

## **Entwicklung, Erprobung und Einführung einer differenzierten Verbrauchsstrukturanalyse für bestehende Nichtwohngebäude**

Ein Forschungsprojekt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2007 bis 2013 (RWB-EFRE-Programm)

*"Investition in Ihre Zukunft"*

Darmstadt, den 30.06.2014

Autoren: Michael Grafe  
Michael Hörner  
Christoph Jedek  
Behrooz Bagherian  
unter Mitarbeit von  
Kornelia Müller  
Rolf Born



Investitionen dieses Unternehmens  
wurden von der  
Europäischen Union aus dem  
Europäischen Fonds für regionale Entwicklung  
und vom Land Hessen kofinanziert

Entwicklung, Erprobung und Einführung einer differenzierten Verbrauchsstrukturanalyse für bestehende Nichtwohngebäude

Autoren: Michael Grafe  
Michael Hörner  
Christoph Jedek  
Behrooz Bagherian  
unter Mitarbeit von  
Kornelia Müller  
Rolf Born

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage  
Darmstadt, den 30.06.2014

ISBN: 978-3-941140-40-0  
IWU-Bestellnummer: 06/14

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH  
Rheinstraße 65  
64295 Darmstadt  
Germany

Telefon: +49 (0) 6151 / 2904-0 / Fax: -97  
Internet: [www.iwu.de](http://www.iwu.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>8</b>
<b>1 Hintergrund, Aufgabenstellung und Vorgehensweise.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Umsetzung in ein handhabbares Verfahren.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Abbildung von Nichtwohngebäuden – Verfahren nach VSA und TEK.....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Endenergiekennwerte nach Gewerken.....	12
2.1.2 Flächenbezug.....	12
<b>2.2 Anwendungsziele der Verbrauchsstrukturanalyse.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Objektspezifische Energiekennwerte und Benchmarking.....</b>	<b>13</b>
<b>3 Erstellung von Bewertungshilfen.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Motivation zur Erstellung von Bewertungshilfen.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Bewertungshilfe Heizung.....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Parameter mit Einfluss auf den Endenergiekennwert.....	16
3.2.2 Spezifische Hüllfläche und Hüllflächenexposition der Zone.....	17
3.2.2.1 Hüllflächenexposition der Zone.....	18
3.2.2.2 Geometriemodell.....	19
3.2.3 Gebäudeeigenschaften.....	27
3.2.4 Wärmeerzeugung.....	29
3.2.5 Zoneneigenschaften.....	30
3.2.5.1 Fensterflächenanteil.....	30
3.2.5.2 U-Werte der Fenster.....	31
3.2.5.3 U-Werte der opaken Bauteile.....	31
3.2.5.4 Raumtemperatur zur Nutzungszeit.....	32
3.2.6 Weitere Annahmen und Randbedingungen.....	34
<b>3.3 Regressionsanalyse und Einbettung der Bewertungshilfe Heizung in das Excel-Werkzeug.....</b>	<b>35</b>
3.3.1 Variantenberechnung in TEK.....	36
3.3.2 Regressionsanalyse.....	38
3.3.2.1 Vorarbeiten.....	38
3.3.2.2 Schätzgleichung für die Bewertungshilfe Heizung.....	39
3.3.2.3 Abweichungen zwischen TEK-Berechnung und VSA-Schätzgleichung.....	41
<b>3.4 Bewertungshilfe Beleuchtung.....</b>	<b>44</b>
3.4.1 Parameter mit Einfluss auf den Endenergiekennwert.....	44
3.4.2 Parameter der Beleuchtungsanlage.....	44
3.4.2.1 Präsenzmelder und Steuerung.....	44
3.4.2.2 Lampenart.....	45
3.4.2.3 Beleuchtungsart.....	45
3.4.3 Geometrische Parameter.....	45
3.4.3.1 Raumgeometrie (Tageslichtsituation).....	45
3.4.3.2 Horizontal- und Überhangverschattung.....	46
<b>3.5 Regressionsanalyse und Einbettung der Bewertungshilfe Beleuchtung in das Excel-Werkzeug... </b>	<b>46</b>
3.5.1 Variantenberechnung in TEK.....	46
3.5.2 Regressionsanalyse.....	48
3.5.2.1 Vorarbeiten.....	48
3.5.2.2 Schätzgleichung für die Bewertungshilfe Heizung.....	49
3.5.2.3 Abweichungen zwischen TEK-Berechnung und VSA-Schätzgleichung.....	49
3.5.2.4 Nutzbarkeit der Bewertungshilfe für die übrigen Nutzungsprofile.....	53
<b>3.6 Gewerke ohne Bewertungshilfen.....</b>	<b>53</b>

3.6.1	Warmwasser .....	53
3.6.2	Luftförderung, Befeuchtung und Klimakälte .....	54
3.6.2.1	Luftförderung .....	54
3.6.2.2	Befeuchtung .....	54
3.6.2.3	Klimakälte .....	55
3.6.3	Arbeitshilfen .....	55
3.6.4	Diverse Technik auf Gebäudeebene .....	56
<b>3.7</b>	<b>Arbeiten mit dem VSA-Tool.....</b>	<b>56</b>
3.7.1	Vorarbeiten und Gebäudebegehung .....	57
3.7.1.1	Verbrauchsdaten .....	57
3.7.1.2	Flächenermittlung und Zonierung .....	57
3.7.2	Reihenfolge bei der Arbeit mit dem VSA-Tool .....	58
3.7.2.1	Gebäudeanalyse und Zonierungshilfe .....	58
3.7.2.2	Bewertungshilfen Heizung und Beleuchtung .....	61
<b>4</b>	<b>TEK-Analysen für 10 hessische öffentliche Nichtwohngebäude .....</b>	<b>62</b>
4.1	Beschreibung der untersuchten 10 hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude.....	63
4.2	Rahmenbedingungen zu den Modernisierungsempfehlungen der untersuchten Nichtwohngebäude .....	63
4.2.1	Rahmenbedingungen zur Modernisierungsempfehlung 1 – „Minimal“ .....	64
4.2.2	Rahmenbedingungen zur Modernisierungsempfehlung 2 - „Standard“ .....	65
4.2.3	Rahmenbedingungen zur Modernisierungsempfehlung 3 – „Ambitioniert“ .....	66
4.3	Abbildung der Varianten im Bestand und nach Modernisierung mit dem TEK-Tool .....	66
4.3.1	Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich .....	66
4.3.2	Endenergieeinsatz im Bestand und in den Modernisierungsvarianten .....	68
4.4	Investitionskostenbetrachtung im Rahmen der TEK-Analyse .....	70
4.4.1	Aufbau und Funktion des Excel-basierten TEK-WiBe-Tools und Anwendung im Rahmen der Verbrauchsstrukturanalyse .....	70
4.4.1.1	Methodik des Rechenwerkzeuges TEK-WiBe-Tool .....	70
4.4.1.2	Anpassung des Rechenwerkzeuges TEK-WiBe-Tool an die Fragestellungen des Projektes Verbrauchsstrukturanalyse .....	72
4.4.2	Betrachtung der spezifischen Energie- und Investitionskosten mit dem TEK-WiBe-Tool .....	72
4.4.2.1	Energiekosten.....	73
4.4.2.2	Investitionskosten .....	76
4.4.2.3	Bemerkungen zu den Kapitalkosten .....	77
<b>5</b>	<b>Testanwendung des VSA-Tools an 10 hessischen öffentlichen Gebäuden .....</b>	<b>78</b>
5.1.1	Überblick über Bedarf und Verbrauch der untersuchten Gebäude .....	78
5.1.2	Zonierung der genutzten Flächen.....	80
5.1.3	Bewertungshilfen – Einfluss der Klassifizierung der Kennwerte in EAK.....	80
5.1.4	Bewertungshilfen – Einfluss von Sondereffekten auf den Endenergiebedarf .....	83
5.1.5	Benchmarks für Wärme und elektrische Energie .....	84
<b>6</b>	<b>Querschnittsuntersuchung für öffentliche Gebäude .....</b>	<b>89</b>
6.1	Datenbank .....	89
6.2	Hüllflächenexposition .....	89
6.3	Teilenergiekennwerte .....	94
6.3.1	Teilenergiekennwerte auf Gebäudeebene .....	94
6.3.2	Teilenergiekennwerte auf Zonenebene.....	95
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>99</b>
7.1	Zusammenfassung .....	99
7.2	Ausblick .....	99

<b>8</b>	<b>Quellen .....</b>	<b>101</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>102</b>
<b>9.1</b>	<b>Bewertungshilfe Heizung .....</b>	<b>102</b>
9.1.1	Varianten des Geometriemodells mit 5000 m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> .....	102
9.1.2	Varianten des Geometriemodells mit 2500 und 1250 m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> .....	103
<b>9.2</b>	<b>Tabellierte Referenz-TEK .....</b>	<b>104</b>
9.2.1	Heizung .....	104
9.2.2	Warmwasser .....	105
9.2.3	Beleuchtung.....	106
9.2.4	Luftförderung.....	107
9.2.5	Befeuchtung .....	108
9.2.6	Klimakälte .....	109
9.2.7	Arbeitshilfen .....	110
<b>9.3</b>	<b>Randbedingungen zur Bildung der Referenz-Teilenergiekennwerte.....</b>	<b>111</b>
<b>9.4</b>	<b>Kostenbetrachtungen .....</b>	<b>114</b>
9.4.1	Aufbau des Rechenwerkzeuges TEK-WiBe-Tool .....	114
9.4.2	Kostenbetrachtungen mit dem TEK-WiBe-Tool am Beispiel eines Nichtwohngebäudes .....	115
9.4.2.1	Investitionskostenbetrachtung am Beispiel von Gebäude 6 .....	116
9.4.2.2	Betrachtung der mittleren jährlichen Gesamtkosten am Beispiel von Gebäude 6 .....	117
9.4.3	Mittlere jährliche Gesamtkosten für die drei Modernisierungsempfehlungen der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude.....	119
<b>9.5</b>	<b>Randbedingungen für die drei Modernisierungsempfehlungen .....</b>	<b>121</b>
<b>9.6</b>	<b>Tabellarische Zusammenstellung der energetischen Bauteilkennwerte der thermischen Gebäudehülle für die 10 öffentlichen Nichtwohngebäude .....</b>	<b>123</b>
<b>9.7</b>	<b>Kurzbeschreibung der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude .....</b>	<b>126</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gebäudety 5000 8 – Ein in 5 Zonen mit unterschiedlicher Hüllflächenexposition geteiltes Gebäude mit Nettogrundfläche von 5000 m <sup>2</sup> auf 8 Geschossen	20
Abbildung 2: Gebäudety 5000 4 – Ein in 5 Zonen mit unterschiedlicher Hüllflächenexposition geteiltes Gebäude mit Nettogrundfläche von 5000 m <sup>2</sup> auf 4 Geschossen	21
Abbildung 3: Parameterstudie zur Bewertungshilfe Heizung – Ausprägungen der an das TEK-Tool übergebenen, energetisch relevanten Parameter; Geometriedaten aus Typ 5000 4_1	34
Abbildung 4: Endenergiekennwerte Heizung in kWh/m <sup>2</sup> a des Gesamtgebäudes und dessen 5 Zonen aus allen Berechnungsvarianten – Beispiel für das Nutzungsprofil Hotelzimmer	37
Abbildung 5: Endenergiekennwerte Heizung in kWh/m <sup>2</sup> a des Gesamtgebäudes aus 18000 Berechnungsvarianten – Beispiel für das Nutzungsprofil Hotelzimmer Gebäudety 5000 8	37
Abbildung 6: Abweichung zwischen der in TEK berechneten und der in der VSA-Bewertungshilfe abgeschätzten Energieaufwandsklasse	41
Abbildung 7: Abweichungen (Residuen) aller Berechnungsvarianten der untersuchten Hauptnutzungsprofile „01 Einzelbüro“, „08 Klassenzimmer“ und „11 Hotelzimmer“	42
Abbildung 8: Aufsteigend sortierte Abweichungen der EAK der Bewertungshilfe Heizung bezogen auf die TEK-Berechnung nach Zonen für alle drei untersuchten Hauptnutzungsprofile	43
Abbildung 9: Endenergiekennwerte Beleuchtung in kWh/m <sup>2</sup> a aus allen Berechnungsvarianten für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro	46
Abbildung 10: Endenergiekennwerte Beleuchtung in kWh/m <sup>2</sup> a der Nutzungsprofile 08 Klassenzimmer, 11 Hotelzimmer, 18 Nebenflächen und 19 Verkehrsfläche	47
Abbildung 11: Abweichung zwischen der in TEK berechneten und der in der VSA-Bewertungshilfe abgeschätzten Energieaufwandsklasse für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro	50
Abbildung 12: Abweichung zwischen der in TEK berechneten und der in der VSA-Bewertungshilfe abgeschätzten Energieaufwandsklasse für die weiterhin untersuchten Nutzungsprofile 08 Klassenzimmer, 11 Hotelzimmer, 18 Nebenflächen und 19 Verkehrsfläche	51
Abbildung 13: Aufsteigend sortierte Abweichungen der EAK der Bewertungshilfe Beleuchtung bezogen auf die TEK-Berechnung nach Nutzungsprofilen	52
Abbildung 14: Ergebnisse der Gebäudeanalyse – Faltschema des Ausdrucks im A3-Querformat	61
Abbildung 15: Definition der Klassengrenzen aus den Referenz-Teilenergiekennwerten – Beispiel für das Gewerk Beleuchtung für das Nutzungsprofil Einzelbüro	62
Abbildung 16: Schema der größenordnungsmäßigen Zuordnung der fünf Energieaufwandsklassen zu energetischen Standards	63
Abbildung 17: Vergleich des mit dem TEK-Tool berechneten Endenergiebedarfs mit dem gemessenen Endenergieverbrauch an Wärme für den Ist-Zustand der 10 untersuchten Nichtwohngebäude	67
Abbildung 18: Vergleich des mit dem TEK-Tool berechneten Endenergiebedarfs mit dem gemessenen Endenergieverbrauch an elektrischer Energie für den Ist-Zustand der 10 untersuchten Nichtwohngebäude	67
Abbildung 19: Vergleich der Endenergiekennwerte im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Wärme	68
Abbildung 20: Vergleich der Endenergiekennwerte im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Elektrische Energie	69
Abbildung 21: Vergleich der spezifischen jährlichen Energiekosten im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Wärme	74
Abbildung 22: Vergleich der spezifischen jährlichen Energiekosten im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Elektrische Energie	74
Abbildung 23: Vergleich der spezifischen Investitionskosten der ME für die 10 öffentlichen Nichtwohngebäude	76

Abbildung 24: Überblick über den klimabereinigten Verbrauch und den mit dem VSA-Tool ermittelten Bedarf der 10 untersuchten Gebäude – Endenergie Wärme	79
Abbildung 25: Überblick über den Verbrauch und den mit dem VSA-Tool ermittelten Bedarf der 10 untersuchten Gebäude – Endenergie Elektrische Energie	80
Abbildung 26: Beispiel für eine von der Bewertungshilfe Heizung vorgeschlagene Klassifizierung mittig zwischen zwei Energieaufwandsklassen	81
Abbildung 27: Überblick über Verbrauch und Bedarf unter Berücksichtigung der Teilung von Zonen (Analyse T) nach dem Vorschlag der Bewertungshilfe – Endenergie Wärme	82
Abbildung 28: Überblick über Verbrauch und Bedarf unter Berücksichtigung der Teilung von Zonen (Analyse T) nach dem Vorschlag der Bewertungshilfe – Endenergie Elektrische Energie	82
Abbildung 29: Einfluss der Teilung von Zonen gemäß Vorschlag der EAK der Bewertungshilfe auf die Endenergiekennwerte des Gebäudes – Punkt-ohne Teilung und Kreis-mit Teilung von Zonen	83
Abbildung 30: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an Wärme für die 10 untersuchten Gebäude	85
Abbildung 31: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an Wärme für die Gebäude 04, 07 und 08	86
Abbildung 32: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an elektrischer Energie für die 10 untersuchten Gebäude	87
Abbildung 33: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an elektrischer Energie für die Gebäude 04, 07 und 08	88
Abbildung 34: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 70 verschiedene Einzelbürozone, automatisch bzw. manuell ermittelt	92
Abbildung 35: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 50 verschiedene Klassenraumzone, automatisch bzw. manuell ermittelt	92
Abbildung 36: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 13 verschiedene Hotelzimmerzone, automatisch bzw. manuell ermittelt	93
Abbildung 37: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 118 verschiedene Verkehrsflächenzone, automatisch bzw. manuell ermittelt	93
Abbildung 38: Verteilung des Bedarfs an Brennstoff / Fernwärme auf die Gewerke Heizung und Trinkwarmwasser in den 10 Gebäuden für den Ist-Zustand (Ist) und die Modernisierungsempfehlungen 1 bis 3 (Minimal, Standard und Ambitioniert)	95
Abbildung 39: Verteilung des Bedarfs an elektrischer Energie auf verschiedene Gewerke in den 10 Gebäuden für den Ist-Zustand (Ist) und die Modernisierungsempfehlungen 1 bis 3 (Minimal, Standard und Ambitioniert)	95
Abbildung 40: Zonenbezogene Teilenergiekennwerte des spezifischen Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser der Gebäude im Ist-Zustand (Objekt-TEK) aufgetragen als Häufigkeitsverteilung über die Energieaufwandsklassen (Referenz-TEK) für die Nutzungsprofile Einzelbüro, Klassenzimmer und Hotelzimmer	97
Abbildung 41: Zonenbezogene Teilenergiekennwerte des spezifischen Endenergiebedarfs für Beleuchtung und Luftförderung der Gebäude im Ist-Zustand (Objekt-TEK) aufgetragen als Häufigkeitsverteilung über die Energieaufwandsklassen (Referenz-TEK) für die Nutzungsprofile Büro, Klassenzimmer und Hotelzimmer	98
Abbildung 42: Darstellung der Typen 5000 8 und 5000 4 des Geometriemodells und Nebenvarianten	102
Abbildung 43: Darstellung der Typen 2500 8, 2500 4, 1250 4 und 1250 2 des Geometriemodells	103
Abbildung 44: Investitionskosten der drei Modernisierungsempfehlungen für Gebäude 6	117
Abbildung 45: Mittlere jährliche Gesamtkosten der drei Modernisierungsempfehlungen für Gebäude 6	118

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Abbildung von Gewerken auf Zonen- bzw. Gebäudeebene nach Teilenergiekennwertmethode und Verbrauchsstrukturanalyse	12
Tabelle 2: Angaben zu Hüllflächen und Nettogrundflächen sowie der Hüllflächenberechnung zugrunde liegende Geometrieangaben für Zonen und Gesamtgebäude für alle Varianten des Geometriemodells	23
Tabelle 3: Spezifische Hüllflächen der Zonen nach Hüllbauteilen und aufsummierte, $f_x$ -gewichtete, spezifische Hüllflächen	25
Tabelle 4: Spezifische Hüllflächen der Zonen nach Hüllbauteilen und aufsummierte, $f_x$ -gewichtete, spezifische Hüllflächen nach Anzahl der Geschosse sortiert	27
Tabelle 5: Luftdichtheit – Ausprägungen in der Bewertungshilfe und in der Parameterstudie zugrunde liegende $n_{50}$ -Werte	28
Tabelle 6: Wärmebrücken – Ausprägungen in der Bewertungshilfe und in der Parameterstudie zugrunde liegende Werte für den Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB}$	28
Tabelle 7: Kesselstandard und Erzeugeraufwandszahl der in der Parameterstudie abgebildeten Wärmeerzeuger	29
Tabelle 8: Ausprägungen der Parameter für Heizungsverteilung und Heizbetrieb in der Parameterstudie	29
Tabelle 9: Zuordnung der Parametersätze aus U-Wert und g-Werten zu Fenstertypen	31
Tabelle 10: Parameter der Bewertungshilfe Heizung und Skalentyp der Parameterausprägungen	39
Tabelle 11: In der Bewertungshilfe Beleuchtung enthaltene Parameterausprägungen für die Lampenart	45
Tabelle 12: Ausprägungen für Präsenzmelder und Steuerung in den Abschnitten von Abbildung 9 von links nach rechts	47
Tabelle 13: Vorschlag zur Reihenfolge bei der Arbeit mit dem VSA-Tool	58
Tabelle 14: Abgrenzungskriterien für die Durchführung von Maßnahmen nach ME1 – „Minimal“	65
Tabelle 15: Abgrenzungskriterien für die Durchführung von Maßnahmen nach ME2 – „Standard“	66
Tabelle 16: Abgrenzungskriterien für die Durchführung von Maßnahmen nach ME3 – „Ambitioniert“	66
Tabelle 17: Auswirkungen des veränderten Flächenbezuges von Energiebezugsfläche im Bestand (alt) auf Energiebezugsfläche nach der Modernisierung (neu)	73
Tabelle 18: Gegenüberstellung der beheizten Nettogrundflächen aus VSA und TEK	80
Tabelle 19: Spezifische geometrische Parameter der Gebäudehülle aus der TEK-DB nach Gebäude-Unterkategorien differenziert	91
Tabelle 20: Mittlerer, flächengewichteter Anteil gebäudetechnischer und nutzerspezifischer Systeme am elektrischen Energiebedarf	94
Tabelle 21: Endenergiebedarf für Heizung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	104
Tabelle 22: Endenergiebedarf für Warmwasser – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	105
Tabelle 23: Endenergiebedarf für Beleuchtung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	106
Tabelle 24: Endenergiebedarf für Luftförderung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	107
Tabelle 25: Endenergiebedarf für Befeuchtung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	108
Tabelle 26: Endenergiebedarf für Klimakälte – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	109
Tabelle 27: Endenergiebedarf für Arbeitshilfen – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen	110
Tabelle 28: Je Energieaufwandsklasse veränderliche Randbedingungen zur Berechnung der Referenzteilenergiekennwerte aus [TEK-Methodik2013]	111
Tabelle 29: Einzelmaßnahmen mit energetischen Bauteilkennwerten zu den drei ME (Gebäude 6)	115
Tabelle 30: Einzelmaßnahmen mit energetischen Bauteilkennwerten zu den drei ME (Gebäude 7)	115

Tabelle 31: Vergleich der mittleren jährlichen Gesamtkosten der drei Modernisierungsempfehlungen	119
Tabelle 32: Bauteilbezogene Randbedingungen der drei Modernisierungsempfehlungen	121
Tabelle 33: Anlagentechnische und Nutzungsrandbedingungen der drei Modernisierungsempfehlungen	122
Tabelle 34: Einzelmaßnahmen mit energetischen Bauteilkennwerten zu den drei ME der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude	123
Tabelle 35: Kurzbeschreibung der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude	126

# 1 Hintergrund, Aufgabenstellung und Vorgehensweise

## Hintergrund

Der Bestand der Nichtwohngebäude weist große energetische Einsparpotentiale auf. Der Wärmeverbrauch der bestehenden Nichtwohngebäude wird dabei ganz wesentlich vom Wärmeeinsatz zur Beheizung bestimmt. Warmwasser ist bei den meisten Nutzungen von nachrangiger Bedeutung. Der Verbrauch von elektrischer Energie hingegen verteilt sich im Normalfall auf mehrere Gewerke, von denen der Beleuchtung hier deshalb besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird, weil sie – wie unten noch gezeigt wird – in vielen Gebäuden den größten Anteil am elektrischen Energieverbrauch ausmacht.

Das Problembewusstsein des hohen Energieeinsatzes im Gebäudebestand – und so auch im Nichtwohngebäudebestand – ist schon seit einigen Jahren bei allen Akteuren verankert. Um diesen Problemen Abhilfe zu verschaffen und den Energieeinsatz dauerhaft zu senken, sind zielgerichtete energetische Modernisierungsmaßnahmen notwendig. Damit solche Maßnahmen aber auch zielgerichtet wirken können, ist es zunächst erforderlich, die Energieverbrauchsstruktur des Gebäudes zu kennen, um anschließend mögliche Modernisierungsmaßnahmen zu beschreiben, Einsparungen zu quantifizieren und schließlich bei Umsetzung der Maßnahmen das Einsparpotential zu heben.

Für Besitzer und Verwalter größerer Liegenschaftsbestände bzw. Immobilienportfolios stellt sich zudem die Frage, in welchen Gebäuden energetische Maßnahmen – unter Einsatz knapper Mittel – den größten Nutzen erzielen würden. Hier treten noch zusätzliche Unbekannte erschwerend hinzu. Einerseits liegen mehr oder minder voneinander abweichende Nutzungen der Gebäude vor, was einen direkten Vergleich der Gebäude erschwert. In größeren Liegenschaften kann es zudem vorkommen, dass die Infrastruktur zur Erfassung des gebäudescharfen Energieverbrauches fehlt. Die Datenlage zur Gesamtheit der betrachteten Nichtwohngebäude ist folglich häufig unbefriedigend.

Selbst für den Fall, dass die Datenlage bezüglich der Verbrauchsdaten gut ist, fehlen praktisch nutzbare Werkzeuge

- zur Abbildung der Struktur des Energieverbrauches im Gebäude nach Gewerken
- zur Ermittlung eines strategisch möglichen Einsparpotentials
- zur Einordnung der energetischen Effizienz des Gebäudes unter Berücksichtigung der gebäudespezifischen Nutzung.

Heute auf dem Markt verfügbare Werkzeuge, die zur Abbildung der Verbrauchsstruktur eines Gebäudes eingesetzt werden, sind von einem hohen und damit kostenintensiven Eingabeaufwand geprägt. Die Anwendung dieser Werkzeuge zur Abbildung des Energieverbrauchs von Nichtwohngebäuden im Bestand ist auch deshalb schwierig, weil sie eigentlich auf die Nachweisführung nach Energieeinsparverordnung (EnEV) ausgerichtet sind. Das heißt, dass diese Werkzeuge Energiebedarfe unter Ansatz normierter Nutzungsrandbedingungen ermitteln. Je weiter die vorgefundenen Nutzungsrandbedingungen von den – teilweise nicht anpassbaren – normierten Randbedingungen im Rechenwerkzeug abweichen, desto mehr ist mit einer Abweichung zwischen vorgefundenem Energieverbrauch und berechnetem Energiebedarf des Gebäudes zu rechnen.

Die Hauptziele der Abbildung der Verbrauchsstruktur bestehen darin, die energetischen Einspareffekte von Modernisierungsmaßnahmen bzw. -maßnahmenpaketen am Einzelgebäude zu quantifizieren und durch objektspezifisches Benchmarking die Gebäude eines Pools auch bei unterschiedlicher Nutzungsstruktur miteinander vergleichen zu können.

## Aufgabenstellung

Die Aufgabe dieses – vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2007 bis 2013 (RWB-EFRE-Programm) – geförderten Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines Werkzeuges zur Abbildung der Energieverbrauchsstruktur eines Gebäudes. Dabei soll ein einfaches Verfahren entwickelt werden, dass in ein einfaches Excel-Werkzeug implementiert wird. Durch die Nutzung dieses Werkzeuges soll eine erste

Einschätzung der Verbrauchsstruktur mit einem zeitlichen Aufwand zur Abbildung des Gebäudes von etwa einem halben Tag möglich sein. Es handelt sich mithin um eine Grobanalyse des Verbrauchs.

#### Vorgehensweise

Aus VDI 3807 Blatt 4 liegen klassifizierte Teilenergiekennwerte für Beleuchtung, Luftförderung und Klimakälte vor. Diese Kennwerte werden mit der im Forschungsprojekt „Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden“ entwickelten Methodik in Anlehnung an DIN V 18599 neu berechnet. Dabei werden auch Teilenergiekennwerte für weitere Gewerke ermittelt [TEK-Methodik2013]. Diese klassifizierten Kennwerte werden in das Werkzeug der Verbrauchsstrukturanalyse (VSA-Tool) aufgenommen. Zur möglichst einfachen und schnellen Abbildung der wichtigsten energetisch relevanten Parameter des Gebäudes werden in dem Werkzeug unterstützende Maßnahmen vorgesehen. Die Eingabe wird durch Makros beschleunigt. Für die Zonierung und die energetische Bewertung der wichtigsten Gewerke werden entsprechende Hilfen implementiert.

Das VSA-Tool wird im weiteren Verlauf des Projektes an 10 hessischen öffentlichen Nichtwohngebäuden getestet. Dabei soll überprüft werden, ob einerseits die Zielsetzung einer raschen Abbildung der Verbrauchsstruktur erreicht wird, andererseits bei Anwendung dieses Verfahrens befriedigende Ergebnisse erzielt werden. Die 10 Gebäude werden parallel dazu mit dem TEK-Tool untersucht, sodass Vergleichswerte für den Bedarf der einzelnen Gewerke für jedes Gebäude vorliegen. Deren Verbrauchsstruktur wird in einer Querschnittsanalyse untersucht. Dabei stehen der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich sowohl für die TEK-Analyse als auch für die hier zu entwickelnde Verbrauchsstrukturanalyse im Fokus. In den TEK-Analysen werden Zielzustände der energetischen Standards in zwei verschiedenen Energiestandards betrachtet. Im Werkzeug der Verbrauchsstrukturanalyse wird ein objektspezifisches Benchmarking für den Ist-Zustand und mögliche Zielzustände vorgenommen.

## 2 Umsetzung in ein handhabbares Verfahren

### 2.1 Abbildung von Nichtwohngebäuden – Verfahren nach VSA und TEK

Das zu entwickelnde Verfahren der Verbrauchsstrukturanalyse lehnt sich an die Teilenergiekennwertmethode (TEK) an. Ausgehend von TEK werden noch einige Vereinfachungen vorgenommen mit dem Ziel, den zeitlichen Aufwand zur Abbildung eines Nichtwohngebäudes nochmals deutlich zu verkürzen. Die wesentlichen Aspekte zur Abbildung eines Gebäudes sollen nun kurz skizziert werden. Damit soll bereits an die Arbeit mit dem VSA-Tool herangeführt werden. Parallel dazu werden die Unterschiede beider Verfahren verdeutlicht. Die Methodik der Teilenergiekennwertanalyse ist in [TEK-Methodik2013] dokumentiert. In diesem Bericht wird nur schlaglichtartig auf die methodischen Aspekte in TEK zur Erläuterung des Vorgehens bei der Entwicklung der Verbrauchsstrukturanalyse eingegangen.

#### 2.1.1 Endenergiekennwerte nach Gewerken

Für viele Gewerke werden in TEK Teilenergiekennwerte auf Endenergieebene für Zonen berechnet. Einige Teilenergiekennwerte werden auf Gebäudeebene angegeben. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in TEK und VSA zur Abbildung der Verbrauchsstruktur vorkommenden Gewerke.

**Tabelle 1: Übersicht über die Abbildung von Gewerken auf Zonen- bzw. Gebäudeebene nach Teilenergiekennwertmethode und Verbrauchsstrukturanalyse**

	Teilenergiekennwertmethode	Verbrauchsstrukturanalyse	Bemerkungen
Endenergiekennwerte auf Zonenebene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizung</li> <li>• Warmwasser</li> <li>• Beleuchtung</li> <li>• Luftförderung</li> <li>• Dampf</li> <li>• Kälte</li> <li>• Hilfsenergie Kälte</li> <li>• Arbeitshilfen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizung</li> <li>• Warmwasser</li> <li>• Beleuchtung</li> <li>• Luftförderung</li> <li>• Befeuchtung</li> <li>• Kälte</li> <li>• Arbeitshilfen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kälte und Hilfsenergie Kälte in VSA zusammengefasst</li> <li>- RLT-Konditionierung in VSA vereinfacht</li> </ul>
Endenergiekennwerte auf Gebäudeebene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zentrale Dienste</li> <li>• Diverse Technik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diverse Technik</li> </ul>	Hilfsenergie Heizung jeweils in Diverse Technik enthalten

#### 2.1.2 Flächenbezug

Energiebezugsflächen werden im Rahmen der Verbrauchsstrukturanalyse immer als Nettogrundflächen angegeben. Die Energiebezugsfläche eines Gebäudes ist als Summe aus den beheizten Nettogrundflächen definiert. Beide Flächen sind folglich für das Gewerk Heizung gleich groß. Für weitere Gewerke können sich Abweichungen<sup>1</sup> ergeben. Der Begriff Nettogrundfläche wird hier nur dann verwendet, wenn es um die Beschreibung rein geometrischer Aspekte geht. Ansonsten wird der Begriff Energiebezugsfläche verwendet.

## 2.2 Anwendungsziele der Verbrauchsstrukturanalyse

Das hier zu entwickelnde Verfahren der Verbrauchsstrukturanalyse ist eine Grobanalyse zur Erklärung des Energieeinsatzes im Gebäude und zur Einordnung der energetischen Effizienz des Gebäudes. Durch die Betrachtung des Gebäudes in seiner Nutzungsstruktur und die Berücksichtigung konkreter, energetisch wirksamer Parameterausprägungen (baulich wie anlagentechnisch) soll das Verfahren schärfere Aussagen

<sup>1</sup> Die beleuchtete Fläche kann beispielsweise größer sein als die beheizte Fläche.

bezüglich der Benchmarks für die Bedarfe an Wärme und elektrischer Energie zulassen als das bisher durch Benchmarks nach Gebäudekategorien möglich ist. Es stellt durch die Wahl klassifizierter Energiekennwerte dennoch eine grobe Annäherung an den Energieeinsatz in Gewerken auf Zonenebene dar. Das Einsatzgebiet des Verfahrens liegt damit in einer ersten abschätzenden Bewertung der energetischen Effizienz größerer Gebäudeportfolios. Anschließend sind identifizierte Hochverbraucher mit Berechnungs- und Simulationswerkzeugen detaillierter zu untersuchen.

