Bezug auf die wesentlichen Einflussgrößen (Mindestraumtemperatur bzw. Wärmeschutzniveau) beurteilen zu können, werden nachfolgend nur die Fälle mit einem Leerstandsanteil zwischen 5 % bis 33 % berücksichtigt.

Um auch die Lage des Leerstandes in Bezug auf die wesentlichen Einflussgrößen (Mindestraumtemperatur bzw. Wärmeschutzniveau) beurteilen zu können wurden verschiedene Leerstände im Gebäude in den Bereichen Erd-, Zwischen- und Dachgeschoss untersucht. Die Position des Leerstandes im Gebäude bestimmt die Größe der thermischen Hüllfläche, respektive ihre Ausrichtung nach der Himmelsrichtung. Die Eigenschaften der thermischen Hüllflächen der hier untersuchten Leerstandszenarien können aus Anhang 11.2 entnommen werden. Es ist zu beachten, dass das Dachgeschoss eine größere Hüllfläche zur Außenluft und Erdgeschoss eine höhere Hüllfläche zu unbeheizten Zonen und ggf. zum Erdreich als Zwischengeschoss aufweist.

Um eine allgemeine Aussage in Bezug auf die Größe der thermischen Hüllfläche – unabhängig von dem hier untersuchten Modellgebäude – treffen zu können, wurde stattdessen das A/V-Verhältnis (rechte Y-Achse) des Leerstandes herangezogen. In den folgenden Abbildungen wurden zwei unterschiedliche A/V-Verhältnisse wie folgt dargestellt:

- Verhältnis der jeweiligen thermischen Hüllfläche des Leerstands zu seinem Nettovolumen
- Verhältnis der jeweiligen thermischen Hüllfläche des Leerstands zum Nettovolumen des Gebäudes

Beim erstgenannten Verhältnis variiert das jeweilige Bezugsvolumen. Dadurch lassen sich die A/V-Verhältnisse besser voneinander unterscheiden. Der Nachteil liegt darin, dass sie aufgrund der unterschiedlichen Bezugsvolumen nicht miteinander vergleichbar sind. Das zweitgenannte A/V-Verhältnis kompensiert diesen Nachteil. Die folgenden Auswertungen stellen nur die Ergebnisse einer Ausprägung einer Einflussgröße dar. So wird z. B. in bis Abb. 57 die Mindestraumtemperatur von 19 °C bis 23 °C variiert. Alle anderen Randbedingungen bleiben konstant.

Bei der Untersuchung der Modelle mit einer Mindestraumtemperatur von 19 °C zeigt sich in, dass sich unabhängig vom Stockwerk und Orientierung des Leerstands (Ausrichtung zur Himmelsrichtung) eine Überschätzung des 0,5-Faktors einstellt. Je nach Lage und Anteil des Leerstands resultieren folgende Bandbreiten für die Abweichungen zum 0,5-Faktor:

- Erdgeschoss (19 °C): Abweichung 8 % bis 18 % (Blaue Balken)
- Zwischengeschoss (19 °C): Abweichung 9 % bis 18 % (Grüne Balken)
- Dachgeschoss (19 °C): Abweichung 5 % bis 15 % (Rote Balken)

Durchschnittlich sollte bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur um 0,12 bis 0,15 reduziert werden. Generell führen relativ hohe Leerstandsanteile von 33 % zu Abweichungen, die nicht der allgemeinen Tendenz folgen.

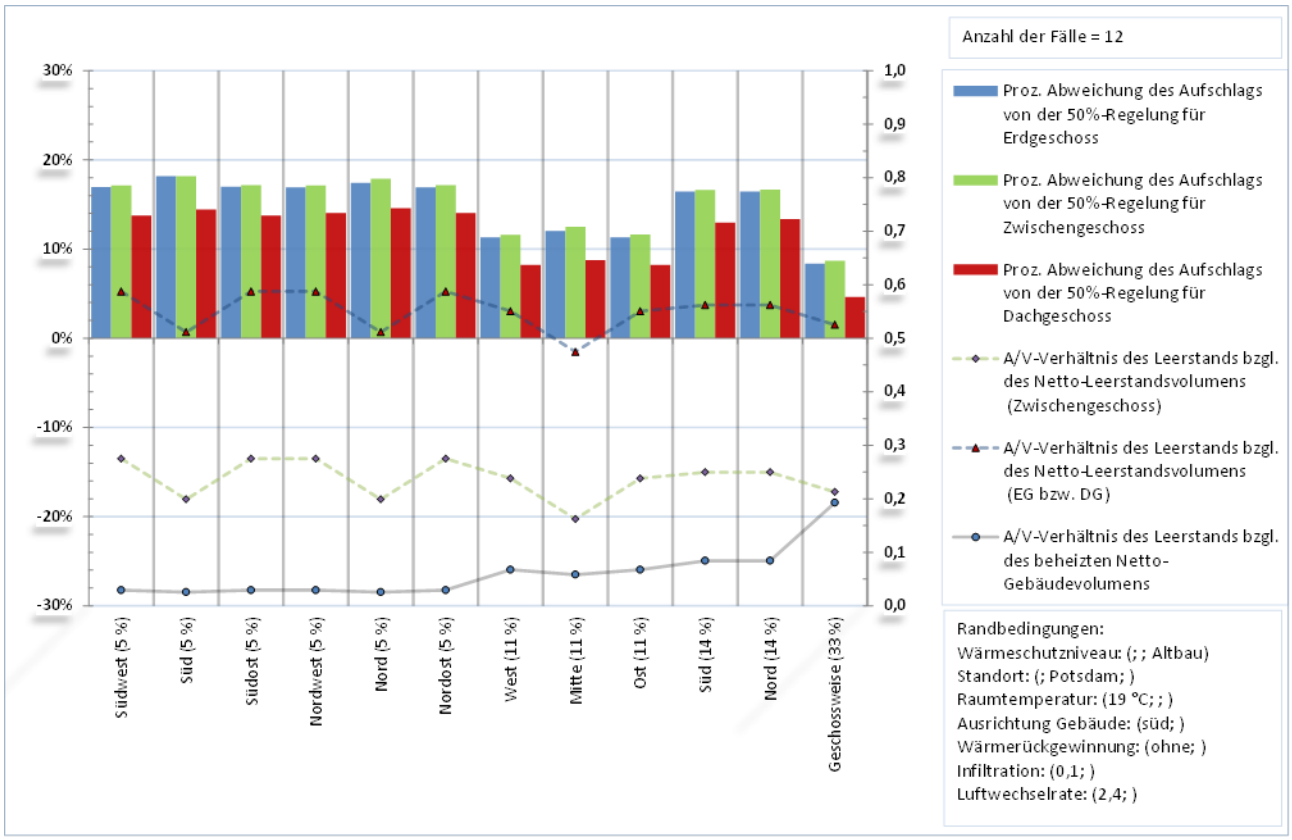


Abb. 55: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude bei einer Mindestraumtemperatur von 19 °C auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes

Bei einer höheren Mindestraumtemperatur von 23 °C kehren sich die Verhältnisse in der Regel um. Aus Abb. 56 ist zu entnehmen, dass im Bereich Dachgeschoss bei allen 12 dargestellten Leerstandsszenarien mit einer Unterschätzung des Leerstandszuschlags zu rechnen ist. Je nach Lage und Anteil des Leerstands resultieren folgende Bandbreiten für die Abweichungen zum 0,5-Faktor:

- Erdgeschoss (23 °C): Abweichung 4 % bis -11 % (Blaue Balken)
- Zwischengeschoss (23 °C): Abweichung 6 % bis -12 % (Grüne Balken)
- Dachgeschoss (23 °C): Abweichung -22 % bis -7 % (Rote Balken)

Durchschnittlich sollte bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur bei der Betrachtung von Erd- und Zwischengeschoss kaum verändert werden (bestenfalls um 0,01 bis 0,02 erhöht werden). Für das Dachgeschoss allerdings soll bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor um 0,11 erhöht werden. Generell führen die relativ hohen Leerstandsanteile von 33 % zu Abweichungen, die nicht der allgemeinen Tendenz folgen.

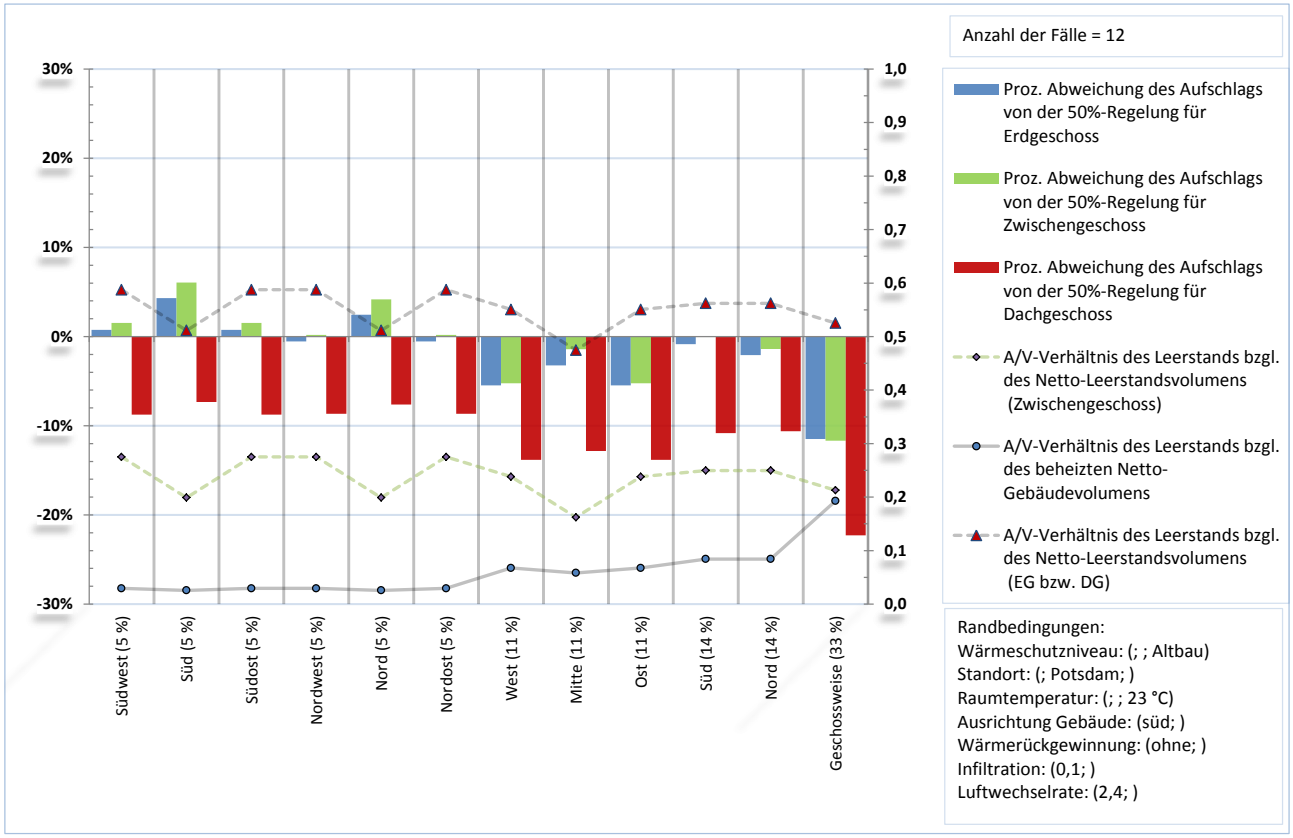


Abb. 56: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude bei einer Mindestraumtemperatur von 23 °C auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes

Bei einer Mindestraumtemperatur von 21 °C entstehen die geringsten Abweichungen zum 0,5-Faktor. Die Bandbreiten entsprechend Abb. 57 für das Wärmeschutzniveau „Altbau“ sind:

- Erdgeschoss (21 °C): Abweichung 10 % bis -2 % (Blaue Balken)
- Zwischengeschoss (21 °C) Abweichung 11 % bis -2 % (Grüne Balken)
- Dachgeschoss (21 °C): Abweichung 0 % bis -9 % (Rote Balken)

Durchschnittlich sollte bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur bei der Betrachtung von Erd- und Zwischengeschoss um ca. 10 % reduziert werden. Für das Dachgeschoss sollte bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor kaum verändert werden. Generell führen die relativ hohen Leerstandsanteile von 33 % zu Abweichungen, die nicht der allgemeinen Tendenz folgen.

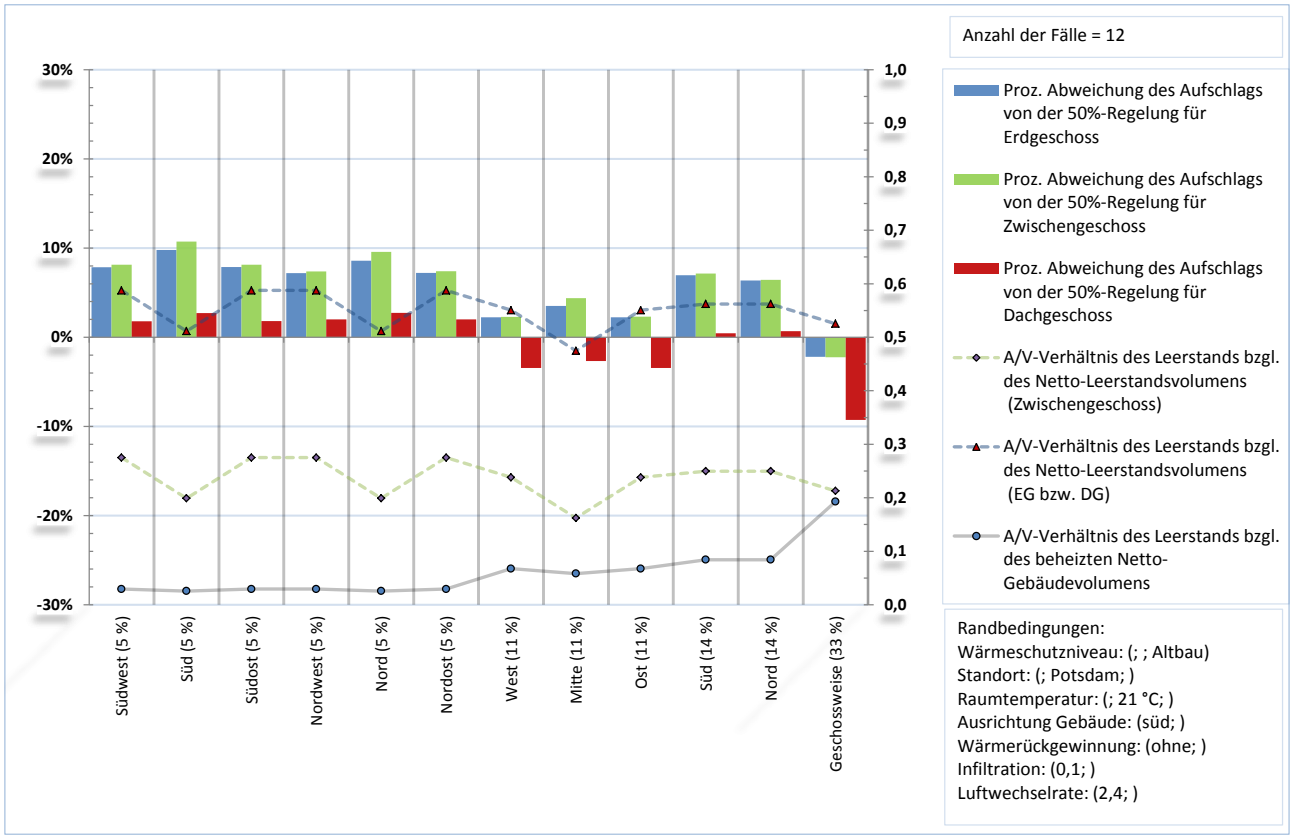


Abb. 57: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude bei einer Mindestraumtemperatur von 21 °C auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes

Wie bereits oben gezeigt, beeinflusst das Wärmeschutzniveau die zu empfehlende Höhe des Leerstandszuschlags (vgl. Abb. 52) essentiell. Um diese Auswirkung in Bezug auf die Lage des Leerstandes zu quantifizieren, wurden die in Abb. 57 behandelten Leerstandszenarien (21 ° C; Altbau) mit einem höheren Wärmeschutz untersucht.

Abb. 58 stellt die Ergebnisse für ein „gut“ saniertes Gebäude dar. Bei allen Leerstandszenarien ist eine negative Abweichung zu verzeichnen, dies bedeutet wiederum eine Unterschätzung des rechnerischen Leerstandszuschlags für den Heizwärmeverbrauch. Dabei sind je nach Lage und Anteil des Leerstands folgende Toleranzen von der 50 %-Regelung entstanden:

- Erdgeschoss (Wärmeschutzniveau „gut“): Abweichung -40 % bis -13 % (Blaue Balken)
- Zwischengeschoss (Wärmeschutzniveau „gut“): Abweichung -37 % bis -10 % (Grüne Balken)
- Dachgeschoss (Wärmeschutzniveau „gut“): Abweichung -46 % bis -19 % (Rote Balken)

Durchschnittlich sollte bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur bei der Betrachtung von Erdgeschossen um 0,21, von Zwischengeschossen um 0,18 und von Dachgeschossen um 0,27 erhöht werden. Generell führen die relativ hohen Leerstandsanteile von 33 % auch hier zu Abweichungen, die nicht der allgemeinen Tendenz folgen.

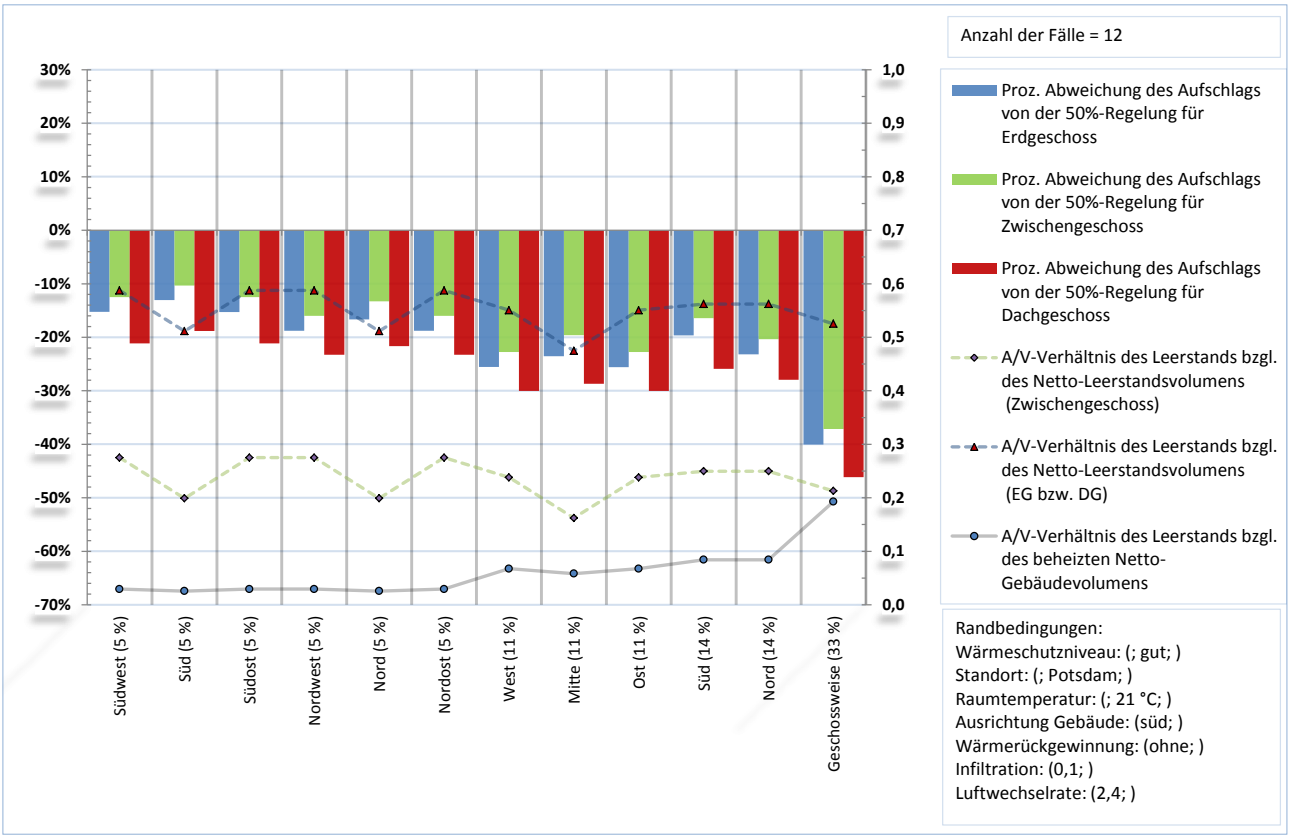


Abb. 58: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude mit dem Wärmeschutzniveau „gut“ auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes

Für ein „sehr gut“ saniertes Gebäude sind erwartungsgemäß die Abweichungen drastischer. Wie in Abb. 59 dargestellt, belaufen sich die Abweichungen zum 0,5-Faktor wie folgt:

- Erdgeschoss (Wärmeschutzniveau „sehr gut“): Abweichung -65 % bis -14 % (Blaue Balken)
- Zwischengeschoss (Wärmeschutzniveau „sehr gut“): Abweichung -66 % bis -18 % (Grüne Balken)
- Dachgeschoss (Wärmeschutzniveau „sehr gut“): Abweichung -62 % bis -21 % (Rote Balken)

Durchschnittlich sollte bei diesen Randparametern der 0,5-Faktor der aktuellen rechnerischen Leerstandskorrektur um 0,38 bis 0,39 erhöht werden. Generell führen die relativ hohen Leerstandsanteile von 33 % auch hier zu Abweichungen, die nicht der allgemeinen Tendenz folgen.

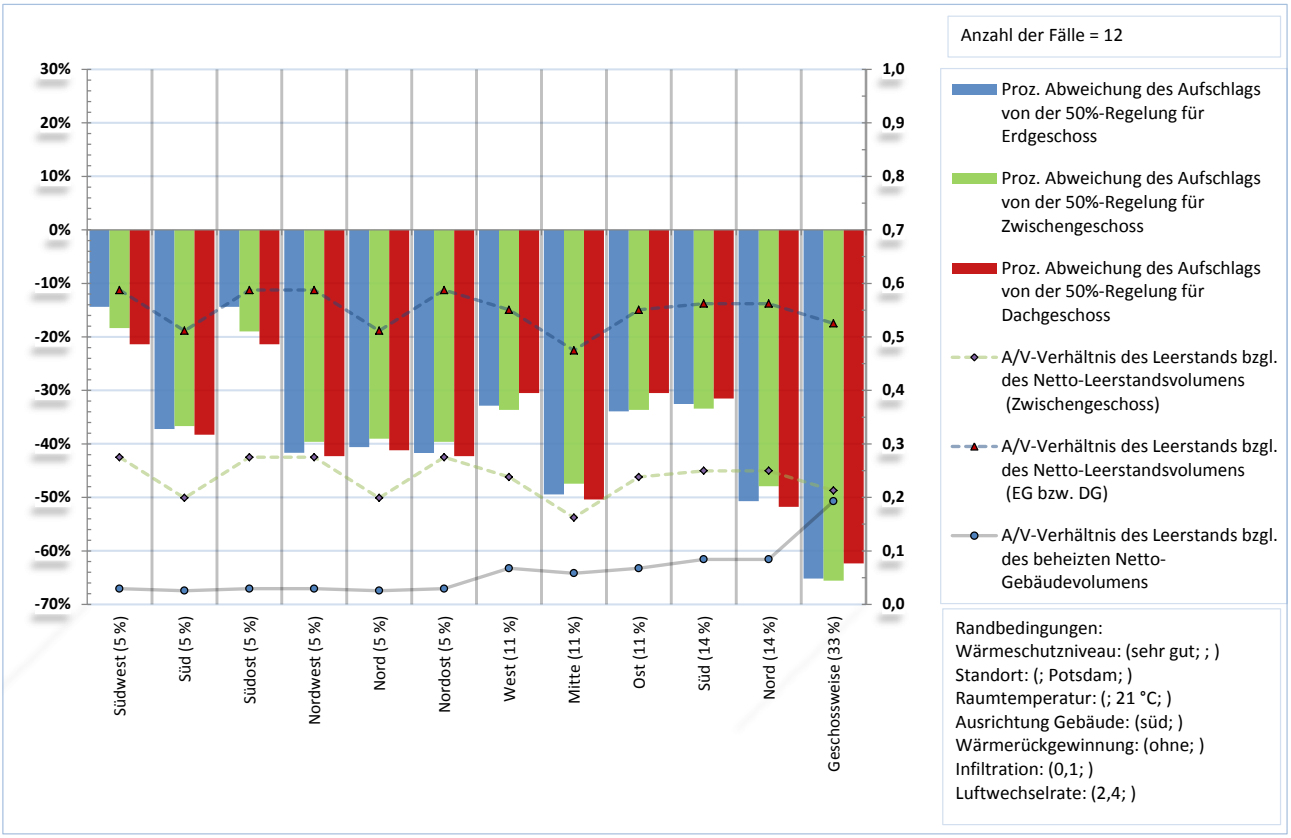


Abb. 59: NWG - Prozentuelle Abweichung des theoretischen Leerstandszuschlags zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen infolge der Änderung der Lage des Leerstandes im Gebäude mit dem Wärmeschutzniveau „sehr gut“ auf Basis der Simulationsberechnungen sowie A/V-Verhältnis des Leerstandes

10 Verbesserungsvorschläge in Bezug auf die aktuelle Bekanntmachung

10.1 Erkenntnis in Bezug auf Warmwasser

Für die in dieser Studie verwendeten Messdaten des Gebäudes in Frankfurt am Main zeigt sich, dass große Unterschiede bei den Verbräuchen an Wärme zur Bereitung von Warmwasser je Wohnung bestehen und von 4 kWh/(m²·a) bis zu 35 kWh/(m²·a) reichen. Trotz der großen Unterschiede können mit der aktuellen Messwertmethode zur rechnerischen Leerstandskorrektur relativ gute Ergebnisse erzielt werden. Alle betrachteten Fälle liegen in einer maximalen Abweichung von 10 %. Etwa 90 % der untersuchten Szenarien besitzen eine maximale Abweichung von 5 %, und etwa 75 % der untersuchten Szenarien besitzen eine maximale Abweichung von 3 %.

Eine Verbesserung dieser Methodik kann durch die Berücksichtigung der Personenzahl in den Wohnungen erzielt werden. Es liegen bei diesem Ansatz mehr Fälle nahe der 0 %-Abweichung und nur ein Fall außerhalb der 5 %-Grenze. Da für den Ansatz eine Erhebung mit möglichst exakten Angaben zur Personenzahl im Gebäude nötig ist, stehen die erzielten Verbesserungen bei den Resultaten wahrscheinlich nicht im Verhältnis zu dem zusätzlichen Erhebungsaufwand, es sei denn die Bewohneranzahl wäre aus anderen Gründen schon bekannt.

Ein genereller Pauschalansatz über eine spezifische Verbrauchsgröße resultierte in größeren Abweichungen zum tatsächlichen Leerstandszuschlag. Besonders bedenklich ist die hohe Anzahl an Überschätzungen des Zuschlags, was zu einer Überschätzung des Anteils des Wärmeverbrauchs für Warmwasser führt.

Die Methode über die Mittelwertbildung der Monate Juni-August zeigt für das Gebäude in Frankfurt am Main, dass die Erhebungen der Verbräuche in diesen Monaten genügen, um einen Jahresmittelwert abschätzen zu können, da die monatlichen Verbrauchswerte nicht signifikant schwanken. Im Vergleich zu der aktuellen Messwertmethodik würde sich der Aufwand zur Erfassung der Verbrauchswerte u. U. verringern. Entscheidend ist hier allerdings, dass bei einer reduzierten Anzahl an Monaten die dann erhobenen Verbrauchswerte sich nur gering voneinander unterscheiden. Eine kontinuierliche 36-monatige Erfassung der Verbrauchswerte reduziert die Wahrscheinlichkeit von Fehlern bei der Durchschnittsbildung.

In Abb. 60 sind die Ergebnisse der vier Methoden gemeinsam dargestellt. Die dargestellten durchschnittlichen Verbräuche pro Wohnung zeigen, dass die aktuelle Messwertmethode und die Methode über die Mittelwertbildung in den Sommermonaten Juni-August deutlich bessere Ergebnisse liefert, als die Methode über den Pauschalansatz.

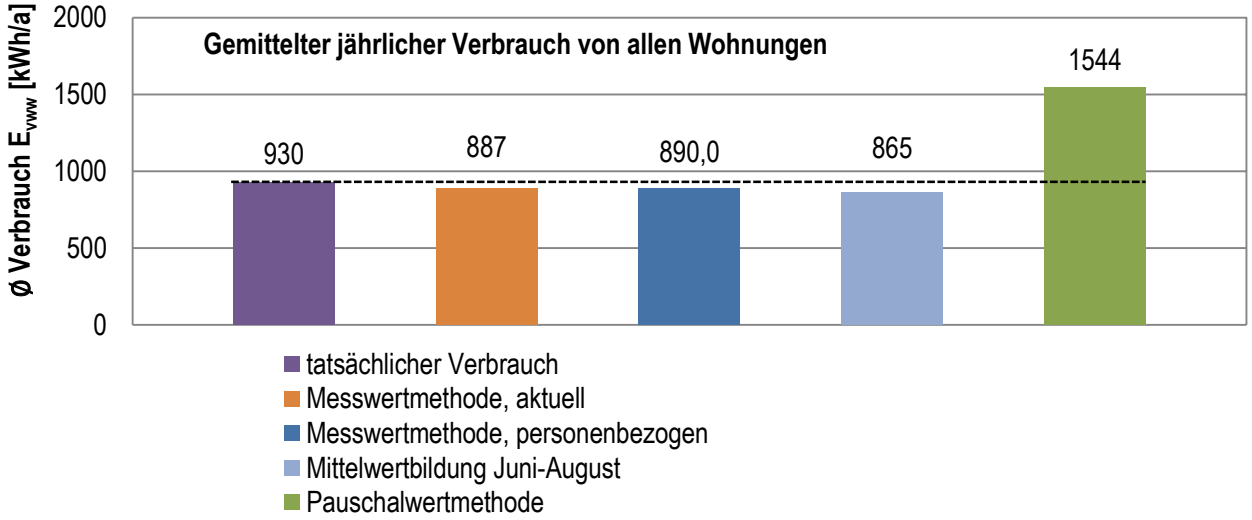


Abb. 60: Die gemittelten Verbräuche zur Bereitung von Warmwasser pro Wohnung basierend auf unterschiedlichen Methoden im Vergleich zum tatsächlichen Verbrauch und die berechneten Energieverbräuche zur Bereitung von Warmwasser im Gebäude

10.2 Erkenntnis in Bezug auf Heizwärme beim Nichtwohngebäude

In der Untersuchung in Abschnitt 9.1 und 9.2 wurden die einzelnen Einflussgrößen in Bezug auf den spezifischen Heizwärmeverbrauch in Form von prozentueller Abweichung zum 0,5-Faktor analysiert (vgl. Formel 7). Es zeigt sich, dass der Wärmeschutz der Gebäudehüllflächen bzw. die Mindesttemperaturen im Gebäude sich signifikant auf die Höhe des Wärmeverbrauchs, respektive auf den Leerstandszuschlag auswirken.

Weiterhin zeigt sich, dass hohe Leerstandsanteile zu markanten Abweichungen führen. Der Effekt wurde bei der Untersuchung des Wärmeschutzniveaus „Altbau“ bei Anteilen von 66 % (Abb. 50 bis Abb. 53) und bei Auswertung des Wärmeschutzniveaus „sehr gut“ bei 33 % sichtbar (Abb. 55 bis Abb. 59). Diese Auswirkung verschärft sich, je höher die Raumtemperatur ist. Extremwerte ergeben sich bei sehr gutem Wärmeschutzniveau bei einer Mindestraumtemperatur von 23 °C. Daher werden diese Extremwerte bei der weiteren Betrachtung ausgenommen.

Im Folgenden soll über die lineare Regressionsanalyse[6] der Bezug zu den Energieverbräuchen der Modelle und den Abweichungen zum 0,5-Faktor (Y-Achse) untersucht werden. In Abb. 61 sind Resultate der Modelle am Gebäudestandort Potsdam dargestellt. Dabei werden einerseits die unterschiedlichen Mindestraumtemperaturen differenziert betrachtet und die Wärmeschutzniveaus (vgl. 11.1) durch die Kreise markiert. Die X-Achse repräsentiert den sich über die Simulationslaufzeit (hier ein Jahr) ergebenden Energieverbrauch des Gebäudes bei längerem Leerstand bezogen auf die Energiebezugsfläche des Gebäudes (spezifischer Energieverbrauch).