## 2.3 Objektspezifische Energiekennwerte und Benchmarking

Mit objektspezifischem Benchmarking können im Rahmen einer Verbrauchsstrukturanalyse zwei Ziele verfolgt werden – die Einordnung der energetischen Effizienz eines Gebäudes innerhalb eines Gebäudepools und die Ermittlung eines strategischen Einsparpotentials für das Einzelgebäude. In diesem Abschnitt wird kurz angerissen, wie eine Einordnung eines Gebäudes und die Ermittlung eines Einsparpotentials verstanden werden können. Anschließend wird dann beschrieben, wie das objektspezifische Benchmarking in der Verbrauchsstrukturanalyse umgesetzt wurde.

### Einordnung eines Gebäudes innerhalb eines Gebäudepools

Die Endenergiekennwerte liegen in der VSA für viele Gewerke auf Zonenebene vor. Sie werden zudem je Gewerk und als Summe für Wärme und elektrische Energie auf Gebäudeebene aggregiert. Damit sind verschiedene Vergleiche zwischen den Gebäuden eines Pools denkbar. Grundsätzlich wird es in diesen Vergleichen darum gehen, Hochverbraucher zu identifizieren. Dazu wird – je nach den gewählten Präferenzen – im Anwendungsfall eine Einordnung nach verschiedenen Aspekten erfolgen. So ist es denkbar, den Fokus entweder auf den Wärmebedarf oder den Elektrischen Energiebedarf zu legen. Möglich ist auch eine Einordnung, bei der einem einzelnen Gewerk besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, weil diesem Gewerk im Gebäudepool eine hohe energetische Relevanz zukommt. Eine Einordnung nach  Gewerk und Nutzungsprofil ist zunächst nicht zielführend, da die Energiekennwerte auf Zonenebene klassifiziert<sup>2</sup> vorliegen.

### Strategisches Einsparpotential des Einzelgebäudes

Nachdem unter Verwendung der Bewertungshilfen der energetische Ist-Zustand eines Gebäudes abgebildet wurde, können die objektspezifischen Benchmarks für das Gebäude gebildet werden. Durch den Vergleich des Ist-Zustandes mit den Benchmarks werden Aussagen zu einem strategischen Einsparpotential formuliert. Folgende Aspekte können hierbei im Sinne einer Zielsetzung eine Rolle spielen:

- höchstes relatives bzw. absolutes Einsparpotential
- Aggregation von Kennwerten auf Gebäudeebene bzw. Betrachtung von Zonenkennwerten mit Fokus auf ein bestimmtes Gewerk bzw. eine bestimmte Nutzung
- Fokus auf Wärme und/oder Elektrische Energie.

### Objektspezifisches Benchmarking

Die Benchmarks, an denen die energetische Effizienz des Gebäudes gemessen werden soll, werden im Rahmen der hier angestellten Betrachtungen generell aus klassifizierten Energiekennwerten gebildet. Für den Vergleich des Ist-Zustandes mit einem – im Sinne des Benchmarking – typischen Gebäudestandard wird den Zonen der Referenz-Teilenergiekennwert der zum Gebäudestandard gehörenden Energieaufwandsklasse gegenübergestellt. Objektspezifisches Benchmarking heißt also, ausgehend vom Ist-Zustand des Gebäudes Vergleichswerte zu generieren, bei denen die Nutzungsstruktur, bestehend aus den verschiedenen Zonen-Nutzungsprofilen und der flächenanteiligen Verteilung dieser Nutzungen im Gebäude, beibehalten wird. Die Referenz bilden die klassifizierten Energiekennwerte entsprechend der Energieaufwandsklasse des Benchmarking-Standards.

---

<sup>2</sup> Das Ergebnis wäre eine Einordnung, bei der die Zonenkennwerte der verschiedenen Gebäude in Größe der fünf verschiedenen Referenz-Teilenergiekennwerte des Nutzungsprofils vorlägen.

### Vollständige Standardisierung auf eine einheitliche Energieaufwandsklasse vs. Ausschluss der energetischen Verschlechterung

Der Ist-Zustand eines Gebäudes wird in einem Gewerk normalerweise<sup>3</sup> nicht über alle Zonen mit der gleichen Energieaufwandsklasse abgebildet werden. Allein durch den Einfluss des Nutzungsprofils kann sich von Zone zu Zone eine unterschiedliche Bewertung ergeben. Dieser Umstand wird dann von Bedeutung, wenn die Energieaufwandsklasse im Ist-Zustand geringer ist als die standardisierte Klasse der Benchmarks. Hier ist nach den oben beschriebenen Intentionen des objektspezifischen Benchmarkings zu unterscheiden. Werden bei der Benchmarkbildung die Energieaufwandsklassen aller Zonen unabhängig vom Ist-Zustand stringent auf die standardisierte Klasse gesetzt und damit die Verschlechterung der Klassen einzelner Zonen gegenüber dem Ist-Zustand zugelassen, so ergibt sich ein reduziertes Einsparpotential. Dieser Ansatz kommt infrage, wenn die Einordnung eines Gebäudes in einen Gebäudepool im Vordergrund steht. Mit der stringenten Klassifizierung werden objektspezifische Benchmarks für Gebäude verschiedener Nutzungsstruktur gebildet. Weist beispielsweise in Bürogebäude einen hohen Anteil an Lagerflächen auf, wird sich ein entsprechend geringerer objektspezifischer Benchmark für Beleuchtung ergeben als für ein Gebäude mit einem hohen Anteil an Büroflächen, auch wenn beide als Bürogebäude beschrieben werden.

Eine weitere Möglichkeit der Benchmarkbildung besteht darin, die standardisierte Klasse nur in den Zonen anzusetzen, in denen dadurch keine Verschlechterung gegenüber dem Ist-Zustand abgebildet wird. In den übrigen Zonen wird die Energieaufwandsklasse des Benchmarks der Klasse des Ist-Zustandes gleichgesetzt. Durch dieses Vorgehen wird der volle Umfang des Einsparpotentials angegeben. Bei dieser Art Benchmarkbildung steht also die Ermittlung des Einsparpotentials des Einzelgebäudes gegenüber dem Ist-Zustand im Fokus. Gleichzeitig wird so aber der Vergleich zwischen Gebäuden erschwert, da nicht mehr die Nutzungsstruktur allein sondern zusätzlich auch der Ist-Zustand des Gebäudepools bei der Benchmarkbildung einght.

### Umsetzung im VSA-Tool und Grenzen des Benchmarking

Im Werkzeug der Verbrauchsstrukturanalyse (VSA-Tool) erfolgt die Benchmarkbildung unter der Annahme, dass eine Verschlechterung einer Energieaufwandsklasse des Ist-Zustandes ausgeschlossen ist. Damit wird der Fokus auf das strategische Einsparpotential des Einzelgebäudes gelegt. Insgesamt werden Benchmarks in drei Varianten gebildet, indem die Standard-Energieaufwandsklasse auf „Mittel“, „Gering“ bzw. „Sehr gering“ gesetzt wird.

Die Benchmarks unter Ansatz von „Mittel“ gelten als Vergleichswerte eines – gegenüber dem Ist-Zustand – gleichgenutzten Gebäudes mit der energetischen Effizienz eines durchschnittlichen Bestandsgebäudes. Die Variante, bei der die Energieaufwandsklassen auf „Gering“ gesetzt sind, erlaubt einen Vergleich des Ist-Zustandes mit einem gleichgenutzten Neubau, der energetisch etwa auf dem Niveau der Mindestanforderungen nach EnEV liegt. Sie bildet gleichzeitig näherungsweise das strategische Einsparpotential des Gebäudes bei energetischer Modernisierung unter Einhaltung der Anforderungen EnEV ab. In beiden Fällen („Mittel“ bzw. „Gering“) werden die möglicherweise vorhandenen geringeren Energieaufwandsklassen beim Benchmarking berücksichtigt. Schließlich liefern die Benchmarks unter Annahme der Klasse „Sehr gering“ Vergleichswerte für ein gleichgenutztes Gebäude, dass unter Verwendung von energetisch hoch effizienten Anlagenkomponenten und baulichen Wärmeschutzmaßnahmen modernisiert bzw. neu errichtet wird.

Die Abschätzungen durch das Benchmarking gelten dabei auf Gebäudeebene. Auf Zonenebene sind diese Aussagen nicht ohne weiteres übertragbar. Das liegt unter anderem in der Bewertungsmethodik der Verbrauchsstrukturanalyse begründet. Beispielsweise werden von der Bewertungshilfe Heizung für Zonen mit sehr geringer spezifischer Hüllfläche – hier insbesondere Verkehrsflächen – auch bei mäßigem baulichen Wärmeschutz geringe Energieaufwandsklassen vorgeschlagen, was auch als sinnvoll zu erachten ist. Für diese Zonen ergibt sich dann kein bzw. ein geringes Einsparpotential. Auf Gebäudeebene kann es jedoch nur einen begrenzten Anteil an Zonen mit sehr geringer spezifischer Hüllfläche geben. Für alle weiteren

---

<sup>3</sup> Insbesondere bei Anwendung der Bewertungshilfe

Zonen mit gewöhnlicher bzw. erhöhter spezifischer Hüllfläche liefert die Verbrauchsstrukturanalyse auf Gebäudeebene dennoch ein Einsparpotential in nachvollziehbarer Größenordnung.

Praktisch auftretende Restriktionen bei der energetischen Modernisierung von Gebäuden können durch den Ansatz standardisierter Energieaufwandsklassen nicht abgebildet werden. So ist man beispielsweise bei Modernisierungsvorhaben an der Gebäudehülle häufig mit Restriktionen konfrontiert. Hier ist es denkbar, dass ein Teil der Fenster vor relativ kurzer Zeit ausgetauscht wurde. Deren Restnutzungsdauer ist noch hoch. Gleichzeitig weisen sie aber nicht den in der Zielsetzung angenommenen energetischen Standard auf, sodass die Modernisierungsaktivität hinter dem theoretisch angenommenen Ziel zurückbleibt.

## 3 Erstellung von Bewertungshilfen

### 3.1 Motivation zur Erstellung von Bewertungshilfen

Einfluss auf die Größe des Endenergiekennwertes eines Gewerkes üben sowohl Parameter des Gebäudes bzw. der Zone als auch Nutzungsparameter aus. Vor Ort werden sich bei der Beurteilung baulicher bzw. anlagentechnischer Parameter häufig Konstellationen ergeben, bei denen die Ausprägungen einiger Parameter eher auf einen hohen Energieaufwand hindeuten während gleichzeitig weitere Ausprägungen eher auf einen geringen Energieaufwand hindeuten. Es stellt sich also die Frage, wie das Zusammenwirken der einzelnen Parameter energetisch zu bewerten ist. Bei der Beantwortung solcher Fragen sollen Bewertungshilfen unterstützen.

Die Aufgabe der Bewertungshilfen ist es, aus den vor Ort erkennbaren Ausprägungen von energetischen Parametern die Größenordnung des Endenergieeinsatzes nachzubilden und für das jeweilige Gewerk eine Energieaufwandsklasse vorzuschlagen. Zur Erstellung der Bewertungshilfen werden Parameter mit Einfluss auf den Endenergiekennwert im Rahmen einer Parameterstudie in praktisch vorkommenden Bandbreiten variiert. Die berechneten Endenergiekennwerte werden in klassifizierte Endenergiekennwerte der fünf Energieaufwandsklassen „Sehr gering“ bis „Sehr hoch“ überführt. In einer anschließenden Regressionsanalyse wird eine Schätzgleichung gesucht, die für möglichst viele Kombinationen möglicher Parameterausprägungen eine gute Näherung zwischen der mit TEK berechneten und der von der Bewertungshilfe der Verbrauchsstrukturanalyse vorgeschlagenen Energieaufwandsklasse liefert.

Die Umsetzung der Bewertungshilfen in Form von optisch sehr kompakten Eingabemasken soll eine rasche Abbildung einer Zone gewährleisten. Die gewählten Ausprägungen der Parameter und auch die von der Bewertungshilfe vorgeschlagene Energieaufwandsklasse sind auf dem Bildschirm gleichzeitig sichtbar. Dabei werden die Ausprägungen energetischer Parameter durch Positionierung von Schieberegler angegebe. Kann eine vorgefundene Ausprägung durch die wählbaren Positionen der Schieberegler nur schlecht abgebildet werden oder ist der Anwender unsicher, ob die gewählte Ausprägung zutreffend ist, so kann durch Einstellen der benachbarten Position des Schieberegler die Sensitivität des Endenergiekennwertes bezüglich der Ausprägungen der einzelnen Parameter verdeutlicht werden. In vielen Fällen bewirkt eine solche Wahl der benachbarten Ausprägung eine geringfügige Änderung der von der Bewertungshilfe vorgeschlagenen Energieaufwandsklasse. Das zeigt, dass der Einfluss eines einzelnen Parameters auf den Endenergiekennwert bzw. die Energieaufwandsklasse im Normalfall begrenzt ist. Gleichzeitig kann an dieser Stelle – unter Vorwegnahme der Ergebnisse der Regressionsanalyse – gesagt werden, dass die von der Bewertungshilfe vorgeschlagene Energieaufwandsklasse gut mit der in TEK berechneten übereinstimmt. Die Bewertungshilfen beider Gewerke (Heizung und Beleuchtung) werden ihrer Aufgabe der Klassifizierung des Endenergiebedarfs unter Verzicht einer detaillierten Bilanzierung und somit einer raschen Abbildung der energetisch relevanten Parameter gerecht.

### 3.2 Bewertungshilfe Heizung

#### 3.2.1 Parameter mit Einfluss auf den Endenergiekennwert

Das Verfahren zur Berechnung der Teilenergiekennwerte für Endenergie Heizung nach TEK [TEK-Methodik2013] lehnt sich an DIN V 18599 an. Es kommt hier im Projekt Verbrauchsstrukturanalyse bei der Parameterstudie zur Erstellung der Bewertungshilfe Heizung zum Einsatz. Nach diesem Verfahren ergibt sich der Nutzwärmebedarf Heizung einer Zone aus der Differenz zwischen Wärmeverlusten und anrechenbaren Wärmegewinnen. Die Verluste setzen sich im Wesentlichen aus den Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten über die Hüllbauteile zusammen. Die Wärmegewinne werden durch solare und interne Gewinne bestimmt. Die Größe des Nutzwärmebedarfes wird also bestimmt durch bauliche und Nutzungsparameter. Zur Deckung des Nutzwärmebedarfes Heizung ist eine Anlage nötig, die aus Wärmeerzeuger, Verteilung, Übergabe und gegebenenfalls Speicher besteht. Diese Komponenten weisen wiederum technische

Verluste auf. Die Größe des Endenergiekennwertes Heizung ist also neben baulichen und Nutzungsparametern auch von anlagentechnischen Parametern abhängig. Abweichungen zum Verfahren nach DIN V 18599 ergeben sich insbesondere durch die Variation der Raumsolltemperatur<sup>4</sup> im Rahmen der Parameterstudie.

Während die Nutzungsparameter (z.B. Nutzungsprofil und Raumsolltemperatur) vor Ort einfach ermittelt und direkt der Zone zugeordnet werden können, sind bauliche und anlagentechnische Parameter allenfalls auf Gebäudeebene bekannt. Insbesondere die Ermittlung der Größe der Hüllflächen und deren Zuordnung zu Zonen sind aufwendig. Angaben zu Bauteilkennwerten (z.B. U-Wert) und Gebäudeeigenschaften (z.B. Luftdichtigkeit und Wärmebrücken) bewegen sich hinsichtlich der Genauigkeit häufig auf dem Niveau einer qualifizierten Schätzung, weil entscheidende Informationen (z.B. Dämmschichtdicke) nicht zur Verfügung stehen.

Nachfolgend wird die Parameterstudie beschrieben, die der Bewertungshilfe Heizung zugrunde liegt. Darin werden bauliche, anlagentechnische und Nutzungsparameter in Bandbreiten variiert. Die Parameter werden in der Bewertungshilfe wie folgt kategorisiert:

- Geometrie und Gebäudeeigenschaften
  - Zone erstreckt sich über ... Geschosse
  - Zone wird begrenzt durch ... Hüllbauteile
  - Luftdichtheit und Wärmebrücken
- Wärmeerzeugung und -verteilung
  - Wärmeerzeuger
  - Heizungsverteilung, Heizbetrieb nachts und Wochenende
- Zoneneigenschaften
  - Fensterflächenanteil
  - U-Werte Fenster
  - U-Werte opak
  - Temperatur Nutzungszeit

Die Geometrie eines quaderförmigen Gebäudes wird variiert. So werden 10 Gebäudevarianten gebildet und in der Parameterstudie untersucht. Im Gebäude sind jeweils 5 Zonen mit gleicher Nutzung angelegt, die sich hinsichtlich ihrer spezifischen Hüllflächen unterscheiden. Daraus ergeben sich also für jedes zu untersuchende Nutzungsprofil 50 Geometrievarianten der Zonen, für die alle übrigen Parameter variiert werden. Dass das Gebäude nur eine Nutzung aufweist, stellt eine erste Idealisierung dar. Eine weitere Idealisierung wird mit der Zuweisung der Orientierung der Fassadenflächen (s. Abschnitt 3.2.5.1) vorgenommen.

### 3.2.2 Spezifische Hüllfläche und Hüllflächenexposition der Zone

Einer der wichtigsten Parameter mit Einfluss auf die Größe des Endenergiekennwertes für Heizung ist die spezifische Hüllfläche. Die spezifische Hüllfläche gibt an, wie groß die Fläche der Hüllbauteile bezogen auf die Energiebezugsfläche der betrachteten Zone ist. Sie kann als Kennwert für ein einzelnes Hüllbauteil oder für die Summe aus allen Hüllbauteilen bezogen auf die Energiebezugsfläche (NGF) angegeben werden. Die spezifische Hüllfläche nimmt bei größeren werdenden Gebäuden tendenziell<sup>5</sup> ab. Dementsprechend nehmen die Energiekennwerte größerer Gebäude gegenüber kleinen Gebäuden trotz gleicher Wärmedämmeigenschaften der Hülle tendenziell ab.

Die Bewertungshilfe Heizung soll den Einfluss der spezifischen Hüllfläche berücksichtigen. Im Verfahren der Verbrauchsstrukturanalyse soll aber lediglich die Größe der Energiebezugsfläche des Gebäudes und deren Verteilung auf Zonen angegeben werden. Auf die Ermittlung der Größe der Hüllflächen und deren Zuordnung zu den Zonen wird verzichtet. Das liegt darin begründet, dass diese beiden Arbeitsschritte sehr zeit-

<sup>4</sup> Bei einer Gebäudeanalyse mit dem TEK-Tool treten weitere Vereinfachungen, Erweiterungen bzw. Änderungen gegenüber DIN V 18599 in Erscheinung. Näheres dazu in [TEK-Methodik2013].

<sup>5</sup> Einfaches Beispiel: Gegenüber einem Ausgangszustand wird ein Gebäude um ein Geschoss vergrößert. Bei gleichem Grundriss bleibt die Hüllfläche des Fußbodens gegen Keller/unbeheizt unverändert. Allerdings nimmt die spezifische Hüllfläche durch die (um die Fläche des zusätzlichen Geschosses) vergrößerte Energiebezugsfläche ab.

aufwendig sind. Die Verbrauchsstrukturanalyse soll sich hingegen durch einen sehr geringen Zeitaufwand zur Abbildung des Gebäudes auszeichnen. Zur Abbildung des Einflusses der spezifischen Hüllfläche soll eine vereinfachte Angabe geometrischer Parameter mithilfe der sogenannten *Hüllflächenexposition der Zone* dienen.

### 3.2.2.1 Hüllflächenexposition der Zone

Bei der Nutzung der Bewertungshilfe Heizung im VSA-Tool werden zwei geometrische Parameter angegeben, die vor Ort einfach zu bestimmen sind. Demnach wird die Hüllflächenexposition der Zone bestimmt durch die *Anzahl der Hüllbauteile*, durch die die Zone gegen die Umgebung bzw. den unbeheizten Bereich abgegrenzt wird und durch die *Anzahl der Geschosse*, über die sich die Zone erstreckt.

In den nachfolgenden Absätzen zu *Anzahl der Hüllbauteile* und *Anzahl der Geschosse* wird gezeigt, welche Aussagen durch diese Parameter prinzipiell getroffen werden können. Im anschließenden Abschnitt 3.2.2.2 wird dann ein geometrisch einfacher Baukörper beschrieben, dessen Zonierung das praktisch zu erwartende Spektrum spezifischer Hüllflächen widerspiegeln soll.

#### Anzahl der Hüllbauteile

Die Betrachtungen zur Anzahl der Hüllbauteile werden am Quader als einem einfachen geometrischen Körper angestellt, der viele Baukörper von Nichtwohngebäuden in guter Näherung beschreibt. Für reale Baukörper kann die Anzahl der Hüllbauteile einer Zone also analog zum Quader bestimmt werden.

Einen quaderförmigen Baukörper begrenzen Hüllbauteile in sechs Orientierungen. Das sind zwei horizontale Hüllbauteile (z.B. Dach und Kellerdecke) und vier vertikale Hüllbauteile (Fassade in vier Orientierungen). Würde dieser Baukörper vereinfacht mit nur einer Zone abgebildet, würden alle sechs Hüllbauteile dieser Zone zugeordnet. Wenn hingegen der Quader in mehrere Zonen geteilt wird, nimmt die Anzahl der den einzelnen Zonen zuzuordnenden Hüllbauteile ab. So hätte beispielsweise eine vertikale Halbierung des Quaders in zwei gleich große, wiederum quaderförmige Zonen zur Folge, dass jede dieser Zonen nur noch durch zwei horizontale und drei vertikale Hüllbauteile begrenzt wird. Die sechste Begrenzungsfläche ist nun die Trennfläche hin zur benachbarten Zone. Über diese Fläche wird – den Annahmen des zugrunde liegenden Rechenverfahrens folgend – keine Wärme übertragen. Die Anzahl der Hüllbauteile nimmt für beide Zonen ab.

Eine weitere, nun horizontale Teilung des Quaders hätte zur Folge, dass die oben liegenden Zonen kein nach unten abschließendes Hüllbauteil mehr aufweisen würden, die unten liegenden Zonen kein nach oben abschließendes Hüllbauteil mehr. Für alle Zonen ginge die Anzahl der Hüllbauteile also um ein (horizontales) Hüllbauteil zurück. Die Aufteilung eines Baukörpers auf eine größer werdende Anzahl Zonen hat also zur Folge, dass die Anzahl der Hüllbauteile, die die Zonen begrenzen, tendenziell abnimmt. Theoretisch sind sogar Zonen denkbar, denen gar keine Hüllbauteile zuzuordnen sind. Praktisch kommen viele als Verkehrsflächen genutzte Zonen diesem Grenzfall nahe.

#### Anzahl der Geschosse

Die Anzahl der Geschosse, über die sich eine Zone erstreckt, hat hauptsächlich Einfluss auf die spezifische Hüllfläche, die sich aus den horizontalen Hüllbauteilen ergibt. Besitzt eine Zone beispielsweise nur ein horizontales Hüllbauteil, so wird die Fläche dieses Hüllbauteils unverändert bleiben, auch wenn die Energiebezugsfläche durch Räume darüber liegender Geschosse vergrößert wird. Die spezifische Hüllfläche nimmt dann mit zunehmender Anzahl der Geschosse ab.

Die spezifische Hüllfläche aus den vertikalen Bauteilen hingegen ändert sich durch die Anzahl der Geschosse nur geringfügig bzw. bleibt im Spezialfall unverändert. Ein solcher Spezialfall könnte eine quaderförmige Zone sein, die nur ein vertikales Hüllbauteil besitzt. Mit jedem, der Zone zusätzlich zugeordneten Geschoss würden Hüllfläche und Energiebezugsfläche in gleichem Maß je Geschoss anwachsen, was zu einer identischen spezifischen Hüllfläche führte.

Im praktischen Fall wird die Energiebezugsfläche einer Zone häufig nicht zu gleichen Teilen über alle Geschosse verteilt sein. Im folgenden Abschnitt 3.2.2.2 wird an einem einfachen Geometriemodell untersucht, wie sich die Hüllfläche eines Gebäudes auf Zonen verteilt, die sich hinsichtlich Anzahl der Hüllbauteile und

Anzahl der Geschosse unterscheiden. Dabei werden die Anzahl der Geschosse der Zonen und des Gebäudes variiert und die Auswirkungen auf die spezifische Hüllfläche aller Zonen aufgezeigt.

### 3.2.2.2 Geometriemodell

Das – der Parameterstudie zugrunde liegende – Geometriemodell wird mit Fokus auf die am häufigsten vorkommenden Nutzungen von Nichtwohngebäuden erstellt. Die Gestalt kleiner und mittelgroßer Nichtwohngebäude mit normal temperierten Nutzflächen (z.B. Büro-, Hotel-, Schulgebäude) ähnelt oft einem Quader. Im hier vorgestellten Geometriemodell wird das Gebäude in allen 10 Geometrievarianten in 5 Zonen gegliedert. Abbildung 1 zeigt die Zonierung des Gebäudes. Es enthält zwei Zonen (Bezeichnung 1h1v, 1h2v) mit gewöhnlicher Raumtiefe (gewählt 5 m), eine innen liegende Zone (Bezeichnung 1h) und zwei Zonen, die über eine erhöhte spezifische Hüllfläche (Bezeichnung 2h2v, 2h3v) verfügen.

Die Kürzel der Zonenbezeichnungen setzen sich aus Anzahl und Orientierung der Hüllbauteile zusammen. Dabei steht „h“ für horizontal, „v“ für vertikal und beschreibt die Orientierung eines Hüllbauteiles. Die Zonenbezeichnung 1h1v steht beispielsweise für eine Zone, die durch 1 horizontales Hüllbauteil (hier Fußboden gegen unbeheizt) und 1 weiteres, vertikales Hüllbauteil (hier Fassade gegen außen) begrenzt wird.

Im Geometriemodell wird die Hüllfläche des oberen Gebäudeabschlusses halbiert. Die Hälfte der Fläche wird als Dach definiert (Hüllbauteil gegen außen), die andere Hälfte als oberste Geschossdecke (Hüllbauteil gegen unbeheizt). Das Dach wird vollständig der Zone 2h3v zugeordnet, die oberste Geschossdecke der Zone 2h2v.

Insbesondere die Zonen mit gewöhnlicher Raumtiefe (1h1v, 1h2v) und die innen liegende Zone (1h) bilden geometrisch typische Konstellationen in Nichtwohngebäuden mit Nutzungen als

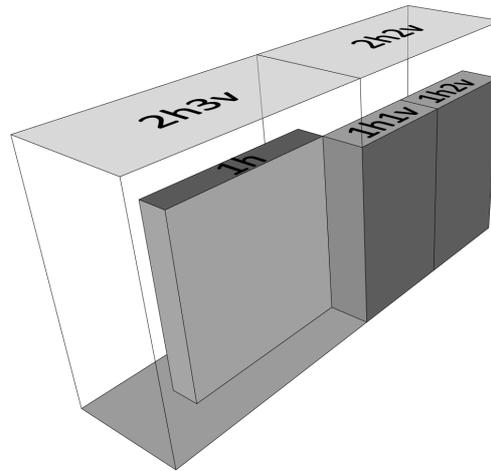
- Büro-/Verwaltungsgebäude
- Hotel/Beherbergungsstätte
- Schule/Bildungseinrichtung

gut nach. In der praktischen Anwendung der Bewertungshilfe Heizung werden geometrische Parameter, denen diese drei Zonen (1h, 1h1v, 1h2v) entsprechen, am häufigsten vorzufinden sein. Die beiden weiteren Zonen mit erhöhter spezifischer Hüllfläche (2h2v, 2h3v) werden aus zweierlei Gründen gebildet. Einerseits kommen praktisch tatsächlich Zonen vor, die sich über größere Bereiche des Gebäudes erstrecken und dabei auch über eine erhöhte spezifische Hüllfläche verfügen können. Andererseits sollte innerhalb der Parameterstudie gewahrt bleiben, dass die Hüllfläche des Gebäudes vollständig erfasst und eindeutig auf Zonen verteilt<sup>6</sup> wird. Eine erhöhte spezifische Hüllfläche wird hier durch eine große Anzahl an Hüllbauteilen beschrieben. Wie stark sich eine steigende Anzahl von Hüllbauteilen auf die spezifische Hüllfläche einer Zone auswirkt, wird unten bei der Beschreibung der Geometrievarianten gezeigt.

---

<sup>6</sup> In der Praxis zeigt sich bei der Arbeit mit Softwareanwendungen zur Ermittlung von Energiebedarfen von Gebäuden immer wieder, dass eine fehlerfreie Erfassung und Zuordnung von Hüllflächen, das heißt vor allem eine Erfassung, die frei von Dopplungen und vollständig ist, nicht selbstverständlich ist.

**Abbildung 1: Gebäudetyp 5000|8 – Ein in 5 Zonen mit unterschiedlicher Hüllflächenexposition geteiltes Gebäude mit Nettogrundfläche von 5000 m<sup>2</sup> auf 8 Geschossen**



Der Ausgangspunkt für die Bildung der Geometrievarianten ist ein quaderförmiges Gebäude mit 5000 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche<sup>7</sup> in 8 Geschossen (Typbezeichnung 5000|8). Abbildung 1 zeigt die Anordnung der Zonen im Typ 5000|8. Von diesem Baukörper wird eine Variante mit 5000 m<sup>2</sup> NGF (Typbezeichnung 5000|4) gebildet, bei dem die Anzahl der Geschosse halbiert wird. Gleichzeitig wird die Länge verdoppelt, sodass die Nettogrundfläche unverändert 5000 m<sup>2</sup> groß bleibt. Typ 5000|4 ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Nebenvarianten der Typen 5000|8 und 5000|4 entstehen durch Verringerung der Anzahl der Geschosse der drei Zonen 1h, 1h1v und 1h2v. Die Bezeichnung dieser Nebenvarianten enthält eine zusätzliche, an einen Unterstrich angehängte Ziffer<sup>8</sup>. Diese Ziffer<sup>8</sup> gibt die Anzahl der Geschosse an, über die sich die Zonen 1h, 1h1v und 1h2v erstrecken.

#### Gebäude mit einer von 5000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> abweichenden Energiebezugsfläche

In der TEK-Methodik wird eine Anpassung der Referenzkennwerte Heizung für Gebäude mit einer von 5000 m<sup>2</sup> abweichenden Energiebezugsfläche (NGF) vorgenommen. Nach der angewandten Gleichung steigen beispielsweise bei Halbierung der NGF auf 2500 m<sup>2</sup> die Referenzkennwerte um etwa 11%. Diese Anpassung gilt streng genommen nur für das Gesamtgebäude, da die Abhängigkeit der spezifischen Hüllfläche von der Energiebezugsfläche nur für das Gesamtgebäude besteht. Der Effekt wird dort jedoch vereinfachend auf alle Zonen gleichmäßig verteilt.

In der Parameterstudie zur Erstellung der Bewertungshilfe werden Gebäudetypen verschiedener NGF betrachtet. Damit soll die Frage beantwortet werden, ob die von der Bewertungshilfe vorgeschlagene Energieaufwandsklasse eine hinreichend gute Näherung für Zonen in Gebäuden verschiedener Größe darstellt. Ist das der Fall, beschreibt die Hüllflächenexposition der Zone mit den Ausprägungen der beiden Parameter „Anzahl der Hüllbauteile“ und „Anzahl der Geschosse“ die Geometrie der Hüllflächen im Rahmen der Bewertungshilfe hinreichend genau. Auf eine Ermittlung der spezifischen Hüllfläche für die einzelnen Zonen kann dann verzichtet werden.

Ausgehend von den Typen 5000|8 und 5000|4 wurden die Typen 2500|8 und 2500|4 gebildet, bei denen die Länge des Gebäudes halbiert wurde. Schließlich wurden aus den Typen 5000|8 und 5000|4\_2 durch Halbierung von Länge und Höhe des Gebäudes die Typen 1250|4 und 1250|2 erzeugt. Die Tabellen mit Angaben zu Geometrie und  $f_x$ -gewichteten, spezifischen Hüllflächen für alle Varianten des Geometriemodells finden sich in Tabelle 2. In den kleineren Gebäuden ergeben sich (bei gleicher Anzahl Geschosse) in den Zonen 1h2v, 2h2v und 2h3v höhere Werte für die spezifische Hüllfläche. In den Zonen 1h und 1h1v

<sup>7</sup> hier Nettogrundfläche, da rein geometrische Aspekte behandelt werden (s. Abschnitt 2.1.2)

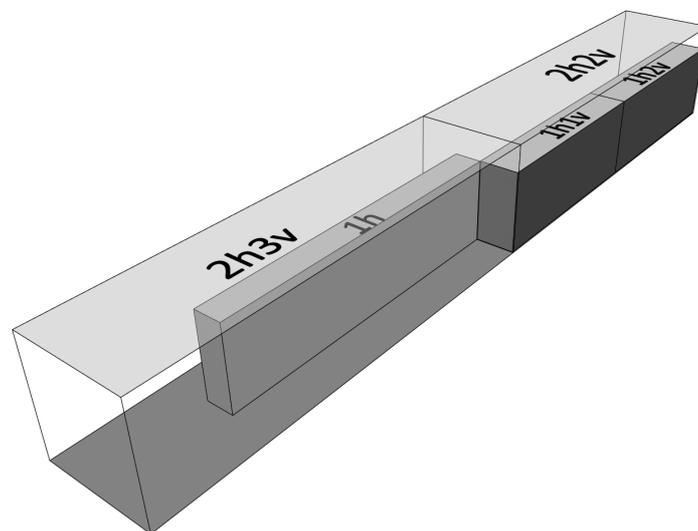
<sup>8</sup> Beispiel: Die Bezeichnung 5000|8\_3 sagt aus, dass das Gebäude über eine Energiebezugsfläche von 5000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> verfügt und 8 Geschosse umfasst. Die Zonen 1h, 1h1v und 1h2v erstrecken sich über 3 Geschosse.

bleiben die spezifischen Hüllflächen unverändert. Das zeigt, dass sich die Zunahme der spezifischen Hüllfläche bei abnehmender NGF des Gesamtgebäudes nicht auf alle Zonen gleichermaßen auswirken muss.

#### Abbildung von Baukörpern mit zergliederter Fassade

Ganz ähnlich ist die Frage nach der Abbildung von Baukörpern mit zergliederter Fassade gelagert. Auch mit zunehmendem Grad der Zergliederung der Fassade nimmt die Hüllfläche bezogen auf die Energiebezugsfläche zu. Das führt analog zu der eben diskutierten Frage – bezüglich der Größe der NGF des Gebäudes – dazu, dass die Energiekennwerte der Zonen tendenziell größer werden, da die spezifischen Hüllflächen zunehmen. In der Verbrauchsstrukturanalyse kann das Maß der Zergliederung der Hüllfläche durch die Anwendung der Bewertungshilfe abgebildet werden. Je stärker die Fassade zergliedert ist, desto häufiger wird in der Bewertungshilfe bei den geometrischen Parametern der Zonen eine größere Anzahl Hüllbauteile gewählt werden. Damit gehen die Bewertungsvorschläge für diese Zonen hin zu den nächst höheren Energieaufwandsklassen.

**Abbildung 2: Gebäudetyp 5000|4 – Ein in 5 Zonen mit unterschiedlicher Hüllflächenexposition geteiltes Gebäude mit Nettogrundfläche von 5000 m<sup>2</sup> auf 4 Geschossen**



#### Spezifische Hüllfläche der Zonen

Die Zonen unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der Hüllbauteile. In den Geometrievarianten wird die Anzahl der Geschosse variiert. Drei der Zonen (Zonenbezeichnungen 1h, 1h1v und 1h2v) haben wenige Hüllbauteile, die aber je Orientierung vollständig der Zone zugeordnet sind. Diese Zonen sind quaderförmig. Die zwei verbleibenden Zonen (Zonenbezeichnungen 2h2v und 2h3v) werden ebenfalls aus Quadern gebildet, wobei jeweils kleinere Quader<sup>9</sup> herausgeschnitten werden. Dadurch werden auch Teilflächen der Hüllbauteile den anderen Zonen zugeordnet.

#### Zonen 1h, 1h1v und 1h2v

Diesen drei quaderförmigen Zonen ist gemein, dass sie in der angegebenen Anzahl Orientierungen vollständig durch Hüllbauteile begrenzt werden. Beispielsweise wird die Zone 1h2v in allen Geschossen in zwei Orientierungen vollständig durch Hüllbauteile der Fassade, im untersten Geschoss vollständig nach unten durch Fußboden gegen unbeheizt begrenzt.

Die spezifische Hüllfläche, die sich für Zone 1h1v aus der Fassade ergibt, bleibt in den Nebenvarianten der Typen 5000|8 und 5000|4 unverändert. Dieser Spezialfall tritt ein, da Geschosshöhe und Raumtiefe unverändert bleiben. Lediglich die Anzahl der Geschosse, über die sich diese Zonen erstrecken, wird variiert. Die spezifische Hüllfläche aus dem Fußboden nimmt generell mit steigender Anzahl der Geschosse ab. Hier

<sup>9</sup> der Zonen 1h, 1h1v und 1h2v

bleibt der Umrechnungsfaktor zwischen Hüllfläche und NGF je Zone unverändert, sodass der Spezialfall eintritt, dass sich die spezifische Hüllfläche aus Fußboden gegen unbeheizt umgekehrt proportional zur Anzahl der Geschosse ändert.

#### Zonen 2h2v und 2h3v

Diesen beiden Zonen werden die verbleibenden Hüllflächen zugeordnet, die nicht die Zonen 1h, 1h1v und 1h2v begrenzen. Streng genommen liefern die Ziffern in der Zonenbezeichnung hier also keine genaue Beschreibung der Anzahl der Orientierungen, in denen diese Zonen durch Hüllbauteile begrenzt werden. So wird Zone 2h2v nach oben vollständig durch die oberste Geschossdecke nach unten lediglich teilweise durch den Fußboden begrenzt. Auch bei den Fassadenorientierungen gibt es nur eine Orientierung, die die Zone vollständig nach außen begrenzt. Darüber hinaus sind Fassadenflächen in zwei Orientierungen dieser Zone zuzuordnen, die aber nur Teile der Fassade dieser Orientierungen abbilden. Die übrigen Teile der Fassaden- bzw. Fußbodenfläche werden den Zonen 1h1v und 1h2v zugeordnet. Die Bezeichnungen „2h2v“ und „2h3v“ sind hier also als Synonym für „deutlich“ bzw. „sehr deutlich“ erhöhte spezifische Hüllflächen zu verstehen.

#### Nettogrundflächen und Hüllflächen

Im Geometriemodell ist die Nettogrundfläche (NGF) von  $5000 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$  im Typ 5000|8 über 8 Geschosse und im Typ 5000|4 über 4 Geschosse zu gleichen Teilen verteilt. Den Zonen 1h, 1h1v und 1h2v werden jeweils 10% der NGF eines Geschosses zugeordnet. Die NGF der Zone 2h3v wird aus der Differenz aus halber NGF des Gesamtgebäude und NGF der Zone 1h gebildet. Analog ergibt halbe NGF des Gesamtgebäudes abzüglich NGF der Zonen 1h1v und 1h2v die NGF der Zone 2h2v.

Die Umrechnung zwischen Nettogrundfläche (Innenmaße) und Hüllfläche (Außenmaße) wird mit dem Umrechnungsfaktor<sup>10</sup> für horizontale Hüllflächen mit 0,87 aus dem TEK-Projekt vorgenommen. Die NGF eines Geschosses wird nur dann mit diesem Umrechnungsfaktor belegt, wenn in beiden vertikalen Dimensionen ein Hüllbauteil der Zone anschließt. Im Modell betrifft das die Fußbodenfläche der Zone 1h2v. Schließt ein Hüllbauteil nur in einer vertikalen Dimension an (betrifft Zonen 1h und 1h1v), beträgt der Umrechnungsfaktor  $\sqrt{0,87} \approx 0,933$ . So ergeben sich im Typ 5000|8 trotz gleicher NGF der Zonen 1h1v und 1h2v von  $62,5 \text{ m}^2$  verschieden große Hüllflächen für den Fußboden.

Die Flächen der vertikalen Hüllbauteile der Zonen 1h, 1h1v und 1h2v werden berechnet aus der Anzahl der Geschosse mit einer Höhe von je 3,5 m und der auf Außenmaße umgerechneten Breite der Zone. Die Geschosshöhe<sup>11</sup> ist für alle Geometrievarianten gleich. Der Umrechnung der Breite erfolgt mit dem Umrechnungsfaktor  $\sqrt{0,87} \approx 0,933$ .

Für alle Hüllbauteile werden zunächst die auf die Zonen 1h, 1h1v und 1h2v entfallenden Hüllflächen berechnet. Anschließend werden die Hüllflächen der Zonen 2h2v und 2h3v aus der Differenz<sup>12</sup> der Hüllfläche des Gesamtgebäudes und den Hüllflächen der „eingeschlossenen“ Zonen bestimmt. In Tabelle 2 sind die Angaben zu NGF und Hüllflächen der Zonen und des Gesamtgebäudes für alle 10 Geometrievarianten enthalten.

<sup>10</sup> Innenmaß = Umrechnungsfaktor \* Außenmaß

<sup>11</sup> Nachrichtliche Anmerkung: Der Umrechnungsfaktor von Brutto- auf Nettohöhe von 0,86 aus dem TEK-Projekt führt zu einer Raumhöhe von 3,01 m, ist aber im Sinne der hier durchgeführten Parameterstudie nicht ergebnisrelevant.

<sup>12</sup> Hier wird jeweils die Hälfte der Fassaden- und Fußbodenfläche den Zonen 2h2v und 2h3v zugeordnet, die Dachfläche der Zone 2h3v und die Fläche der obersten Geschossdecke der Zone 2h2v. Anschließend werden von den Fassaden- und Fußbodenflächen die Hüllflächen der jeweils „eingeschlossenen“ Zonen abgezogen.

**Tabelle 2: Angaben zu Hüllflächen und Nettogrundflächen sowie der Hüllflächenberechnung zugrunde liegende Geometrieangaben für Zonen und Gesamtgebäude für alle Varianten des Geometriemodells**

Zonen	Hüllflächen und NGF in m <sup>2</sup>										Geometrie der Quader, Basis der Hüllflächenberechnung in m									
	Gebäude Geometrievarianten										Länge: Breite: Höhe:									
	5000 8	5000 8_3	5000 8_1	5000 4	5000 4_2	5000 4_1	2500 8	2500 4	1250 4	1250 2	5000 8	5000 8_3	5000 8_1	5000 4	5000 4_2	5000 4_1	2500 8	2500 4	1250 4	1250 2
<b>1 horizontal (1h)</b>																				
Anzahl Geschosse	6	3	1	3	2	1	6	3	3	1	20	40	10	20	10	20				
Fußboden	67	67	67	134	134	134	34	67	34	67	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35				
NGF	375	188	63	375	250	125	188	188	94	63	21	10,5	3,5	10,5	7	3,5	21	10,5	10,5	3,5
<b>1 horizontal, 1 vertikal (1h1v)</b>																				
Anzahl Geschosse	6	3	1	3	2	1	6	3	3	1	13,4	26,8	6,7	13,4	6,7	13,4				
Fußboden	67	67	67	134	134	134	34	67	34	67	5	5	5	5	5	5				
Fassade	281	141	47	281	188	94	141	141	70	47	21	10,5	3,5	10,5	7	3,5	21	10,5	10,5	3,5
NGF	375	188	63	375	250	125	188	188	94	63										
<b>1 horizontal, 2 vertikal (1h2v)</b>																				
Anzahl Geschosse	6	3	1	3	2	1	6	3	3	1	13,4	26,8	6,7	13,4	6,7	13,4				
Fußboden	72	72	72	144	144	144	36	72	36	72	5	5	5	5	5	5				
Fassade	394	197	66	338	225	113	253	197	127	66	21	10,5	3,5	10,5	7	3,5	21	10,5	10,5	3,5
NGF	375	188	63	375	250	125	188	188	94	63										
<b>2 horizontal, 2 vertikal (2h2v)</b>																				
Anzahl Geschosse	8	8	8	4	4	4	8	4	4	2	26,8	53,6	13,4	26,8	13,4	26,8				
Fußboden	220	220	220	440	440	440	110	220	110	220	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4				
Fassade	1201	1538	1763	1069	1276	1482	732	600	366	356	28	14	28	14	14	7				
Oberste Geschossdecke	359	359	359	718	718	718	180	359	180	359										
NGF	1750	2125	2375	1750	2000	2250	875	875	438	500										
<b>2 horizontal, 3 vertikal (2h3v)</b>																				
Anzahl Geschosse	8	8	8	4	4	4	8	4	4	2	26,8	53,6	13,4	26,8	13,4	26,8				
Fußboden	292	292	292	584	584	584	146	292	146	292	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4				
Fassade	1876	1876	1876	1688	1688	1688	1126	938	563	469	28	14	28	14	14	7				
Dach	359	359	359	718	718	718	180	359	180	359										
NGF	2125	2313	2438	2125	2250	2375	1063	1063	531	563										
<b>Gebäude</b>																				
Anzahl Geschosse	8	8	8	4	4	4	8	4	4	2	53,6	107,2	26,8	53,6	26,8	53,6				
Fußboden	718	718	718	1436	1436	1436	359	718	359	718	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4				
Fassade	3752	3752	3752	3377	3377	3377	2251	1876	1126	938	28	14	28	14	14	7				
Dach/Oberste Geschossdecke	718	718	718	1436	1436	1436	359	718	359	718										
NGF	5000	5000	5000	5000	5000	5000	2500	2500	1250	1250										

Hüllflächen und NGF jeweils als Summe über alle Geschosse der Zone bzw. des Gebäudes angegeben

**Nebenvarianten zu den Typen 5000|8 und 5000|4**

Bei der Bildung der Nebenvarianten zu den Typen 5000|8 und 5000|4 wird die Anzahl der Geschosse der Zonen 1h, 1h1v und 1h2v variiert. Damit ändern sich die aus den Zonen 2h2v und 2h3v herausgeschnittenen Hüllflächen und deren NGF. Diese Nebenvarianten sollen Aufschluss darüber bringen, in welcher Bandbreite spezifische Hüllflächen von Zonen mit erhöhten spezifischen Hüllflächen (also mit Hüllbauteilen in vielen Orientierungen) in Abhängigkeit von der Ausdehnung der benachbarten, „eingeschlossenen“ Zonen variieren. Eine vergleichende Darstellung der Typen 5000|8 und 5000|4 und der zugehörigen Nebenvarianten ist in Abbildung 42 im Anhang enthalten.

Die Nebenvarianten der Typen 5000|8 und 5000|4 enthalten in ihrer Bezeichnung nach einem Unterstrich zusätzlich eine Ziffer. Die Ziffer gibt die Anzahl der Geschosse an, über die sich die „eingeschlossenen“ Zonen 1h, 1h1v und 1h2v erstrecken. So gibt die Bezeichnung 5000|4\_2 also an, dass sich diese drei Zonen

über 2 Geschosse erstrecken. Im rechten Teil von Tabelle 2 sind die Außenmaße der Quader der Zonen angegeben, auf deren Basis die Flächen der Hüllbauteile berechnet werden.

Man kann Tabelle 2 unmittelbar entnehmen, dass die Größe der horizontalen Hüllflächen innerhalb der Typen 5000|8 und 5000|4 bei der Bildung der Nebenvarianten für alle Zonen gleich bleibt. Die spezifische Hüllfläche aus den horizontalen Hüllbauteilen ändert sich für die einzelnen Zonen in den Nebenvarianten also allein durch die Änderung der NGF. Eine weitere Besonderheit ergibt sich für Zone 2h3v. Die Flächen aller Hüllbauteile bleiben in den Nebenvarianten unverändert. Hier ändert sich die spezifische Hüllfläche allein durch die Änderung der Nettogrundfläche der Zone.

Tabelle 3 enthält im linken Teil die spezifischen Hüllflächen der Zonen nach Hüllbauteilen. Im rechten Teil der Tabelle sind die spezifischen Hüllflächen je Zone aufsummiert und  $f_x$ -gewichtet.

#### Spezifische Hüllfläche nach Hüllbauteilen

Eingangs wurde bereits erwähnt, dass ein Ziel der Erstellung des Geometriemodells darin besteht, die Größenordnung des Anstiegs der spezifischen Hüllfläche für Zonen mit vielen Hüllbauteilen<sup>13</sup> zu beschreiben. Der Effekt tritt dann besonders in Erscheinung, wenn aus einer Zone mit vielen Hüllbauteile Zonen herausgeschnitten werden, die durch wenige Hüllbauteile begrenzt werden und gleichzeitig eine große Nettogrundfläche besitzen. Im Geometriemodell sind die Zonen 2h3v und 1h ein typisches Beispiel dafür. Im anderen Teil des Geometriemodells wird erkennbar, dass es praktisch auch immer Fälle gibt, bei denen die Erhöhung der spezifischen Hüllfläche in der Zone mit vielen Hüllbauteilen begrenzt ist, weil die „eingeschlossenen“ Zonen selbst über eine relativ große spezifische Hüllfläche verfügen.

---

<sup>13</sup> Viele Hüllbauteile heißt hier, dass die Zone in mehr als drei Orientierungen durch Hüllbauteile begrenzt wird. Dabei muss der Zone nicht zwangsläufig die Hüllfläche aller Orientierungen vollständig zugeordnet sein (s. oben).

**Tabelle 3: Spezifische Hüllflächen der Zonen nach Hüllbauteilen und aufsummierte, f<sub>x</sub>-gewichtete, spezifische Hüllflächen**

Zonen	Spezifische Hüllfläche nach Hüllbauteilen in m <sup>2</sup> _Hüllfläche/m <sup>2</sup> _NGF									Summe der f <sub>x</sub> -gewichteten, spezifischen Hüllflächen f <sub>x</sub> -Werte der Hüllbauteile															
	Gebäude Geometrievarianten									f <sub>x</sub> -Werte der Hüllbauteile															
	5000 8	5000 8_3	5000 8_1	5000 4	5000 4_2	5000 4_1	2500 8	2500 4	1250 4	1250 2	0,5 Fußboden	1 Fassade	1 Dach	0,8 Oberste Geschossdecke	5000 8	5000 8_3	5000 8_1	5000 4	5000 4_2	5000 4_1	2500 8	2500 4	1250 4	1250 2	
<b>1 horizontal (1h)</b>																									
Anzahl Geschosse	6	3	1	3	2	1	6	3	3	1	0,09	0,18	0,54	0,18	0,27	0,54	0,09	0,18	0,18	0,54					
Fußboden	0,18	0,36	1,07	0,36	0,54	1,07	0,18	0,36	0,36	1,07															
<b>1 horizontal, 1 vertikal (1h1v)</b>																									
Anzahl Geschosse	6	3	1	3	2	1	6	3	3	1	0,84	0,93	1,29	0,93	1,02	1,29	0,84	0,93	0,93	1,29					
Fußboden	0,18	0,36	1,07	0,36	0,54	1,07	0,18	0,36	0,36	1,07															
Fassade	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75															
<b>1 horizontal, 2 vertikal (1h2v)</b>																									
Anzahl Geschosse	6	3	1	3	2	1	6	3	3	1	1,15	1,24	1,63	1,09	1,19	1,48	1,45	1,24	1,54	1,63					
Fußboden	0,19	0,38	1,15	0,38	0,58	1,15	0,19	0,38	0,38	1,15															
Fassade	1,05	1,05	1,05	0,90	0,90	0,90	1,35	1,05	1,35	1,05															
<b>2 horizontal, 2 vertikal (2h2v)</b>																									
Anzahl Geschosse	8	8	8	4	4	4	8	4	4	2	0,91	0,91	0,91	1,07	1,04	1,01	1,06	1,14	1,29	1,51					
Fußboden	0,13	0,10	0,09	0,25	0,22	0,20	0,13	0,25	0,25	0,44															
Fassade	0,69	0,72	0,74	0,61	0,64	0,66	0,84	0,69	0,84	0,71															
Oberste Geschossdecke	0,21	0,17	0,15	0,41	0,36	0,32	0,21	0,41	0,41	0,72															
<b>2 horizontal, 3 vertikal (2h3v)</b>																									
Anzahl Geschosse	8	8	8	4	4	4	8	4	4	2	1,12	1,03	0,98	1,27	1,20	1,14	1,30	1,36	1,53	1,73					
Fußboden	0,14	0,13	0,12	0,27	0,26	0,25	0,14	0,27	0,27	0,52															
Fassade	0,88	0,81	0,77	0,79	0,75	0,71	1,06	0,88	1,06	0,83															
Dach	0,17	0,16	0,15	0,34	0,32	0,30	0,17	0,34	0,34	0,64															

Spez. Hüllfläche bezogen auf die Summe der NGF der Zone über alle Geschosse

Die Betrachtung der spezifischen Hüllflächen aus horizontalen Hüllbauteilen zeigt für alle Zonen, dass ein starker Zusammenhang besteht mit der Anzahl Geschosse, über die sich die Zone erstreckt. Die Größe der spezifischen Hüllfläche für jedes horizontale Hüllbauteil liegt bei etwa 1,1/Anzahl Geschosse. In den Zonen mit erhöhter spezifischer Hüllfläche (2h2v und 2h3v) ist der Einfluss der „eingeschlossenen“ Zonen von untergeordneter Bedeutung.

Die spezifischen Hüllflächen aus vertikalen Hüllbauteilen liegen in der Größenordnung 0,6 ... 1,3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Zunächst ist zu vermuten, dass mit ansteigender Anzahl dieser Hüllbauteile auch die daraus ermittelte spezifische vertikale Hüllfläche einer Zone ansteigt. In diesem Zusammenhang erscheint der Umstand interes-

sant, dass im Modell die „eingeschlossene“ Zone zwei vertikalen Hüllbauteilen (1h2v) in allen Geometrievarianten die größte spezifische vertikale Hüllfläche aufweist. In den Zonen mit vielen Hüllbauteilen (2h2v und 2h3v) wird die spezifische Hüllfläche aus vertikalen Hüllbauteilen in dem Maß kleiner (als in Zone 1h2v), in dem durch „eingeschlossene“ Zonen proportional mehr Hüllfläche als NGF herausgeschnitten wird. Das führt in den Zonen 2h2v und 2h3v zu einer vergleichsweise größeren mittleren Raumbreite und damit zu einer geringeren spezifischen vertikalen Hüllfläche<sup>14</sup>.

#### Angabe der $f_x$ -gewichteten, spezifischen Hüllfläche

In der hier vorgestellten Parameterstudie galt es, die Anzahl der Parameter gering zu halten, um in angemessener Zeit Rechenergebnisse zu erlangen. Deshalb wurden die geometrischen Parameter (Näherung der spezifischen Hüllfläche) und die Exposition der Hüllfläche<sup>15</sup> zusammengefasst. Eine Darstellung der  $f_x$ -gewichteten, spezifischen Hüllfläche wird hier vorgenommen, um das Zusammenwirken von spezifischer Hüllfläche und Exposition der Hüllbauteile der Zone in den untersuchten Varianten aufzuzeigen. Die Regressionsanalyse der Parameterstudie liefert gute Ergebnisse für den Fall, dass die  $f_x$ -gewichtete, spezifische Hüllfläche mit den Ausprägungen jedes einzelnen geometrischen Parameters der Bewertungshilfe ansteigt. Auf der rechten Seite von Tabelle 4 wird die  $f_x$ -gewichtete, spezifische Hüllfläche der Zonen nach den Ausprägungen der beiden geometrischen Parameter sortiert angegeben. In den Zeilen erscheint die mit der Zonenbezeichnung verbundene Anzahl der Hüllbauteile, in den Spalten wird die Anzahl der Geschosse, über die sich die Zone erstreckt sortiert. Als Kopfzeile und -spalte sind für beide Parameter die in der Schätzgleichung der Bewertungshilfe anzusetzenden Ausprägungen diagonal schraffiert dargestellt. Die Ziffern von 1 bis 5 geben an, welchen Rang die Ausprägungen der (ordinal skalierten) geometrischen Parameter besitzen.

Durch die Sortierung nach beiden Parametern wird auch deutlich, dass beide Parameter (Anzahl der Hüllbauteile und Anzahl der Geschosse) im Zusammenwirken geeignet sind, die Hüllflächenexposition der Zone zu beschreiben. Liest man den rechten Teil der Tabelle zeilenweise, so erkennt man, dass (bei gleichbleibender Anzahl der Geschosse) die spezifische Hüllfläche mit steigender Anzahl Hüllbauteile tendenziell zunimmt. Auch wenn man den Teil der Tabelle spaltenweise liest, erkennt man, dass (bei gleichbleibender Anzahl der Hüllbauteile) mit abnehmender Anzahl der Geschosse die spezifische Hüllfläche tendenziell zunimmt. An der Sortierung ist auch zu erkennen, dass in den Varianten des Geometriemodells mit 2500 bzw. 5000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> keine Zonen mit vielen Hüllbauteilen (2h2v bzw. 2h3v) vorkommen, die sich über weniger als 4 Geschosse erstrecken. Einzig aus der Geometrievariante mit 1250 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> liegen Angaben zur spezifischen Hüllfläche für ein 2-geschossiges Gebäude vor. Für 1-geschossige Gebäude liegt somit keine Abschätzung der spezifischen Hüllfläche für Zonen mit erhöhter Anzahl Hüllbauteile vor. In der Bewertungshilfe wird dementsprechend bei dem Versuch der Abbildung einer solchen Zone der Hinweis eingeblendet, dass die Angaben zur Geometrie außerhalb der untersuchten Varianten liegen.

<sup>14</sup> Nochmals der Hinweis: Hier werden Gebäude üblicher Größe und Kubatur untersucht. In kleinen Gebäuden (z.B. containerartige Bauten mit Kantenlängen <10m) können sich in Zonen mit erhöhter Anzahl Hüllbauteile deutlich höhere spezifische Hüllflächen ergeben. Dort nimmt die mittlere Raumbreite deutlich ab. Der Effekt wird nochmals verstärkt, wenn keine „eingeschlossenen“ Zonen mehr vorhanden sind.

<sup>15</sup> Es gibt also in der Bewertungshilfe keinen Parameter, der abfragt, ob ein Hüllbauteil ein  $f_x$  kleiner oder gleich 1 aufweist.



### Luftdichtheit

Die Berechnung des Infiltrationsluftwechsels erfolgt im TEK-Tool in Anlehnung an DIN V 18599 Teil 2. Als wesentliche Änderung ist die Korrektur des Luftwechsels bei 50 Pa Druckdifferenz  $n_{50}$  mittels Korrekturfaktor  $A/V_{\text{ist}} / A/V_{\text{Standard}}$  zu nennen. Der nach TEK berechnete Infiltrationsluftwechsel ist also in aller Regel kleiner als nach DIN V 18599. Die Ausprägungen für die Luftdichtheit werden in der Bewertungshilfe nicht über die gesamte im TEK-Tool angegebene Bandbreite variiert. In TEK wird für die (auch in DIN V 18599 als schlechtester Fall tabellierte) Luftdichtigkeit das Vorhandensein offensichtlicher Undichtheiten mit einem  $n_{50}$ -Wert von  $10 \text{ h}^{-1}$  aufgeführt. In der Bewertungshilfe wird die schlechteste Ausprägung der Luftdichtheit ein  $n_{50}$ -Wert von  $6 \text{ h}^{-1}$  aufgeführt mit einem Wärmebrückenzuschlag von  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  kombiniert. Der Ansatz von  $10 \text{ h}^{-1}$  hätte hier zu unrealistisch schlecht erscheinenden Gebäudeeigenschaften geführt. Tabelle 5 enthält die in der Parameterstudie angesetzten  $n_{50}$ -Werte und die in der Bewertungshilfe enthaltene Beschreibung der Ausprägungen der Luftdichtheit.

**Tabelle 5: Luftdichtheit – Ausprägungen in der Bewertungshilfe und in der Parameterstudie zugrunde liegende  $n_{50}$ -Werte**

Ausprägung für Luftdichtheit in der Bewertungshilfe	$n_{50}$ -Wert in der Parameterstudie
Passivhausanforderung erfüllt	$0,6 \text{ h}^{-1}$
Neubau mit Dichtheitsprüfung ohne raumluftechnische Anlage	$2 \text{ h}^{-1}$
Neubau ohne Dichtheitsprüfung	$4 \text{ h}^{-1}$
Bestehendes Gebäude ohne Dichtheitsprüfung <sup>16</sup>	$6 \text{ h}^{-1}$

### Wärmebrücken

Der Transmissionswärmeverlust steigt örtlich (geometrisch bzw. konstruktiv bedingt) gegenüber den ungestörten Bauteilen. Diese Wärmebrückenwirkung wird dabei rechnerisch als Wärmebrückenzuschlag  $\Delta U_{\text{WB}}$  abgebildet. Hohe Wärmebrückenzuschläge sind dort vorzufinden, wo die Wärmedämmung durchdrungen wird. Das ist insbesondere bei der Einbindung von Wänden und Decken in Hüllbauteile mit Innendämmung und bei Bauteilaustragungen der Fall. Auch die Bauweise beeinflusst die Größe des anzusetzenden Zuschlages. In [Holzbau2013] werden Bandbereiten und Empfehlungen für den Wärmebrückenzuschlag angegeben. Für – hinsichtlich Wärmebrücken – nicht optimierte Bestandsgebäude in Massivbauweise wird dort ein hoher Zuschlag, für Gebäude in Holztafelbauweise ein deutlich geringerer Zuschlag<sup>17</sup> empfohlen.

**Tabelle 6: Wärmebrücken – Ausprägungen in der Bewertungshilfe und in der Parameterstudie zugrunde liegende Werte für den Wärmebrückenzuschlag  $\Delta U_{\text{WB}}$**

Ausprägung für Wärmebrücken in der Bewertungshilfe	$\Delta U_{\text{WB}}$ -Wert in der Parameterstudie
weitestgehend vermieden	$0 \text{ W/m}^2\text{K}$
gering	$0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$
mittel	$0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
hoch	$0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

In Tabelle 6 sind die Ausprägungen für Wärmebrücken und die damit korrespondierenden, rechnerisch in der Parameterstudie angesetzten Wärmebrückenzuschläge enthalten. Die Ausprägung „weitestgehend

<sup>16</sup> Diese Kategorie enthält in DIN V 18599 Teil 2 [DINV18599-2\_2007] keine Beschreibung, welche Gebäude mit dieser Dichtheit korrespondieren. Dort wird lediglich ausgeführt dass in dieser Kategorie alle Gebäude zusammengefasst werden, die weder Neubau (mit oder ohne Dichtheitsprüfung) noch Gebäude mit offensichtlichen Undichtheiten sind. Die Beschreibung der Gebäudekategorien ist der TEK-Methodik [TEK-Methodik2013] entnommen.

<sup>17</sup> Auf die Nennung der dort angegebenen Werte wird hier verzichtet, da im Artikel typische Konstruktionen für Wohnbauten im Fokus stehen. Das Prinzip, dass (Trag-)Konstruktionen aus Materialien geringerer Wärmeleitfähigkeit tendenziell auch zu geringeren Wärmebrückenzuschlägen führen, kann durchaus auf Nichtwohngebäude übertragen werden.

vermieden“ und damit ein rechnerischer Wärmebrückenzuschlag von 0 wird in unsanierten Bestandsgebäuden gewöhnlich nicht erreicht. Die Ausprägung wurde dennoch aufgenommen, da die Betrachtung auf Ebene der Zonen vorgenommen wird und so auch – beispielsweise in neueren Anbauten – Zonen mit weitestgehend vermiedenen Wärmebrücken vorhanden sein können.

### 3.2.4 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung ist in den meisten Nichtwohngebäuden zonenübergreifend. Die Zuordnung von Erzeuger- und weiteren technischen Verlusten zu Zonen geschieht in der Parameterstudie flächenanteilig bezogen auf die Energiebezugsfläche. Alle Zonen des untersuchten Gebäudes erhalten dabei je Berechnungsfall die gleichen Ausprägungen der Wärmeerzeugung.

#### Wärmeerzeuger

Der Wärmeverlust des Wärmeerzeugers wird über die Erzeugeraufwandszahl abgebildet. In der Parameterstudie wurden drei Standards für Kessel, die mit gasförmigen und/oder flüssigen Brennstoffen betrieben werden, untersucht. In den Berechnungen wurde als Brennstoff Gas angesetzt. Bei Betrieb mit anderen Brennstoffen ergeben sich für die gewählten Kesselstandards in allen Fällen Erzeugeraufwandszahlen, die um weniger als 0,03 von den für Gas angegebenen Aufwandszahlen abweichen. Tabelle 7 enthält die gewählten Kesselstandards und die für Gas im TEK-Tool enthaltenen Erzeugeraufwandszahlen.

**Tabelle 7: Kesselstandard und Erzeugeraufwandszahl der in der Parameterstudie abgebildeten Wärmeerzeuger**

Kesselstandard	Erzeugeraufwandszahl
Brennwertkessel, verbessert	1,03
Niedertemperaturkessel nach 1995	1,10
Konstanttemperaturkessel vor 1978	1,16

#### Heizungsverteilung und Heizbetrieb nachts und am Wochenende

Auch hier werden – wie schon bei den Gebäudeeigenschaften – mehrere Parameter zu einem Parameter zusammengefasst. Für die Heizungsverteilung werden der Dämmstandard und die Lage der Verteilung variiert und für den Heizbetrieb die Reduzierung des Betriebs nachts und am Wochenende. Zunächst erscheint die Bündelung so vieler Parameter etwas sperrig, weil einige Fälle denkbar sind, in denen Konstellationen der Ausprägungen der einzelnen Parameter über alle Stufen hinweg vorliegen. Die Auswirkungen von Heizungsverteilung und Heizbetrieb auf die Energieaufwandsklasse sind jedoch begrenzt<sup>18</sup>. Deshalb wird die Bündelung der Parameter beibehalten.