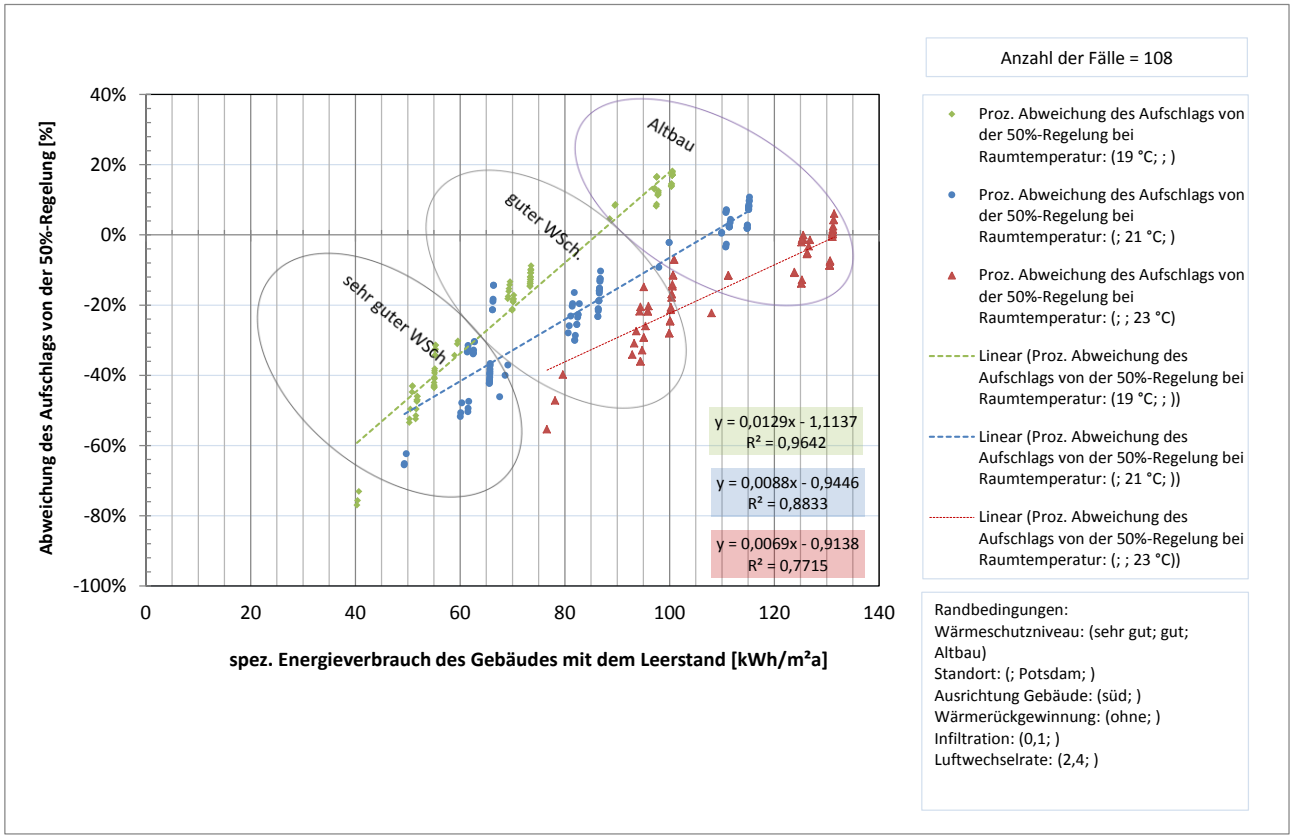


Abb. 61: Prozentuale Abweichung der untersuchten Leerstandszenarien zum 0,5-Faktor gemäß den Bekanntmachungen in Bezug auf den spez. Heizwärmeverbrauch des Nichtwohngebäudes mit einem Anteil an Leerstand (Standort: Potsdam)

[6] Es ist zu beachten, dass die hier verwendete Vorgehensweise (einfache lineare Regression) nur eine einfache Bestimmung des Zuschlagfaktors zulässt. Da die Abhängigkeiten der untersuchten Einflussgrößen vielfältig sind, wäre womöglich die Anwendung der „Multiplen linearen Regression“ geeigneter gewesen. Verhältnismäßig würde jedoch die Anwendung dieser Methode die Berechnung des Zuschlagsfaktors zur Erstellung des Energieverbrauchsausweises verkomplizieren.

Insgesamt liegen die Abweichungen zwischen -80 % bis 20 %. Beim Wärmeschutzniveau „Altbau“ fallen die Abweichungen relativ klein aus. Es ist ersichtlich, dass mit abnehmendem Wärmeverbrauch infolge des verbesserten Wärmeschutzes bzw. der Absenkung der Mindestraumtemperatur eine Reduktion prozentueller Abweichung vom 0,5-Faktor hervorgerufen wird. Diese funktionale Abhängigkeit ist in Abb. 61 mit gestrichelten Trendlinien visualisiert. Die dargestellten Bestimmtheitsmaße R^2 der Trennlinien deuten auf eine gute lineare Approximation.

Um einen theoretisch idealen Faktor für die jeweils untersuchten Fälle bestimmen zu können, muss in Kombination mit Formel 9 folgende Gleichung angewendet werden:

$$\boldsymbol{Theoretischer\ Faktor}: \qquad \boldsymbol{f_{ideal} = 0,5 - f_{abw}} \qquad \text{Formel 10}$$

In Abb. 62 sind diese idealen theoretischen Faktoren mit denselben Randbedingungen wie in Abb. 61 dargestellt. Auch hier sind die drei Punktwolken infolge der drei behandelten Wärmeschutzniveaus für die jeweilige Mindestraumtemperatur klar erkennbar. Der Wertebereich des theoretischen Faktors liegt zwischen ca. 33 % bis 125 % (0,33 bis 1,25). Mit den hier dargestellten idealen theoretischen Faktoren kann der 0,5-Faktor in der Bekanntmachung substituiert werden. In Abhängigkeit des spezifischen Heizwärmeverbrauchs des Gebäudes, der Mindestraumtemperatur und des Wärmeschutzniveaus lassen sich mit diesen Faktoren bessere Leerstandszuschläge prognostizieren.

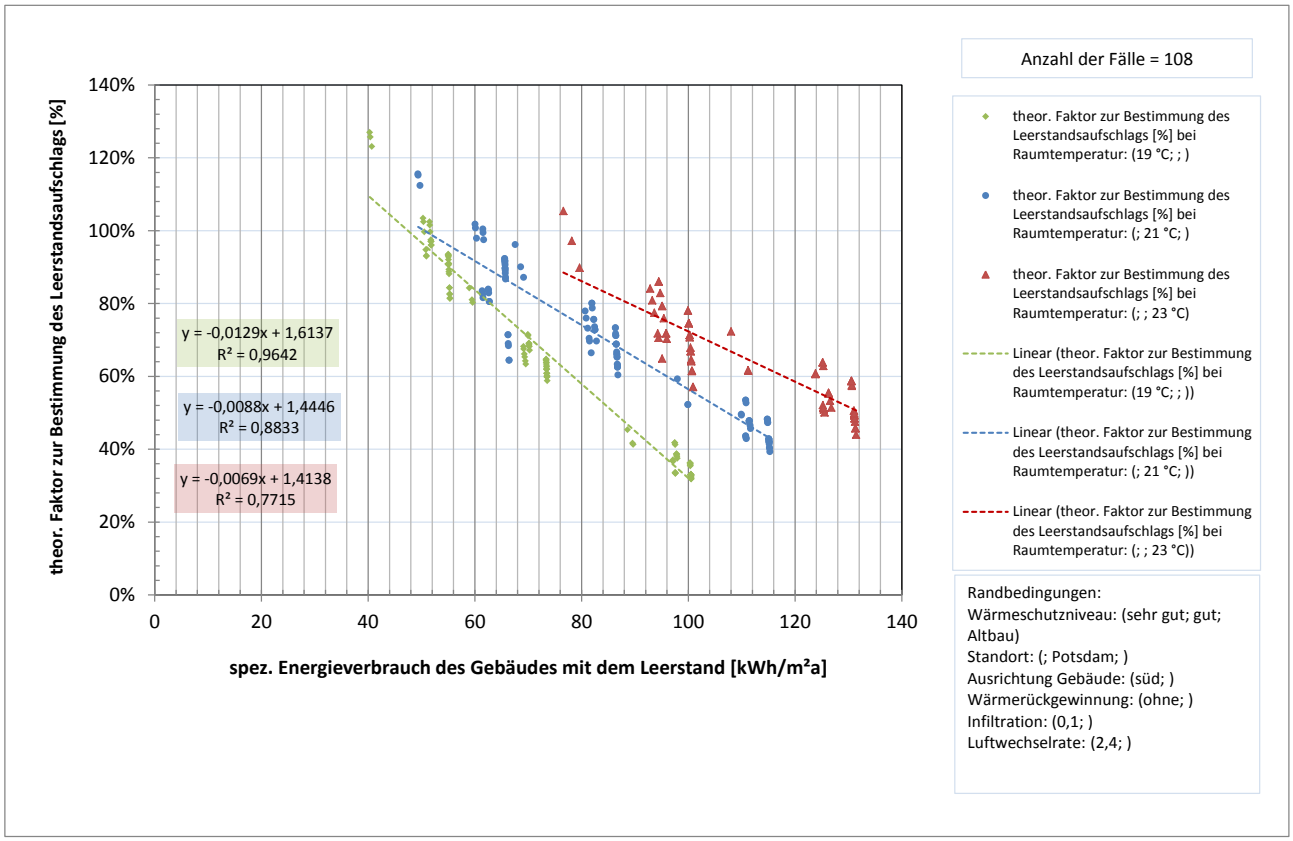


Abb. 62: Der aus den Simulationsergebnissen berechnete theoretische Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Nichtwohngebäudes (Standort: Potsdam)

Noch allgemeiner sind diese theoretischen Faktoren in Abb. 63 veranschaulicht. Hier sind die Resultate aller drei Standorte und der beiden Ausrichtungen des Gebäudes gemeinsam abgebildet. Aus den Punktwolken bzw. Bestimmtheitsmaßen R^2 ist ersichtlich, dass diese Randbedingungen eine geringfügige Auswirkung auf die Höhe des theoretischen Faktors hat. Dies entspricht den Erkenntnissen in Abschnitt 9.2.3 und 9.2.4.

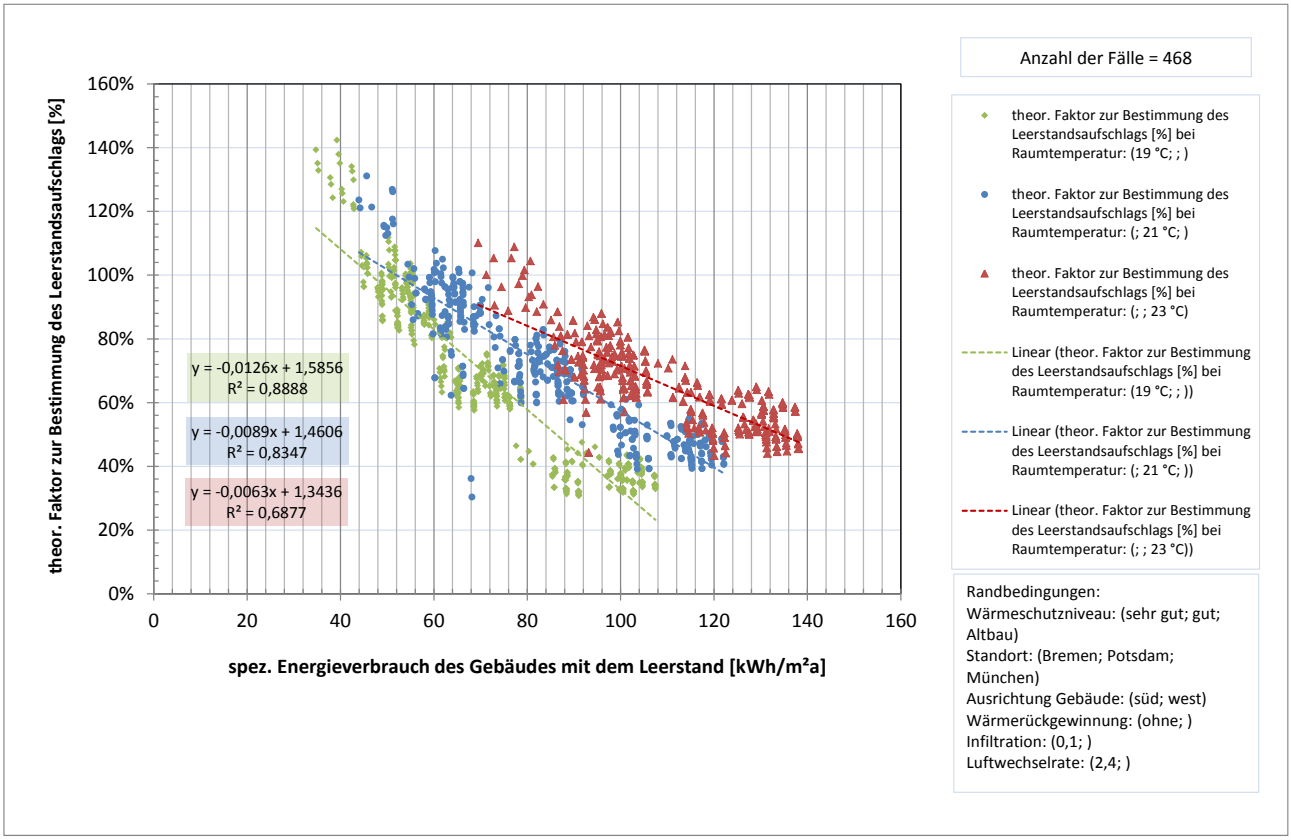


Abb. 63: Der aus den Simulationsergebnissen berechnete theoretische Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Nichtwohngebäudes (für alle behandelten Standorte)

Die in den Abb. 59 bis Abb. 63 dargestellten linearen Zusammenhänge und die hohen Bestimmtheitsmaße sind direkt abhängig von den berücksichtigten Mindestraumtemperaturen 19 °C, 21 °C und 23 °C. Die mittleren Raumtemperaturen sind allerdings relativ schwierig in der Praxis zu erfassen, da sie direkt vom Nutzerverhalten abhängen. Hebt man jedoch die differenzierte Betrachtung der Raumtemperaturen auf, gehen die linearen Zusammenhänge verloren. Dadurch würde sich beispielsweise das Bestimmtheitsmaß in Abb. 63 auf 0,1513 reduzieren. Das würde bedeuten, dass dann nur noch bei 15 % der Fälle eine Abhängigkeit zwischen dem spez. Heizwärmeverbrauch und dem theoretisch berechneten Faktor existieren würde.

Aus Abb. 63 ist erkennbar, dass sich beim abnehmenden Verbrauch – insbesondere bei niedriger Raumtemperatur von 19 °C – ein Zuschlagsfaktor größer als eins ergeben kann und sich ggf. bei extrem höherem Verbrauch (insbesondere bei Raumtemperatur von 23 °C) sehr kleine oder sogar negative Zuschlagsfaktoren herauskristallisieren können. Um Gebäude mit niedrigem Verbrauch nicht zu benachteiligen bzw. Gebäude mit höherem Verbrauch nicht zu begünstigen, empfiehlt es sich bei der Ermittlung des Zuschlagsfaktors, den Faktor auf einen Wertebereich zwischen 0 bis 1 oder 0,25 bis 1 zu begrenzen. Abb. 64 stellt den so ermittelten funktionalen Zusammenhang grafisch dar.

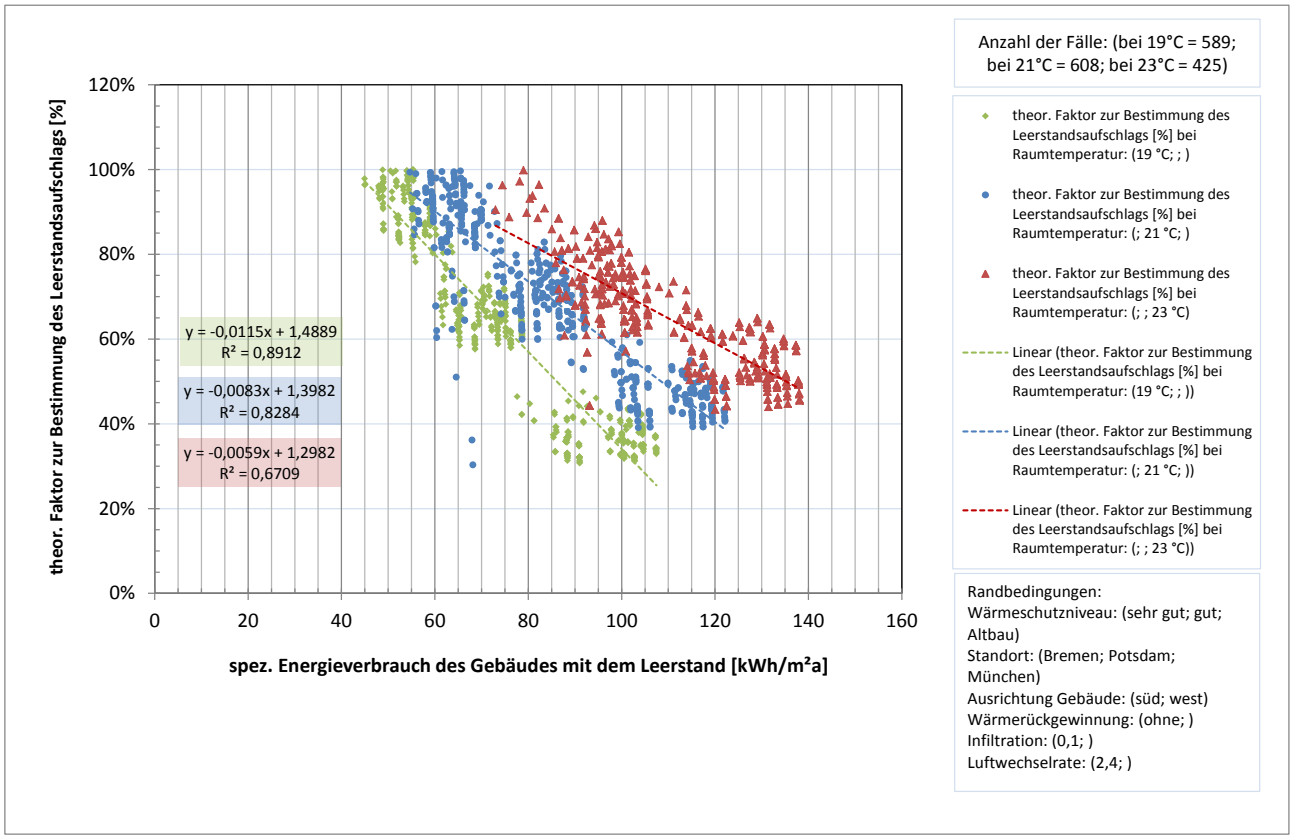


Abb. 64: Begrenzung des aus den Simulationsergebnissen berechneten theoretischen Faktors zwischen 0 bis 1 zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Nichtwohngebäudes (für alle behandelten Standorte)

Da sich die Raumtemperatur eher als ein Effekt infolge des Nutzerverhaltes einstellt, empfiehlt es sich daher, zur Bestimmung des Zuschlagsfaktors von einer Raumsolltemperatur gemäß DIN V 18599 auszugehen. In der genannten Normung ist eine Raumsolltemperatur von 21 °C (Heizfall) für die meisten Nutzungen[7] in Nichtwohngebäuden festgelegt. Aus dieser Überlegung heraus lässt sich ein normierter Zuschlagfaktor bei der Anwendung der in Abb. 64 angegebene Funktion bei 21 °C bestimmen:

Zuschlagsfaktor:

$$f_{(e_{\mathrm{Vhb,12mth}})} = -0,0083 \frac{\mathrm{m^2}a}{kWh} \times e_{\mathrm{Vhb,12mth}} + 1,3982 \qquad \text{Formel 11}$$

mit einem Wertebereich von: $0,25 \leq f_{(e_{\mathrm{Vhb,12mth}})} \leq 1$

und

$$e_{\mathrm{Vhb,12mth}} = \frac{E_{\mathrm{Vhb,Zeitraum}}}{A_{\mathrm{NGF}}} \times \frac{12}{n_{mth}}$$

[7] DIN V 18599-10:2016-10 Tabelle 5 - Richtwerte der Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude

Hierbei ist die Größe $e_{(Vhb,12mth)}$ der witterungsbereinigte Energieverbrauchsanteil für Heizung in dem maßgeblichen Zeitraum bei längerem Leerstand in kWh bezogen auf die Energiebezugsfläche des Gebäudes in m² für einen Zeitraum von zwölf Monaten (gemäß Formel 4 der Bekanntmachung). Die Größen $e_{(Vhb,12mth)}$ und $f_{(eVhb,12mth)}$ müssen noch in zukünftiger Bekanntmachung wie oben beschrieben definiert werden.