**Tabelle 8: Ausprägungen der Parameter für Heizungsverteilung und Heizbetrieb in der Parameterstudie**

Parameter	Ausprägungen			
<i>Heizungsverteilung</i>				
Baualter (Dämmstandard)	nach 1995	nach 1995	vor 1978	vor 1978
Lage der horizontalen Verteilung	beheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt
<i>Heizbetrieb</i>				
nachts	Abschaltung	reduziert	reduziert	durchgehend
am Wochenende	Abschaltung	reduziert	reduziert	durchgehend

<sup>18</sup> Der Unterschied zwischen den effizientesten und am wenigsten effizienten Ausprägungen der zusammengefassten Parameter liegt gewöhnlich bei weniger als 0,2 Energieaufwandsklassen.

In der Bewertungshilfe werden Fälle ohne Heizungsverteilung nicht berücksichtigt. Das ist bei der Abbildung von Nichtwohngebäuden im Niedrigstenergiestandard relevant. Dort liegt der Nutzwärmebedarf etwa in der Größenordnung der hier variierten Verteilverluste. Für Zonen ohne Heizungsverteilung bei gleichzeitig sehr gutem baulichen Wärmeschutz liefert die Bewertungshilfe dann eine um etwa eine halbe Klasse zu große Energieaufwandsklasse. In den meisten Bestandsgebäuden ohne Heizungsverteilung liegt ein mäßiger Wärmeschutz vor, sodass sich dort der Einfluss der „fiktiven Heizungsverteilung“ auf die vorgeschlagene Energieaufwandsklasse relativiert.

### 3.2.5 Zoneneigenschaften

#### 3.2.5.1 Fensterflächenanteil

Der Fensterflächenanteil weist unter den Parametern der Bewertungshilfe Heizung eine Besonderheit auf. Während die Ausprägungen aller anderen Parameter so angelegt sind, dass in der Bewertungshilfe die Ausprägungen in der Reihenfolge ihrer Nennung von links nach rechts zu größeren Energieaufwandsklassen führen, ist das beim Parameter Fensterflächenanteil nicht immer der Fall. Grund dafür ist, dass der Fensterflächenanteil ein Parameter ist, der sowohl geometrische als auch bauliche Informationen enthält. Die geometrische Komponente beschreibt den Anteil der transparenten Flächen an der Fassade<sup>19</sup>. Die bauliche Komponente liefert eine Information darüber, welche Anteile der Fassade mit welchen U-Werten belegt sind. Der Fensterflächenanteil verknüpft also die Informationen über die Fassadenbauteile, die in den weiteren geometrischen<sup>20</sup> und baulichen<sup>21</sup> Parametern der Bewertungshilfe zur Beschreibung der Hüllbauteileigenschaften enthalten sind.

In vielen Fällen wird bei der Anwendung der Bewertungshilfe Heizung die vorgeschlagene Energieaufwandsklasse erwartungsgemäß mit größer werdendem Fensterflächenanteil steigen. Für Fälle mit ungedämmter Außenwand und wärmeschutzverglasten Fenstern bleibt die vorgeschlagene Energieaufwandsklasse nahezu unverändert oder geht sogar mit steigendem Fensterflächenanteil zurück<sup>22</sup>.

#### Auswirkungen des Fensterflächenanteils auf die Flächenangaben bei der Variantenberechnung in TEK

Aus dem Geometriemodell können die Flächen der Hüllbauteile der Zonen entnommen werden und dementsprechend im Sinne der Parameterstudie im TEK-Tool auch angesetzt werden. Die Hüllflächen werden auf Gebäudeebene<sup>23</sup> also „objektspezifisch“ angegeben. Den Zonen<sup>24</sup> werden die Hüllflächen „manuell“ zugewiesen. Folglich beeinflusst der Fensterflächenanteil eine ganze Reihe von Flächenangaben im TEK-Tool. Dort werden im Blatt „2.2\_in\_Hülle\_Gebäude“ die Hüllflächen auf Gebäudeebene angegeben und im Blatt „2.4\_in\_Hülle\_Zone“ den Zonen zugewiesen. In beiden Blättern sind die entsprechenden Flächen für Außenwände und Fenster in allen Orientierungen in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil anzugeben. Weiterhin sind die Hüllflächen vom Typ des Geometriemodells abhängig. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die im TEK-Tool für Typ 5000|4\_1 je nach Fensterflächenanteil angesetzten Hüllflächen auf Gebäude- und Zonenebene.

<sup>19</sup> In der Parameterstudie wurde der Einfluss von Oberlichtern nicht untersucht.

<sup>20</sup> Hüllflächenexposition – Näherung der spezifischen Hüllfläche der Zone

<sup>21</sup> U-Werte der opaken und transparenten Bauteile

<sup>22</sup> Auch das ist sinnvoll. Die U-Werte der opaken und transparenten Bauteile sind dann ähnlich groß, was rechnerisch auch zu ähnlich großen Transmissionswärmeverlusten über diese Hüllbauteile führt. Bei steigendem Fensterflächenanteil kommen solare Wärmegewinne dann verstärkt zur Geltung und können so auch zu einem Rückgang des Heizwärmebedarfs führen.

<sup>23</sup> Alternativ dazu besteht in TEK die Möglichkeit, die Hüllflächen auf Gebäude mit einem Flächenschätzverfahren „vereinfacht“ zu ermitteln.

<sup>24</sup> Auch die Zuweisung der Flächen zu Zonen könnte in TEK ebenfalls „vereinfacht“ erfolgen. Dann wäre allerdings die spezifische Hüllfläche aller Zonen gleich, was im Sinne der Parameterstudie für die Bewertungshilfe nicht zielführend wäre.

### Idealisierung der Orientierung der Fenster

Das Gebäude wird hinsichtlich der Orientierung der Fassadenflächen in der Parameterstudie idealisiert. Die Fassadenfläche der Zone wird auf alle vier vertikalen Orientierungen<sup>25</sup> gleichmäßig verteilt. Jede Orientierung erhält ein Viertel der Fassadenfläche der Zone und auch den gleichen Fensterflächenanteil. Gleichzeitig wird mit dieser Verteilung ein „mittlerer“ Fall für die Größe der solaren Gewinne erzeugt.

### 3.2.5.2 U-Werte der Fenster

Die Bestimmung des U-Wertes eines Fensters ist von vielen technischen Parametern abhängig. Bei der Aufnahme eines Bestandsgebäudes sind Aussagen insbesondere zur Beschaffenheit des Rahmenprofils, der Füllung des Scheibenzwischenraumes und der Beschichtung der Verglasung mit Unsicherheit behaftet. Weil auch die geometrischen Randbedingungen (Rahmenanteil) Einfluss auf die Größe des U-Wertes haben, ist bei einer detaillierten Gebäudeaufnahme der U-Wert jedes<sup>26</sup> Fensters rechnerisch zu bestimmen. Im Rahmen einer Grobanalyse wird hingegen eine Klassifizierung der U-Werte vorgenommen. Die Parametersätze der Fenster sollen möglichst gut einem bestimmten Fenstertyp zugeordnet werden können. Dabei wurde darauf geachtet, dass U-Werte und die Werte für  $g_{\text{senk}}$  und  $g_{\text{tot}}$  miteinander korrespondieren. Der U-Wert der höchsten Klasse wurde bewusst kleiner gewählt als für einfach verglaste Fenster<sup>27</sup> zu erwarten. In der Mehrzahl praktischer Fälle<sup>28</sup> mit energetisch besonders schlechten Fenstern werden Randbedingungen vorliegen, die dem – gegenüber einfach verglasten Fenstern als etwas vermindert – angenommenen U-Wert entsprechen. Tabelle 9 enthält die Zuordnung von Fenstertypen zu den in der Parameterstudie angesetzten Parametern für U-Wert und g-Werte der Fenster.

**Tabelle 9: Zuordnung der Parametersätze aus U-Wert und g-Werten zu Fenstertypen**

Fenstertyp	U-Wert Fenster	g-Werte <sup>29</sup>
Wärmeschutzverglasung 3-fach	0,9	0,5
Wärmeschutzverglasung 2-fach	1,4	0,6
(frühe) Wärmeschutzverglasung, Alurahmen	2,0	0,63
Isolierverglasung, Kastenfenster	2,8	0,76
Einfachverglasung (anteilig)	3,7	0,87

Die Zuordnung der Fenstertypen ist nicht starr zu verstehen. Vielmehr geht es in der praktischen Anwendung darum, die U-Werte der vorgefundenen Fenster einer der Ausprägungen des U-Wertes Fenster in der Bewertungshilfe zuzuordnen. Einen Überblick über die U-Werte für Rahmen und Verglasung von Fenstern nach Baualter (von 1971 bis heute) enthält beispielsweise [VFF2011].

### 3.2.5.3 U-Werte der opaken Bauteile

Die Bandbreite praktisch vorkommender U-Werte für opake Hüllbauteile geht von 0,1 bis etwa 3 W/m<sup>2</sup>K. Die opaken Hüllbauteile nehmen weiterhin den größten Anteil an der Hüllfläche ein. Das zeigt, dass diese U-Werte einen enormen Einfluss auf den Endenergiekennwert für Heizung haben und somit in der Bewertungshilfe sorgfältig zu wählen sind.

Die Größe des U-Wertes eines opaken Bauteils wird am stärksten vom Wärmedurchlasswiderstand<sup>30</sup> der Wärmedämmung beeinflusst. Während die Dämmschichtdicke im Bestand für Fassadenbauteile in vielen

<sup>25</sup> In TEK können für Fenster die vier Orientierungen Nord, Ost, Süd und West vorgegeben werden. Die Außenwände werden dort generell richtungsunabhängig angesetzt.

<sup>26</sup> auch bei technisch identischem Aufbau für jede einzelne Fenstergeometrie

<sup>27</sup> U-Werte für einfach verglaste Fenster werden üblicherweise mit 4,5 ... 5 W/m<sup>2</sup>K angegeben.

<sup>28</sup> kleine Fenstergeometrie, teilweise Zweischiebenverglasung (Verbund-, Kastenfenster)

<sup>29</sup>  $g_{\text{senk}}$  und  $g_{\text{tot}}$  wurden für je Fenstertyp gleich gesetzt

Fällen noch näherungsweise zu bestimmen sein wird, ist dies bei horizontalen Bauteilen deutlich schwerer. Die U-Werte der einzelnen Bauteile sind folglich mit mehr oder minder großer Unsicherheit behaftet. Hinzu kommt noch die Unschärfe bei der Zuordnung der Flächen der opaken Hüllbauteile zu einer Zone.

Zwei grundsätzliche Möglichkeiten stehen für die Berücksichtigung der U-Werte in der Parameterstudie zur Verfügung. Einerseits könnten U-Werte und Flächen der einzelnen opaken Bauteile (Dach, Außenwand, Fußboden etc.) separat angegeben werden, wie das im Rahmen von Energiebilanzen vorgesehen ist. Andererseits kann auch ein flächengewichteter Mittelwert der U-Werte angesetzt werden. Die separate Angabe und damit Variation von U-Werten und Flächen der einzelnen opaken Bauteile hätte den zeitlichen Umfang der Berechnung<sup>31</sup> der Parameterstudie zu stark ansteigen lassen. Er wurde also die zweite Möglichkeit gewählt und ein flächengewichteter U-Wert für alle opaken Bauteile der Zone angegeben. In Abschnitt 3.2.2 wurde bereits die geometrische Abbildung der Hüllbauteile einer Zone in der Bewertungshilfe erläutert. Demnach sind den Zonen in der Parameterstudie je nach Geometrievariante konkrete Hüllflächen zugewiesen, deren Größe näherungsweise durch die Hüllflächenexposition<sup>32</sup> beschrieben wird. Für alle opaken Bauteile der Zone variiert der flächengewichtete U-Wert der opaken Bauteile in fünf Stufen. Die Bandbreite der U-Werte wurde in der Parameterstudie mit 0,15 ... 2 W/m<sup>2</sup>K kleiner angesetzt als oben für die U-Werte der Einzelbauteile angegeben. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass besonders kleine bzw. große U-Werte häufig nur bei einzelnen opaken Bauteilen vorkommen und durch die Flächengewichtung relativiert werden.

Die Exposition der Hüllbauteile (z.B. gegen Außenluft oder unbeheizten Keller) ist bereits im Parameter „Hüllbauteileexposition“ enthalten. Das heißt, dass der Einfluss der Temperaturkorrekturfaktoren  $f_x$  dort bereits enthalten ist und folgerichtig bei der Flächengewichtung  $U_{gew} = \sum_i (U_i \cdot A_i) / \sum_i A_i$  nicht berücksichtigt wird. Werden bei der Anwendung der Bewertungshilfe die U-Werte und Flächen der opaken Hüllbauteile der Zone ermittelt/abgeschätzt, so kann für die Angabe eines flächengewichteten U-Wertes das Augenmerk also voll auf die Flächengewichtung gelegt werden. Auf die Angabe typischer Konstellationen opaker Bauteile hinsichtlich Konstruktion/Wärmedämmung und Flächenanteile im Hinblick auf die in der Parameterstudie angesetzten U-Werte wird hier verzichtet.

Gestaltet sich die Ermittlung des U-Wertes eines einzelnen Hüllbauteiles schwierig, so können die Angaben in „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ [BMVBS2009] Anhaltswerte liefern. Ergänzend dazu sind in [BBSR2011] typisierte Bauteilaufbauten enthalten, die die Pauschalwerte aus der eben erwähnten Bekanntmachung präzisieren.

Wärmebrückeneffekte werden nicht beim Parameter „U-Werte der opaken Bauteile“ berücksichtigt. Sie werden als Gebäudeeigenschaft in der Bewertungshilfe unter „Luftdichtheit und Wärmebrücken“ erfasst (s. dazu Abschnitt 3.2.3).

#### 3.2.5.4 Raumtemperatur zur Nutzungszeit

Schließlich soll mit dem letzten Parameter noch ein Nutzungsparameter in die Bewertungshilfe aufgenommen werden. Die Aufnahme der „Raumtemperatur zur Nutzungszeit“ erschien notwendig, da der Heizenergieverbrauch deutlich von der Raumtemperatur<sup>33</sup> abhängt. Mit der Aufnahme dieses Parameters wird aber auch das Prinzip verletzt, die Zonen durch die gebäudebezogenen<sup>34</sup> Parameter – unter Ansatz klassifizierter

<sup>30</sup> Hierauf hat die Dämmschichtdicke in Bestandsgebäuden größeren Einfluss als die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs. Durch die Entwicklung verbesserter Dämmstoffe hat in den letzten Jahren der Einfluss der Wärmeleitfähigkeit zugenommen. Das heißt, dass zur Erreichung eines bestimmten U-Wertes tendenziell kleinere Dämmschichtdicken benötigt werden.

<sup>31</sup> Die Rechenzeit für die 108000 Varianten eines Nutzungsprofils lag bei etwa 30 Stunden. Jeder weitere energetische Parameter in 3 bis 5 Ausprägungen hätte die Rechenzeit entsprechend jeweils um den Faktor 3 bis 5 verlängert.

<sup>32</sup> Bei der praktischen Anwendung der Bewertungshilfe werden die Flächen der einzelnen Hüllbauteile nicht ermittelt sondern die Hüllflächenexposition der Zone bestimmt.

<sup>33</sup> Die Bezeichnung im Rahmen der Bilanzierung ist Raumsolltemperatur und beschreibt die vom Heizsystem während der Nutzungszeit sicherzustellende Temperatur. Hier wird mit Blick auf die Anwendung der Bewertungshilfe der Begriff Raumtemperatur verwendet, da die vorherrschende und eben nicht eine auf die Nutzung normierte Temperatur berücksichtigt werden soll.

<sup>34</sup> Geometrie, Gebäudeeigenschaften, anlagentechnische und bauliche Parameter

Objekt-TEK – energetisch zu bewerten und die Nutzungsparameter gegenüber den Annahmen zur Berechnung der Referenz-TEK unverändert anzusetzen. Der Konflikt des Für und Wider der Aufnahme eines Nutzungsparameters in die Bewertungshilfe ist in den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens der Verbrauchsstrukturanalyse (s. Abschnitt 2.2) begründet. Wird die VSA genutzt, um den Energieverbrauch eines Gebäudes möglichst gut nachzubilden, dann ist die Aufnahme der Raumtemperatur durchaus sinnvoll<sup>35</sup>. Steht allerdings die Ermittlung des strategischen Einsparpotentials des Gebäudes im Vordergrund, können fehlerhafte Potentiale ausgewiesen werden, wenn aufgrund der in der Bewertungshilfe angesetzten, deutlich von den Referenzannahmen abweichenden Temperaturen andere Energieaufwandsklassen gewählt werden als bei Temperaturen nahe am Referenzfall.

---

<sup>35</sup> Durch die Wahl einer Raumtemperatur im Bereich von 19 ... 23 °C ändert sich die vorgeschlagene Energieaufwandsklasse um etwa eine halbe Klasse.

**Abbildung 3: Parameterstudie zur Bewertungshilfe Heizung – Ausprägungen der an das TEK-Tool übergebenen, energetisch relevanten Parameter; Geometriedaten aus Typ 5000|4\_1**

<u>Geometrievariante</u>		5000 8	5000 8_3	5000 8_1
		5000 4	5000 4_2	5000 4_1

<u>Gebäudeeigenschaften</u>				
Luftdichtheit	Passivhausanforderung erfüllt	Neubau mit Dichtheitstest ohne raumluftechnische Anlage	Neubau ohne Dichtheitstest	Bestehendes Gebäude ohne Dichtheitstest
	Passivhausanforderung erfüllt	gering (DIN 4108 Beiblatt 2)	mittel	offensichtliche WB
Wärmebrücken				

<u>Wärmeerzeuger</u>				
		Brennwertkessel verbessert (Gas, Heizöl)	Niedertemperaturkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	Konstanttemperaturkessel vor 1978 (Gas; Heizöl)

<u>Heizungsverteilung und -betrieb</u>		ab 1995	ab 1995	bis 1979	bis 1979
Baualter Verteilung (Dämmstandard)		ab 1995	ab 1995	bis 1979	bis 1979
Lage horizontale Verteilung ab Erzeuger		beheizter Bereich	unbeheizter Bereich	unbeheizter Bereich	unbeheizter Bereich
Heizungsbetrieb Nachts		Abschaltung	reduziert	reduziert	durchgehend
Heizungsbetrieb Wochenende		Abschaltung	reduziert	reduziert	durchgehend

<u>Fensterflächenanteil</u>		10%	30%	50%
Flächen in den TEK-Tabellenblättern				
Außenwand in 2.4				
1u1a		84	66	47
1u2a		101	79	56
2u2a		1334	1037	741
1u4a		1520	1182	844 <i>wird in TEK berechnet, nicht übergeben</i>
Fensterfläche je Orientierung in 2.4				
1u1a		2	7	12
1u2a		3	8	14
2u2a		37	111	185
1u4a		42	127	211 <i>wird in TEK berechnet, nicht übergeben</i>
Außenwand in 2.2				
ges		3039	2364	1688
Fensterfläche je Orientierung in 2.2				
FE_Süd		84	253	422
FE_Ost		84	253	422
FE_West		84	253	422
FE_Nord		84	253	422

<u>U-Werte Fenster</u>		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Fenster je Orientierung in 2.2 und 2.4						
U-Werte		0,9	1,4	2	2,8	3,7
g_senk = g_tot		0,5	0,6	0,63	0,76	0,87

<u>U-Werte</u>					
opake Bauteile in 2.2 und 2.4 (Dach, AW, Fußboden)		0,15	0,3	0,6	1,2
					2

<u>Temperaturen Heizfall</u>					
alle Zonen		17	19	21	23
					25

### 3.2.6 Weitere Annahmen und Randbedingungen

Neben den bisher vorgestellten Parametern gehen zur Berechnung der Endenergiekennwerte Heizung weitere Größen ein, die für alle Varianten unverändert angesetzt werden. Im TEK-Tool wird das idealisierte

Gebäude nur in dem Umfang abgebildet, der zur Beschreibung des Gewerks Heizung notwendig ist. Dazu gehört neben den Angaben zu Gebäude, Wärmeerzeugung und Zonen auch eine Beleuchtungsanlage<sup>36</sup>.

#### Berechnungseinstellungen

In TEK können drei Berechnungseinstellungen für das Gesamtgebäude gewählt werden, die den Ansatz von Randbedingungen nach DIN V 18599 oder nach vor Ort erhobenen „objektspezifischen“ Randbedingungen festlegen. Für Nutzungszeiten und internen Wärmequellen wurde festgelegt, dass die Parameter nach DIN V 18599 angesetzt werden. Für die Raumsolltemperatur wurde „objektspezifisch“ gewählt.

#### Weitere Angaben auf Gebäudeebene

Die Bauschwere als Gebäudeeigenschaft wird nicht variiert. Es wird die für die Mehrzahl der Nichtwohngebäude wahrscheinlichste Ausprägung „mittelschwer“ angesetzt. Im TEK-Tool werden weiterhin auf Gebäudeebene Angaben zur Verschattung gemacht. Die Horizontalverschattung der Fassade wird beschrieben mit „gering (10 bis 19°)“, die Überhangverschattung mit „keine (bis 9°)“. Sonnenschutz- bzw. Blendschutzeinrichtungen wurden nicht definiert.

#### Weitere Angaben auf Zonenebene

Durch die Notwendigkeit, jeder Zone eine Beleuchtungsanlage zuzuweisen, wird es erforderlich, die Fenstergeometrie der Zonen zu beschreiben. Für alle Zonen wurden als lichte Raumhöhe 3 m, als mittlere Fensterhöhe 1,7 m und als mittlere Sturzhöhe 2,7 m angenommen. Die Wärmeübergabe an den Raum wird in TEK durch die Wahl des Raumheizsystems – hier in allen Zonen durch „Heizkörper“ – beschrieben.

#### Hüllflächen und Temperaturkorrekturfaktoren

Die meisten Angaben zu den Hüllflächen sind abhängig vom Fensterflächenanteil (s. Abschnitt 3.2.5.1). Die Temperaturkorrekturfaktoren für den Fußboden mit 0,5 und die oberste Geschossdecke mit 0,8 werden in allen Berechnungsvarianten gleich angesetzt.

#### Wärmeerzeugung

Für die oben beschriebenen Kesselvarianten wird der Brennstoff „Erdgas H“ mit 100% Deckungsanteil angesetzt. Die Pumpen werden hinsichtlich der Laufzeit und Leistung als nicht geregelt angenommen.

#### Beleuchtungsanlage

Die abgebildete Beleuchtungsanlage verfügt über Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten. Die installierte Leistung liegt bei 12,3 W/m<sup>2</sup>. Das System ist manuell gesteuert und wird in TEK nach dem objektspezifischen Berechnungsmodus berücksichtigt.

### **3.3 Regressionsanalyse und Einbettung der Bewertungshilfe Heizung in das Excel-Werkzeug**

Die Variantenberechnung und die anschließende Regressionsanalyse haben zum Ziel, für die Bewertungshilfe eine Schätzgleichung zur Verfügung zu stellen, anhand derer – unter Angabe konkreter Ausprägungen der oben beschriebenen Parameter – eine Energieaufwandsklasse für das Gewerk Heizung auf Zonenebene abgeschätzt werden kann. Die hierfür erforderlichen Berechnungen teilen sich in zwei Abschnitte. Die Variantenberechnung zur Ermittlung der Endenergiekennwerte Heizung wird mit dem TEK-Tool in Excel ausgeführt. Die anschließende Regressionsanalyse zur Schätzung der Regressionskoeffizienten ( $\beta$ -Faktoren) und damit zur Bestimmung der Schätzgleichung geschieht unter Verwendung von MATLAB.

Mit der – in die Bewertungshilfe implementierten – Schätzgleichung wird also geschätzt, wie groß die in TEK ermittelte Energieaufwandsklasse bei den gewählten Ausprägungen wäre. Die Wahl einer Energieaufwandsklasse in der Verbrauchsstrukturanalyse auf Basis des Vorschlags der Bewertungshilfe birgt folglich eine – gegenüber der Kennwertberechnung in TEK – zusätzliche Unschärfe, die sich aus der Abweichung der

---

<sup>36</sup> Der Nutzwärmebedarf für Heizung wird im Algorithmus für die Wärmebilanz in TEK durch die Wärmeabgabe der Beleuchtungsanlage als unregelmäßige Wärmeeinträge der Zone geringfügig reduziert. Weitere unregelmäßige Wärmeeinträge, etwa durch Warmwasserverteilung oder Arbeitshilfen werden nicht berücksichtigt.

Energieaufwandsklasse zwischen VSA-Schätzgleichung und TEK-Berechnung ergibt. Die Abweichungen (Residuen) der Energieaufwandsklasse werden unten für alle Berechnungsvarianten angegeben.

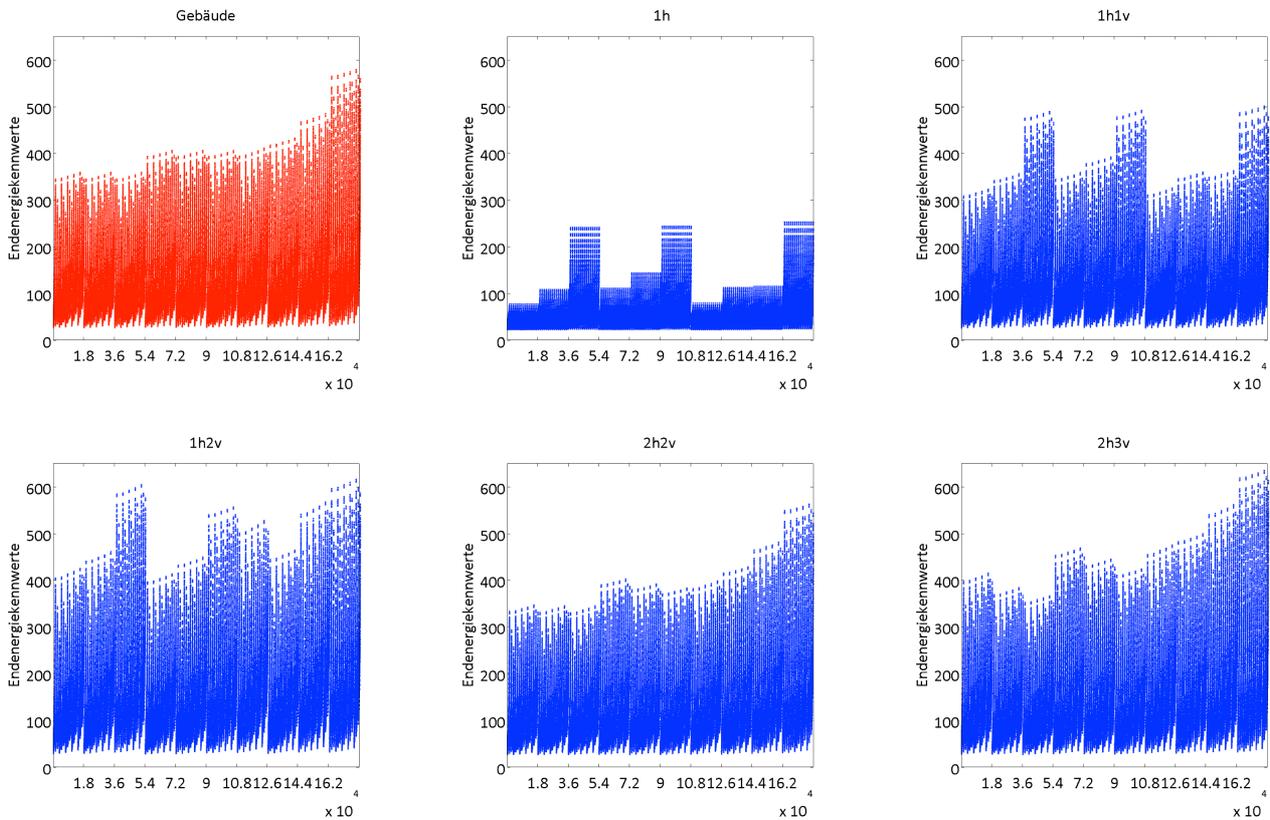
Die Variantenberechnung und anschließende Regressionsanalyse wurde gemeinsam für die drei Hauptnutzungsprofile „01 Einzelbüro“, „08 Klassenzimmer“ und „11 Hotelzimmer“ durchgeführt. Ziel war dabei, eine für alle Nutzungsprofile anwendbare Schätzgleichung zu finden. Die Ausweitung der Untersuchung auf weitere Nutzungsprofile wurde aufgrund der zeitlich aufwendigen Berechnungen nicht verfolgt. Die Übertragbarkeit auf andere Nutzungsprofile konnte somit nicht geprüft werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Gleichung näherungsweise auch bei den anderen Nutzungsprofilen anwendbar ist, da die baulichen und anlagentechnischen Parameter mit maßgeblichem Einfluss auf den Energiekennwert der Zone unverändert zum Ansatz kommen können. Einzig die Nutzungsparameter einschließlich etwaiger maßgeblicher Wärmequellen/-senken können die Größe des Energiekennwertes merklich ändern.

### 3.3.1 Variantenberechnung in TEK

Zur Variantenberechnung dient neben dem TEK-Tool noch eine weitere Excel-Datei, die das TEK-Tool mit Makros ansteuert. Zu Beginn der Prozedur übergibt diese Datei die Eigenschaften des Gebäudes und der Anlagen an das TEK-Tool, die für alle Berechnungsvarianten gleich sind. Anschließend startet eine Schleife, die die Ausprägungen der Parameter für die jeweilige Berechnungsvariante an das TEK-Tool übergibt. Die Schleife ist hierarchisch aufgebaut. In jeder Hierarchieebene werden die Ausprägungen eines Parameters variiert. Sind alle Parameter der aktuellen Berechnungsvariante an das TEK-Tool übergeben, stehen dort die Endenergiekennwerte Heizung für jede Zone und für das Gesamtgebäude zum Auslesen zur Verfügung.

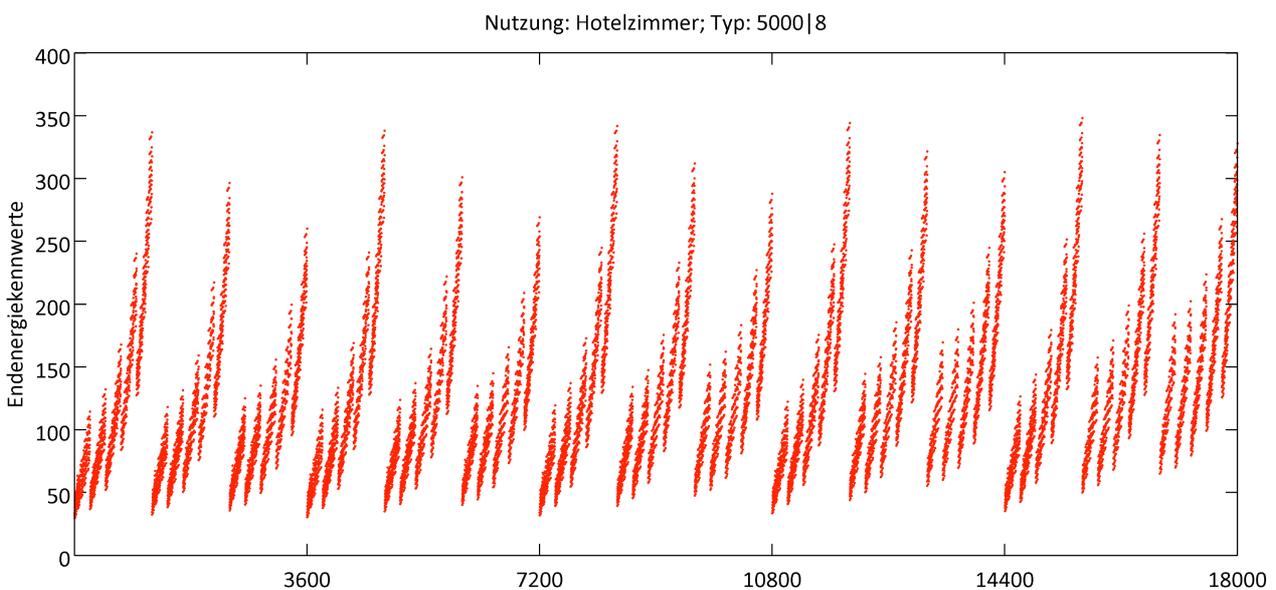
Die im TEK-Tool berechneten Endenergiekennwerte werden durch das Makro gemeinsam mit den Ausprägungen der Parameter in einer Ergebnismatrix abgelegt. Dabei werden die Ausprägungen in Ziffern umgeformt z.B. Brennwertkessel – 1, Niedertemperaturkessel – 2, Konstanttemperaturkessel – 3. So erhält die Ergebnismatrix die Gestalt einer reinen Datenmatrix. Eine Zeile der Ergebnismatrix enthält in den ersten Spalten die Endenergiekennwerte für Heizung des Gesamtgebäudes und aller fünf Zonen. In den folgenden Spalten sind die umgeformten Ausprägungen aller Parameter der Berechnungsvariante aufgeführt. Abbildung 4 enthält exemplarisch für das Nutzungsprofil Hotelzimmer die Endenergiekennwerte des Gesamtgebäudes und aller Zonen für alle 180000 Berechnungsvarianten.