Der Leerstandszuschlag für den Energieverbrauchsanteil für Heizung berechnet sich dann wie folgt:

Leerstandszuschlag: $\Delta \boldsymbol{E_{Vh}} = \boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} \times \boldsymbol{f_{\mathbf{leer}}} \times \boldsymbol{E_{\mathbf{Vhb,leer}}}$ Formel 12

wenn $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} \leq \mathbf{0,25} \rightarrow$ $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} = \mathbf{0,25}$

wenn $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} \geq \mathbf{1} \rightarrow$ $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} = \mathbf{1}$

Um Eigentümer oder Mieter für die Energieeinsparung zu sensibilisieren, können informativ zudem die berechneten Leerstandszuschläge infolge der Raumsolltemperatur im Heizfall von 19 °C bzw. 23 °C angegeben werden.

Zudem wird es empfohlen, dass zur Umsetzung des Kontrollsystems im Rahmen der Energieausweiserstellung die Größen $e_{(Vhb,12mth)}$ und $f_{(eVhb,12mth)}$ erhoben werden sollten. Hierzu ist es notwendig, die genannten Größen in der vorgesehenen XML-Datenstruktur der Druckapplikation zur Erstellung von Energieausweisen aufzunehmen.

Im Anhang 11.5 sind beispielhaft die Berechnungen nach der aktuellen Methode mit dem konstanten Zuschlagsfaktor 0,5 und die mit dem berechneten Zuschlagsfaktor zur Gegenüberstellung abgebildet.

10.3 Erkenntnis in Bezug auf Heizwärme beim Wohngebäude

In Abb. 65 sind diese idealen theoretischen Faktoren für ein Wohngebäude mit folgenden Randbedingungen dargestellt:

- Standort: Potsdam
- Wärmeschutzniveau: sehr gut, gut und Altbau
- Mindestraumtemperaturen: 19 °C, 21°C, 23 °C
- Ausrichtung des Gebäudes: Nord-Süd

Hier sind die drei Punktwolken infolge der drei behandelten Wärmeschutzniveaus für die jeweilige Mindestraumtemperatur erkennbar[8]. Der Wertebereich des theoretischen Faktors liegt zwischen ca. 30 % bis 85 % (0,30 bis 0,85). Mit den hier dargestellten idealen theoretischen Faktoren kann der 0,5-Faktor in der Bekanntmachung substituiert werden. In Abhängigkeit des spezifischen Heizwärmeverbrauchs des Gebäudes, der Mindestraumtemperatur und des Wärmeschutzniveaus lassen sich mit diesen Faktoren bessere Leerstandszuschläge prognostizieren.

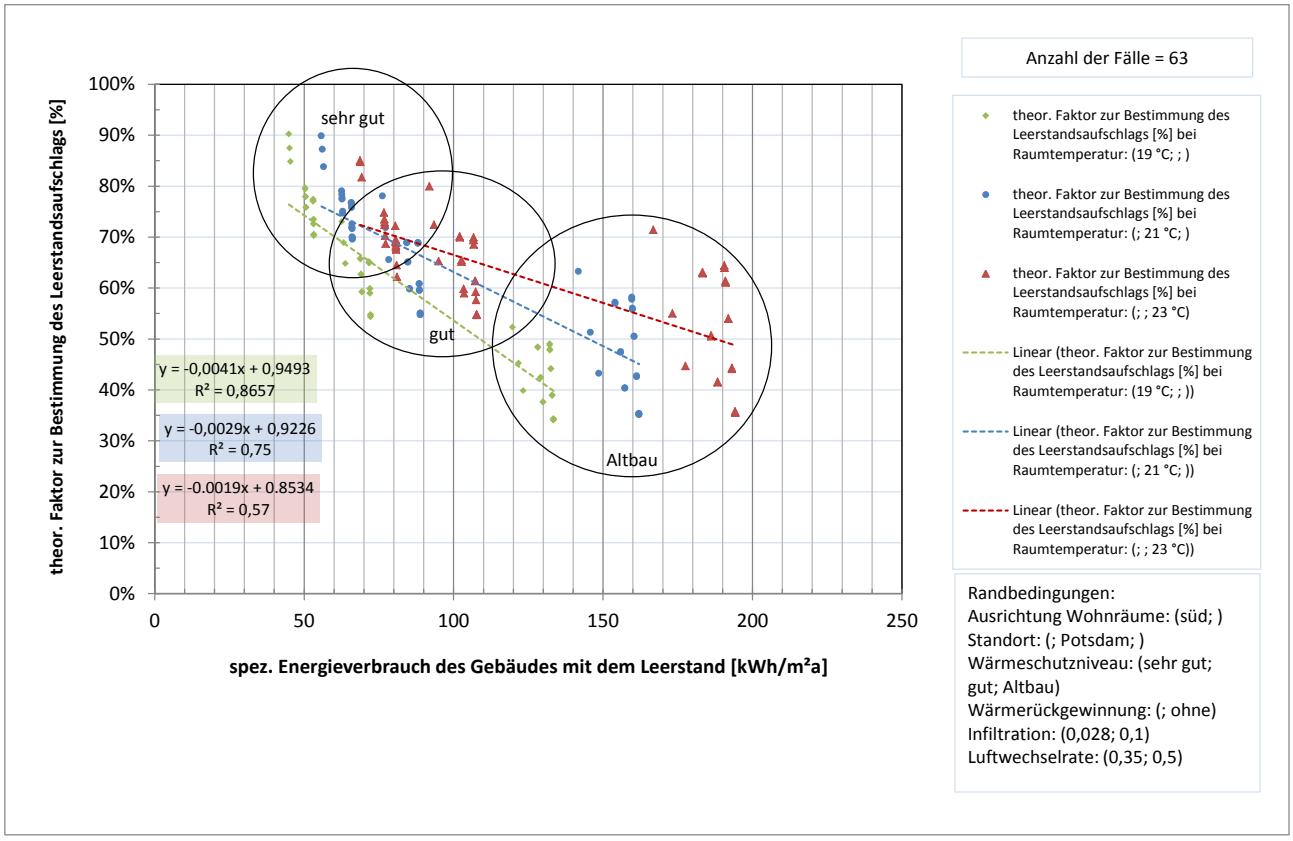


Abb. 65: Der aus den Simulationsergebnissen berechnete theoretische Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Wohngebäudes(Standort: Potsdam)

[8] Aufgrund der gewählten U-Werte für die Wärmeschutzniveaus „gut“ und „sehr gut“ liegen ihre Punktwolken ziemlich dicht beieinander (vgl. 11.1).

In Abb. 66 sind zudem die Resultate aller drei Standorte und der beiden Ausrichtungen des Gebäudes gemeinsam abgebildet. Aus den Punktwolken bzw. Bestimmtheitsmaßen R^2 ist ersichtlich, dass diese Randbedingungen eine geringfügige Auswirkung auf die Höhe des vorgenannten Faktors haben, da die Steigung der Geraden in Abb. 65 und Abb. 66 nahezu konstant bleibt (z.B. ändert sich die Steigung für die Fälle mit Raumtemperaturen von 21° C von -0,0029 auf -0,0028). Die Konstanten in den linearen Gleichungen ändern sich geringfügig (z.B. ändert sich die Konstante für die Fälle mit Raumtemperaturen von 21° C von 0,9226 auf 0,9147). Dies deutet eine leichte Verschiebung der Geraden nach unten (siehe positive Vorzeichen der Konstanten). Wie bei Nichtwohngebäuden empfiehlt es sich bei der Ermittlung des Zuschlagsfaktors, den Faktor auf einen Wertebereich zwischen 0 bis 1 oder 0,25 bis 1 zu begrenzen, um Gebäude mit niedrigem Verbrauch nicht zu benachteiligen bzw. die Gebäude mit höherem Verbrauch nicht zu begünstigen.

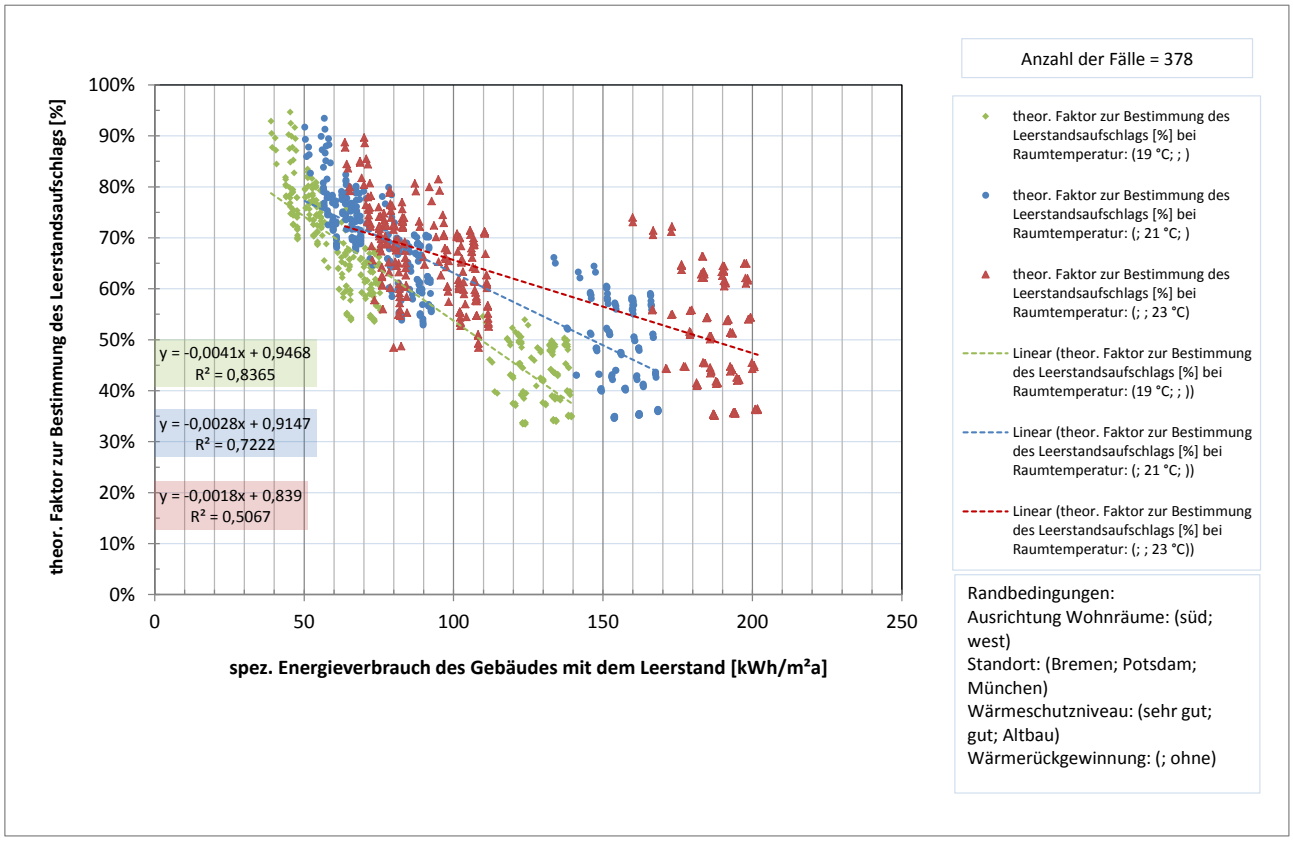


Abb. 66: Begrenzung des aus den Simulationsergebnissen berechneten theoretischen Faktors zwischen 0 bis 1 zur Bestimmung des Leerstandszuschlags infolge der drei Wärmeschutzniveaus bzw. der jeweiligen Mindestraumtemperatur des Wohngebäudes (für alle behandelten Standorte)

Da sich – wie bereits erwähnt – die Raumtemperatur eher als ein Effekt infolge des Nutzerverhaltes einstellt, empfiehlt es sich auch hier, zur Bestimmung des Zuschlagsfaktors von einer Raumsolltemperatur auszugehen. In der DIN V 18599 ist allerdings eine Raumsolltemperatur von 20 °C (Heizfall) für Wohngebäude festgelegt. In zahlreichen Untersuchungen im Bereich Wohngebäude (siehe beispielsweise [8]) zeigen die Ergebnisse, dass die Raumtemperatur in den beheizten Räumen bei den unsanierten Ein- und Mehrfamilienhäusern tendenziell bei 21 °C liegt. Aus dieser Überlegung heraus sollte auch bei Wohngebäuden ein normierter Zuschlagfaktor bei der Anwendung der in Abb. 66 angegebene Funktion bei 21 °C bestimmt werden:

Zuschlagsfaktor:

$$f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})} = -\mathbf{0,0028}\frac{\mathbf{m^2}a}{\boldsymbol{kWh}} \times e_{\mathbf{Vhb,12mth}} + \mathbf{0,9147} \qquad \text{Formel 13}$$

mit einem Werte-bereich von:

$$\mathbf{0,25} \leq f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})} \leq \mathbf{1}$$

und

$$e_{\mathbf{Vhb,12mth}} = \frac{E_{\mathbf{Vhb,Zeitraum}}}{A_{\mathbf{NGF}}} \times \frac{\mathbf{12}}{n_{mth}}$$

Hierbei ist die Größe $e_{(Vhb,12mth)}$ der witterungsbereinigte Energieverbrauchsanteil für Heizung in dem maßgeblichen Zeitraum bei längerem Leerstand in kWh bezogen auf die Energiebezugsfläche des Gebäudes in m² für einen Zeitraum von zwölf Monaten (gemäß Formel 4 der Bekanntmachung). Die Größen $e_{(Vhb,12mth)}$ und $f_{(eVhb,12mth)}$ müssen noch in zukünftiger Bekanntmachung wie oben beschrieben definiert werden.

Der Leerstandszuschlag für den Energieverbrauchsanteil für Heizung berechnet sich analog zu Nichtwohngebäuden wie folgt:

Leerstandszuschlag: $\Delta \boldsymbol{E_{Vh}} = \boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} \times \boldsymbol{f_{\mathbf{leer}}} \times \boldsymbol{E_{\mathbf{Vhb,leer}}}$ Formel 14

wenn $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} \leq \mathbf{0,25} \rightarrow$ $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} = \mathbf{0,25}$

wenn $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} \geq \mathbf{1} \rightarrow$ $\boldsymbol{f_{(e_{\mathbf{Vhb,12mth}})}} = \mathbf{1}$

Mit dem in Formel 13 berechneten Zuschlagsfaktor ergibt sich in einzelnen Fällen mit gutem und sehr gutem Wärmeschutz ein etwas zu geringer Faktor als theoretisch für diese spezifischen Fälle notwendig wäre. Allerdings erscheint eine leichte Unterschätzung hier vertretbar, da ansonsten diese Gruppe der Wärmeschutzniveaus im Vergleich zu Gebäuden mit schlechtem Wärmschutz (Altbau) allgemein zu hoch bezuschlagt würden.

Um Eigentümer oder Mieter allgemein für die Energieeinsparung zu sensibilisieren, könnten neben dem Leerstandszuschlag für 21 °C informativ (wie bei Nichtwohngebäuden) im Energieausweis die berechneten Leerstandszuschläge infolge von Raumsolltemperaturen im Heizfall von 19 °C bzw. 23 °C mit angegeben werden.

Zudem wird empfohlen, dass zur Umsetzung des Kontrollsystems im Rahmen der Energieausweiserstellung die Größen $e_{(Vhb,12mth)}$ und $f_{(eVhb,12mth)}$ mit erhoben werden sollten. Hierzu ist es notwendig, die genannten Größen in der vorgesehenen XML-Datenstruktur der Druckapplikation zur Erstellung von Energieausweisen aufzunehmen.