**Abbildung 4: Endenergiekennwerte Heizung in kWh/m<sup>2</sup>a des Gesamtgebäudes und dessen 5 Zonen aus allen Berechnungsvarianten – Beispiel für das Nutzungsprofil Hotelzimmer**



Die Skalierung der Abszisse mit dem Vielfachen von 18000 dient zur Unterscheidung der 10 Geometrievarianten des Gebäudes. Ergänzend dazu zeigt Abbildung 5 einen Ausschnitt von Abbildung 4, der alle 18000 berechneten Endenergiekennwerte des Gesamtgebäudes für den Geometrietyp 5000|8 enthält.

**Abbildung 5: Endenergiekennwerte Heizung in kWh/m<sup>2</sup>a des Gesamtgebäudes aus 18000 Berechnungsvarianten – Beispiel für das Nutzungsprofil Hotelzimmer Gebäudetyp 5000|8**



### Prüfung der Parameterübergabe auf Plausibilität

Die oben dargestellten Kennwerte für das Gesamtgebäude sind zur Erstellung der Bewertungshilfe nicht relevant. Sie werden allein zur Plausibilitätsprüfung der an das TEK-Tool übergebenen Werte verwendet. Die Datenübergabe zwischen den Excel-Dateien zur Variantenberechnung wird als plausibel erachtet, wenn die Endenergiekennwerte des Gesamtgebäudes zwischen den Nebenvarianten eines Geometrietyps bei ansonsten gleichen Ausprägungen der weiteren Parameter übereinstimmen.

Die Berechnungsreihenfolge ist so angelegt, dass alle baulichen und anlagentechnischen Parameter für einen Geometrietyptyp variiert werden. Anschließend startet die Prozedur für die Nebenvarianten des Geometrietyps. Die Berechnungsreihenfolge (Variation der Parameterausprägungen) ist für jede Geometrievariante gleich. Vor dem Hintergrund, dass:

- die Größe der Hüllflächen in den Nebenvarianten eines Geometrietyps auf Gebäudeebene in Summe gleich bleibt
- jedoch die Größe der Hüllflächen in den Nebenvarianten eines Geometrietyps je Zone verschieden ist
- das Gebäude in allen Zonen die gleiche Nutzung aufweist,

sollte der Endenergiekennwert auf Gebäudeebene für einen Geometrietyptyp und seine Nebenvarianten für identische Parameterausprägungen gleich sein. Gleichwohl ergeben sich in den einzelnen Zonen aufgrund der in den Nebenvarianten variierenden Hüllflächenexposition abweichende Kennwerte.

Die Plausibilitätsprüfung hat ergeben, dass die Endenergiekennwerte des Gesamtgebäudes zwischen einem Geometrietyptyp und seinen Nebenvarianten bei sonst gleichen Ausprägungen<sup>37</sup> in der Mehrzahl der Fälle weniger als ein Promille abweichen. In keinem Fall ist die Abweichung größer als ein Prozent. Die größte absolute Abweichung der Kennwerte<sup>38</sup> lag bei weniger als 1 kWh/m<sup>2</sup>a. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Übergabe der Parameter an das TEK-Tool fehlerfrei funktioniert.

## 3.3.2 Regressionsanalyse

### 3.3.2.1 Vorarbeiten

Bevor die Regressionsanalyse durchgeführt werden kann, werden noch zwei Umformungen vorgenommen. Die in der Ergebnismatrix enthaltenen Endenergiekennwerte der Zonen sind in Energieaufwandsklassen umzuformen. Weiterhin sind die Ausprägungen der Geometrieparameter für die Zonen anzugeben.

#### Umformung der Endenergiekennwerte in Energieaufwandsklassen

Die in [TEK-Methodik2013] beschriebenen, rechnerisch in TEK ermittelten Referenzkennwerte bilden die Stützstellen einer Energieaufwandsklasse. Die Klassen werden als ganze Zahlen aufsteigend klassifiziert: „Sehr gering“ – 1, „Gering“ – 2, „Mittel“ – 3, „Hoch“ – 4 und „Sehr hoch“ – 5. Die zugehörigen Referenzkennwerte werden also in Ganzzahlen der Energieaufwandsklassen übersetzt. Die Energieaufwandsklasse des berechneten Endenergiekennwertes einer Zone (mit konkreten Ausprägungen der zu variierenden energetischen Parameter) kann durch lineare Interpolation zwischen dem nächst kleineren und dem nächst größeren Referenzkennwert als gebrochene Zahl<sup>39</sup> angegeben werden. Für berechnete Kennwerte, die kleiner sind als der Referenzkennwert „Sehr gering“, wird der funktionale Zusammenhang zwischen den Referenzkennwerten für „Sehr gering“ und „Gering“ und der Klassifizierung mit 1 und 2 extrapoliert. Der ermittelte Wert der Energieaufwandsklasse ist in solchen Fällen < 1. Analog wird bei berechneten Kennwerten vorgegangen, die größer sind als der Referenzkennwert für „Sehr hoch“. Die Extrapolation erfolgt für die Referenzkennwerte der Klassen „Hoch“ und „Sehr hoch“. Die Energieaufwandsklasse nimmt dann Werte > 5 an.

<sup>37</sup> der baulichen und anlagentechnischen Parameter

<sup>38</sup> Marginale Abweichungen – wie hier beschrieben – können sich beispielsweise daraus ergeben, dass durch die Geometrieänderung in den Nebenvarianten der mit Tageslicht versorgte Bereich eine andere Größe einnimmt. In der Folge ändern sich die Nutzungsdauer der Beleuchtungsanlage und so auch die nutzbaren Wärmeeinträge aus Beleuchtung.

<sup>39</sup> Beispiel: Für einen Endenergiekennwert, der genau zwischen den Referenzkennwerten der Klassen „Gering“ – 2 und „Mittel“ – 3 liegt, würde durch die lineare Interpolation eine Energieaufwandsklasse von 2,5 berechnet.

Im TEK-Verfahren ist eine Anpassung der Referenzkennwerte Heizung für Gebäude mit einer von 5000 m<sup>2</sup> abweichenden NGF vorgesehen. Diese Kennwertanpassung ist momentan auch im Verfahren der Verbrauchsstrukturanalyse umgesetzt. Die Anpassung des Referenzkennwertsatzes wird entsprechend der NGF der Geometrievariante vorgenommen.

#### Ausprägungen der Geometrieparameter der Zonen

In Abschnitt 3.2.2 wurde bereits das Geometriemodell dieser Parameterstudie erläutert. Die Hüllflächenexposition einer Zone soll demnach in der Bewertungshilfe anhand zweier Geometrieparameter beschrieben werden. Die Ausprägungen der Zonen bezüglich Anzahl der Geschosse und Anzahl der Hüllbauteile in der Bewertungshilfe enthält Tabelle 4. Die Umformung besteht darin, aus der Zonenbezeichnung die zwei Ausprägungen der Geometrieparameter zu bilden.

Die Anzahl der Hüllbauteile bleibt für eine Zone in allen Geometrievarianten gleich. Die Anzahl der Geschosse einer Zone ändert sich hingegen. Insbesondere für die „eingeschlossenen“ Zonen 1h, 1h1v und 1h2v variiert die Anzahl der Geschosse in den untersuchten Fällen stark (von 1 bis 6 Geschosse). Dennoch sind nicht alle Kombinationen der Ausprägungen der Geometrieparameter in der Untersuchung enthalten. Für die Zonen mit großer Anzahl an Hüllbauteilen 2h2v und 2h3v ist nur ein geringer Anteil der Berechnungsvarianten für den Fall, dass diese Zonen sich weniger als 4 Geschosse erstrecken, untersucht worden.

#### **3.3.2.2 Schätzgleichung für die Bewertungshilfe Heizung**

Mithilfe der Regressionsanalyse soll eine Schätzgleichung gefunden werden, anhand derer die Energieaufwandsklasse einer Zone für das Gewerk Heizung geschätzt wird. Die Gestalt dieser Gleichung wird bestimmt von der Skalierung (Skalentyp) der Parameter<sup>40</sup>. In der Parameterstudie zur Bewertungshilfe Heizung kommen ordinal und metrisch skalierte Parameterausprägungen vor.

Ordinal skalierte Parameterausprägungen sind qualitative Ausprägungen, die in einer Reihenfolge angeordnet werden können. Ein Beispiel aus der Bewertungshilfe ist der Parameter „Gebäudeeigenschaften“, der die Ausprägungen der Luftdichtheit und Wärmebrücken zusammenfasst. Die Ausprägungen sind zwar aufsteigend sortiert. Jedoch ist der Abstand zwischen den einzelnen Ausprägungen nicht exakt zu beschreiben. Ordinal skalierte Parameterausprägungen werden in der Schätzgleichung mit Dummy-Variablen abgebildet. Metrisch skalierte Parameterausprägungen können quantitativ beschrieben werden. Dementsprechend wird auch der Wert (Ausprägung des Parameters) in der Schätzgleichung angesetzt. Metrisch skalierte Parameterausprägungen besitzen darüber hinaus einen (theoretischen) Nullpunkt und eine Einheit bzw. Dimension. Beispiel hierfür sind die U-Werte. In der nachfolgenden Tabelle sind die Parameter und der zugehörige Skalentyp der Parameterausprägungen der Bewertungshilfe Heizung enthalten.

**Tabelle 10: Parameter der Bewertungshilfe Heizung und Skalentyp der Parameterausprägungen**

Bezeichnung des Parameters	Skalentyp der Parameterausprägung
Zone erstreckt sich über ... Geschosse	ordinal skaliert
Zone wird begrenzt durch ... Hüllbauteile	ordinal skaliert
Luftdichtheit und Wärmebrücken	ordinal skaliert
Wärmeerzeuger	ordinal skaliert
Heizungsverteilung und Heizbetrieb	ordinal skaliert
Fensterflächenanteil	metrisch skaliert
U-Werte Fenster	metrisch skaliert
U-Werte opak	metrisch skaliert
Raumtemperatur zur Nutzungszeit	metrisch skaliert

<sup>40</sup> In der Statistik wird von Merkmalen gesprochen und dementsprechend Merkmalsausprägungen untersucht. Hier werden dem ingenieurtechnischen Hintergrund der Analyse entsprechend die Begriffe Parameter und Parameterausprägungen synonym verwendet.

In die Bestimmung der Schätzgleichung sind die TEK-Variantenberechnungen der drei Hauptnutzungsprofile „01 Einzelbüro“, „08 Klassenzimmer“ und „11 Hotelzimmer“ eingegangen. Dabei wurden die berechneten Endenergiekennwerte jeweils auf Basis der für das Nutzungsprofil ermittelten Referenz-TEK in interpolierte Energieaufwandsklassen umgeformt. Die empirisch gefundene Schätzgleichung enthält neben dem Achsenabschnitt  $\beta_0$  noch 70 weitere  $\beta$ -Faktoren.

Einige Terme der Schätzgleichung beschreiben die Wirkung eines einzelnen Parameters. Weitere Parameter beschreiben das Zusammenwirken mehrerer Parameter. Das ist dann notwendig, wenn ein Sondereffekt auftritt, den es zu berücksichtigen gilt. Die U-Werte und Temperaturen weisen im Zusammenwirken mit dem Fensterflächenanteil je nach Parameterausprägungen ein unterschiedliches Verhalten auf. In der Mehrzahl der praktischen Fälle wird der U-Wert der Fenster deutlich größer sein als die U-Werte der opaken Bauteile. Dann trifft die intuitiv angenommene Aussage zu, dass mit steigendem Fensterflächenanteil der Endenergiekennwert der Zone zunehmen muss. Denkbar sind jedoch auch Fälle, bei denen der ungeämmte Originalzustand der opaken Bauteile noch vorzufinden ist, die Fenster allerdings schon ausgetauscht wurden. Hier gilt der Zusammenhang zwischen Fensterflächenanteil und Energiekennwert nicht mehr. Tatsächlich ist der Kennwert dann nahezu unabhängig vom Fensterflächenanteil oder sinkt sogar mit steigendem Fensterflächenanteil. Diesen Sondereffekt bildet die gefundene Schätzgleichung sehr gut nach.

$$\begin{aligned}
 EAK_{VSA,HZ} = & \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i^1 \cdot D_i^1 + \sum_{j=1}^2 \beta_j^2 \cdot D_j^2 + \sum_{k=1}^3 \beta_k^3 \cdot D_k^3 + \sum_{l=1}^4 \beta_l^4 \cdot D_l^4 + \sum_{m=1}^4 \beta_m^5 \cdot D_m^5 + \\
 & \left( \sum_{i=4}^6 \beta_i^1 \cdot D_{i-3}^1 + \sum_{j=3}^4 \beta_j^2 \cdot D_{j-2}^2 + \sum_{k=4}^6 \beta_k^3 \cdot D_{k-3}^3 + \sum_{l=5}^8 \beta_l^4 \cdot D_{l-4}^4 + \sum_{m=5}^8 \beta_m^5 \cdot D_{m-4}^5 \right) \cdot U_{win} \cdot f_{win} + \\
 & \left( \sum_{i=7}^9 \beta_i^1 \cdot D_{i-6}^1 + \sum_{j=5}^6 \beta_j^2 \cdot D_{j-4}^2 + \sum_{k=7}^9 \beta_k^3 \cdot D_{k-6}^3 + \sum_{l=9}^{12} \beta_l^4 \cdot D_{l-8}^4 + \sum_{m=9}^{12} \beta_m^5 \cdot D_{m-8}^5 \right) \cdot U_{opak} \cdot (1 - f_{win}) + \\
 & \left( \sum_{i=10}^{12} \beta_i^1 \cdot D_{i-9}^1 + \sum_{j=7}^8 \beta_j^2 \cdot D_{j-6}^2 + \sum_{k=10}^{12} \beta_k^3 \cdot D_{k-9}^3 + \sum_{l=13}^{16} \beta_l^4 \cdot D_{l-12}^4 + \sum_{m=13}^{16} \beta_m^5 \cdot D_{m-12}^5 \right) \cdot T_{in} + \\
 & \beta_{65} \cdot f_{win} + \beta_{66} \cdot U_{win} + \beta_{67} \cdot U_{opak} + \beta_{68} \cdot T_{in} + \beta_{69} \cdot U_{win} \cdot f_{win} + \beta_{70} \cdot U_{opak} \cdot (1 - f_{win}) + u
 \end{aligned}
 \tag{Gleichung 1}$$

mit

$EAK_{VSA,HZ}$  Energieaufwandsklasse der Verbrauchsstrukturanalyse für das Gewerk Heizung

$\beta_0$  Achsenabschnitt

$\beta_a^b$   $\beta$ -Faktoren

$D^1$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Luftdichtigkeit und Wärmebrücken

$D^2$  Dummy-Variable für die Ausprägungen des Wärmeerzeugers

$D^3$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Heizungsverteilung und des Heizbetriebes

$D^4$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Anzahl der Hüllbauteile

$D^5$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Anzahl der Geschosse, über die sich die Zone erstreckt

$U_{win}$  Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster in  $W/m^2K$

$U_{opak}$  Flächengewichteter Wärmedurchgangskoeffizient der opaken Bauteile in  $W/m^2K$

$F_{win}$  Fensterflächenanteil der Fassade in %

$T_{in}$  Raumtemperatur während der Nutzungszeit in  $^{\circ}C$

$u$  Störterm

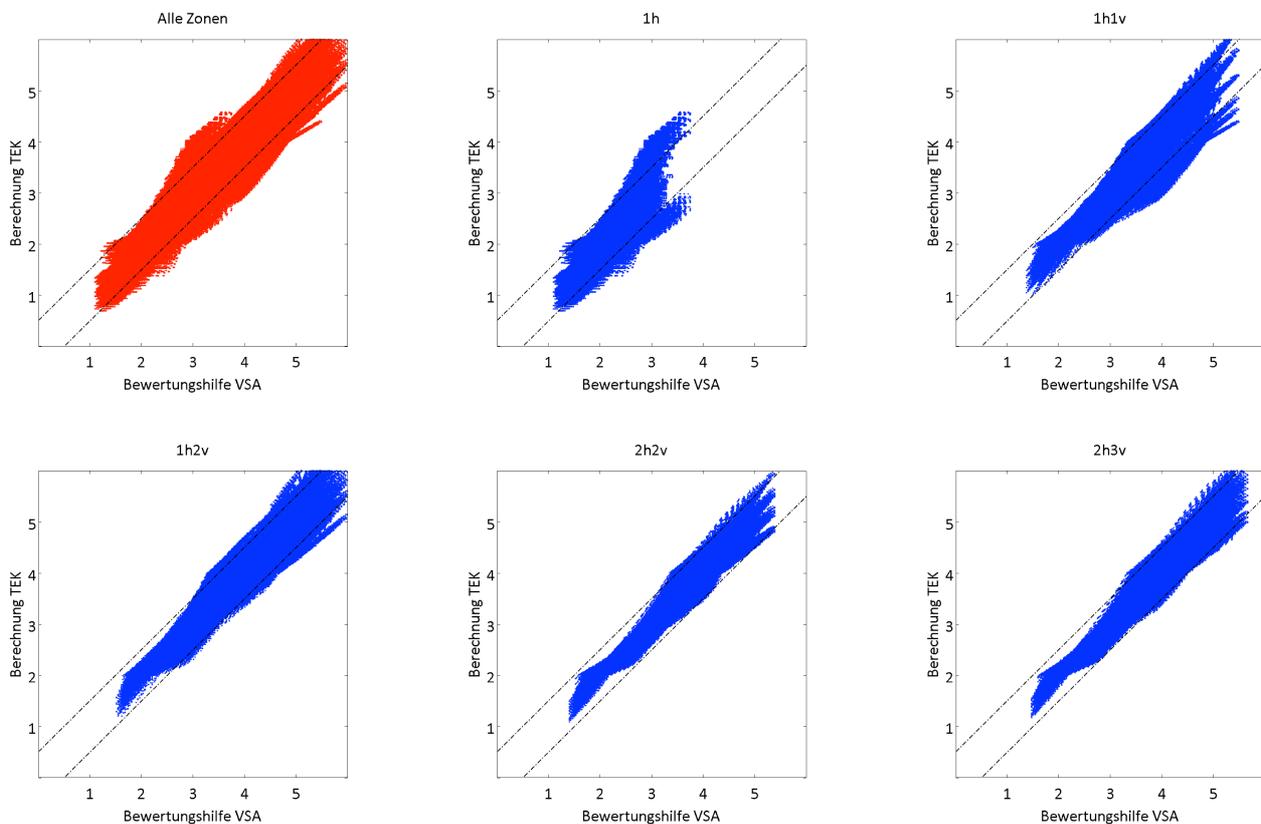
### 3.3.2.3 Abweichungen zwischen TEK-Berechnung und VSA-Schätzgleichung

Die Energieaufwandsklassen der Variantenberechnung der drei Hauptnutzungsprofile „01 Einzelbüro“, „08 Klassenzimmer“ und „11 Hotelzimmer“ werden einer gemeinsamen Regressionsanalyse unterzogen. Dabei werden bei der Umformung der Energiekennwerte in Energieaufwandsklassen die Referenz-Teilenergiekennwerte (Referenz-TEK) für die entsprechende Nutzung und die vorhandene NGF des untersuchten Gebäudes angesetzt. Zur Beurteilung der Qualität des Vorschlags einer Energieaufwandsklasse durch die Bewertungshilfe werden die Abweichungen zwischen TEK und VSA betrachtet. Hier wird die Abweichung (Residuum) der VSA-Bewertungshilfe bezogen auf die TEK-Berechnung dargestellt.

In Abbildung 6 sind die Abweichungen für alle 2,7 Mio. Varianten dargestellt. Links oben sind die Ergebnisse aller Zonen überlagert und durch rote Punkte dargestellt. Darauf folgen die Ergebnisse der einzelnen Zonen in blauen Punkten. Die Skalierung von Abszisse und Ordinate ist gleich, sodass die Ergebnisse mit genauer Übereinstimmung zwischen VSA-Schätzung und TEK-Berechnung auf der 45°-Geraden durch den Nullpunkt liegen. Die dargestellten Strich-Punkt-Linien verlaufen parallel dazu und zeigen die Abweichung der VSA-Schätzung von der TEK-Berechnung um eine halbe Klasse.

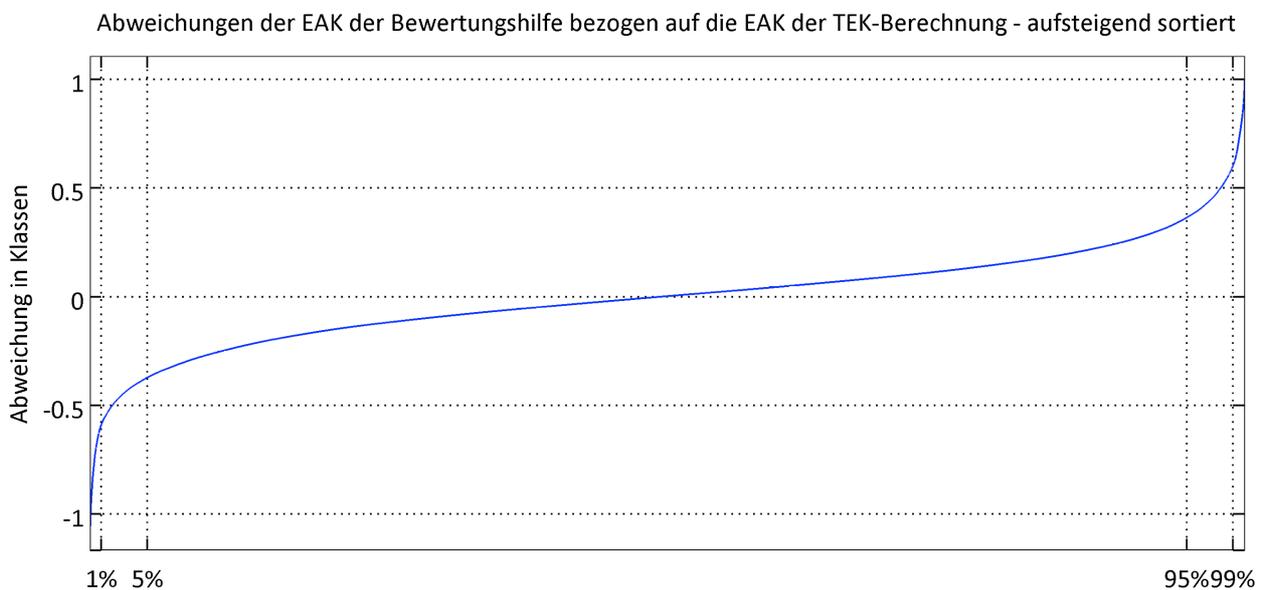
Die Übereinstimmung zwischen VSA und TEK ist insgesamt als gut zu bezeichnen. Bei ca. 96% der Berechnungsvarianten beträgt die Abweichung weniger als eine halbe Klasse. Die größten Abweichungen kommen bei Zone 1h vor. Solche Zonen mit sehr geringen spezifischen Hüllflächen weisen jedoch generell verhältnismäßig geringe EAK auf und nehmen zudem häufig einen geringen Anteil an der NGF des Gebäudes ein. Damit sind auch die Auswirkungen der etwas stärkeren Abweichungen in 1h-Zonen auf den Endenergiebedarf auf Gebäudeebene begrenzt. Die Abweichung wird vermutlich wesentlich durch die Beschreibung der Hüllflächenexposition in der Regressionsanalyse bestimmt. Hier sollten weitere Untersuchungen vorgenommen werden, in denen eine getrennte Darstellung von horizontalen und vertikalen Bauteilen in separaten Parametern erfolgt.

**Abbildung 6: Abweichung zwischen der in TEK berechneten und der in der VSA-Bewertungshilfe abgeschätzten Energieaufwandsklasse**

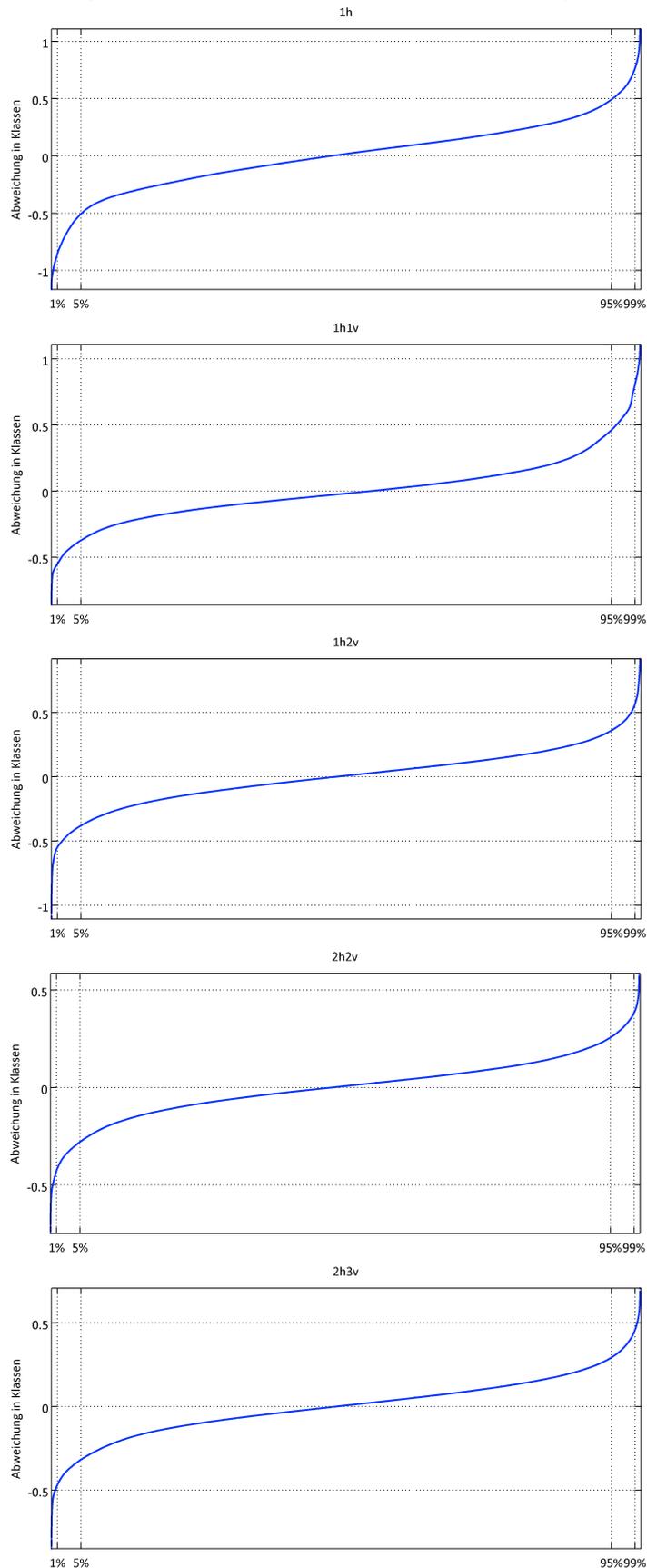


Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Verteilung der Abweichungen in den EAK „Sehr gering“ bis „Mittel“ nur für einen sehr geringen Anteil der Berechnungsvarianten mehr als halbe Klasse beträgt (Ausnahme Zone 1h). In höheren Klassen kommen etwas häufiger Abweichungen von mehr als einer halben Klasse vor. Abbildung 6 kann nicht detailliert entnommen werden, wie häufig größere Abweichungen tatsächlich vorkommen. Es liegen zu viele Berechnungsergebnisse und damit zu viele Datenpunkte im Diagramm vor, um noch einen Eindruck von der Dichteverteilung der Ergebnisse zu bekommen. Deshalb werden die Abweichungen (Residuen) in Abbildung 7 sortiert zunächst für alle Zonen gemeinsam dargestellt. Abbildung 8 enthält dann die sortierten Abweichungen getrennt nach Zonen. Die Ordinate ist in beiden Abbildungen so skaliert, dass immer das Spektrum von der größten Abweichung nach unten hin zur größten Abweichung nach oben reicht. Auf der Abszisse sind Prozentangaben für den Anteil der Berechnungsfälle angegeben. Auf diese Weise kann Abbildung 7 beispielsweise entnommen werden, dass für jeweils etwa 2% der Berechnungsvarianten die von der Bewertungshilfe vorgeschlagene EAK um mehr als eine halbe Klasse von der TEK-Berechnung abweicht.

**Abbildung 7: Abweichungen (Residuen) aller Berechnungsvarianten der untersuchten Hauptnutzungsprofile „01 Einzelbüro“, „08 Klassenzimmer“ und „11 Hotelzimmer“**



**Abbildung 8: Aufsteigend sortierte Abweichungen der EAK der Bewertungshilfe Heizung bezogen auf die TEK-Berechnung nach Zonen für alle drei untersuchten Hauptnutzungsprofile**



## 3.4 Bewertungshilfe Beleuchtung

### 3.4.1 Parameter mit Einfluss auf den Endenergiekennwert

Bei der Erstellung der Bewertungshilfe Beleuchtung wurde ganz ähnlich vorgegangen wie bei der Bewertungshilfe Heizung. Auch hier werden Varianten mit dem TEK-Tool berechnet, die anschließend einer Regressionsanalyse unterzogen werden. Das Ergebnis unterscheidet sich von der Bewertungshilfe Heizung dadurch, dass beim Gewerk Beleuchtung keine für alle Nutzungsprofile geltende Regressionsgleichung angegeben wird.

Die in der Bewertungshilfe enthaltenen Parameter zur Bewertung des Gewerks Beleuchtung lassen sich gliedern in Parameter der Beleuchtungsanlage und geometrische Parameter. Nutzungsparameter bzw. -randbedingungen werden nicht diskutiert. Die Nutzungsprofile unterscheiden sich hinsichtlich dieser Parameter und Randbedingungen sehr stark. Aufgrund dieser Unterschiede war die Angabe einer für alle Profile geltenden Regressionsgleichung unmöglich. Diese Einflussgrößen wurden folglich aus den Parametervariationen herausgenommen. Stattdessen wurde für die wichtigsten Profile eine separate Regressionsanalyse vorgenommen.

Die Parameter werden in der Bewertungshilfe wie folgt kategorisiert:

- Parameter der Beleuchtungsanlage
  - Präsenzmelder (Vorhandensein)
  - Steuerung
  - Lampenart
  - Beleuchtungsart
- Geometrische Parameter
  - Raumgeometrie (Tageslichtsituation)
  - Horizontalverschattung
  - Überhangverschattung

Für die Parameterstudie zum Gewerk Beleuchtung ist es nicht notwendig, im TEK-Tool ein vollständiges Gebäudemodell zu hinterlegen. Wird jeder Zone ein Nutzungsprofil zugewiesen und werden darüber hinaus Angaben zur Raumgeometrie (auf Zonenebene) und zur Verschattungssituation (auf Gebäudeebene) gemacht, ist das TEK-Tool in der Lage, nach Beschreibung der Parameterausprägungen der Beleuchtungsanlage einen Endenergiekennwert für Beleuchtung je Zone zu berechnen. Da jeder Zone eine separate Anlage zugewiesen wird, ist der Zonenkennwert gleichzeitig der Anlagenkennwert.

### 3.4.2 Parameter der Beleuchtungsanlage

#### 3.4.2.1 Präsenzmelder und Steuerung

Der Einsatz von Präsenzmeldern und die tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtungsanlage haben gemein, dass der Kunstlicheinsatz während der Nutzungszeit mit Tageslicht verringert werden soll. Die Wirkung des Präsenzmelders wird im Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4 beschrieben, indem die relative Abwesenheit (Zeitraum während der Nutzungszeit, in der das Kunstlicht abgeschaltet ist) durch Ansatz eines Korrekturfaktors angepasst wird. Nach dem Algorithmus der Norm ist die relative Abwesenheit eines Nutzungsprofils nach DIN V 18599 bei Vorhandensein eines Präsenzmelders fast vollständig wirksam. Ist kein Präsenzmelder vorhanden, halbiert sich der Zeitraum der relativen Abwesenheit rechnerisch. Die quantitative Wirkung eines Präsenzmelders ist also von der im Nutzungsprofil festgelegten relativen Abwesenheit abhängig.