Im Anhang 11.4 sind beispielhaft die Berechnungen nach der aktuellen Methode mit dem konstanten Zuschlagsfaktor 0,5 und die mit dem berechneten Zuschlagsfaktor zur Gegenüberstellung abgebildet.

10.4 Betrachtung von längerfristigen Totalleerständen

Die aktuelle Bekanntmachung zur rechnerischen Korrektur von Leerständen schließt durch die Begrenzung des Leerstandsfaktors auf 0,3 rechnerische Korrekturen von Verbrauchsdaten aus, die bei längerfristigem Totalleerstand eines Gebäudes erhoben wurden. Allerdings finden solche Totalleerstände relativ häufig bei Einfamilienhäusern statt, wenn diese über gewisse Zeiträume nicht bewohnt werden. Daher wurde das Modell des Wohngebäudes in Frankfurt am Main genutzt, um eine erste Überprüfung vorzunehmen, wie weit Verbrauchswerte von unbewohnten Gebäuden Rückschlüsse auf Verbräuche bei Vollbelegung zulassen. Entgegen den Simulationen, die in Abschnitt 10.3 ausgewertet werden, wird hier angenommen, dass Mindestraumtemperaturen in den Gebäuden bekannt sind, da davon ausgegangen wird, dass Heizungsanlagen innerhalb der Periode des Totalleerstands auf eine Solltemperatur eingestellt werden. Es wurden daher in Simulationen die Heizwärmeverbräuche für folgende Szenarien bestimmt:

- Mindestraumtemperatur von 5 °C, um eine geringe Frostsicherheit im Gebäude zu gewährleisten
- Mindestraumtemperatur von 10 °C, um eine hohe Frostsicherheit im Gebäude zu gewährleisten
- Mindestraumtemperatur von 15 °C, um zusätzlich die Bildung von Kondensat an Bauteilen zu vermeiden

Bei den Simulationen wurde davon ausgegangen, dass der Totalleerstand über ein gesamtes Jahr erfolgt. Die Simulationen wurden in Bezug auf die konvektive Wärmeübertragung mit einer Infiltrationsrate von 0.1 pro Stunde durchgeführt, da angenommen wird, dass in der Zeit des Totalleerstands keine Lüftungsanlage in Betrieb ist bzw. kein Luftwechsel durch Fensteröffnungen stattfindet. Weiterhin sind in diesen Modellen keine internen Wärmegewinne durch elektrische Anlagen oder Beleuchtung hinterlegt, ebenfalls basierend auf der Annahme, dass keine Einrichtungen in dieser Phase in Betrieb sind. Diese Randparameter wurden mit den schon bekannten Parametern aus Standort, Wärmeschutzstandard[9] und Ausrichtung des Gebäudes entsprechend Abb. 67 kombiniert.

Szenariomatrix Gesamtleerstand (X=untersuchter Fall)			Standort und Wärmeschutzstandard								
			Bremen			Potsdam			München		
			unsaniert	EnEV2009	nahe PH	unsaniert	EnEV2009	nahe PH	unsaniert	EnEV2009	nahe PH
Ausrichtung und Wunschtemperatur	Nord-Süd Ausrichtung	5°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		10°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		15°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ost-West Ausrichtung	5°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		10°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		15°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abb. 67: In der Szenario-Matrix des Gesamtleerstands sind die untersuchten Kombinationen der vier untersuchten Hauptparameter dargestellt

Da diese Untersuchung mit 54 Fällen relativ klein ist, bleibt die allgemeine Aussagekraft der Ergebnisse begrenzt. Weiterhin stellt das simulierte Gebäude ein Mehrfamiliengebäude dar, weshalb die Übertragbarkeit auf ein Einfamilienhaus nur bedingt möglich ist, da Einfamilienhäuser ein anderes Verhältnis von Hüllflächen zu genutzten Gebäudevolumen besitzen[10]. Dennoch zeigt eine erste Auswertung der Ergebnisse, wie signifikant die gewählte Mindestraumtemperatur im Gebäude den nötigen spezifischen Leerstandszuschlag beeinflusst. In Abb. 68 sind die Ergebnisse der Simulationen dargestellt. Es lässt sich für jede der drei Kategorien eine Funktion basierend auf der gewählten Mindestraumtemperatur bilden, über die sich ein rechnerischer Leerstandszuschlag bestimmen lässt, der auf dem ermittelten spezifischen Energieverbrauch des Gebäudes während des Totalleerstands basiert. Die Genauigkeit dieser Methode nimmt mit höheren Mindestraumtemperaturen zu. Besonders deutliche Abweichungen ergeben sich bei den Fällen, bei denen die niedrigste Mindestraumtemperatur von 5 °C angenommen wurde. Daher wird dieser Ansatz generell nicht für Verbrauchswerte empfohlen, die bei solch niedrigen Temperaturen erhoben wurden. Diese Empfehlung wird auch deshalb ausgesprochen, weil bei solch niedrigen Temperaturen mit einem relativ höheren Fehler bei der Datenerhebung zu rechnen ist, wenn z. B. Messergebnisse durch Sondersituationen beeinflusst werden, wie z. B. bei Verkaufsbesichtigungen, bei denen das unbewohnte Gebäude üblicherweise kurzzeitig aufgeheizt wird.

[9] „unsaniert“ = schlechter Wärmeschutz, „EnEV200“ = guter Wärmeschutz und „nahe PH“ = sehr guter Wärmeschutz

[10] Hier könnte ein Umrechnungsfaktor eingeführt werden, der die Kubatur und das Verhältnis von Hüllflächen zum genutzten Gebäudevolumen berücksichtigt.

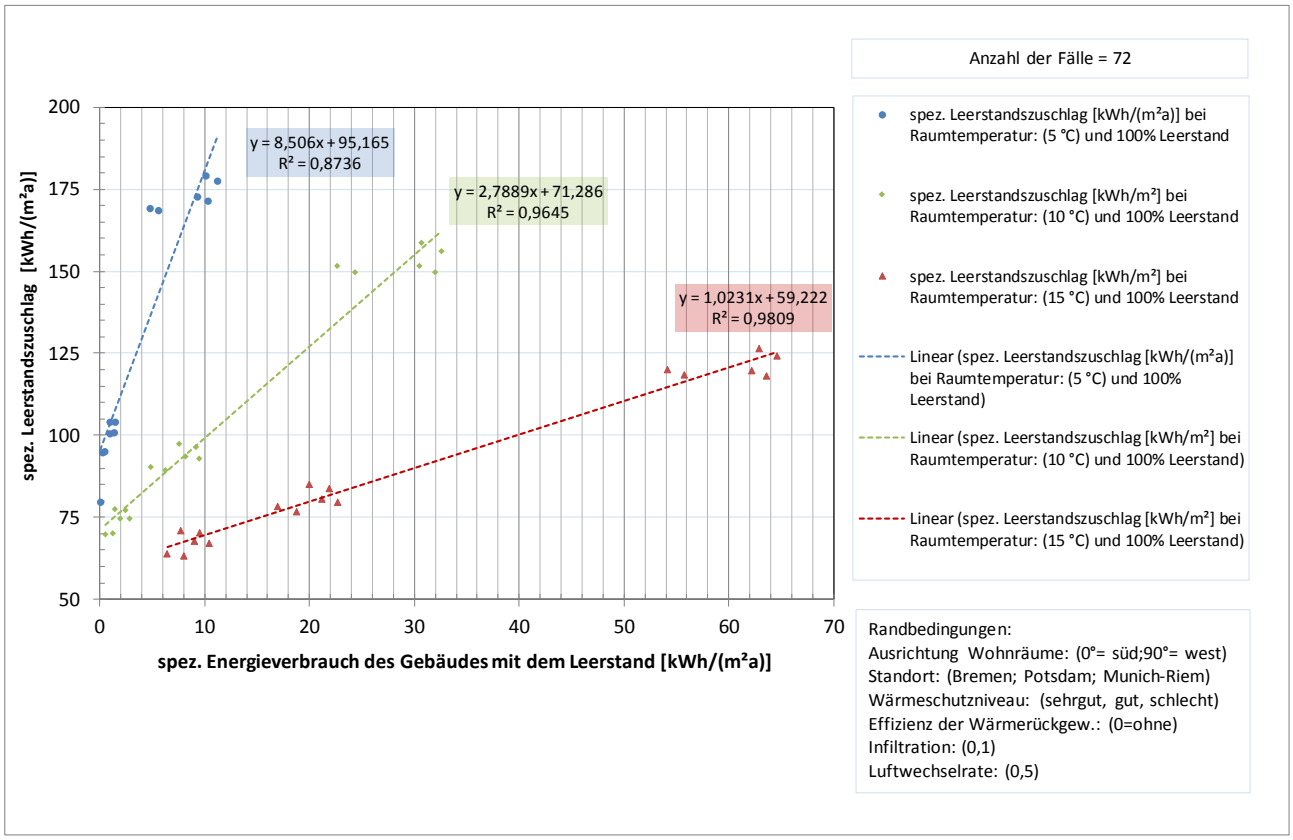


Abb. 68: Berechneter theoretisch erforderlicher spezifischer Leerstandszuschlag bei Totalleerstand im simulierten Wohngebäude, abhängig von der jeweiligen Mindestraumtemperatur (für alle behandelten Standorte, drei Wärmeschutzniveaus und beide Gebäudeausrichtungen)

Betrachtet man die Ergebnisse in Bezug auf den nötigen theoretischen Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags, ergeben sich verständlicherweise deutlich größere Werte als der in der aktuellen rechnerischen Methode zur rechnerischen Leerstandskorrektur angesetzte 50 %-Wert bei Teilleerständen. Dies ist mit den in unbewohnten Gebäuden üblicherweise deutlich anderen Rahmenbedingungen, insbesondere hinsichtlich der signifikant reduzierten Mindestraumtemperaturen, zu erklären. Die Ergebnisse der Simulationen sind in Abb. 69 für die drei Gruppen der Mindestraumtemperaturen dargestellt. Erkennbar ist, dass sich innerhalb jeder Gruppen eine Funktion zur Bestimmung eines theoretischen Faktors ermitteln lässt. Diese Funktionen sind in Formel 15 zusammengefasst.

Der hier dargestellte Ansatz zur Bestimmung des Leerstandszuschlags für den Totalleerstand konnte in der vorliegenden Studie nur theoretisch anhand der simulierten Fälle geprüft werden. Da die Formel 15 eine absolute Skalierung des Energieverbrauchsanteils für Heizung $E_{\mathrm{Vhb,leer}}$ vorschlägt, kann es im Vergleich zu der Korrektur, die durch Formel 13 bei teilweisem Leerstand angewendet wird, zu größeren Fehlern kommen.

Es wird angenommen, dass in Situationen, bei denen über die dreijährige Verbrauchsdatenerfassung phasenweise Totalleerstände stattfinden, eine Kombination aus zwei Herangehensweisen für Wohngebäude möglich ist; d. h. die Anwendung entsprechend Formel 13 während der Phase von teilweisen Leerständen und die Anwendung entsprechend Formel 15 während der Phase von Totalleerständen. Dieser Ansatz muss jedoch in der Praxis noch validiert werden.

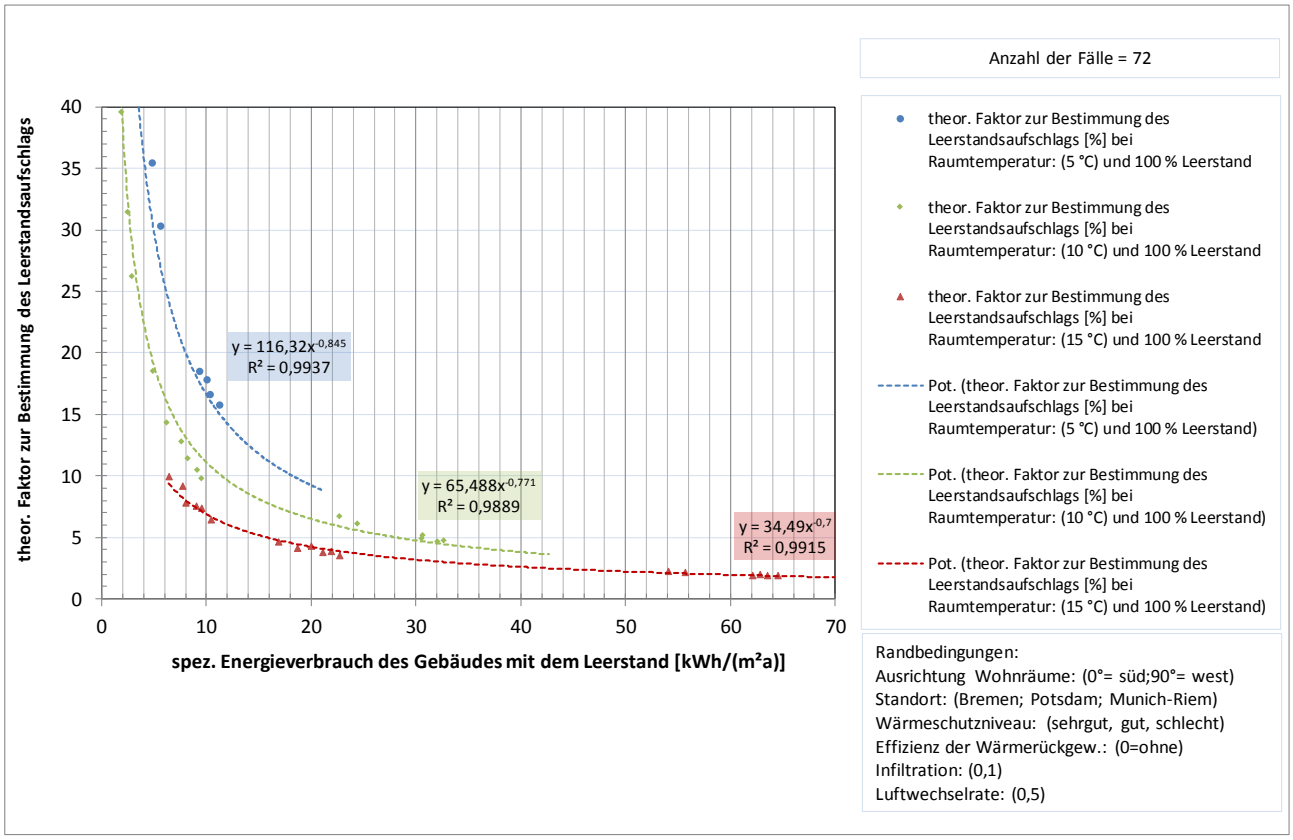


Abb. 69: Berechneter theoretisch erforderlicher theoretischer Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags bei Totalleerstand basierend auf unterschiedlichen Mindestraumtemperaturen im Wohngebäude (für alle behandelten Standorte, drei Wärmeschutzniveaus und beide Gebäudeausrichtungen)

Leerstandszuschlag bei Totalleerstand:

$$\Delta E_{Vh} = f_{\text{total,leer}} \times f_{\text{leer}} \times E_{\text{Vhb,leer}}$$ Formel 15

mit dem Zuschlagsfaktor:

bei $T_{min,Raum} = 5°C \rightarrow$ $\quad f_{\text{total,leer}} = 116,32 \frac{m^2 a}{kWh} \times \left(e_{\text{Vhb,12mth}}\right)^{0,845}$

bei $T_{min,Raum} = 10°C \rightarrow$ $\quad f_{\text{total,leer}} = 65,488 \frac{m^2 a}{kWh} \times \left(e_{\text{Vhb,12mth}}\right)^{0,771}$

bei $T_{min,Raum} = 15°C \rightarrow$ $\quad f_{\text{total,leer}} = 34,49 \frac{m^2 a}{kWh} \times \left(e_{\text{Vhb,12mth}}\right)^{0,7}$

10.5 Betrachtung von dispersen Leerständen

Bei den bisherigen Untersuchungen wurde von geringen und vorwiegend von einzelnen Leerständen in Gebäuden ausgegangen. In der Praxis sind allerdings auch komplexere Fälle von dispersen Leerständen denkbar. Da eine vollständige Untersuchung aller möglichen Fälle in Rahmen dieser Studie nicht möglich ist, wurde eine spezifische Situation näher untersucht. Grundlage bildet hier das in Abschnitt 8.1 beschriebene Modell des Wohngebäudes in Frankfurt am Main. Bei diesem Modell beeinflusst die Kubatur der Dachgeschosswohnungen den Heizwärmebedarf, weshalb bei den dispersen Leerständen diese Wohnungen ausgenommen wurden. D. h. es wurden nur Kombinationen von den übrigen Nutzungseinheiten betrachtet. Als Rahmenparameter wurde eine Gebäudeausrichtung nach Süden und als Standort Potsdam gewählt. Als Varianz wurden im Modell zwei bis maximal vier Wohnungen als leerstehend angenommen, was zu folgenden prozentualen Leerstandsflächen führt:

- Bei zwei leerstehenden Nutzungseinheiten: 13 % Leerstandsflächen
- Bei drei leerstehenden Nutzungseinheiten: 20 % Leerstandsflächen
- Bei vier leerstehenden Nutzungseinheiten: 27 % Leerstandsflächen

Bei den Simulationen wurde davon ausgegangen, dass der Leerstand über das gesamte Jahr erfolgt. Daher wird der Leerstandsfaktor (siehe Formel 1) einzig durch die prozentualen Leerstandsflächen bestimmt. Entsprechend der aktuellen Bekanntmachung ist dieser Faktor auf maximal 0,3 begrenzt, weshalb maximal vier Nutzungseinheiten als leerstehend angenommen wurden. Es wurden insgesamt 72 Fälle betrachtet, die in Abb. 70 und Abb. 71 in einer Szenarienmatrix dargestellt sind. Diese 72 Fälle wurden jeweils separat für die drei Wärmeschutzniveaus ausgewertet, da dieser Parameter deutlichen Einfluss auf das Ergebnis nimmt. Weiterhin sind in Abb. 71 zusätzlich die neun Referenzfälle dargestellt, die den Fälle Nr. 16 bis Nr. 25 in Abb. 38 entsprechen. Mit Hilfe dieser Referenzfälle sind Bezüge zu den Ergebnissen in Abschnitt 9.1 möglich.

Leerstandsmatrix (X = leerstehende Nutzungseinheit)			Zonen im Gebäude in Frankfurt am Main													
			Erdgeschoss				1. Obergeschoss				2. Obergeschoss				Dachgeschoss	
			8_R	8_L	6_R	6_L	8_R	8_L	6_R	6_L	8_R	8_L	6_R	6_L	8	6
Fall	1	Vollbelegt														
	2	Leerstand von zwei Nutzungseinheiten	X					X								
	3			X										X		
	4				X					X						
	5					X						X				
	6						X				X					
	7							X					X			
	8				X				X							
	9		X							X						
	10							X			X					
	11			X								X				
	12						X						X			
	13										X			X		
	14								X				X			
	15						X					X				
	16				X						X					
	17					X				X						
	18			X					X							
	19							X				X				
	20						X			X						
	21					X			X							
	22				X								X			
	23			X				X								
	24		X				X									
	25			X									X			

Abb. 70: Erster Abschnitt der Leerstandsmatrix mit den zufällig gewählten Fällen von Leerständen im Wohngebäude, die im Rahmen von dispersen Leerständen für zwei leerstehende Nutzungseinheiten untersucht wurden (Leerstandsflächen mit 13 %). Diese Matrix wird in der folgenden Abbildung fortgesetzt

Leerstandsmatrix (X = leerstehende Nutzungseinheit)			Zonen im Gebäude in Frankfurt am Main													
			Erdgeschoss				1. Obergeschoss				2. Obergeschoss				Dachgeschoss	
			8_R	8_L	6_R	6_L	8_R	8_L	6_R	6_L	8_R	8_L	6_R	6_L	8	6
Fall	26	Leerstand von drei Nutzungseinheiten	X					X				X				
	27			X					X					X		
	28				X		X			X						
	29					X						X		X		
	30						X		X		X					
	31							X					X	X		
	32				X		X		X							
	33		X							X		X				
	34							X			X		X			
	35			X								X		X		
	36						X			X			X			
	37							X			X			X		
	38				X				X				X			
	39			X			X					X				
	40		X		X						X					
	41			X		X				X						
	42			X			X		X							
	43							X				X		X		
	44						X			X		X				
	45		X			X			X							
	46				X			X					X			
	47			X				X		X						
	48		X				X				X					
	49			X						X			X			
	50	Leerstand von vier Nutzungseinheiten	X		X			X				X				
	51			X					X			X		X		
	52				X		X		X	X						
	53					X		X				X		X		
	54					X	X		X		X					
	55				X			X					X	X		
	56			X	X		X		X							
	57		X							X		X		X		
	58							X	X		X		X			
	59			X			X					X		X		
	60				X		X			X			X			
	61			X				X			X			X		
	62		X		X				X				X			
	63			X			X	X				X				
	64		X		X				X		X					
	65			X		X				X		X				
	66			X			X		X				X			
	67							X		X		X		X		
	68				X		X			X		X				
	69		X	X		X			X							
	70				X	X		X					X			
	71			X				X		X		X				
	72		X				X				X			X		
	73			X				X		X			X			
	74	Referenzfälle 13 % Leerstand	X	X												
	75				X	X										
	76						X	X								
	77								X	X						
	78										X	X				
	79												X	X		
	80	Referenzfälle 27 % Leerstand	X	X	X	X										
	81						X	X	X	X						
	82										X	X	X	X		

Abb. 71: Zweiter Abschnitt der Leerstandsmatrix mit den zufällig gewählten Fällen von Leerständen im Wohngebäude, die im Rahmen von dispersen Leerständen für drei und vier leerstehende Nutzungseinheiten untersucht wurden (Leerstandsflächen mit 20 % und mit 27 %). Weiterhin sind die Referenzfälle (Fälle No.74 bis No.82) dargestellt, die sich auch in der Matrix in Abb.38 wiederfinden (als Fälle No.16 bis No.25)

Wie in Abb. 72 zu erkennen, lassen sich bei der Auswertung der untersuchten Fälle zum Wärmeschutzniveau „schlecht“ (=Altbau) die drei Hauptgruppen der jeweiligen prozentualen Leerstandsflächen klar zuordnen. Innerhalb jeder Gruppe ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Leerstandeinflüsse gewisse Spreizungen in Bezug auf die spezifischen Energieverbräuche und den theoretischen Faktor zu Bestimmung des Leerstandszuschlags. Dies lässt sich mit der Überlagerung von Effekten erklären, die bei dispersen Leerständen auftreten können, wenn z.B. eine bewohnte Wohnung durch zwei oder mehr angrenzende leerstehende Wohnungen negativ in ihrem Heizwärmebedarf beeinflusst wird oder bestimmte leerstehende Nutzungseinheiten einen größeren Anteil an Hüllflächen besitzen, was zu größeren Wärmeströmen zwischen dem Innenraum und der Gebäudeumgebung führt. Die Ergebnisse der jeweiligen Referenzfälle sind in dieser Abbildung als gefüllte Kreise dargestellt.

In Abb. 72 ist außerdem die Funktion dargestellt, die als Formel 13 in Abschnitt 10.3 ermittelt wurde. Erkennbar ist, dass hier ca. 10 % Abweichung zu dem mit Formel 13 empfohlenen Zuschlagsfaktor existieren. Anzumerken ist, dass diese Formel zahlreiche weitere Fälle berücksichtigt. Die hier detailliert untersuchten 72 dispersen Leerstandfälle entsprechen eigentlich nur Varianten von drei Grundsituationen, die sich in Abb. 62 als drei der blauen Punkte wiederfinden.

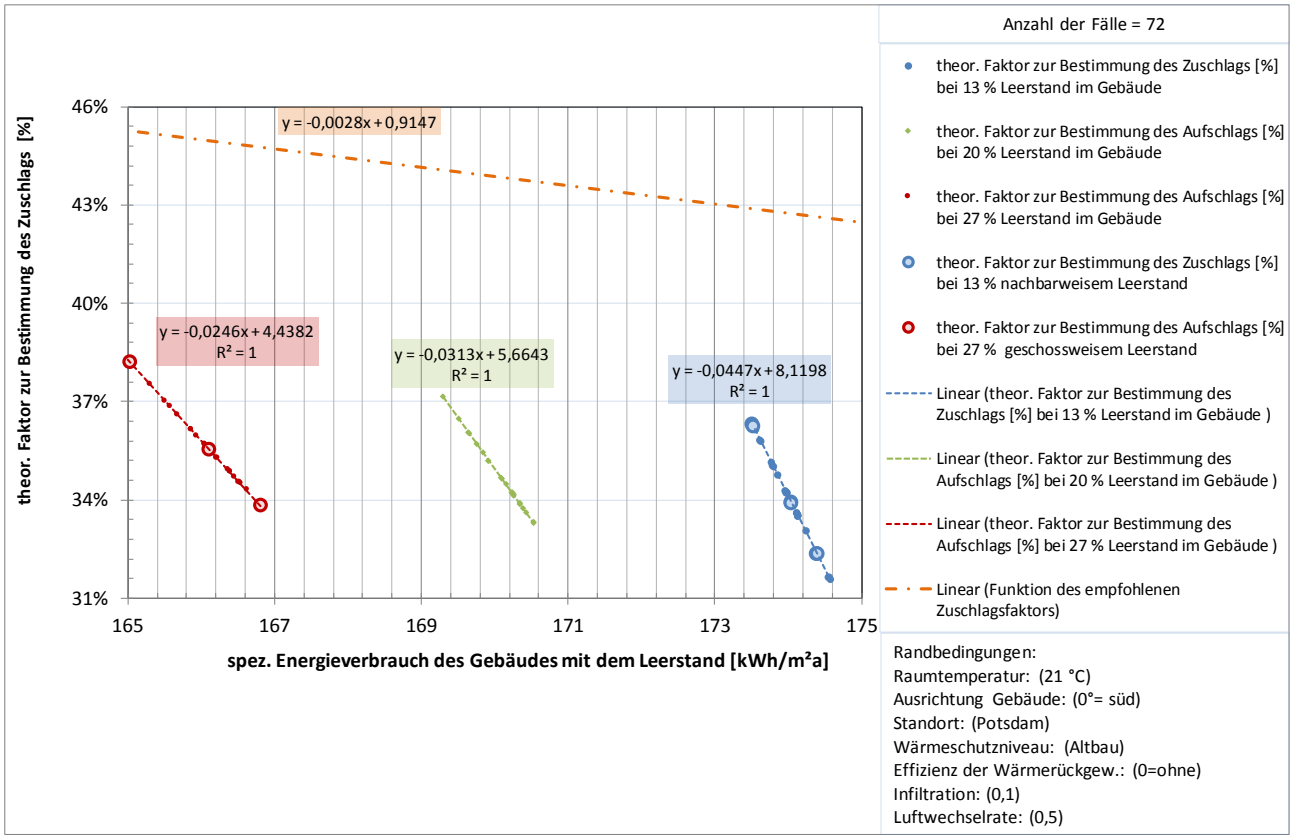


Abb. 72: Theoretisch erforderlicher Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags bei dispersen Leerständen von unterschiedlich hohen prozentualen Leerstandsflächen im Wohngebäude (für Standort Potsdam, schlechtem Wärmeschutzniveau und südlicher Gebäudeausrichtung, bei einer Raumtemperatur von 21 °C)

Da das Wärmeschutzniveau deutlich Einfluss auf den theoretischen Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags nimmt (siehe Abschnitt 9.1.2), sind die Verschiebungen der Ergebnisse zu dispersen Leerständen in Bezug auf die empfohlene Funktion des Zuschlagsfaktors (Formel 13) verständlich, die in Abb. 73 zu erkennen sind. Hier sind in der oberen Abbildung die Ergebnisse bei einem Wärmeschutzniveau „gut“ (= EnEV 2009 Gebäude) und in der unteren Abbildung die Ergebnisse bei einem Wärmeschutzniveau „sehr gut“ (= ist Zustand des Gebäudes) dargestellt.

Da die Referenzfälle, die als gefüllte Kreise in den Abbildungen dargestellt sind, allgemein annähernd die Eckpunkte der jeweiligen Ergebnisgruppen markieren, wird davon ausgegangen, dass die Schlussfolgerungen aus Abschnitt 9.1 ebenfalls für disperse Leerstände gelten.

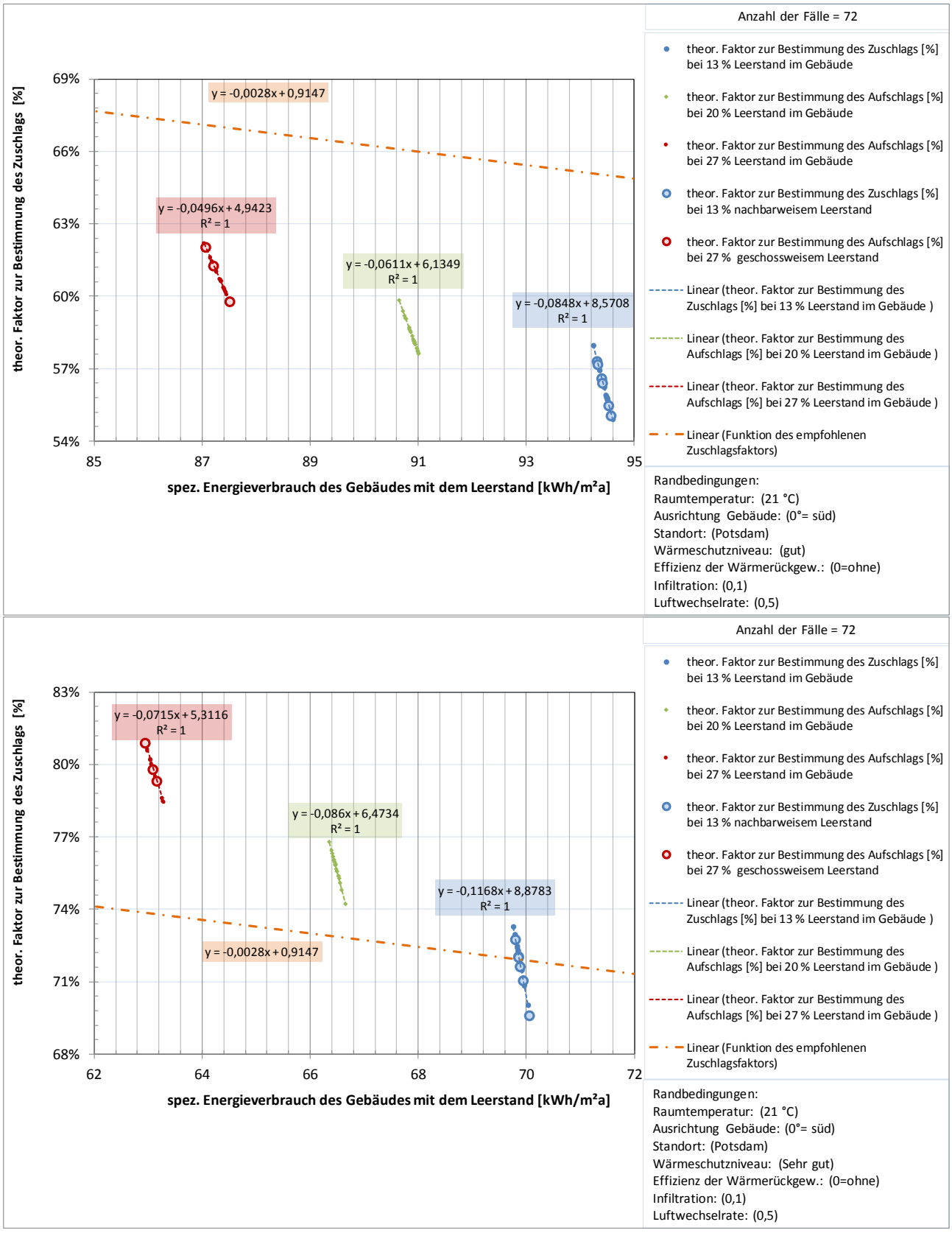


Abb. 73: Theoretisch erforderlicher Faktor zur Bestimmung des Leerstandszuschlags bei dispersen Leerständen von unterschiedlich hohen prozentualen Leerstandsflächen im Wohngebäude (für Standort Potsdam, schlechtem Wärmeschutzniveau und südlicher Gebäudeausrichtung, bei einer Raumtemperatur von 21 °C), obere Abbildung bei gutem, untere Abbildung bei sehr gutem Wärmeschutzniveau

Literaturverzeichnis

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit , „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand“, BAnz AT 21.05.2015 B1, 2015.

[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“, BAnz AT 21.05.2015 B3, 2015.

[3] Marc Großklos, Thilo Koch, Nikolaus Diefenbach, „Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung - in Frankfurt am Main, Teilbericht Planungsphase und Null-Emissions-Konzept“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2010.

[4] Marc Großklos, Thilo Koch, Nikolaus Diefenbach, „Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung - in Frankfurt am Main, Teilbericht Dokumentation der Bauphase“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2010.

[5] Marc Großklos, Magrit Schaede, Ulrike Hacke, „Sanierung - in Frankfurt am Main, Ergebnisse der messtechnischen Erfolgskontrolle“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2013.

[6] Ulrike Hacke, Marc Großklos, Günter Lohmann, „Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung - in Frankfurt am Main, Teilbericht Mieterbefragung zum Wohnverhalten im Passivhaus und zur Akzeptanz des Warmmietenmodells“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2010.

[7] Behrooz Bagherian, Rolf Born, Margrit Schaede, „IWU-Haus - Monitoring & Betriebsoptimierung“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2016.

[8] Tobias Loga, Ulrike Hacke, André Müller, Marc Großklos, Britta Stein, Rolf Born, Ina Renz, Eberhard Hinz, Holger Cischinsky, Michael Hörner, „Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2017.

[9] H.-P. Schettler-Köhler, „Die neue Energieeinsparverordnung, Erläuterungen, Änderungen, Rechtstexte, Gültig ab 1. Mai 2014“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014.