Die tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtungsanlage wird nur in dem Teil der Nutzungszeit wirksam, der eine Tageslichtversorgung zulässt. Weiterhin wirkt die Steuerung ausschließlich im tageslichtversorgten Bereich. Das Tabellenverfahren unterscheidet Steuerungen, die „Ein/Aus“-Schaltungen ermöglichen (in der Bewertungshilfe „manuell“) von solchen, die den Kunstlicheinsatz mehrstufig und/oder durch Dimmen reduzieren. Dabei wird nochmals unterschieden in Systeme, bei denen die künstliche Beleuchtung nicht

gänzlich ausgeschaltet wird (in der Bewertungshilfe „dimmend absenkend“) und Systeme, bei denen bei ausreichend Tageslicht die künstliche Beleuchtung auch ausgeschaltet werden kann (in der Bewertungshilfe „dimmend ausschaltend“). Wie stark die Wirkung der Steuerung auf den Endenergiebedarf für Beleuchtung ist, hängt davon ab, wie groß der Anteil der Nutzungszeit mit Tageslicht ist und davon, wie groß der tageslichtversorgte Bereich in Abhängigkeit von den geometrischen Parameterausprägungen ist.

### 3.4.2.2 Lampenart

Mit der Angabe der Lampenart wird in DIN V 18599-4 die spezifische elektrische Bewertungsleistung angepasst. In der Norm ist als Ausgangspunkt der Bewertung eine Leuchtstofflampe mit EVG angenommen. Der Anpassungsfaktor beschreibt den zusätzlichen bzw. verminderten Einsatz elektrischer Energie bei abweichender Lampenart. Von den 13 in der Norm aufgeführten Lampenarten sind in der Parameterstudie 8 Arten untersucht worden. Lampenarten mit ähnlichen Anpassungsfaktoren sind gruppiert<sup>41</sup> worden, so dass in der Bewertungshilfe 5 Ausprägungen für die Lampenart nach enthalten sind. Durch die Gruppierung wird die Lampenart zu einem ordinal skalierten Parameter.

**Tabelle 11: In der Bewertungshilfe Beleuchtung enthaltene Parameterausprägungen für die Lampenart**

Nummer der Ausprägung	Lampenart
1	Metallhalogendampf EVG; Natriumdampf KVG
2	Leuchtstofflampe, stabförmig, EVG; Metallhalogendampf KVG
3	Leuchtstofflampe, stabförmig, EVG
4	Leuchtstofflampe, kompakt, externes VVG
5	Leuchtstofflampe, kompakt, integriertes EVG; Quecksilberdampf

Glühlampen und Halogenleuchtstofflampen sind nicht in die Untersuchung mit aufgenommen worden. Sie sind einerseits als alleinige bzw. häufigste Lampenart einer Zone nur selten vorzufinden. Andererseits führt ein solches Vorkommen fast ausnahmslos zur Energieaufwandsklasse „Sehr hoch“.

### 3.4.2.3 Beleuchtungsart

Die Beleuchtungsart, die in der Norm nach „direkt“, „direkt/indirekt“ und „indirekt“ unterschieden wird, geht als Eingangsgröße rechnerisch mehrfach in den Energiekennwert ein. Zunächst wird der Basiswert der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung nach der Ausprägung der Beleuchtungsart festgelegt. Anschließend wird diese Beleuchtungsleistung von der Beleuchtungsart im Zusammenwirken mit der Raumauslegung und der Raumwirkung angepasst. Hierbei gehen die Ausprägungen der Raumgeometrie und der Höhe der Nutzebene (entsprechend dem Nutzungsprofil) ein. Näheres dazu in [DIN V 18599-4\_2007].

## 3.4.3 Geometrische Parameter

### 3.4.3.1 Raumgeometrie (Tageslichtsituation)

Der mit Raumgeometrie (Tageslichtsituation) beschriebene Parameter in der Bewertungshilfe ist kein einzelner Parameter sondern vielmehr eine Bündelung der zur Ermittlung des rechnerisch nutzbaren Tageslichtes erforderlichen Einflussgrößen. Im Einzelnen sind diese Größen:

- Raumhöhe
- Sturzhöhe
- Fensterhöhe
- Raumbreite
- Raumtiefe.

<sup>41</sup> siehe dazu Abschnitt 3.5.2.1

Das Tabellenverfahren in DIN V 18599 sieht die Berücksichtigung der Raumgeometrie durch den sogenannten Raumindex vor. Hierfür sind Angaben zu Raumbreite und Raumtiefe erforderlich. Diese Größen können im TEK-Tool allerdings nicht direkt eingegeben werden. Anhand der Flächenangaben (Zonen-, Fassaden- und Fensterfläche) können Raumbreite und -tiefe indirekt gewählt und damit im Sinne der Parameterstudie auch variiert werden.

### 3.4.3.2 Horizontal- und Überhangverschattung

Die Angaben Horizontal- und Überhangverschattung werden im TEK-Tool vereinfachend auf Gebäudeebene für alle Zonen gleichlautend festgelegt. In der Parameterstudie werden jeweils die Ausprägungen „keine“, „mittel“ und „hoch“ untersucht. Die Ausprägung „gering“ ist nicht enthalten, da sich die Energieaufwandsklasse für Verschattungssituationen von „keine“ bis „mittel“ nur geringfügig<sup>42</sup> ändert.

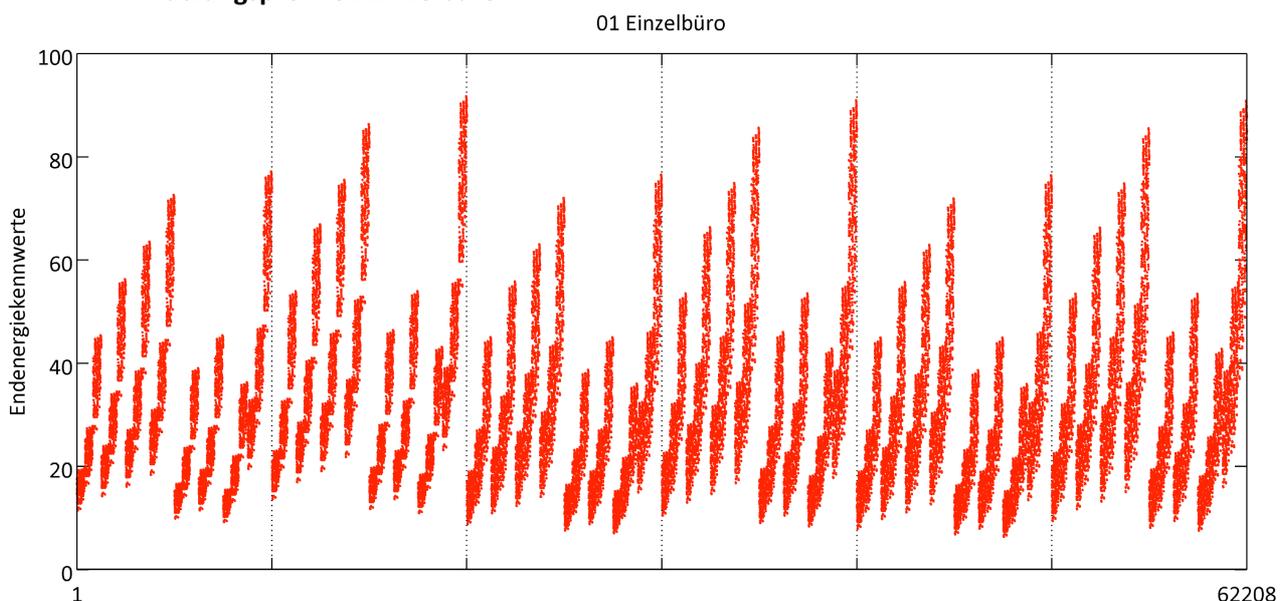
## 3.5 Regressionsanalyse und Einbettung der Bewertungshilfe Beleuchtung in das Excel-Werkzeug

Das hier beschriebene Vorgehen zur Erstellung der Bewertungshilfe Beleuchtung gleicht in wesentlichen Zügen dem Vorgehen in Abschnitt 3.3 zum Gewerk Heizung. Es wird hier deshalb etwas knapper dargestellt. Auf eine Variantenberechnung folgt wiederum eine Regressionsanalyse mit dem Ziel, in der Bewertungshilfe mittels Schätzgleichung die Energieaufwandsklasse der Zone für das Gewerk Beleuchtung näherungsweise zu bestimmen. Die Variantenberechnung erfolgt hier allerdings getrennt für die am häufigsten erwarteten Nutzungsprofile. Das liegt in den in Abschnitt 3.4 bereits behandelten Unterschieden zwischen den Nutzungen begründet. Folglich wird auch keine für alle Nutzungsprofile geltende Schätzgleichung in der Bewertungshilfe angegeben.

### 3.5.1 Variantenberechnung in TEK

Die Variantenberechnung erfolgt analog zum Gewerk Heizung. Der Umfang der Berechnungen je Nutzungsprofil ist allerdings deutlich geringer. Durch Parametervariation ergeben sich 1296 Fälle für 48 geometrisch verschiedene Zonen und damit 62208 Berechnungsvarianten je Nutzungsprofil.

**Abbildung 9: Endenergiekennwerte Beleuchtung in kWh/m<sup>2</sup>a aus allen Berechnungsvarianten für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro**



<sup>42</sup> Die Änderung liegt in der Größenordnung von 0,1 Energieaufwandsklassen.

Die Darstellung der für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro berechneten Endenergiekennwerte für Beleuchtung in Abbildung 9 ist in sechs Abschnitte gegliedert. In diesen Abschnitten unterscheiden sich die Ausprägungen der Berechnungsvarianten in den zwei Parametern „Präsenzmelder“ und „Steuerung“. Die – von links aus gezählten – Abschnitte 1, 3 und 5 sind Varianten mit Präsenzmelder, die weiteren Abschnitte ohne (s. Tabelle 12). Hier ist eine deutliche Zunahme der Kennwerte bei Wegfall des Präsenzmelders hin zu den Abschnitten 2, 4 und 6 zu erkennen.

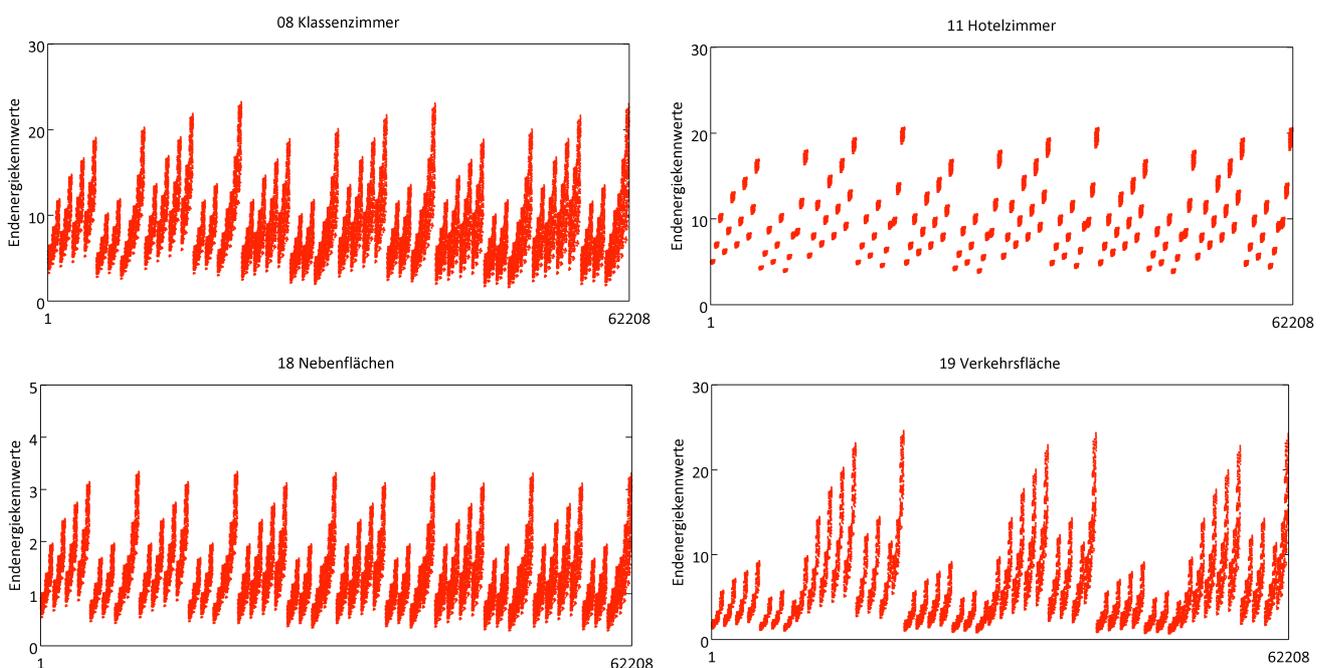
**Tabelle 12: Ausprägungen für Präsenzmelder und Steuerung in den Abschnitten von Abbildung 9 von links nach rechts**

	Steuerung manuell	Dimmend absenkend	Dimmend ausschaltend
Mit Präsenzmelder	Abschnitt 1	Abschnitt 3	Abschnitt 5
Ohne Präsenzmelder	Abschnitt 2	Abschnitt 4	Abschnitt 6

Die beiden linken Abschnitte enthalten die Berechnungsvarianten mit „manueller“ Steuerung, die mittleren „dimmend absenkend“, die rechten „dimmend ausschaltend“. Der Rückgang der Energiekennwerte durch eine tageslichtabhängige Steuerung ist im Nutzungsprofil 01 Einzelbüro offenbar begrenzt. Das erscheint auch plausibel, da dieses Profil von geringer Abwesenheit geprägt ist.

Die Kennwerte der weiteren untersuchten Nutzungsprofile sind in Abbildung 10 zusammengefasst. Zunächst ist erkennbar, dass die Kennwerte insgesamt kleiner sind als für das Profil Einzelbüro. Auch die oben beschriebenen nutzungsbedingten Unterschiede, die zur unterschiedlichen Gewichtung des Einflusses einzelner Parameter auf den Kennwert bzw. die Energieaufwandsklasse führen, können der Abbildung entnommen werden. So ist im Nutzungsprofil 19 Verkehrsfläche eine deutlich größere Wirkung des Präsenzmelders zu erkennen. Im Profil 11 Hotelzimmer spielen hingegen einige Parameter eine vollkommen untergeordnete Rolle. Es handelt sich hierbei, wie bereits erwähnt, um die Verschattungs- und Raumgeometrieparameter. Deren Wirkung ist bei Profilen ohne nennenswert nutzbares Tageslicht gering.

**Abbildung 10: Endenergiekennwerte Beleuchtung in kWh/m<sup>2</sup>a der Nutzungsprofile 08 Klassenzimmer, 11 Hotelzimmer, 18 Nebenflächen und 19 Verkehrsfläche**



## 3.5.2 Regressionsanalyse

### 3.5.2.1 Vorarbeiten

Auch im Gewerk Beleuchtung sind Vorarbeiten zur Durchführung der Regressionsanalyse notwendig. Die Umformung der in TEK berechneten Endenergiekennwerte geschieht analog wie in Abschnitt 3.3.2.1 für das Gewerk Heizung beschrieben. Weiter werden noch Berechnungsvarianten mit – hinsichtlich ihrer energetischen Wirkung – ähnlichen Ausprägungen der Lampenart und der Raumgeometrie gruppiert.

#### Ausprägungen der Lampenart

Lampen mit einem ähnlichen Anpassungsfaktor der spezifischen Beleuchtungsleistung werden zusammengefasst. Die Gruppierung der 8 untersuchten Lampenarten in fünf Gruppen ist in Tabelle 11 in Abschnitt 3.4.2.2 enthalten.

#### Ausprägungen der Raumgeometrie

Hier sollen die untersuchten 48 Zonen zu fünf Gruppen zusammengefasst werden. Zur Gruppierung wurde eine Regressionsanalyse vorgeschaltet, in die der Parameter Raumgeometrie als ordinal skaliertes Parameter in allen 48 Ausprägungen eingegangen ist. Anhand der  $\beta$ -Faktoren der einzelnen Zonen zum Parameter Raumgeometrie wurde dann die Gruppierung in fünf Gruppen vorgenommen.

Dieses Vorgehen bringt einerseits eine Unschärfe in die Bewertungshilfe, da nahe beieinander liegende Berechnungsergebnisse von Zonen ähnlicher geometrischer Eigenschaften im Sinne der Regression als gleich angesehen werden. Andererseits kann dadurch auf eine detaillierte Erhebung und Abbildung der Raumgeometrie verzichtet werden. Da letzterer Aspekt – Reduktion der Abbildungszeit des zu untersuchenden Gebäudes – eines der Kernanliegen der Verbrauchsstrukturanalyse ist, wird die Unschärfe in Kauf genommen. Die Auswirkungen auf die Abweichung der in VSA geschätzten Energieaufwandklasse bezogen auf die in TEK berechnete, sind – wie unten noch zu sehen sein wird – begrenzt.

### 3.5.2.2 Schätzgleichung für die Bewertungshilfe Heizung

Alle Parameter in der Regressionsanalyse sind ordinal skaliert. Das führt zu einer einfach strukturierten Schätzgleichung, bei der jeder Term die  $\beta$ -Faktoren eines Parameters enthält. Neben dem Achsenabschnitt sind so noch weitere 17  $\beta$ -Faktoren enthalten.

$$EAK_{VSA,BL} = \beta_0 + \beta^1 \cdot D^1 + \sum_{j=1}^2 \beta_j^2 \cdot D_j^2 + \sum_{k=1}^4 \beta_k^3 \cdot D_k^3 + \sum_{l=1}^2 \beta_l^4 \cdot D_l^4 + \sum_{m=1}^4 \beta_m^5 \cdot D_m^5 + \sum_{n=1}^2 \beta_n^6 \cdot D_n^6 + \sum_{o=1}^2 \beta_o^7 \cdot D_o^7 + u \quad \text{Gleichung 2}$$

mit

$EAK_{VSA,BL}$  Energieaufwandsklasse der Verbrauchsstrukturanalyse für das Gewerk Beleuchtung

$\beta_0$  Achsenabschnitt

$\beta_a^b$   $\beta$ -Faktoren

$D^1$  Dummy-Variable für das Vorhandensein eines Präsenzmelders

$D^2$  Dummy-Variable für die Ausprägungen des (tageslichtabhängigen) Steuerung

$D^3$  Dummy-Variable für die (gruppierten) Ausprägungen der Lampenart

$D^4$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Beleuchtungsart

$D^5$  Dummy-Variable für die (gruppierten) Ausprägungen der Raumgeometrie (Tageslichtsituation)

$D^6$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Horizontalverschattung

$D^7$  Dummy-Variable für die Ausprägungen der Überhangverschattung

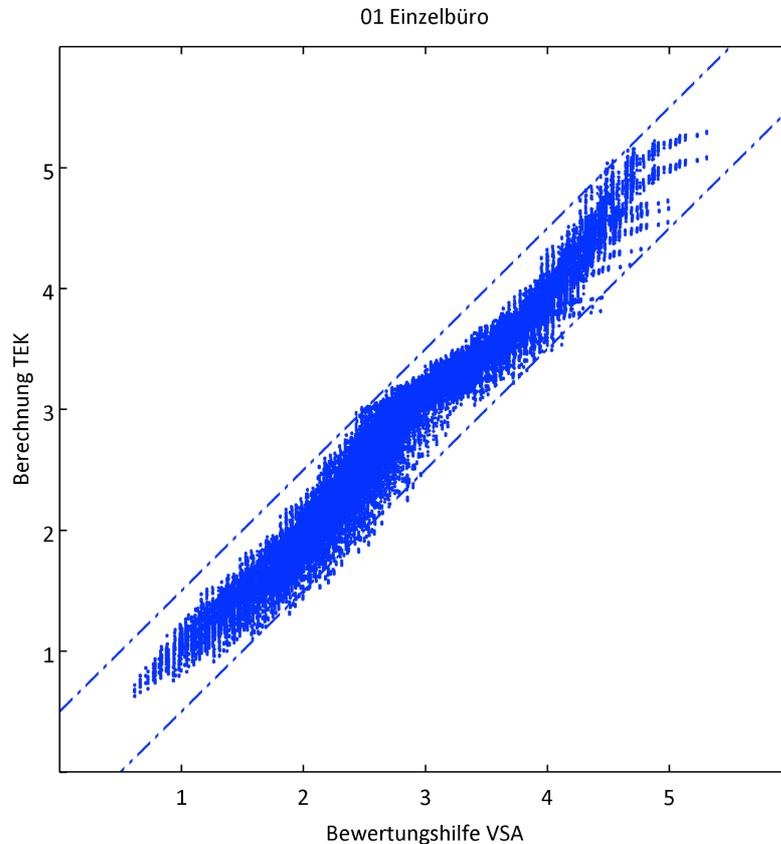
$u$  Störterm

### 3.5.2.3 Abweichungen zwischen TEK-Berechnung und VSA-Schätzgleichung

Die Anforderungen an die Beleuchtung sind stark vom Nutzungsprofil abhängig. Das in DIN V 18599 Teil 4 implementierte Tabellenverfahren zur Bestimmung des Energiebedarfs für Beleuchtung berücksichtigt diese Anforderungen in parametrisierter Form (z.B. Wartungswert der Beleuchtungsstärke, Höhe der Nutzebene, relative Abwesenheit). Auf den Endenergiekennwert für Beleuchtung übt auch die Nutzungszeit starken Einfluss aus. Der Versuch, eine für alle Nutzungsprofile anwendbare Schätzgleichung in die Bewertungshilfe einzubetten, war nicht zielführend. So sind die Ausprägungen zu Verschattung und Raumgeometrie beim Nutzungsprofil Hotelzimmer von untergeordneter Bedeutung, da die Nutzungszeit ganz wesentlich auf Zeiträume ohne Tageslicht fällt. Bei den anderen untersuchten Nutzungsprofilen üben diese Ausprägungen hingegen einen deutlichen Einfluss auf die Energieaufwandsklasse aus.

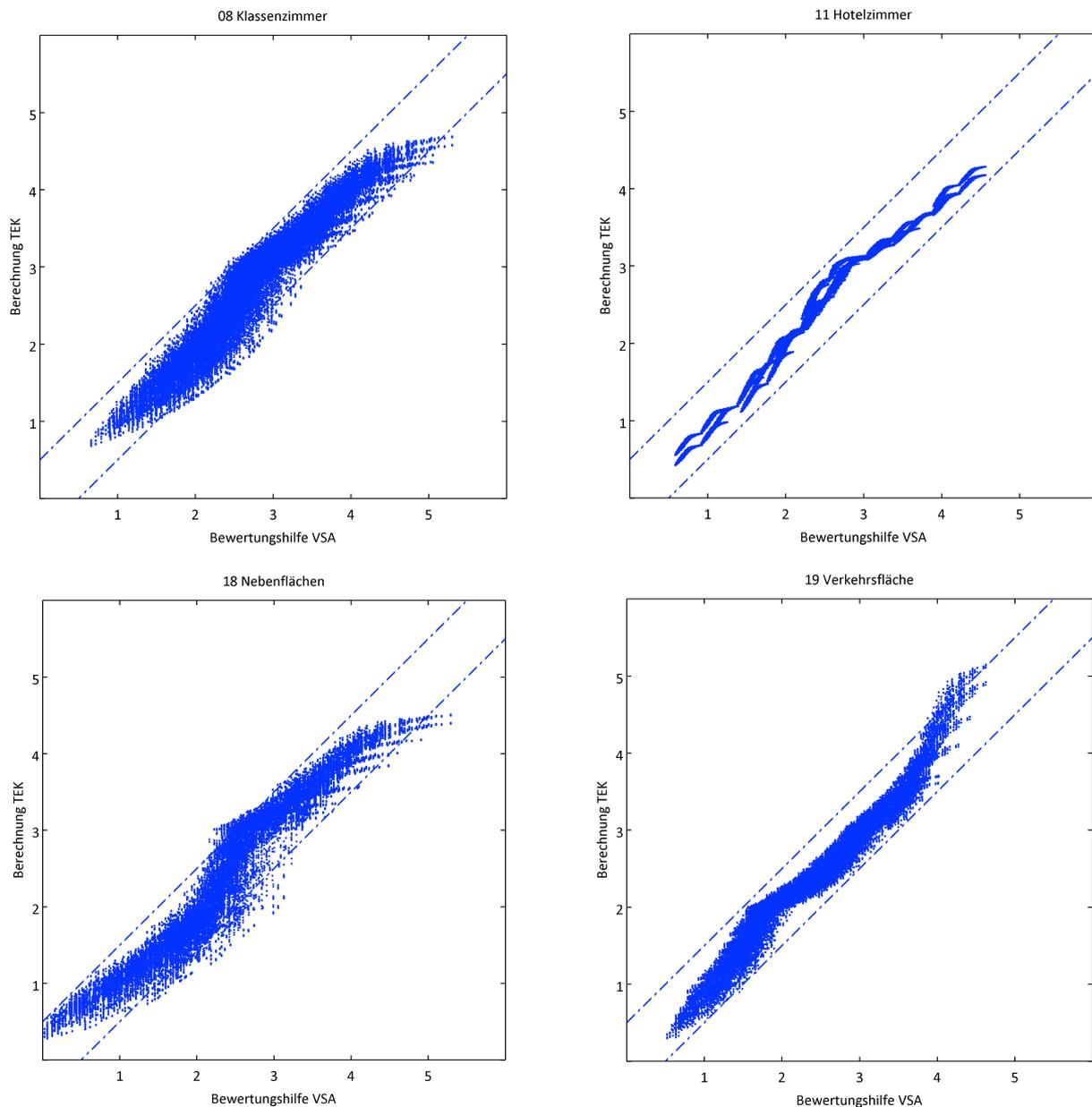
Die Abweichungen zwischen den Energieaufwandsklassen nach TEK-Berechnung und VSA-Schätzgleichung der Bewertungshilfe werden ähnlich zum Gewerk Heizung dargestellt. Eine zonenweise Darstellung entfällt hier allerdings. Abbildung 11 zeigt das Ergebnis für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro. Es ist gut zu erkennen, dass die Schätzgleichung in den meisten Fällen zu einer Abweichung gegenüber der TEK-Berechnung kleiner als eine halbe Energieaufwandsklasse führt.

**Abbildung 11: Abweichung zwischen der in TEK berechneten und der in der VSA-Bewertungshilfe abgeschätzten Energieaufwandsklasse für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro**



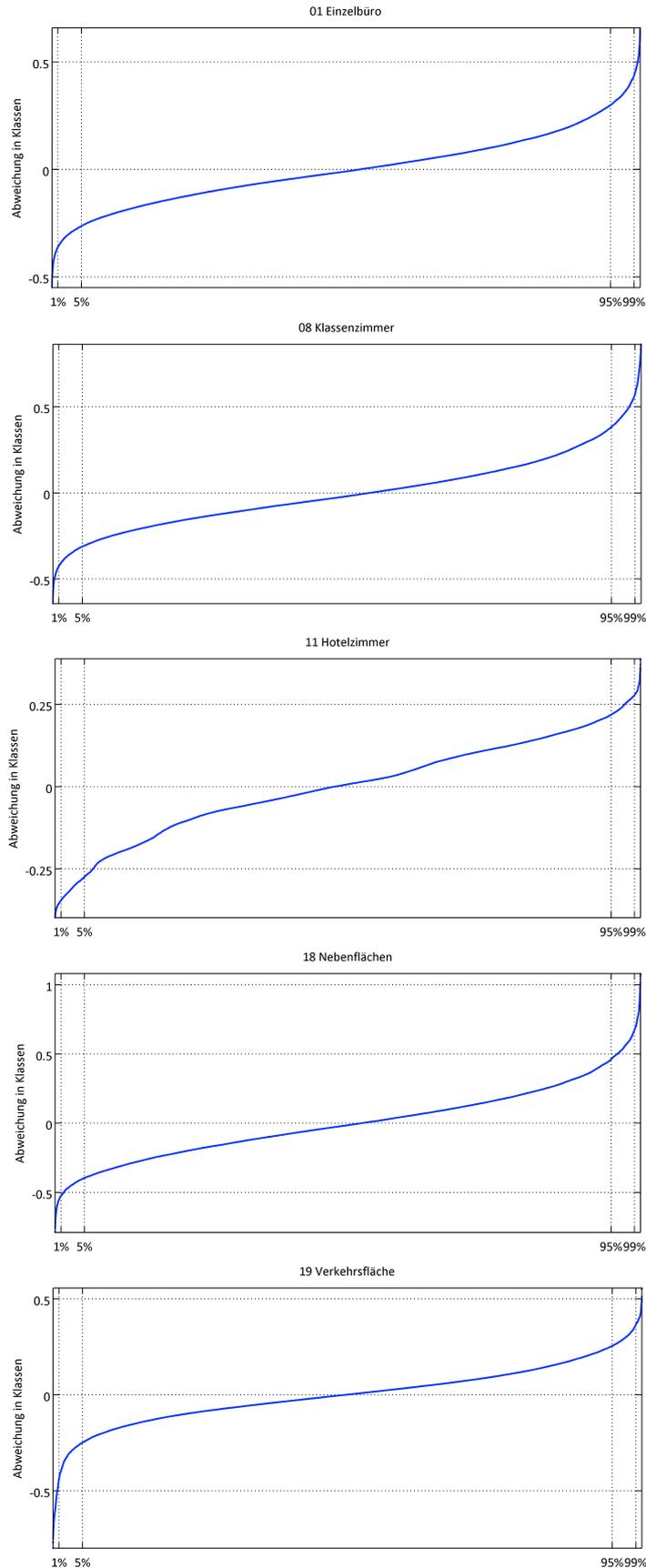
Diese Aussage lässt sich grundsätzlich auch auf die in Abbildung 12 enthaltenen Ergebnisse zu den weiteren Nutzungsprofilen übertragen. Gleichwohl ist zu erkennen, dass es zwischen den Nutzungsprofilen qualitative Unterschiede gibt. Die geringsten Abweichungen ergeben sich für das Profil 11 Hotelzimmer. Die Abweichungen sind in allen Fällen deutlich geringer als eine halbe EAK. Dem gegenüber steht das Profil 18 Nebenflächen, für das vereinzelt Abweichungen von deutlich mehr als einer halben Energieaufwandsklasse erkennbar sind. Im Sinne der Gebäudeanalyse sind diese Abweichungen aber hinnehmbar, da dieses Profil insgesamt von geringen Endenergiekennwerten geprägt ist. Die höchsten berechneten Kennwerte sind nur unwesentlich größer als  $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (s. Abbildung 10).

**Abbildung 12: Abweichung zwischen der in TEK berechneten und der in der VSA-Bewertungshilfe abgeschätzten Energieaufwandsklasse für die weiterhin untersuchten Nutzungsprofile 08 Klassenzimmer, 11 Hotelzimmer, 18 Nebenflächen und 19 Verkehrsfläche**



In Abbildung 13 sind die Abweichungen der in der Bewertungshilfe Beleuchtung abgeschätzten Energieaufwandsklassen bezogen auf die TEK-Berechnung aufsteigend sortiert dargestellt. Die Skalierung der Ordinate reicht jeweils vom Minimum zum Maximum der für das Nutzungsprofil ermittelten Abweichungen. Für alle untersuchten Nutzungsprofile weicht die geschätzte EAK in einem sehr geringen Anteil der untersuchten Fälle um mehr als eine halbe EAK von der in TEK berechneten Klasse ab. Für das Profil 11 ist die Abweichung nochmals geringer. Hier ist eine Abweichung von einer viertel Klasse nur in einem geringen Anteil der Fälle vorzufinden. Die Schätzgleichungen der untersuchten Profile werden dementsprechend als nutzbar angesehen.

**Abbildung 13: Aufsteigend sortierte Abweichungen der EAK der Bewertungshilfe Beleuchtung bezogen auf die TEK-Berechnung nach Nutzungsprofilen**



### 3.5.2.4 Nutzbarkeit der Bewertungshilfe für die übrigen Nutzungsprofile

Anders als beim Gewerk Heizung ist die Bewertungshilfe Beleuchtung nicht für jedes Nutzungsprofil unmittelbar anwendbar. Für alle untersuchten Nutzungsprofile liegt eine nutzbare Schätzgleichung vor. Für die Profile, für die bisher keine Regressionsanalyse vorliegt, besteht die Möglichkeit, die Parameterausprägungen abzubilden und eine Vergleichsbetrachtung anhand der Schätzgleichungen der untersuchten Profile vorzunehmen. Das ist in der Bewertungshilfe so umgesetzt, dass für die Nutzungsprofile ohne Schätzgleichung ein Ersatzprofil gewählt wird, nach dessen Schätzgleichung dann ein Bewertungsvorschlag gemacht wird. Zur Rekonstruktion des Bewertungsvorschlages kann neben allen Parameterausprägungen für die Beleuchtung der Zone auch das Ersatz-Nutzungsprofil abgespeichert werden kann.

## 3.6 Gewerke ohne Bewertungshilfen

Für alle Gewerke, die bisher nicht mit Bewertungshilfen versehen sind, wird zur Abbildung einer durchschnittlichen Bestandssituation zunächst als Startwert die EAK „Mittel“ vorgeschlagen. Eine Ausnahme bildet hier das Gewerk Warmwasser (s.u.). Nachfolgend wird kurz skizziert, unter welchen Annahmen die Referenz-TEK in [TEK-Methodik2013] bestimmt wurden. Die Ausprägungen der Parameter sollen als Ersatz für eine Bewertungshilfe Anhaltspunkte dafür liefern, welcher Energieaufwandsklasse eine betrachtete Zone zugeordnet werden könnte.

### 3.6.1 Warmwasser

Das Gewerk Warmwasser nimmt in der Methodik der zugrunde liegenden Bilanzierungsmethodik eine Sonderstellung ein. In DIN V 18599 wird der Nutzenergiebedarf nach der Nutzung des Gebäudes (z.B. Bürogebäude, Hotel) für das Gesamtgebäude<sup>43</sup> und damit nicht zonenweise bestimmt. Die Verteilverluste werden für den mit Warmwasser versorgten Bereich<sup>44</sup> angegeben. Die Berechnung der Referenz-TEK folgt diesem Ansatz im Wesentlichen, obgleich auch einige Anpassungen vorgenommen werden. Die Nutzenergie wird nach der TEK-Methodik nicht mehr für das Gesamtgebäude angegeben sondern für sogenannte Nutzungseinheiten. Das sind hinsichtlich der Hauptnutzung zusammenhängende Zonen des Gebäudes. Auch die Referenz-TEK in den fünf Energieaufwandsklassen sind aus verschiedenen genutzten Zonen, die zu Nutzungseinheiten zusammengefasst wurden, abgeleitet. Anhand von Tabelle 22 in Anhang 9.2.2 kann man erkennen, dass für viele Nutzungen gleich große Referenzkennwerte (von „Sehr gering“ mit 1,2 bis „Sehr hoch“ mit 10,3 kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF,a</sub>) angegeben sind. Für diese Nutzungen sind nur Verteilverluste angegeben. Zur Abbildung des Nutzenergiebedarfes<sup>45</sup> für Warmwasser ist weiterhin den Hauptnutzflächen das Gewerk Warmwasser zuzuordnen. Würde beispielsweise der Warmwasserbedarf eines Bürogebäudes lediglich in den WCs abgebildet und nicht in den als Büro genutzten Zonen, würde der Endenergiebedarf systematisch unterschätzt.

Sollte die Warmwasserbereitung dezentral elektrisch erfolgen und damit kein Verteilnetz vorhanden sein, kann das berücksichtigt werden, indem in den Zonen, die nicht Teil der Hauptnutzfläche sind, der Warmwasserbedarf zu Null gesetzt wird. Eine weitere Besonderheit des Gewerks Warmwasser liegt in der Wahl der Standard-Energieaufwandsklasse. In der Feldphase des TEK-Projektes hat sich gezeigt, dass bei objekt-spezifischer (detaillierte) Abbildung des Warmwasserbedarfs in der Gesamtbewertung auf Gebäudeebene generell die Energieaufwandsklasse „Sehr gering“ ergibt. Deshalb wird empfohlen, auch in der Verbrauchsstrukturanalyse zumindest für die Hauptnutzflächen<sup>46</sup> die Klasse „Sehr gering“ zu wählen.

---

<sup>43</sup> Das setzt eine einheitliche Anlagentechnik zur Warmwasserversorgung voraus. Bei unterschiedlicher Anlagentechnik wird wiederum getrennt bilanziert.

<sup>44</sup> Die Summe der mit Warmwasser versorgten Zonenflächen dient als Basis zur Berechnung der Ausdehnung des Warmwassernetzes.

<sup>45</sup> Auch für die Hauptnutzungen sind die Referenzkennwerte auf Endenergieebene angegeben. Hier ist jedoch die Summe aus Nutzenergiebedarf und allen technischen Verlusten enthalten.

<sup>46</sup> Die räumlich zugehörigen weiteren Zonen (z.B. WC, Aufenthaltsräume) bekommen eine Klasse zugeordnet, die die Verteilverluste widerspiegeln.

### 3.6.2 Luftförderung, Befeuchtung und Klimakälte

Die Gewerke Befeuchtung und Klimakälte<sup>47</sup> sind als Funktionalitäten von RLT-Anlagen zur Konditionierung der Luft eng verwoben mit dem Betrieb dieser RLT-Anlagen. Der Energieaufwand zur Luftförderung wird ohne Konditionierung im gleichnamigen Gewerk Luftförderung abgebildet. Dieses Zusammenwirken der Gewerke ist auch bei der Ermittlung der Referenz-TEK wiederzufinden. Dort werden die Referenzkennwerte einer Klasse immer für alle Gewerke in einem gemeinsamen Berechnungsgang ermittelt. Das heißt bezogen auf die hier diskutierten Gewerke, dass die Kennwerte für Klimakälte und Befeuchtung auch abhängen von Parametern der Luftförderung. Insbesondere zwei Parameter der RLT-Anlage sind hier zu erwähnen, die neben der Wirkung auf den Referenzkennwert für Luftförderung auch deutlich die Kennwerte für Klimakälte und Befeuchtung beeinflussen. Eine Zusammenfassung der bei der Referenzkennwertberechnung angesetzten Ausprägungen der Parameter enthält Anhang 9.3 in Tabelle 28.

Hier ist der Dimensionierungsfaktor der RLT-Anlage bezogen auf den hygienischen Mindestvolumenstrom zu erwähnen. Er variiert zwischen den Klassen „Sehr gering“ und „Sehr hoch“ um den Faktor zwei. Mit steigendem Volumenstrom steigt auch der Energieeinsatz zur Befeuchtung bzw. Kühlung der Luft. Weiterhin wirkt auch die Wärme- und Feuchterückgewinnung deutlich auf die Gewerke Befeuchtung und Klimakälte.

#### 3.6.2.1 Luftförderung

Auch für dieses Gewerk gilt, dass in erster Näherung an eine durchschnittliche Bestandssituation die Energieaufwandsklasse „Mittel“ gewählt werden kann. Weichen die Parameter deutlich von den für die Referenz-TEK der Klasse „Mittel“ getroffenen Ausprägungen ab, kann die Energieaufwandsklasse entsprechend korrigiert werden. Die Parameter mit dem stärksten Einfluss auf den Endenergiekennwert für Luftförderung sind:

- Nutzungszeit
- Spezifische Ventilatorleistung
- Dimensionierungsfaktor (bezogen auf den hygienischen Mindestluftvolumenstrom)
- Volumenstromregelung.

Die Nutzungszeit wird dem Nutzungsprofil entsprechend in der Referenzkennwertberechnung in allen Fällen unverändert zu DIN V 18599 angesetzt. Die spezifische Ventilatorleistung ist in der Klasse „Mittel“ mit  $3,6 \text{ kW/m}^3\text{s}$  in einer für Bestandsgebäude mit büroähnlicher Nutzung durchschnittlichen Größe [Hörner2003] angesetzt. Der Dimensionierungsfaktor ist in „Mittel“ mit 125% angesetzt, die Volumenstromregelung für die Mehrzahl der Nutzungen konstant. In einigen Zonen ist ein Stufenbetrieb zur Berechnung des Referenzkennwertes vorgesehen. Genauere Informationen enthält Tabelle 28 in Anhang 9.3. Weichen mehrere Parameter von den für „Mittel“ angenommenen Ausprägungen deutlich nach oben bzw. unten ab, ist eine höhere bzw. niedrigere Energieaufwandsklasse zu wählen. Zur Festlegung, ab wann eine Abweichung<sup>48</sup> als „deutlich“ gilt, können die Ausprägungen der Parameter der benachbarten Energieaufwandsklassen in Tabelle 28 herangezogen werden.

#### 3.6.2.2 Befeuchtung

Der Energiebedarf für Befeuchtung hängt neben dem eingesetzten Befeuchtungssystem maßgeblich von der Betriebsdauer und dem geförderten Volumenstrom ab. In den Berechnungen der Referenz-TEK aller Klassen wird ein elektrisch beheizter Dampfbefeuchter angenommen. Das heißt, dass der Anstieg der Re-

<sup>47</sup> Gleichwohl gibt es auch (dezentrale) Raumklimasysteme, die unabhängig oder in Kombination mit RLT-Kühlung betrieben werden.

<sup>48</sup> Das gilt auch für die Nutzungszeit. Wird beispielsweise eine Bürozone als Wache ganzjährig im 24-Stundenbetrieb genutzt, ist das eine deutliche Abweichung von der Normnutzungszeit, die 13 Stunden an 250 Tagen vorsieht. Eine solch deutliche Abweichung würde den Ansatz einer um eine Klasse höheren Energieaufwandsklasse rechtfertigen.

ferenzkennwerte ausgehend von Klasse<sup>49</sup> „Gering“ hin zu den höheren Klassen allein durch die Volumenstromregelung und den Dimensionierungsfaktor der RLT-Anlage bezogen auf den Mindestvolumenstrom bewirkt wird. Der Einfluss des Befeuchtungssystems ist in den Referenzkennwerten also noch nicht enthalten.

Es ist also abzuschätzen, inwieweit der Energiekennwert durch das Befeuchtungssystem beeinflusst wird. Am augenscheinlichsten wird dies durch einen Vergleich der Endenergiefaktoren der verschiedenen Systeme. Für die Dampfbefeuchter werden in DIN V 18599 Endenergiefaktoren von 1,16 für elektrische Dampfbefeuchter und 1,44 bis 1,55 für brennstoffbasierte (Gas/Öl/Ferndampf) Dampferzeuger angegeben. Auch für Luftbefeuchtung mit Wasser<sup>50</sup> (Sprühbefeuchter etc.) kann von einem Endenergiefaktor zur Abbildung der technischen Verluste der Erzeugung und Verteilung hin zum Heizregister in dieser Größenordnung ausgegangen werden. Die Unschärfe durch die fehlende Differenzierung nach dem Befeuchtungssystem tritt also hinter den Parametern der RLT-Anlage zurück. Vereinfachend wird deshalb in der Verbrauchsstrukturanalyse angenommen, dass die Energieaufwandsklasse für Befeuchtung gleich<sup>51</sup> der Energieaufwandsklasse für Luftförderung der Zone ist.

### 3.6.2.3 Klimakälte

Auch das Gewerk Klimakälte ist im Falle zentraler Kühlung von den Parametern der Luftförderung abhängig. Hier spielt neben der Volumenstromregelung und dem Dimensionierungsfaktor der Anlage auch der Wärmerückgewinnungsgrad eine Rolle. In erster Näherung kann also auch hier die Energieaufwandsklasse der Klimakälte aus der für Luftförderung ermittelten Klasse abgeschätzt werden. Die Anlagenkomponenten der Kälteerzeugung unterscheiden sich jedoch stärker, als das bei den Befeuchtungssystemen der Fall war. Deuten die vor Ort ersichtlichen Anlagenkomponenten auf eine besonders effiziente Kälteerzeugung hin, so kann die Wahl der Energieaufwandsklasse eine Klasse geringer ausfallen als bei der RLT-Anlage der Zone. Eine besonders effiziente Kälteversorgung liegt beispielsweise bei Vorhandensein eines Verdunstungsrückkühlers, freier Kühlung oder Einsatz einer Absorptionskältemaschine vor. Der Wärmebedarf einer Absorptionskältemaschine kann in der Verbrauchsstrukturanalyse nicht abgebildet werden.

### 3.6.3 Arbeitshilfen

Der (elektrische) Endenergiebedarf für Arbeitshilfen wird aus den in DIN V 18599 angegebenen Internen Wärmequellen durch Arbeitshilfen (Wärme) ermittelt. Die Klassen „Sehr gering“ und „Sehr hoch“ werden durch Extrapolation gebildet [TEK-Methodik2013]. Liegen keine genauen Informationen vor, ist als Standard-Energieaufwandsklasse „Mittel“ zu wählen.

Bei den Nutzungsprofilen „Gewerbeküchen (Kochen mit Strom)“ und „Serverraum/Rechenzentrum“ sind nutzungsbedingt besonders hohe Referenzkennwerte angegeben. Dort sind also die Bedarfe für Küchengeräte bzw. Server mit enthalten.

#### Küche

Bei der Zonierung von Küchen ist darauf zu achten, dass die Bereiche, in denen die energieintensiven Geräte (Herd, Backofen etc.) stehen, separiert werden von den Bereichen, die den verarbeitenden und vorbereitenden Tätigkeiten in der Küche dienen. Für diese Bereiche ist das Nutzungsprofil „Gewerbeküchen (Vorbereitung, Lager)“ zu wählen. Anderenfalls wird der Energiebedarf der Küchen für Arbeitshilfen deutlich überschätzt. Wird eine Küche als Aufwärmküche in einer als „Gewerbeküche (Kochen mit Strom)“ bezeichneten

<sup>49</sup> In Klasse „Sehr gering“ wird für die RLT-Anlage – abweichend von den anderen Klassen – eine Feuchtrückgewinnung angenommen. Die Zunahme des Energiebedarfes zur Befeuchtung hin zur Klasse „gering“ wird hier also zusätzlich durch den Wegfall der Feuchterückgewinnung bewirkt.

<sup>50</sup> In der Norm sind hierzu keine Endenergiefaktoren angegeben. Es wird dort lediglich darauf verwiesen, dass die Nutzenergie für Befeuchtung im Rahmen von Simulationsrechnungen bereits dem Heizregister zugeordnet ist.

<sup>51</sup> Ein Anlagenparameter, der zu einer deutlichen Verringerung des Energiebedarfs für Befeuchtung führen kann, ist die Feuchterückgewinnung. Anlagen mit Rotationswärmeübertragern o.ä. werden folglich durch diese Vereinfachung überschätzt.

Zone genutzt, ist tendenziell eine kleinere Energieaufwandsklasse zu wählen. Küchen, in denen mit Gas gekocht wird, können derzeit nicht abgebildet werden.

#### Serverraum

Als Auswahlhilfe für eine Energieaufwandsklasse können hier die Hinweise helfen, die in DIN V 18599 zur Erläuterung der Ansätze für Arbeitshilfen enthalten sind. Übertragen auf die Referenzkennwerte in TEK können die Klassen wie folgt zugeordnet werden:

„Gering“ – Geringe Belegung überwiegend mit einzelnen PC

„Mittel“ – Hohe Belegung überwiegend mit einzelnen PC

„Hoch“ – Rechenzentrum mit Racks für Rechner

In büroartig genutzten Gebäuden normaler Ausstattung wird häufig ein einzelnes, nicht vollständig gefülltes Rack vorzufinden sein. In diesen Fällen erscheint die Wahl der Klasse „Mittel“ ebenfalls angebracht. Auch bei Zuweisung des Nutzungsprofils „Serverraum/Rechenzentrum“ ist darauf zu achten, dass nur die unmittelbar als Standort der Server/Racks genutzten Räume angegeben werden, da ansonsten der Energiebedarf für Arbeitshilfen deutlich überschätzt wird.

### 3.6.4 Diverse Technik auf Gebäudeebene

In Nichtwohngebäuden liegen gewöhnlich weitere elektrische Energieverbräuche vor, die keiner Zone bzw. keiner Nutzung unmittelbar zuzuordnen sind. Deshalb werden diese Bedarfe auf Gebäudeebene angegeben. In Anlehnung an die TEK-Methodik werden für Hilfsenergie Heizung, Aufzüge und Schwachstromanlagen pauschale Ansätze gewählt. Darüber hinaus können noch wesentliche Großverbraucher abgebildet werden.

Der Endenergiebedarf für Hilfsenergie Heizung wird vom Hilfsenergiebedarf des Wärmeerzeugers und vom Pumpenbetrieb der Wärmeverteilung bestimmt. Der spezifische Hilfsenergiebedarf des Wärmeerzeugers ist abhängig von der Energiebezugsfläche des Gebäudes und nimmt mit steigender Fläche ab. Der Energiebedarf der Pumpen der Wärmeverteilung wird hingegen von der Regelung<sup>52</sup> der Pumpen bestimmt. Die Energiebezugsfläche übt hier einen geringeren Einfluss aus. Die Abbildung erfolgt stark vereinfacht durch drei wählbare Optionen:

- 2,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a – Kleinere Gebäude bis 1000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> und Pumpen ungeregelt
- 1 kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a – Größere Gebäude ab 1000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> und Pumpen geregelt
- Keine Hilfsenergie Heizung.

Der Endenergiebedarf für Aufzüge wird vereinfacht mit 2 kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>a bezogen auf die beheizte NGF angegeben. Auch für die Schwachstromanlagen wird ein vereinfachter Ansatz gewählt. Zu den Schwachstromanlagen werden:

- Gebäudemanagementsysteme
- Brandmeldeanlagen
- Schließenanlagen und Zugangskontrollsysteme sowie
- Videoüberwachungsanlagen

gezählt. Hierfür werden pauschal 2,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>a angesetzt.

Außerdem können noch zwei sonstige Großverbraucher mit ihrem absoluten Bedarf an elektrischer Energie angegeben werden. Dieser wird auf beheizte NGF umgelegt.

## 3.7 Arbeiten mit dem VSA-Tool

Damit eine Nachbildung der Energieverbrauchsstruktur mit der Verbrauchstrukturanalyse in dem vorgesehenen Arbeitsumfang von etwa einem halben Tagwerk gelingt, ist das Vorhandensein eines Minimums an

---

<sup>52</sup> Dabei sind die Regelung der Laufzeit (ungeregelt oder temperaturabhängig) und die des Druckes zusammengefasst.

Informationen zum Gebäude unabdingbar. Auch die Einhaltung der nachfolgend vorgeschlagenen Bearbeitungsreihenfolge bei der Arbeit mit dem VSA-Tool hilft, den nötigen Zeitaufwand zu begrenzen.

### 3.7.1 Vorarbeiten und Gebäudebegehung

Für die spätere Zonierung des Gebäudes und die Berücksichtigung etwaiger Flächen in Nebengebäuden sind Grundrisse aller Geschosse unerlässlich. Auch die Verbrauchsdaten der letzten Jahre sind aufzubereiten.

#### 3.7.1.1 Verbrauchsdaten

Der Energieverbrauch eines Gebäudes ist jährlichen Schwankungen unterworfen. Das kann durch eine veränderte Nutzung des Gebäudes bzw. durch bauliche und technische Veränderungen verursacht sein. Der Wärmeverbrauch wird darüber hinaus noch durch Klimawirkungen<sup>53</sup> beeinflusst. Der Wärmeverbrauch ist in jedem Fall im Rahmen einer Verbrauchsstrukturanalyse unter Verwendung der Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes zu bereinigen, da die aus dem TEK-Projekt stammenden Referenzkennwerte unter Ansatz des deutschen Standardklimas nach DIN V 18599 berechnet wurden. Auch die in die Bewertungshilfe Heizung des VSA-Tools implementierte Schätzgleichung gilt für dieses Klima. Nicht selten sind nach der Korrektur des Wärmeverbrauchs noch deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahreswerten vorhanden, was auf bauliche, technische oder Nutzungsänderungen hindeutet.

Die Klimabereinigung und gezielte Rückfragen beim Betreiber des Gebäudes zu etwaigen Veränderungen am Gebäude im Vorfeld der Analyse bieten die Chance auf wertvolle Zusatzinformationen und damit auch auf eine höhere Qualität der Verbrauchsstrukturanalyse.

Es ist weiterhin zu klären, ob der – entweder aus dem Brennstoffverbrauch oder durch Ablesung der Wärmezähler – ermittelte Wärmeverbrauch deckungsgleich mit der Systemgrenze des in der VSA betrachteten Gebäudes ist. In Liegenschaften mit mehreren Gebäuden versorgt ein im Gebäude vorgefundener Wärmeerzeuger möglicherweise mehrere Gebäude. Zu beachten ist auch die Aufteilung des Brennstoffeinsatzes in BHKWs.

Ähnliches gilt auch bei der Auswertung von Verbrauchsdaten für elektrische Energie. Folgt auf einen Zeitraum nach einem größeren „Verbrauchssprung“ ein Zeitraum mit wiederum gering variierenden Verbräuchen, deutet dies auch hier auf Veränderungen im Gebäude (z.B. Austausch/Stilllegung Lüftungsanlage) hin. Auch für den Verbrauch an elektrischer Energie ist zu prüfen, ob in der Messung weitere Gebäude bzw. Verbraucher miterfasst werden. Die Aussage zur Klärung der Systemgrenze<sup>54</sup> gilt hier also analog.

#### 3.7.1.2 Flächenermittlung und Zonierung

Alle Kennwerte der Verbrauchsstrukturanalyse werden bezogen auf eine Nettogrundfläche angegeben. Um eine gute Übereinstimmung zwischen dem absolut (z.B. in MWh/a) angegebenen Verbrauch und den berechneten spezifischen Bedarfen der einzelnen Gewerke (in kWh/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) zu erzielen, ist eine genaue Angabe der Nettogrundfläche des Gesamtgebäudes notwendig.

Unter Zonierung wird zunächst die Aufteilung der Nettogrundfläche des Gebäudes auf Zonen und die Zuweisung von Nutzungsprofilen verstanden. Weiterhin sind Zonen zu teilen, wenn sich die Nutzung der Zonen durch die Ausprägungen bzw. das Vorkommen von Gewerken trotz gleichen Nutzungsprofils deutlich unterscheidet. Befinden sich beispielsweise einige Büroräume in einem Anbau, der gegenüber dem Hauptgebäude über einen wesentlich anderen Dämmstandard verfügt, ist die Zone zu teilen. Gleiches gilt, wenn ein Kühlsystem nur in vereinzelt Räumen vorkommt. Die Zonierung in der Verbrauchsstrukturanalyse sieht vor, dass auf Basis der NGF des Gesamtgebäudes die Fläche der größten Zone durch Abzug der Flächen aller weiteren Zonen berechnet wird (näheres dazu in Abschnitt 3.7.2.1).

<sup>53</sup> Auch der elektrische Energieverbrauch ist klimaabhängig. In der Mehrzahl der Gebäude spielen die Auswirkungen jährlicher Klimaschwankungen beispielsweise bei Befeuchtung und Kühlung jedoch eine untergeordnete Rolle, sodass nicht automatisch eine Bereinigung des elektrischen Energieverbrauchs vorgenommen wird.

<sup>54</sup> Die Systemgrenze für das Gewerk Heizung und die übrigen Gewerke muss nicht deckungsgleich sein (s. Abschnitt 3.7.2.1).

### 3.7.2 Reihenfolge bei der Arbeit mit dem VSA-Tool

Das VSA-Tool ist in vier Arbeitsblätter geteilt:

- Gebäudeanalyse
- Zonierungshilfe
- Bewertungshilfe Heizung
- Bewertungshilfe Beleuchtung.

Dabei werden zuerst alle notwendigen Angaben zum Gebäude im Blatt Gebäudeanalyse<sup>55</sup> hinterlegt. Anschließend werden in den Bewertungshilfe-Tabellenblättern die Gewerke Heizung und Beleuchtung zumindest für die Zonen mit den größten Flächenanteilen genauer beschrieben. Die Reihenfolge bei der Arbeit mit dem VSA-Tool, die auch bei der Bewertung der 10 hessischen öffentlichen Gebäude zur Anwendung gekommen ist, zeigt Tabelle 13.

**Tabelle 13: Vorschlag zur Reihenfolge bei der Arbeit mit dem VSA-Tool**

Vorgeschlagene Arbeitsreihenfolge	Arbeitsschritt	Gebäudeanalyse	Zonierungshilfe	Bewertungshilfe Heizung	Bewertungshilfe Beleuchtung
1.	Grunddaten angeben (Bezeichnung, Adresse, Gebäudekategorie, beheizte Energiebezugsfläche)	X			
2.	Zonierung vornehmen (Zuweisung von Nutzungsprofilen und Flächen, Angaben zum Vorkommen von Gewerken auf Zonenebene)	X	(X)		
3.	Zuweisen der Standard-Energieaufwandsklasse des Gebäudes	X			
4.	Optional, Zuweisen von Standard-Energieaufwandsklassen für einzelne Gewerke	X			
5.	Detaillierte Beschreibung der Eigenschaften des Gewerks Heizung für ausgewählte bzw. alle Zonen			X	
6.	Detaillierte Beschreibung der Eigenschaften des Gewerks Beleuchtung für ausgewählte bzw. alle Zonen				X
7.	Angabe der klimabereinigten Verbrauchsdaten	X			
8.	Dokumentation der Ergebnisse (Ausdruck)	X			

#### 3.7.2.1 Gebäudeanalyse und Zonierungshilfe

Im Blatt Gebäudeanalyse wird der größte Teil der zur Verbrauchsstrukturanalyse notwendigen Angaben gemacht. Hier werden die Grunddaten des Gebäudes, die Zonenflächen und deren Nutzung, das Vorkommen und die Energieaufwandsklassen von Gewerken in den Zonen, weitere Angaben/Gewerke auf Gebäudeebene und schließlich die Verbrauchsdaten hinterlegt und die Ergebnisse der Verbrauchsstrukturanalyse dargestellt.

##### Grunddaten angeben

Neben der Bezeichnung und der Adresse des Gebäudes wird hier auch die beheizte Energiebezugsfläche angegeben. Sie entspricht der beheizten Nettogrundfläche (NGF) innerhalb der thermischen Hülle<sup>56</sup>. Zur

<sup>55</sup> Unter optionaler Nutzung der Zonierungshilfe

<sup>56</sup> Diese Festlegung ist analog auch in der TEK-Analyse zu finden.

Information kann auch die Gebäudekategorie angegeben werden. Soll ein größerer Gebäudepool mit der Verbrauchsstrukturanalyse untersucht werden, können die Gebäude bei der Auswertung<sup>57</sup> nach diesem Parameter vorsortiert werden. Schließlich besteht auch die Möglichkeit, durch ein Makro alle Angaben aus der Datei zu entfernen. Dabei werden neben den Angaben zu Zonen und Gewerken im Blatt Gebäudeanalyse auch alle in den weiteren Blättern (Zonierungshilfe und Bewertungshilfen) enthaltenen Angaben entfernt.

### Zonierung vornehmen

Um die Zonierung des Gebäudes vornehmen zu können, muss Klarheit über die Größe der Nettogrundflächen und deren Nutzung herrschen. Hierzu sind die in Abschnitt 3.7.1 aufgeführten Vorarbeiten erforderlich. Insbesondere die Qualität der Grundrisse des Bestandsgebäudes hat Auswirkungen auf den zeitlichen Aufwand zur Abbildung der Zonenflächen.

Das Blatt „Zonierungshilfe“ in der Verbrauchsstrukturanalyse soll die Abbildung der vorhandenen Nutzungsstruktur der Flächen erleichtern. Es kann in den Fällen eingesetzt<sup>58</sup> werden, bei denen die Flächen nicht aufsummiert nach Nutzungen vorliegen. In der Zonierungshilfe werden die Nutzungen geschossweise erfasst. Dabei können die den Plänen entnommenen NGF den verschiedenen genutzten Zonen zugewiesen werden. Fehlen die Flächenangaben in den Plänen, kann alternativ dazu auch die NGF<sup>59</sup> des Geschosses angegeben und die prozentualen Anteile der Zonen an der NGF des Geschosses abgeschätzt<sup>60</sup> werden. Die Arbeit mit der Zonierungshilfe schließt ab, indem die Nutzungsprofile und Gesamtflächen der Zonen durch Nutzung eines Makros in das Blatt Gebäudeanalyse exportiert werden.

Im Blatt „Gebäudeanalyse“ wird die Energiebezugsfläche der flächengrößten Zone aus der Differenz<sup>61</sup> der beheizten Energiebezugsfläche – gleichbedeutend mit der NGF innerhalb der thermischen Hülle – und der Summe der beheizten Energiebezugsflächen (NGF) aller weiteren Zonen berechnet. Bevor Angaben zum Vorkommen der Gewerke und zu deren Energieaufwandsklassen gemacht werden, sind die Zonen vollständig anzulegen<sup>62</sup>.

Eine Zone gilt dann als vollständig angelegt, wenn:

- ein Nutzungsprofil ausgewählt ist **und**
- eine Energiebezugsfläche angegeben ist.

In den Bewertungshilfen werden in den Auswahllisten ausschließlich Zonen angezeigt, für die Nutzungsprofil und EBF angegeben sind. Sollen den Zonen Standard-Energieaufwandsklassen durch Makros zugewiesen werden, ist bei einigen Gewerken das Vorkommen des Gewerks durch Setzen des Häkchens „vorhanden“ anzugeben.

### Zuweisung von Standard-Energieaufwandsklassen

Standard-Energieaufwandsklassen werden den Zonen durch Makros zugewiesen. Eine solche Zuweisung soll die Eingabezeit verkürzen. Die Referenzkennwerte sind im TEK-Projekt so ermittelt, dass die Energieaufwandsklasse „Mittel“ etwa den energetischen Zustand eines durchschnittlichen Bestandsgebäudes widerspiegelt. Gibt ein Gebäude keine offensichtlichen Hinweise auf einen besonders hohen bzw. niedrigen

<sup>57</sup> Die Erstellung eines Tools zur Auswertung der Verbrauchsstrukturanalysen eines Gebäudepools ist in diesem Forschungsvorhaben nicht vorgesehen. Gleichwohl würde sich ein solches Tool als sehr hilfreich erweisen und wird für die Weiterentwicklung des Instrumentes der Verbrauchsstrukturanalyse vorgeschlagen (s. Abschnitt 7.2).

<sup>58</sup> Wird die Zonierung mit der Zonierungshilfe vorgenommen, geschieht dies vor den weiteren Arbeitsschritten im Blatt Gebäudeanalyse.

<sup>59</sup> Die NGF kann direkt angegeben werden oder aus der BGF ermittelt werden. Die Umrechnung zwischen BGF und NGF erfolgt mit dem pauschalen Umrechnungsfaktor 0,87 oder ersatzweise mit einem individuell angegebenen Umrechnungsfaktor für einzelne Geschosse.

<sup>60</sup> Hier wird der Anteil der bereits zugewiesenen NGF des Geschosses angegeben. Der Anwender erhält durch die Einfärbung eines von 100% abweichenden Anteils Auskunft darüber, dass die NGF noch nicht vollständig bzw. mehr als die vorhandene NGF verteilt wurde.

<sup>61</sup> Für den Fall, dass die Zonierungshilfe nicht genutzt wurde, dient das der Plausibilitätsprüfung, ob alle Flächen vollständig erfasst und eindeutig zugeordnet sind.

<sup>62</sup> Wird die Zonierungshilfe verwendet, sind die Zonen beim Export in das Blatt Gebäudeanalyse bereits vollständig angelegt.

Energieverbrauch, so kann allen Gewerken der Zonen in erster Näherung die Standard-Energieaufwandsklasse „Mittel“ zugewiesen werden. Das Makro mit dieser Funktionalität ist in dem Teil des Blattes Gebäudeanalyse eingebettet, der die Grunddaten des Gebäudes enthält.

Für einige Gewerke gibt es ein Makro mit derselben Funktionalität (Zuweisung der Standard-Energieaufwandsklasse) beschränkt auf das einzelne Gewerk. Erkennt der erfahrene Anwender, dass neben der Standard-Energieaufwandsklasse für das Gebäude ein Gewerk über alle Zonen hinweg anders zu bewerten ist, kann die Eingabezeit für die Energieaufwandsklasse dieses Gewerks durch Nutzung des gewerkbezogenen Makros verkürzt werden.

Weiterhin ist es möglich, durch den Button „Zurück“ ein Makro zu starten, das alle Energieaufwandsklassen der Zonen auf den Zustand zurücksetzt, der vor der Nutzung eines Makros zur Zuweisung von Standard-Energieaufwandsklassen (Zuweisungsmakro) herrschte. Das Makro „Zurück“ hat ausschließlich die Funktion, die Zuweisung von Standard-Energieaufwandsklassen durch ein versehentliches Starten eines Zuweisungsmakros rückgängig zu machen. Alle nach der letzten Nutzung eines Zuweisungsmakros manuell zugewiesenen Energieaufwandsklassen gehen bei Nutzung des Zurück-Buttons verloren. Die Funktionalität der Makros ist im VSA-Tool detailliert beschrieben.

Damit die Makros ihrem Zweck, nämlich der Verkürzung der Eingabezeit, uneingeschränkt dienen können, wird empfohlen, die vorgeschlagene Reihenfolge bei der Angabe der Energieaufwandsklasse unbedingt einzuhalten:

1. Zuweisung der Standard-Energieaufwandsklasse des Gebäudes (Zuweisungsmakro)
2. Zuweisung der Standard-Energieaufwandsklasse für einzelne Gewerke (Zuweisungsmakro)
3. Detaillierte Angaben zu einzelnen Gewerken (Bewertungshilfen).

Nach der oben vorgeschlagenen Reihenfolge würde jetzt das Blatt Gebäudeanalyse gegebenenfalls verlassen und detaillierte Bewertungen mit den Bewertungshilfen vorgenommen (s. Abschnitt 3.7.2.2).