11 Anhang

11.1 Aufbau der Bauteile

Tabelle 5: Aufbau der Bauteile im Modell des Nichtwohngebäudes (Rheinstraße)

Wärmeschutzniveau:		Altbau-Zustand		Gut saniert (ca. EnEV2009 Zustand)		Sehr gut saniert (ca. Passivhausbauweise)	
		Dicke	U_{gesamt}	Dicke	U_{gesamt}	Dicke	U_{gesamt}
Bauteilbezeichnung	Schichtbezeichnung	cm	W / (m² K)	cm	W / (m² K)	cm	W / (m² K)
Dachaufbau		23,1	**0,95**	29,3	**0,35**	62,6	**0,08**
Schicht 1	Dachdeckung	1,5		1,5		1,5	
Schicht 2	Dachdämmung	2,5		8,7		42	
Schicht 3	Betondecke	18		18		18	
Schicht 4	Innenputz	1		1		1	
Außenwand (von innen nach außen)		25,3	**0,94**	31,5	**0,35**	52,5	**0,11**
Schicht 1	Innenputz	1,0		1,0		1,0	
Schicht 2	Mauerwerk	20,0		20,0		20,0	
Schicht 3	Außenwanddämmung	2,8		9,0		30,0	
Schicht 4	Außenputz	1,5		1,5		1,5	
Innenwand		19,5	**2,15**	19,5	**2,15**	19,5	**2,15**
Schicht 1	Innenputz	1,0		1,0		1,0	
Schicht 2	Mauerwerk	17,5		17,5		17,5	
Schicht 3	Innenputz	1,0		1,0		1,0	
Innendecke		29,5	**0,81**	29,5	**0,81**	29,5	**0,81**
Schicht 1	Estrich	5,0		5,0		5,0	
Schicht 2	Trittschalldämmung	3,0		3,0		3,0	
Schicht 3	Betondecke	20,0		20,0		20,0	
Schicht 4	Innenputz	1,5		1,5		1,5	
Kellerdecke		25,7	**0,95**	32,1	**0,35**	37,6	**0,22**
Schicht 1	Estrich	5,0		5,5		5,5	
Schicht 2	Trittschalldämmung	0,0		2,0		2,0	
Schicht 3	Betondecke	18,0		18,0		18,0	
Schicht 4	Dämmung	2,1		6,5		12,0	
Kellerwand mit Perimeterdämmung		22,5	**3,52**	22,5	**3,52**	22,5	**3,52**
Schicht 1	Innenputz	1,0		1,0		1,0	
Schicht 2	Betonwand	20,0		20,0		20,0	
Schicht 3	Außenputz	1,5		1,5		1,5	
Kellerwand an Erdreich		22,0	**3,26**	22,0	**3,26**	22,0	**3,26**
Schicht 1	Innenputz	1,0		1,0		1,0	
Schicht 2	Betonwand	20,0		20,0		20,0	
Schicht 3	Außenputz	1,0		1,0		1,0	
Kellerboden		24,6	**1,75**	24,6	**1,75**	25,6	**1,75**
Schicht 1	Estrich	5,0		5,5		5,5	
Schicht 2	Trittschalldämmung	1,0		1,0		1,0	
Schicht 3	Betondecke	18,0		18,0		18,0	

Tabelle 6: Aufbau der Bauteile im Modell des Wohngebäudes (Frankfurt am Main)

Wärmeschutzniveau:		Schlecht (Altbau; unsaniert)		Gut (ca. EnEV2009 Zustand)		Sehr gut (ca. Passivhausbauweise; PH)	
		Dicke	U_{gesamt}	Dicke	U_{gesamt}	Dicke	U_{gesamt}
Bauteilbezeichnung	Schichtbezeichnung	cm	W / (m² K)	cm	W / (m² K)	cm	W / (m² K)
Dachaufbau		7,3	**0,98**	15,3	**0,32**	40,3	**0,11**
Schicht 1	Dachdeckung	2,5		2,5		2,5	
Schicht 2	Dachdämmung	2,0		10,0		35,0	
Schicht 3	Spanplatte	1,5		1,5		1,5	
Schicht 4	Innenputz	1,3		1,3		1,3	
Dachterrasse		8,8	**0,94**	16,8	**0,32**	41,8	**0,10**
Schicht 1	Terrassendeckung	2,5		2,5		2,5	
Schicht 2	Spannplatte	1,5		1,5		1,5	
Schicht 3	Dämmung	2,0		10,0		35,0	
Schicht 4	Spanplatte	1,5		1,5		1,5	
Schicht 5	Innenputz	1,3		1,3		1,3	
Außenwand (von innen nach außen)		40,5	**0,78**	48,5	**0,30**	65,5	**0,13**
Schicht 1	Innenputz	1,0		1,0		1,0	
Schicht 2	Mauerwerk	36,5		36,5		36,5	
Schicht 3	Außendämmung	2,0		10,0		27,0	
Schicht 4	Außenputz	1,0		1,0		1,0	
Innenwand		27,0	**1,13**	27,0	**1,13**	27,0	**1,13**
Schicht 1	Innenputz	1,5		1,5		1,5	
Schicht 2	Mauerwerk	24,0		24,0		24,0	
Schicht 3	Innenputz	1,5		1,5		1,5	
Innendecke		24,5	**0,87**	24,5	**0,87**	24,5	**0,87**
Schicht 1	Estrich	4,0		4,0		4,0	
Schicht 2	Trittschalldämmung	2,5		2,5		2,5	
Schicht 3	Betondecke	16,5		16,5		16,5	
Schicht 4	Innenputz	1,5		1,5		1,5	
Kellerdecke		26,4	**0,94**	31,3	**0,43**	52,3	**0,13**
Schicht 1	Estrich	4,0		4,0		4,0	
Schicht 2	Trittschalldämmung	2,3		2,3		2,3	
Schicht 3	Beton	20,0		20,0		20,0	
Schicht 4	Dämmung	0,1		5,0		26,0	
Kellerwand mit Perimeterdämmung		41,5	**1,11**	49,5	**0,32**	59,5	**0,17**
Schicht 1	Innenputz	1,5		1,5		1,5	
Schicht 2	Mauerwerk	36,5		36,5		36,5	
Schicht 3	Außendämmung	2,0		10,0		20,0	
Schicht 4	Außenputz	1,5		1,5		1,5	
Kellerwand an Erdreich		40,0	**1,16**	48,0	**0,33**	58,0	**0,17**
Schicht 1	Innenputz	1,5		1,5		1,5	
Schicht 2	Mauerwerk	36,5		36,5		36,5	
Schicht 3	Außendämmung	2,0		10,0		20,0	
Kellerboden		31,5	**1,06**	39,0	**0,35**	44,0	**0,25**
Schicht 1	Estrich	4,0		4,0		4,0	
Schicht 2	Trittschalldämmung	2,5		2,5		2,5	
Schicht 3	Betondecke	25,0		25,0		25,0	
Schicht 4	Dämmung	0,0		7,5		12,5	

11.2 Thermische Hüllfläche der untersuchten Leerstände

Tabelle 7: Thermische Hüllfläche der untersuchten Leerstände im Modell des Nichtwohngebäudes

Ausrichtung bzw. Bezeichnung der Leerstände	Anteil des Leerstands [%]	thermische Hüllfläche der Leerstände [m²]		
		EG	1. OG	2. OG
Südwest	5 %	149	70	149
Süd (Mitte)	5 %	130	50	130
Südost	5 %	149	70	149
Nordwest	5 %	149	70	149
Nord (Mitte)	5 %	130	50	130
Nordost	5 %	149	70	149
West	11 %	342	148	342
Mitte	11 %	295	101	295
Ost	11 %	342	148	342
Süd	14 %	427	190	427
Nord	14 %	427	190	427
Geschossweise	33 %	980	397	980

11.3 Berechnung des Stromverbrauchs im NWG bei Leerständen

a) Beispielsberechnung anhand der gemessenen Verbräuche, wenn für das 2. Obergeschoss des Modellgebäudes in der Rheinstraße kein Stromverbrauch für die Beleuchtung vorliegen würde.

Tabelle 8: Energieverbrauch für das Modellgebäude Rheinstraße für die Jahre 2013 bis 2015

Messdauer	Sonstiger Stromverbrauch		Beleuchtungsstrom	
[-]	[kWh/a]	[kWh/m²a]	[kWh/a]	[kWh/m²a]
2013	21.884	15,02	6.160	4,23
2014	19.206	13,18	6.483	4,45
2015	18.264	12,54	6.655	4,57
$E_{Vs,\ Zeitraum}$	59.354		6.432	
$\bar{e}_{Vs,12mth}$		13,58		4,42

Tabelle 9: Berechnungsszenarien zur Bestimmung des Energieverbrauchs für die Beleuchtung für das Modellgebäude Rheinstraße (für 2. Obergeschoss liegen keine Messdaten vor)

Beleuchtungsstrom [kWh/m²$_{Nutzungseinheit}$a]			Keine Daten
Nutzungseinheit:	EG	1. OG	2. OG
2013	5,87	3,42	-
2014	6,11	3,35	-
2015	6,39	3,24	-
Mittelwert	6,12	3,34	-
$\bar{e}_{Vs,12mth,Beleuchtung}$	4,73		-

Tabelle 10: Hochrechnung des Stromverbrauchs für Beleuchtung gemäß der aktuellen Bekanntmachung sowie ihre Abweichungen in Bezug auf die erfassten Messdaten

Bezeichnung	Stromverbräuche [kWh/m²a]		Abweichung
	liegen vollständig vor	liegen zum Teil vor	
$\bar{e}_{Vs,12mth,Beleuchtung}$	4,73	4,42	7,12%
$\bar{e}_{Vs,12mth,sonstiges}$	13,58	13,58	0,00%
$\bar{e}_{Vs,12mth,gesamt}$	18,31	18,00	1,75%

11.4 Berechnungsbeispiele Leerstandszuschlag für das Modell Wohngebäude

a) Mit dem Faktor 0,5 gemäß der aktuellen Bekanntmachung

allgemeine Daten	Auswahl	Index
Beginn der Aufzeichnung:	01.01.2012	01.MM.YYYY
Postleitzahl Standort:	60389	-
Zuordnung des Bauwerkes:	nach der Nutzung	2
Gebäudenutzung:	Mehrfamilienhaus	0.2
Art der Flächen:	Nutzfläche	0
Bestimmung der Zuschlagsfaktor:	nach aktueller Bekanntmachung	1

Hinweis

Es besteht die Möglichkeit, neuere Klimafaktoren zu importieren, falls der Betrachtungszeitraum noch nicht abgedeckt ist. Laden Sie hierzu bitte die Excel-Datei mit allen Klimafaktoren beim DWD herunter und importieren diese über untenstehende Schaltfläche.

http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html

Stand der Klimafaktoren:	23.05.2017	Klimafaktoren aktualisieren

Flächen		Wert	Einheit
Beschreibung	Bezeichnung	A (Fläche)	
Teilfläche A_1	126 links EG	82,9	m²
Teilfläche A_2	126 links 1.OG	82,9	m²
Teilfläche A_3	126 links 2.OG	82,9	m²
Teilfläche A_4	126 links 3.OG	82,9	m²
Teilfläche A_5	126 links 4.OG	82,9	m²
Teilfläche A_6	126 rechts EG	65,3	m²
Teilfläche A_7	126 rechts 1.OG	65,3	m²
Teilfläche A_8	126 rechts 2.OG	65,3	m²
Teilfläche A_9	126 rechts 3.OG	65,3	m²
Teilfläche A_{10}	126 rechts 4.OG	65,3	m²
Teilfläche A_{11}	128 links EG	75,5	m²
Teilfläche A_{12}	128 links 1.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{13}	128 links 2.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{14}	128 links 3.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{15}	128 links 4.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{16}	128 rechts EG	74,4	m²
Teilfläche A_{17}	128 rechts 1.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{18}	128 rechts 2.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{19}	128 rechts 3.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{20}	128 rechts 4.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{21}	126 DG	102	m²
Teilfläche A_{22}	128 DG	105,9	m²
$A_{gesamt} = \sum A_i$	Nutzfläche	1.698	m²
$f_{Fläche}$	Umrechnungsfaktor	1,00	-
$A_{gesamt,\ maßgebend}$	Nutzfläche	1.698	m²

Leerstand	Fläche [m²]	Zeit [Monat]	[-]	Hinweis
Bezeichnung	$A_{leer,i}$	$t_{leer,i}$	$f_{leer,i}$	[-]
128 rechts 1.OG	74,4	5	0,0061	bis $A_{leer,10}$ können links definierte Teilflächen direkt über ihre Bezeichnung (1. Spalte) gewählt werden.
126 rechts EG	65,3	4	0,0043	
128 rechts 3.OG	74,4	6	0,0073	
126 links 3.OG	82,9	8	0,0108	
128 links 3.OG	75,5	6	0,0074	
126 rechts 2.OG	65,3	6	0,0064	
126 links 4.OG	82,9	12	0,0163	
126 rechts 4.OG	65,3	10	0,0107	
				Ab hier können auch weitere Leerstands-flächen frei eingegeben werden.
Summe	586,0	57	0,0693	

Bezeichnung	$f_{leer,min}$	f_{leer}	$f_{leer,max}$	Index
Wert	0,05	0,07	0,30	1

Der Leerstand muss berücksichtigt werden!

Periode	Anzahl Monate (zusammenhängend)	Stromverbrauch	Wärmeverbrauch						
		ohne Heizungsanteil [kWh]	Heizung (mit Strom) [kWh]	Heizung [kWh]	zentrale Warmwasser-bereitung [kWh]	Heizwärme [kWh]	Klimafaktor [-]	Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh]	Spez. Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh/m²a]
Datum	n_{mth}	E_{vs}	$E_{vs,Heizung}$	$E_{vh,Heizung}$	E_{VWW}	E_{vh}	f_{Klima}	$E_{vhb,\ Zeitraum}$	$e_{vhb,\ Zeitraum}$
Jan 12 - Dez 12	12			38.070	23.636	38.070	1,14	43.400	25,55
Jan 13 - Dez 13	12			43.653	22.709	43.653	1,07	46.709	27,50
Jan 14 - Dez 14	12			35.582	20.470	35.582	1,34	47.680	28,07
Jan 15 - Dez 15						0	0,00	0	0,00
Jan 16 - Dez 16						0	0,00	0	0,00
Jan 17 - Dez 17						0	0,00	0	0,00
Summe	36	0	0	117.305	66.815	117.305	-	137.788	-
						Mittelwert:	1,18	Mittelwert:	27,04

Leerstandszuschlag			
Periode	Strom [kWh]	Heizung [kWh]	Warmwasser [kWh]
Datum	ΔE_{Vs}	ΔE_{Vh}	ΔE_{VWW}
Jan 12 - Dez 12		1.503	1.637
Jan 13 - Dez 13		1.618	1.573
Jan 14 - Dez 14		1.651	1.418
Jan 15 - Dez 15		0	
Jan 16 - Dez 16		0	
Jan 17 - Dez 17		0	
Summe	0	4.772	4.628

Spez. Energieverbrauch (ohne Zuschlag)	
Strom [kWh/m² a]	Heizung [kWh/m² a]
$\bar{e}_{Vs,\ 12mth}$	$\bar{e}_{Vh,\ 12mth}$
0,00	40,16

Zuschlagsfaktor zur Heizwärme	
Zuschlagsmethode [-]	Zuschlagsfaktor [-]
Index	$f_{(x)}$
1	0,50

Nachweis			
Bezeichnung	Strom [kWh/m² a]	Wärme [kWh/m² a]	Hinweis
Verbrauchswerte	0,0	42,0	Der Leerstand wurde berücksichtigt!
Vergleichswerte			Mehrfamilienhaus
Abweichung			plus ± mehr als Durchschnitt; Minus ± weniger

Verbrauchserfassung

Bezeichnung	Zeitraum		Energieträger	Primär-Energiefaktor	Energie-verbrauch Wärme	Anteil Warmwasser	Anteil Heizung	Klimafaktor	Energie-verbrauch Strom
[-]	von	bis	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]
Wärme	01.01.2012	01.01.2015	Erdgas H	1,1	204.603	66.815	137.788	1,18	
Leerstandszuschlag (Wärme)	01.01.2012	01.01.2015	Erdgas H	1,1	9.401	4.628	4.772	1,18	

Informativ:

Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 19 °C	7.979	[kWh]
Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 23 °C	7.543	[kWh]

b) Mit einem berechneten Zuschlagsfaktor

allgemeine Daten	Auswahl	Index
Beginn der Aufzeichnung:	01.01.2012	01.MM.YYYY
Postleitzahl Standort:	60389	-
Zuordnung des Bauwerkes:	nach der Nutzung	2
Gebäudenutzung:	Mehrfamilienhaus	0.2
Art der Flächen:	Nutzfläche	0
Bestimmung der Zuschlagsfaktor:	nach mittlerer Raumtemperatur von: 21 °C	3

Hinweis

Es besteht die Möglichkeit, neuere Klimafaktoren zu importieren, falls der Betrachtungszeitraum noch nicht abgedeckt ist. Laden Sie hierzu bitte die Excel-Datei mit allen Klimafaktoren beim DWD herunter und importieren diese über untenstehende Schaltfläche.

http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html

Stand der Klimafaktoren:	23.05.2017	Klimafaktoren aktualisieren

Flächen		Wert	Einheit
Beschreibung	Bezeichnung	A (Fläche)	
Teilfläche A_1	126 links EG	82,9	m²
Teilfläche A_2	126 links 1.OG	82,9	m²
Teilfläche A_3	126 links 2.OG	82,9	m²
Teilfläche A_4	126 links 3.OG	82,9	m²
Teilfläche A_5	126 links 4.OG	82,9	m²
Teilfläche A_6	126 rechts EG	65,3	m²
Teilfläche A_7	126 rechts 1.OG	65,3	m²
Teilfläche A_8	126 rechts 2.OG	65,3	m²
Teilfläche A_9	126 rechts 3.OG	65,3	m²
Teilfläche A_{10}	126 rechts 4.OG	65,3	m²
Teilfläche A_{11}	128 links EG	75,5	m²
Teilfläche A_{12}	128 links 1.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{13}	128 links 2.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{14}	128 links 3.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{15}	128 links 4.OG	75,5	m²
Teilfläche A_{16}	128 rechts EG	74,4	m²
Teilfläche A_{17}	128 rechts 1.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{18}	128 rechts 2.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{19}	128 rechts 3.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{20}	128 rechts 4.OG	74,4	m²
Teilfläche A_{21}	126 DG	102	m²
Teilfläche A_{22}	128 DG	105,9	m²
$A_{gesamt} = \sum A_i$	Nutzfläche	1.698	m²
$f_{Fläche}$	Umrechnungsfaktor	1,00	-
$A_{gesamt, maßgebend}$	Nutzfläche	1.698	m²

Leerstand	Fläche [m²]	Zeit [Monat]	[-]	Hinweis
Bezeichnung	$A_{leer,i}$	$t_{leer,i}$	$f_{leer,i}$	[-]
128 rechts 1.OG	74,4	5	0,0061	bis $A_{leer,10}$ können links definierte Teilflächen direkt über ihre Bezeichnung (1. Spalte) gewählt werden.
126 rechts EG	65,3	4	0,0043	
128 rechts 3.OG	74,4	6	0,0073	
126 links 3.OG	82,9	8	0,0108	
128 links 3.OG	75,5	6	0,0074	
126 rechts 2.OG	65,3	6	0,0064	
126 links 4.OG	82,9	12	0,0163	
126 rechts 4.OG	65,3	10	0,0107	
				Ab hier können auch weitere Leerstands-flächen frei eingegeben werden.
Summe	586,0	57	0,0693	

Bezeichnung	$f_{leer,min}$	f_{leer}	$f_{leer,max}$	Index
Wert	0,05	0,07	0,30	1
Der Leerstand muss berücksichtigt werden!				

Periode	Anzahl Monate (zusammenhängend)	Stromverbrauch	Wärmeverbrauch						
		ohne Heizungsanteil [kWh]	Heizung (mit Strom) [kWh]	Heizung [kWh]	zentrale Warmwasser-bereitung [kWh]	Heizwärme [kWh]	Klimafaktor [-]	Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh]	Spez. Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh/m²a]
Datum	n_{mth}	E_{vs}	$E_{vs,Heizung}$	$E_{vh,Heizung}$	E_{vWW}	E_{vh}	f_{Klima}	$E_{vhb,Zeitraum}$	$e_{vhb,Zeitraum}$
Jan 12 - Dez 12	12			38.070	23.636	38.070	1,14	43.400	25,55
Jan 13 - Dez 13	12			43.653	22.709	43.653	1,07	46.709	27,50
Jan 14 - Dez 14	12			35.582	20.470	35.582	1,34	47.680	28,07
Jan 15 - Dez 15						0	0,00	0	0,00
Jan 16 - Dez 16						0	0,00	0	0,00
Jan 17 - Dez 17						0	0,00	0	0,00
Summe	36	0	0	117.305	66.815	117.305	-	137.788	-
						Mittelwert:	1,18	Mittelwert:	27,04

Leerstandszuschlag			
Periode	Strom [kWh]	Heizung [kWh]	Warmwasser [kWh]
Datum	ΔE_{Vs}	ΔE_{Vh}	ΔE_{VWW}
Jan 12 - Dez 12		2.522	1.637
Jan 13 - Dez 13		2.715	1.573
Jan 14 - Dez 14		2.771	1.418
Jan 15 - Dez 15		0	
Jan 16 - Dez 16		0	
Jan 17 - Dez 17		0	
Summe	0	8.008	4.628

Spez. Energieverbrauch (ohne Zuschlag)	
Strom [kWh/m² a]	Heizung [kWh/m² a]
$\bar{e}_{Vs,12mth}$	$\bar{e}_{Vh,12mth}$
0,00	40,16

Zuschlagsfaktor zur Heizwärme	
Zuschlagsmethode [-]	Zuschlagsfaktor [-]
Index	$f_{(x)}$
3	0,84

Nachweis			
Bezeichnung	Strom [kWh/m² a]	Wärme [kWh/m² a]	Hinweis
Verbrauchswerte	0,0	42,6	Der Leerstand wurde berücksichtigt!
Vergleichswerte			Mehrfamilienhaus
Abweichung			plus ≙ mehr als Durchschnitt; Minus ≙ weniger

Verbrauchserfassung									
Bezeichnung	Zeitraum		Energieträger	Primär-Energiefaktor	Energie-verbrauch Wärme	Anteil Warmwasser	Anteil Heizung	Klimafaktor	Energie-verbrauch Strom
[-]	von	bis	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]
Wärme	01.01.2012	01.01.2015	Erdgas H	1,1	204.603	66.815	137.788	1,18	
Leerstandszuschlag (Wärme)	01.01.2012	01.01.2015	Erdgas H	1,1	12.636	4.628	8.008	1,18	

Informativ:

Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 19 °C	7.979	[kWh]
Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 23 °C	7.543	[kWh]

11.5 Berechnungsbeispiele Leerstandszuschlag für das Modell Nichtwohngebäude

a) Mit dem Faktor 0,5 gemäß der aktuellen Bekanntmachung

allgemeine Daten	Auswahl	Index
Beginn der Aufzeichnung:	01.01.2013	01.MM.YYYY
Postleitzahl Standort:	64295	-
Zuordnung des Bauwerkes:	nach dem Bauwerkszuordnungskatalog o.ä	1
Gebäudenutzung:	Verwaltung, höhere technische Ausstattung	1320
Art der Flächen:	Nettogrundfläche	5
Bestimmung der Zuschlagsfaktor:	nach aktueller Bekanntmachung	1

Hinweis
Es besteht die Möglichkeit, neuere Klimafaktoren zu importieren, falls der Betrachtungszeitraum noch nicht abgedeckt ist. Laden Sie hierzu bitte die Excel-Datei mit allen Klimafaktoren beim DWD herunter und importieren diese über untenstehende Schaltfläche.
http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html

Stand der Klimafaktoren:	23.05.2017	Klimafaktoren aktualisieren

Flächen		Wert	Einheit
Beschreibung	Bezeichnung	A (Fläche)	
Teilfläche A_1	Büro	771,43	m²
Teilfläche A_2	Besprechung	77,014	m²
Teilfläche A_3	Verkehrsflächen	367,15	m²
Teilfläche A_4	Sanitär	64,71	m²
Teilfläche A_5	Lager und Technik	22,5	m²
Teilfläche A_6	Bibliothek	178,35	m²
Teilfläche A_7	Saal	208,29	m²
Teilfläche A_8			m²
Teilfläche A_9			m²
Teilfläche A_{10}			m²
Teilfläche A_{11}			m²
Teilfläche A_{12}			m²
Teilfläche A_{13}			m²
Teilfläche A_{14}			m²
Teilfläche A_{15}			m²
Teilfläche A_{16}			m²
Teilfläche A_{17}			m²
Teilfläche A_{18}			m²
Teilfläche A_{19}			m²
Teilfläche A_{20}			m²
Teilfläche A_{21}			m²
Teilfläche A_{22}			m²
$A_{gesamt} = \sum A_i$	Nettogrundfläche	1.689	m²
$f_{Fläche}$	Umrechnungsfaktor	1	-
$A_{gesamt,\ maßgebend}$	Nettogrundfläche	1.689	m²

Leerstand	Fläche [m²]	Zeit [Monat]	[-]	Hinweis
Bezeichnung	$A_{leer,i}$	$t_{leer,i}$	$f_{leer,i}$	[-]
Saal	208,3	36	0,1233	bis $A_{leer,10}$ können links definierte Teilflächen direkt über ihre Bezeichnung (1. Spalte) gewählt werden.
				Ab hier können auch weitere Leerstands-flächen frei eingegeben werden.
Summe	208,3	36	0,1233	

Bezeichnung	$f_{leer,min}$	f_{leer}	$f_{leer,max}$	Index
Wert	0,05	0,12	0,30	1
Der Leerstand muss berücksichtigt werden!				

Periode	Anzahl Monate (zusammenhängend)	Stromverbrauch	Wärmeverbrauch						
		ohne Heizungsanteil [kWh]	Heizung (mit Strom) [kWh]	Heizung [kWh]	zentrale Warmwasser-bereitung [kWh]	Heizwärme [kWh]	Klimafaktor [-]	Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh]	Spez. Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh/m²a]
Datum	n_{mth}	E_{vs}	$E_{vs,Heizung}$	$E_{vh,Heizung}$	E_{VWW}	E_{vh}	f_{Klima}	$E_{vhb,\ Zeitraum}$	$e_{vhb,\ Zeitraum}$
Jan 13 - Dez 13	12	21.884		79.870		79.870	1,08	86.260	51,06
Jan 14 - Dez 14	12	19.206		49.570		49.570	1,35	66.920	39,61
Jan 15 - Dez 15	12	18.264		64.470		64.470	1,21	78.009	46,17
Jan 16 - Dez 16						0	0,00	0	0,00
Jan 17 - Dez 17						0	0,00	0	0,00
Jan 18 - Dez 18						0	0,00	0	0,00
Summe	36	59.354	0	193.910	0	193.910	-	231.188	-
						Mittelwert:	1,21	Mittelwert:	45,61

Leerstandszuschlag			
Periode	Strom [kWh]	Heizung [kWh]	Warmwasser [kWh]
Datum	ΔE_{Vs}	ΔE_{Vh}	ΔE_{VWW}
Jan 13 - Dez 13	2.698	5.317	
Jan 14 - Dez 14	2.368	4.125	
Jan 15 - Dez 15	2.252	4.809	
Jan 16 - Dez 16		0	
Jan 17 - Dez 17		0	
Jan 18 - Dez 18		0	
Summe	7.318	14.251	0

Spez. Energieverbrauch (ohne Zuschlag)	
Strom [kWh/m² a]	Heizung [kWh/m² a]
$\bar{e}_{Vs,12mth}$	$\bar{e}_{Vb,12mth}$
11,71	45,61

Zuschlagsfaktor zur Heizwärme	
Zuschlagsmethode [-]	Zuschlagsfaktor [-]
Index	$f_{(x)}$
1	0,50

Nachweis			
Bezeichnung	Strom [kWh/m² a]	Wärme [kWh/m² a]	Hinweis
Verbrauchswerte	13,2	48,4	Der Leerstand wurde berücksichtigt!
Vergleichswerte	40	85	Verwaltung, höhere technische Ausstattung
Abweichung	-67%	-43%	plus ≙ mehr als Durchschnitt; Minus ≙ weniger

Verbrauchserfassung									
Bezeichnung	Zeitraum		Energieträger	Primär-Energiefaktor	Energie-verbrauch Wärme	Anteil Warmwasser	Anteil Heizung	Klimafaktor	Energie-verbrauch Strom
[-]	von	bis	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]
Wärme	01.01.2013	01.01.2016	Erdgas H	1,1	231.188		231.188	1,21	
Leerstandszuschlag (Wärme)	01.01.2013	01.01.2016	Erdgas H	1,1	14.251		14.251	1,21	
Strom	01.01.2013	01.01.2016	allgemeiner Strommix	1,8					59.354
Leerstandszuschlag (Strom)	01.01.2013	01.01.2016	allgemeiner Strommix	1,8					7.318

Informativ:

Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 19 °C	27.486	[kWh]
Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 23 °C	28.503	[kWh]

b) Mit einem berechneten Zuschlagsfaktor

allgemeine Daten	Auswahl	Index
Beginn der Aufzeichnung:	01.01.2013	01.MM.YYYY
Postleitzahl Standort:	64295	-
Zuordnung des Bauwerkes:	nach dem Bauwerkszuordnungskatalog o.ä	1
Gebäudenutzung:	Verwaltung, höhere technische Ausstattung	1320
Art der Flächen:	Nettogrundfläche	5
Bestimmung der Zuschlagsfaktor:	nach mittlerer Raumtemperatur von: 21 °C	3

Hinweis

Es besteht die Möglichkeit, neuere Klimafaktoren zu importieren, falls der Betrachtungszeitraum noch nicht abgedeckt ist. Laden Sie hierzu bitte die Excel-Datei mit allen Klimafaktoren beim DWD herunter und importieren diese über untenstehende Schaltfläche.

http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html

Stand der Klimafaktoren:	23.05.2017	Klimafaktoren aktualisieren

Flächen		Wert	Einheit
Beschreibung	Bezeichnung	A (Fläche)	
Teilfläche A_1	Büro	771,43	m²
Teilfläche A_2	Besprechung	77,014	m²
Teilfläche A_3	Verkehrsflächen	367,15	m²
Teilfläche A_4	Sanitär	64,71	m²
Teilfläche A_5	Lager und Technik	22,5	m²
Teilfläche A_6	Bibliothek	178,35	m²
Teilfläche A_7	Saal	208,29	m²
Teilfläche A_8			m²
Teilfläche A_9			m²
Teilfläche A_{10}			m²
Teilfläche A_{11}			m²
Teilfläche A_{12}			m²
Teilfläche A_{13}			m²
Teilfläche A_{14}			m²
Teilfläche A_{15}			m²
Teilfläche A_{16}			m²
Teilfläche A_{17}			m²
Teilfläche A_{18}			m²
Teilfläche A_{19}			m²
Teilfläche A_{20}			m²
Teilfläche A_{21}			m²
Teilfläche A_{22}			m²
$A_{gesamt} = \sum A_i$	Nettogrundfläche	1.689	m²
$f_{Fläche}$	Umrechnungsfaktor	1	-
$A_{gesamt,\ maßgebend}$	Nettogrundfläche	1.689	m²

Leerstand	Fläche [m²]	Zeit [Monat]	[-]	Hinweis
Bezeichnung	$A_{leer,i}$	$t_{leer,i}$	$f_{leer,i}$	[-]
Saal	208,3	36	0,1233	bis $A_{leer,10}$ können links definierte Teilflächen direkt über ihre Bezeichnung (1. Spalte) gewählt werden.
				Ab hier können auch weitere Leerstands-flächen frei eingegeben werden.
Summe	208,3	36	0,1233	

Bezeichnung	$f_{leer,min}$	f_{leer}	$f_{leer,max}$	Index
Wert	0,05	0,12	0,30	1

Der Leerstand muss berücksichtigt werden!

Periode	Anzahl Monate (zusammenhängend)	Stromverbrauch	Wärmeverbrauch						
		ohne Heizungsanteil [kWh]	Heizung (mit Strom) [kWh]	Heizung [kWh]	zentrale Warmwasser-bereitung [kWh]	Heizwärme [kWh]	Klimafaktor [-]	Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh]	Spez. Heizwärme (Witterungsbereinigt) [kWh/m²a]
Datum	n_{mth}	E_{vs}	$E_{vs,Heizung}$	$E_{vh,Heizung}$	E_{vWW}	E_{vh}	f_{Klima}	$E_{vhb,\ Zeitraum}$	$e_{vhb,\ Zeitraum}$
Jan 13 - Dez 13	12	21.884		79.870		79.870	1,08	86.260	51,06
Jan 14 - Dez 14	12	19.206		49.570		49.570	1,35	66.920	39,61
Jan 15 - Dez 15	12	18.264		64.470		64.470	1,21	78.009	46,17
Jan 16 - Dez 16						0	0,00	0	0,00
Jan 17 - Dez 17						0	0,00	0	0,00
Jan 18 - Dez 18						0	0,00	0	0,00
Summe	36	59.354	0	193.910	0	193.910	-	231.188	-
						Mittelwert:	1,21	Mittelwert:	45,61

Leerstandszuschlag			
Periode	Strom [kWh]	Heizung [kWh]	Warmwasser [kWh]
Datum	ΔE_{vs}	ΔE_{vh}	ΔE_{vWW}
Jan 13 - Dez 13	2.698	10.635	
Jan 14 - Dez 14	2.368	8.250	
Jan 15 - Dez 15	2.252	9.618	
Jan 16 - Dez 16		0	
Jan 17 - Dez 17		0	
Jan 18 - Dez 18		0	
Summe	7.318	28.503	0

Spez. Energieverbrauch (ohne Zuschlag)	
Strom [kWh/m² a]	Heizung [kWh/m² a]
$\bar{e}_{Vs,12mth}$	$\bar{e}_{Vh,12mth}$
11,71	45,61

Zuschlagsfaktor zur Heizwärme	
Zuschlagsmethode [-]	Zuschlagsfaktor [-]
Index	$f_{(x)}$
3	1,00

Nachweis			
Bezeichnung	Strom [kWh/m² a]	Wärme [kWh/m² a]	Hinweis
Verbrauchswerte	13,2	51,2	Der Leerstand wurde berücksichtigt!
Vergleichswerte	40	85	Verwaltung, höhere technische Ausstattung
Abweichung	-67%	-40%	plus ≙ mehr als Durchschnitt; Minus ≙ weniger

Verbrauchserfassung

Bezeichnung	Zeitraum		Energieträger	Primär-Energiefaktor	Energie-verbrauch Wärme	Anteil Warmwasser	Anteil Heizung	Klimafaktor	Energie-verbrauch Strom
[-]	von	bis	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]
Wärme	01.01.2013	01.01.2016	Erdgas H	1,1	231.188		231.188	1,21	
Leerstandszuschlag (Wärme)	01.01.2013	01.01.2016	Erdgas H	1,1	28.503		28.503	1,21	
Strom	01.01.2013	01.01.2016	allgemeiner Strommix	1,8					59.354
Leerstandszuschlag (Strom)	01.01.2013	01.01.2016	allgemeiner Strommix	1,8					7.318

Informativ:

Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 19 °C	27.486	[kWh]
Leerstandszuschlag infolge der Raumsolltemperatur von 23 °C	28.503	[kWh]