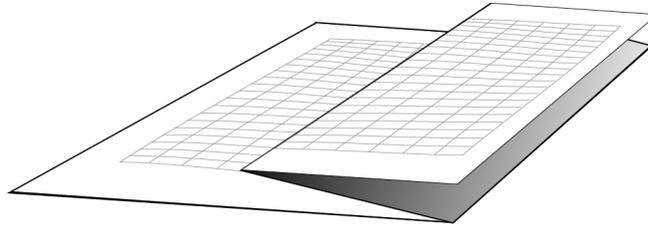
#### Verbrauchsdaten und Ergebnisse

Die Eingabe der Verbrauchsdaten im Blatt Gebäudeanalyse wurde in Tabelle 13 ganz bewusst als letzter Arbeitsschritt vor der Dokumentation der Ergebnisse vorgesehen. Grundsätzlich kann die Eingabe der Verbrauchsdaten zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Verbrauchsstrukturanalyse erfolgen. Die Funktionalität des Werkzeuges wird dadurch nicht eingeschränkt. In der praktischen Anwendung zeigt sich aber, dass vorhandene Verbrauchskennwerte den Anwender dazu verleiten können, gewählte Energieaufwandsklassen zu „kalibrieren“, um eine verbesserte Übereinstimmung von Bedarf nach Verbrauchsstrukturanalyse und Verbrauch nach Abrechnung zu erzielen. Ein solches Vorgehen ist nicht zielführend. Man muss sich bei der Arbeit mit der Verbrauchsstrukturanalyse jederzeit vergegenwärtigen, dass eine relativ grobe Analyse der Verbrauchsstruktur anhand klassifizierter Kennwerte vorgenommen wird und damit auch größere Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch vorkommen können. Zudem sind Verbrauchsdaten mindestens genauso kritisch zu hinterfragen (s. Abschnitt 3.7.1.1).

Die Verbrauchsstrukturanalyse wird mit einer Gegenüberstellung von gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf der Bestandssituation sowie einem objektspezifischen Benchmarking abgeschlossen. Die Bedarfe werden getrennt nach Wärme und Strom über alle vorkommenden Gewerke aufsummiert. Der Vergleich zwischen Verbrauch und Bedarf nach abgebildeter Bestandssituation gibt Aufschluss darüber, wie gut der Verbrauch des Gebäudes durch das Verfahren der Verbrauchsstrukturanalyse erklärt werden kann. Das objektspezifische Benchmarking vermittelt einen Eindruck davon, in welcher Größenordnung Energiekennwerte nach einer vollständigen energetischen Modernisierung im konkreten Gebäude bei der vorhandenen Nutzungsstruktur liegen können.

Das Blatt Gebäudeanalyse ist so angelegt, dass ein Ausdruck der Ergebnisdarstellung vorzugsweise im A3-Querformat erfolgt. Wird der Ausdruck gefaltet (s. Abbildung 14), sind die Grunddaten des Gebäudes und die wesentlichen Ergebnisse als Grafiken mit aufsummierten Endenergiekennwerten der Verbräuche, Bedarfe und Benchmarks sichtbar.

**Abbildung 14: Ergebnisse der Gebäudeanalyse – Faltschema des Ausdrucks im A3-Querformat**



### 3.7.2.2 Bewertungshilfen Heizung und Beleuchtung

Beide Bewertungshilfen dienen dazu, anhand der Ausprägungen der energetischen Parameter der Zone zu einem Vorschlag für eine Energieaufwandsklasse zu gelangen. Für jeden Parameter ist ein Schieberegler in der Bewertungshilfe vorhanden, mit dem die Parameterausprägung gewählt werden kann. Die Parameterausprägungen können abgespeichert werden. Damit ist es zu einem späteren Zeitpunkt möglich, die gewählten Parameterausprägungen nachzuvollziehen bzw. zu korrigieren. In den Bewertungshilfen gibt es zudem eine Schnittstelle zum Blatt Gebäudeanalyse. Sie dient der Verknüpfung der aktuell zu bewertenden Zone und dem Export der für die Zone ermittelten EAK von der Bewertungshilfe in das Blatt Gebäudeanalyse.

Da davon ausgegangen wird, dass die Parameterausprägungen der Zonen zumindest teilweise gleich sind, bleiben zur Arbeitserleichterung beim Laden einer Zone, für die noch keine Ausprägungen gespeichert worden sind, die Ausprägungen der zuletzt bearbeiteten Zone stehen. Sie müssen zur Übernahme noch jeweils gespeichert werden.

#### Bewertungshilfe Heizung

Die Nutzung der Bewertungshilfe Heizung umfasst die Beschreibung der Parameterausprägungen zum Gewerk Heizung und die Verarbeitung der Daten (Laden, Speichern, Export) für jede abzubildende Zone. Begonnen wird damit, dass aus der Auswahlliste<sup>63</sup> eine Zone innerhalb der thermischen Hülle<sup>64</sup> gewählt wird. Für diese Zone werden nun die Parameterausprägungen angegeben. Nach Abschluss der Angaben zum Gewerk können die Daten in zweierlei Weise weiterverarbeitet werden. Zum einen kann eine – aus dem Vorschlag der Bewertungshilfe abgeleitete – Energieaufwandsklasse in das Blatt Gebäudeanalyse exportiert werden. Die Klasse wird dem Gewerk Heizung der in der Auswahlliste aktuell ausgewählten Zone zugewiesen. Zum anderen können die Parameterausprägungen jeder Zone abgespeichert werden. Die Angaben können damit zu einem späteren Zeitpunkt auch wieder geladen werden. So bleibt es nachvollziehbar, welche Ausprägungen zur Wahl einer bestimmten Energieaufwandsklasse geführt haben. Für etwaige Besonderheiten ist ein Bemerkungsfeld vorgesehen. Die Bemerkungen werden gemeinsam mit den Parameterausprägungen der Zone abgespeichert.

#### Bewertungshilfe Beleuchtung

Die Nutzung der Bewertungshilfe Beleuchtung erfolgt nach dem gleichen Prinzip. Im Unterschied zur Bewertungshilfe Heizung werden hier alle vollständig angelegten Zonen in der Auswahlliste angezeigt. Die Auflistung erfolgt hier also unabhängig davon, ob die Zonen innerhalb oder außerhalb der thermischen Hülle liegen.

<sup>63</sup> In der Auswahlliste sind nur Zonen enthalten, die im Blatt Gebäudeanalyse – durch Angabe von Nutzungsprofil und Energiebezugsfläche – vollständig angelegt sind.

<sup>64</sup> Zonen außerhalb der thermischen Hülle gelten als nicht beheizt. Folglich kann auch kein Energiebedarf für Heizung abgebildet werden. Eine Zone liegt außerhalb der thermischen Hülle, wenn im Blatt Gebäudeanalyse das entsprechende Häkchen gesetzt ist.

## 4 TEK-Analysen für 10 hessische öffentliche Nichtwohngebäude

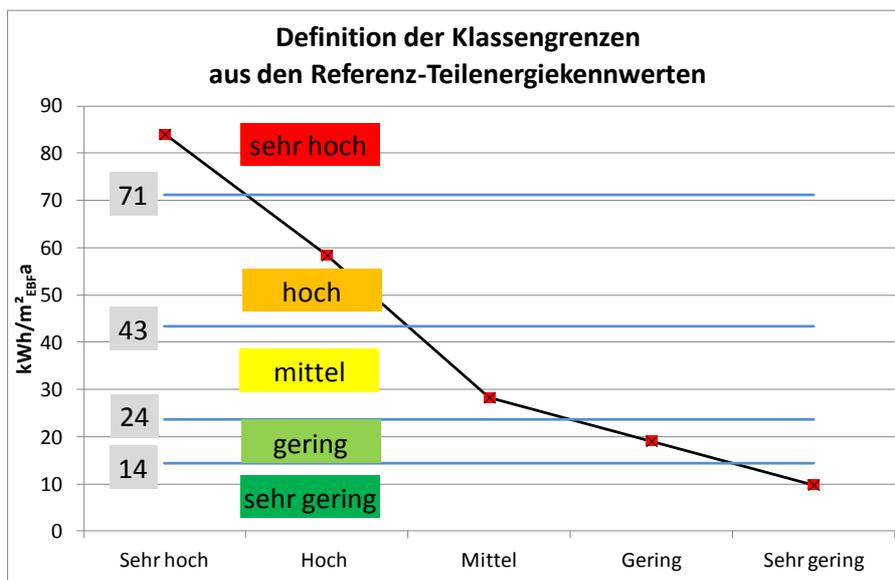
In diesem Abschnitt wird die Analyse von 10 hessischen öffentlichen Nichtwohngebäuden des Gebäudebestandes mit dem am IWU entwickelten TEK-Tool beschrieben. Dieses Rechenwerkzeug zur energetischen Bilanzierung von Nichtwohngebäuden ist im Rahmen des Forschungsprojektes „Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden (TEK)“ parallel zum Forschungsvorhaben der Verbrauchsstrukturanalyse entwickelt worden. Der Berechnungsalgorithmus lehnt sich an die Methodik von DIN V 18599 an, wobei zahlreiche Anpassungen, Vereinfachungen und Erweiterungen vorgenommen wurden. Zielsetzung war dabei, die Abbildung von Bestandsgebäuden zu ermöglichen und den zeitlichen Aufwand für die Analyse gegenüber bekannten Rechenwerkzeugen zu verringern.

Das Gebäude wird bei Verwendung des TEK-Tools zoniert. Als Ergebnis der Analyse werden Teilenergiekennwerte für die verschiedenen Gewerke jeder Zone ausgegeben. Weitere Gewerke (Zentrale Dienste und Diverse Technik) werden auf Gebäudeebene bilanziert. Die Kennwerte, die aus der Bilanzierung hervorgehen, werden als objektspezifische Teilenergiekennwerte (Objekt-TEK) bezeichnet. Diese Kennwerte werden auf Nutz-, End- und Primärenergieebene angegeben. Zusätzlich wird der errechnete Endenergiebedarf mit dem tatsächlich gemessenen Endenergieverbrauch verglichen. So werden die Berechnung des Bedarfes wie auch die Angabe des Verbrauches auf Plausibilität überprüft.

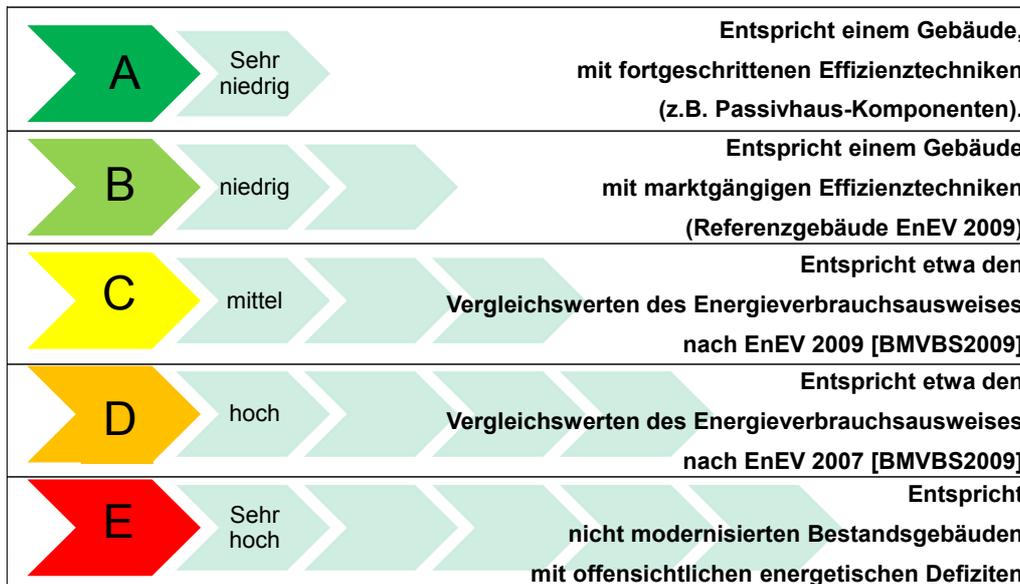
Die berechneten, objektspezifischen Teilenergiekennwerte werden zudem anhand von Referenz-Teilenergiekennwerten (Referenz-TEK) bewertet. Diese Referenz-TEK liegen für die Gewerke Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Luftförderung, Kühllkälte, Dampf und Arbeitshilfen vor. Sie wurden unter Annahme standardisierter Randbedingungen und Parameterausprägungen in jeweils fünf – als typisch erachteten – Klassen im Rahmen des TEK-Forschungsprojektes berechnet. Aus den so gewonnenen Referenz-TEK können wiederum Klassengrenzen abgeleitet werden (vgl. Abbildung 15), anhand derer die Klassifizierung und damit die Bewertung der Objekt-TEK des analysierten Gebäudes vorgenommen werden kann. Diese Bewertung erfolgt in fünf Energieaufwandsklassen von „Sehr gering“ bis „Sehr hoch“ (vgl. Abbildung 16). Eine Beschreibung der Methodik des TEK-Tools ist in [TEK-Methodik2013] enthalten.

Für die hier zu beschreibenden Gebäude werden nach Abbildung des Ist-Zustandes verschiedene Modernisierungsstandards mit dem TEK-Tool untersucht. Das Werkzeug wird dazu genutzt, die potenziellen energetischen Einsparungen durch verschiedene Modernisierungspakete aufzuzeigen.

**Abbildung 15: Definition der Klassengrenzen aus den Referenz-Teilenergiekennwerten – Beispiel für das Gewerk Beleuchtung für das Nutzungsprofil Einzelbüro**



**Abbildung 16: Schema der größenordnungsmäßigen Zuordnung der fünf Energieaufwandsklassen zu energetischen Standards**



#### 4.1 Beschreibung der untersuchten 10 hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude

Nichtwohngebäude im Bestand sind hinsichtlich des Energieeinsatzes sehr inhomogen. Nicht nur die Größe, Form oder Bauteilkonstruktionen des Baukörpers, sondern auch die Nutzung und die damit verbundene Gliederung in unterschiedliche Zonen sind wichtige energetisch relevante Parameter. Auch der Grad an technischer Gebäudeausrüstung variiert stark. So besitzt beispielsweise ein Forschungsgebäude mit vielen Laborräumen meist eine deutlich komplexere Gebäudebelüftung als ein Verwaltungsgebäude mit überwiegender Büronutzung und Fensterlüftung.

Eine Auswahl von 10 Gebäuden kann die Diversität aller energetisch relevanten Parameter nicht adäquat abbilden. Die ausgewählten und hier untersuchten Gebäude weisen alle eine büroartige Nutzung auf. Dennoch gibt es erkennbare Unterschiede in der Intensität der Hauptnutzung (insbesondere Verteilung Einzel-, Gruppenbüro, Sitzungssaal und unterschiedliche Nutzungszeiten). Die Gebäude gehören vier unterschiedlichen Gebäudekategorien entsprechend dem Bauwerkszuordnungskatalog [BMVBS2009] an. Dies sind drei Gerichtsgebäude, vier Verwaltungsgebäude, zwei Polizeidienstgebäude und ein Bürogebäude. Die einzelnen Gebäude unterscheiden sich des Weiteren in ihrer Größe. Der energetische Standard der thermischen Gebäudehülle verteilt sich auf ein breites Spektrum. Es reicht von ungedämmten Konstruktionen mit deutlichen Wärmebrücken und Undichtigkeiten bis hin zu passivhaustauglichen Bauteilen. Dementsprechend liegen auch die Verbrauchskennwerte in deutlich voneinander abweichenden Kennwerten vor. Eine so breite Streuung ist bei der Betrachtung des Einsatzes elektrischer Energie nicht zu erwarten. Die meisten der 10 Gebäude weisen einen vergleichsweise geringen technischen Ausstattungsgrad auf. Mit der hier beschriebenen Untersuchung sollen die Ergebnisse der Gebäudeanalyse mit beiden Werkzeugen (VSA-Tool und TEK-Tool) diskutiert und die Anwendbarkeit der Werkzeuge zur energetischen Bilanzierung von Nichtwohngebäuden im Bestand aufgezeigt werden. Auf eine detaillierte Beschreibung der energetisch relevanten Parameter der 10 Gebäude wird hier verzichtet. Sie findet sich in Anhang 9.7.

#### 4.2 Rahmenbedingungen zu den Modernisierungsempfehlungen der untersuchten Nichtwohngebäude

Die energetische Gebäudebilanzierung mit der TEK-Methode soll in einem ersten Schritt Objekt-TEK für den Ist-Zustand der Gebäude liefern. Anschließend werden aus einzelnen Modernisierungsmaßnahmen Maß-

nahmenpakete – die sogenannten Modernisierungsempfehlungen – zusammengestellt und die Gebäude entsprechend der jeweiligen energetischen Zielsetzung der Modernisierungsempfehlungen erneut mit dem TEK-Tool bilanziert.

Im Rahmen dieses Projektes werden drei Modernisierungsempfehlungen (ME) mit dem TEK-Tool untersucht. ME2 und ME3 unterscheiden sich nach der energetischen Effizienz der vorgeschlagenen baulichen Maßnahmen und dem Umfang der anlagentechnischen Maßnahmen. In ME2 entsprechen die Maßnahmen etwa den Mindestanforderungen nach EnEV 2009. ME1 ist eine Nebenvariante von ME2, bei der der Umfang der realisierten Maßnahmen eingeschränkt wird. So soll der Einfluss von Bauteilen verdeutlicht werden haben, die zwar nicht den energetischen Standard eines nach EnEV 2009 modernisierten Bauteils aufweisen, aber aufgrund des energetischen Standards bzw. der Restnutzungsdauer im praktischen Fall wahrscheinlich noch nicht ausgetauscht werden. ME3 bündelt energetisch hoch effiziente Maßnahmen an Bauteilen und Anlagentechnik. So wird ein Gebäudestandard nach energetisch aufwendiger<sup>65</sup> Modernisierung beschrieben.

Die drei Modernisierungsempfehlungen zielen also darauf ab, die energetische Effizienz von Nichtwohngebäuden in einer Art Zwischenzustand nach einer Teilmodernisierung (ME1) und im Zielzustand nach abgeschlossener energetischer Modernisierung (ME2 und ME3) aufzuzeigen. Die aufwendigen Maßnahmen nach ME3 spiegeln dabei nicht vordergründig das praktisch übliche sondern das ambitionierte Vorgehen wider, verbunden mit der Zielsetzung, zu einer möglichst hohen Energieeinsparung zu gelangen.

Individuelle Besonderheiten der untersuchten Gebäude werden mit berücksichtigt. So beeinflussen beispielsweise Restriktionen aus dem Denkmalschutz oder dem Wunsch nach dem Erhalt des Charakters des Gebäudes (z.B. Erhalt einer Klinkerfassade) einzelne Modernisierungsmaßnahmen. Wird als Maßnahme eine innen liegende Dämmung der Außenwand anstelle eines außenseitig aufgebrachtens Wärmedämmverbundsystems gewählt, stellt das eine solche Berücksichtigung von Besonderheiten dar.

Im manchen Fällen stimmen die Modernisierungsmaßnahmen in Anzahl und Ausführung zwischen ME1 und ME2 überein, weil der energetische Ausgangszustand aller Bauteile den Abgrenzungskriterien entsprechend zur Bildung einer Modernisierungsmaßnahme führt. ME1 wird in den Kostenbetrachtungen generell nicht diskutiert, da insbesondere die Kapitalkosten unvollständig abgebildet sind.

Nachfolgend sind weitere Erläuterungen zu den Modernisierungsempfehlungen bzw. den auszuwählenden Einzelmaßnahmen aufgeführt. Eine detaillierte Auflistung der Ausprägung einzelnen energetischen Parameter der festgelegten Standardmaßnahmen ist in Anhang 9.5 zu finden.

#### 4.2.1 Rahmenbedingungen zur Modernisierungsempfehlung 1 – „Minimal“

Die Bezeichnung „Minimal“ in ME1 steht für eine Teilmodernisierung. Es werden nicht automatisch alle Bauteile und Anlagen durch Komponenten ausgetauscht, die den Mindestanforderungen nach EnEV entsprechen. Die energetischen Standards der in Tabelle 14 enthaltenen Abgrenzungskriterien sind so gewählt, dass in der jüngeren Vergangenheit bereits realisierte energetische Modernisierungsmaßnahmen in ME1 unverändert angesetzt werden und so auf erneut durchzuführende und damit vorgezogene Maßnahmen verzichtet wird. Realisierte Maßnahmen haben – auf das modernisierte Bauteil bezogen – bereits zu einer deutlichen Effizienzsteigerung gegenüber dem Ursprungszustand des Gebäudes geführt. So wird beispielsweise eine bereits 8 cm gedämmte Außenwand nicht erneut modernisiert. Ein ggf. vorhandenes beheiztes Kellergeschoss wird im Rahmen dieser Modernisierungsempfehlung generell nicht modernisiert und im vorhandenen energetischen Zustand belassen. RLT-Anlagen werden nur in den Zonen berücksichtigt, in denen sie auch im Ist-Zustand betrieben werden.

Aus dem Baualter eines Gebäudes alleine kann nicht zwangsläufig auf den energetischen Zustand der Hüllbauteile und Anlagentechnik geschlossen werden. Bereits durchgeführte Teilmodernisierungen sind fast immer vorzufinden. Von den 10 untersuchten Gebäuden ist lediglich ein Gebäude im Ursprungszustand.

<sup>65</sup> Erhöhter Aufwand wird beispielsweise in der nachträglichen Dämmung des Kellerfußbodens angenommen, was dann auch zu erhöhten Kosten führt.

Dabei handelt es sich jedoch um ein junges Gebäude des Baujahrs 2003. Teilmodernisierungen der anderen Nichtwohngebäude wurden meist durchgeführt für:

- Fenster (vollständig oder in Teilen)
- Wärmeerzeuger
- Beleuchtung (vollständig oder in Teilen bei Defekt)
- Oberste Geschossdecke (wenige cm dicke Dämmstoffplatten).

Die übrigen (opaken) Hüllbauteile sind im Gegensatz dazu sehr selten energetisch modernisiert.

Die Beleuchtung der Gebäude 4 und 5 weist in den Bürozoneneine Besonderheit auf. Hier sind in den vergangenen Jahren zusätzliche Leuchten zur Arbeitsplatzbeleuchtung installiert worden, die in den TEK-Berechnungen zu einem hohen Bedarf an elektrischer Energie führen. Dieses Beleuchtungssystem wird in ME1 „Minimal“ erhalten (vgl. Abbildung 18). In allen anderen Fällen werden die standardisierten Maßnahmen nach Anhang 9.5 entsprechend der Abgrenzungskriterien nachfolgender Tabelle angesetzt.

**Tabelle 14: Abgrenzungskriterien für die Durchführung von Maßnahmen nach ME1 – „Minimal“**

Bauteil / Anlage	Abgrenzungskriterien	Ausprägung der Einzelmaßnahme
Fenster	U-Wert > 2 W/(m <sup>2</sup> K)	Energetische Anforderungen bzw. Ausprägungen entsprechend der Modernisierungsmaßnahmen aus den Kostenermittlungen des externen Planungsbüros, Anforderungen in Anlehnung an die Mindestanforderungen nach EnEV2009 (vgl. Anhang 9.5)
Außenwand	U-Wert > 0,6 W/(m <sup>2</sup> K)	
Dach und oberste Geschossdecke	U-Wert > 0,5 W/(m <sup>2</sup> K)	
Kellerdecke	U-Wert > 0,8 W/(m <sup>2</sup> K)	
Wärmeerzeuger	Brennwertkessel vor 1995 bzw. Wärmeerzeuger älter als 15 Jahre	
Beleuchtung	Weniger effizient als Leuchtstofflampe mit EVG bzw. VVG oder keinerlei Automatisierung vorhanden	
RLT-Anlage	Keine Wärmerückgewinnung, älter als 15 Jahre oder deutlich überdimensioniert	

#### 4.2.2 Rahmenbedingungen zur Modernisierungsempfehlung 2 - „Standard“

ME2 verfolgt eine umfassendere Gebäudemodernisierung in Anlehnung an die Mindestanforderungen nach EnEV 2009. Auch hier wird nicht das Ziel verfolgt, die Modernisierung des gesamten Gebäudes (gesamte thermische Hülle und Anlagentechnik) zwingend vorzunehmen. Bauteile und Anlagen, die vor 2002 erbaut, modernisiert oder installiert wurden, werden im Rahmen von ME2 modernisiert, während neuere Bauteile und Anlagentechnik im Bestand verbleiben. Sehr aufwendige Einzelmaßnahmen, wie die nachträgliche Dämmung einer Bodenplatte, werden im Rahmen dieser Modernisierungsempfehlung nicht behandelt.

Ob im zu untersuchenden Gebäude Einzelmaßnahmen zu berücksichtigen sind, richtet sich nach den Abgrenzungskriterien der Modernisierung in Tabelle 15. Ein gegebenenfalls vorhandenes, beheiztes Kellergeschoss wird im Rahmen dieses Maßnahmenpaketes nur im Bereich der Außenwände bzw. an der Unterseite der Kellerdecke gedämmt.

**Tabelle 15: Abgrenzungskriterien für die Durchführung von Maßnahmen nach ME2 – „Standard“**

Bauteil / Anlage	Abgrenzungskriterien	Ausprägung der Einzelmaßnahme
Fenster	Bauteil älter als 2002 bzw. davor modernisiert oder weniger effizient als nach Anforderungen der EnEV2009	Energetische Anforderungen bzw. Ausprägungen entsprechend der Modernisierungsmaßnahmen aus den Kostenermittlungen des externen Planungsbüros, Anforderungen in Anlehnung an die Mindestanforderungen nach EnEV2009 (vgl. Anhang 9.5)
Außenwand		
Dach und oberste Geschossdecke		
Kellerdecke		
Außenwände gegen Erdreich		
Kellerfußboden	Bauteil wird generell nicht modernisiert	
Wärmeerzeuger	Anlage älter als 2002 bzw. weniger effizient als nach Anforderungen der EnEV2009	
Beleuchtung		
RLT-Anlage		

### 4.2.3 Rahmenbedingungen zur Modernisierungsempfehlung 3 – „Ambitioniert“

Schließlich verfolgt ME3 „Ambitioniert“ das ambitionierte Ziel einer umfassenden Gebäudemodernisierung mit passivhaustauglichen Komponenten. Hierbei werden alle thermischen Hüllflächen wie auch die Anlagentechnik energetisch modernisiert. Dies umfasst auch eine vollständig mechanische Belüftung des Gebäudes über raumluftechnische Anlagen mit Wärmerückgewinnungsgraden von 75 bis 80 %. Die Gebäudebeleuchtung wird unter Zuhilfenahme von aktiver Steuerelektronik gestaltet. Es kommen Präsenzmelder und eine automatisierte Tageslichtlenkung der Außenjalousien zum Einsatz. Die Abgrenzungskriterien für die Durchführung der Einzelmaßnahmen sind nachfolgend in Tabelle 16 beschrieben.

**Tabelle 16: Abgrenzungskriterien für die Durchführung von Maßnahmen nach ME3 – „Ambitioniert“**

Bauteil / Anlage	Abgrenzungskriterien	Ausprägung der Einzelmaßnahme
Fenster	Generell zu modernisieren	Energetische Anforderungen bzw. Ausprägungen entsprechend der Modernisierungsmaßnahmen aus den Kostenermittlungen des externen Planungsbüros, Anforderungen entsprechend einer Modernisierung mit passivhaustauglichen Komponenten (vgl. Anhang 9.5)
Außenwand		
Dach und oberste Geschossdecke		
Kellerdecke	Wenn Kellergeschoss unbeheizt, generell zu modernisieren	
Außenwände gegen Erdreich		
Kellerfußboden	Fernwärmeanschluss oder bereits verbesserter Brennwertkessel installiert	
Wärmeerzeuger		
Beleuchtung	Generell zu modernisieren	
RLT-Anlagen		

## 4.3 Abbildung der Varianten im Bestand und nach Modernisierung mit dem TEK-Tool

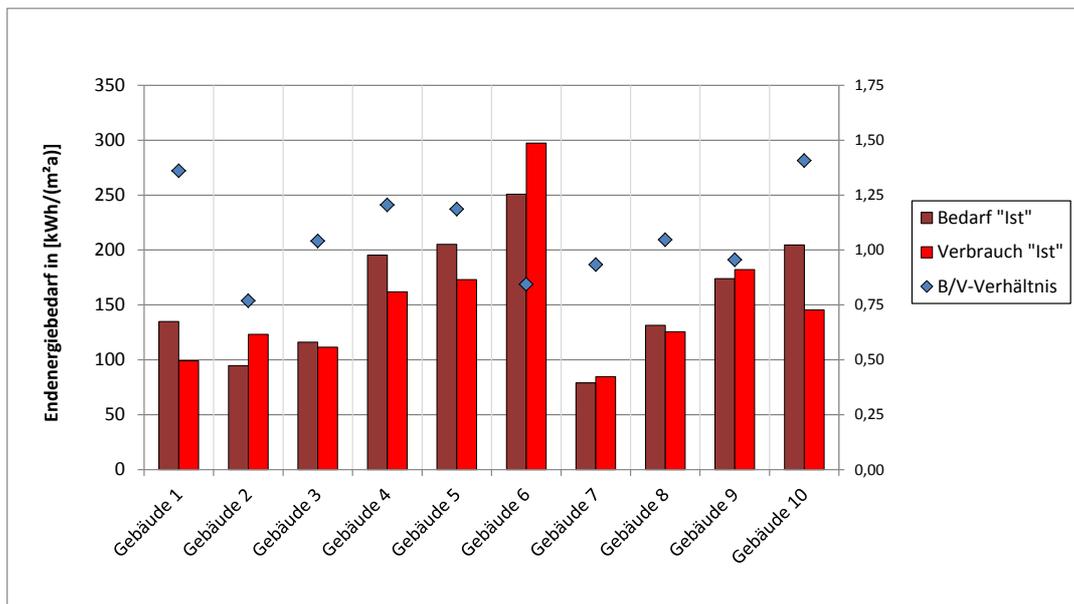
### 4.3.1 Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich

Die Verlässlichkeit der Aussagen aus der Bilanzierung mit dem TEK-Tool korrespondiert mit der Übereinstimmung von berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch. Gleichwohl ist eine „Justierung“ des Bedarfes, also eine nachträgliche Anpassung energetisch relevanter Parameter zur Verbesserung der Übereinstimmung, nicht zielführend. Liegen Bedarf und Verbrauch des Ist-Zustandes in der gleichen Größenord-

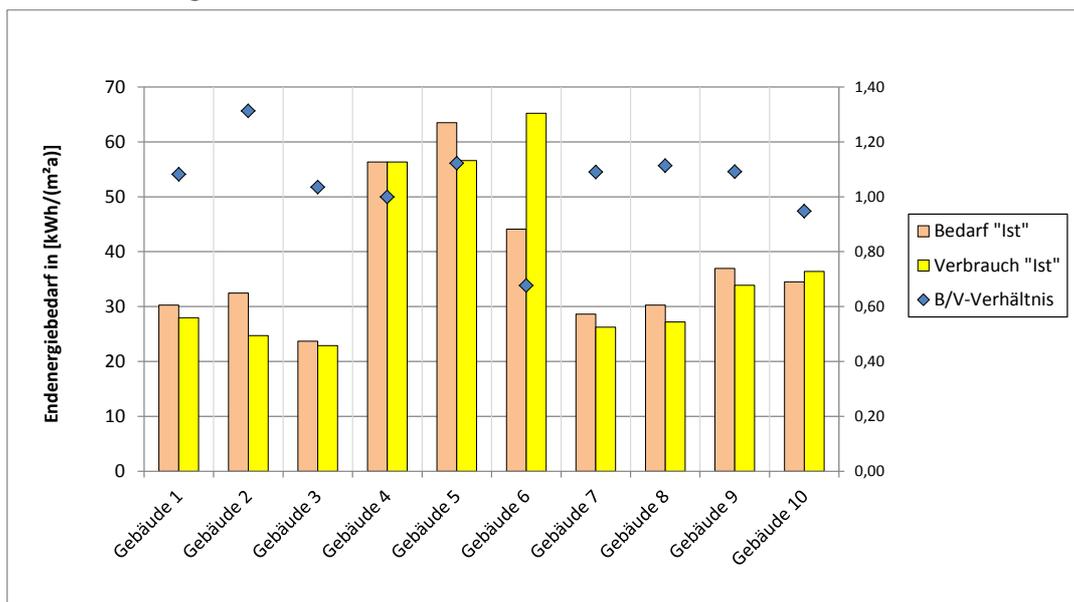
nung, können durch die Bildung der Modernisierungsempfehlungen Hinweise über mögliche Einsparpotenziale gegeben werden. Für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude wird der Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich nachfolgend in Abbildung 17 für Wärme und Abbildung 18 für elektrische Energie dargestellt.

Dabei stellt ein Bedarfs-Verbrauchs-Verhältnis (B/V-Verhältnis) von 1 die Übereinstimmung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch dar. Je näher der Faktor an 1 liegt, desto größer wird tendenziell auch die Aussagekraft der prognostizierten Energieeinsparpotenziale der Modernisierungsempfehlungen, obgleich eine Unter- bzw. Überschätzung der Einsparpotenziale aufgrund der vereinfachten Bilanzierungsmethodik dennoch möglich bleibt.

**Abbildung 17: Vergleich des mit dem TEK-Tool berechneten Endenergiebedarfs mit dem gemessenen Endenergieverbrauch an Wärme für den Ist-Zustand der 10 untersuchten Nichtwohngebäude**



**Abbildung 18: Vergleich des mit dem TEK-Tool berechneten Endenergiebedarfs mit dem gemessenen Endenergieverbrauch an elektrischer Energie für den Ist-Zustand der 10 untersuchten Nichtwohngebäude**



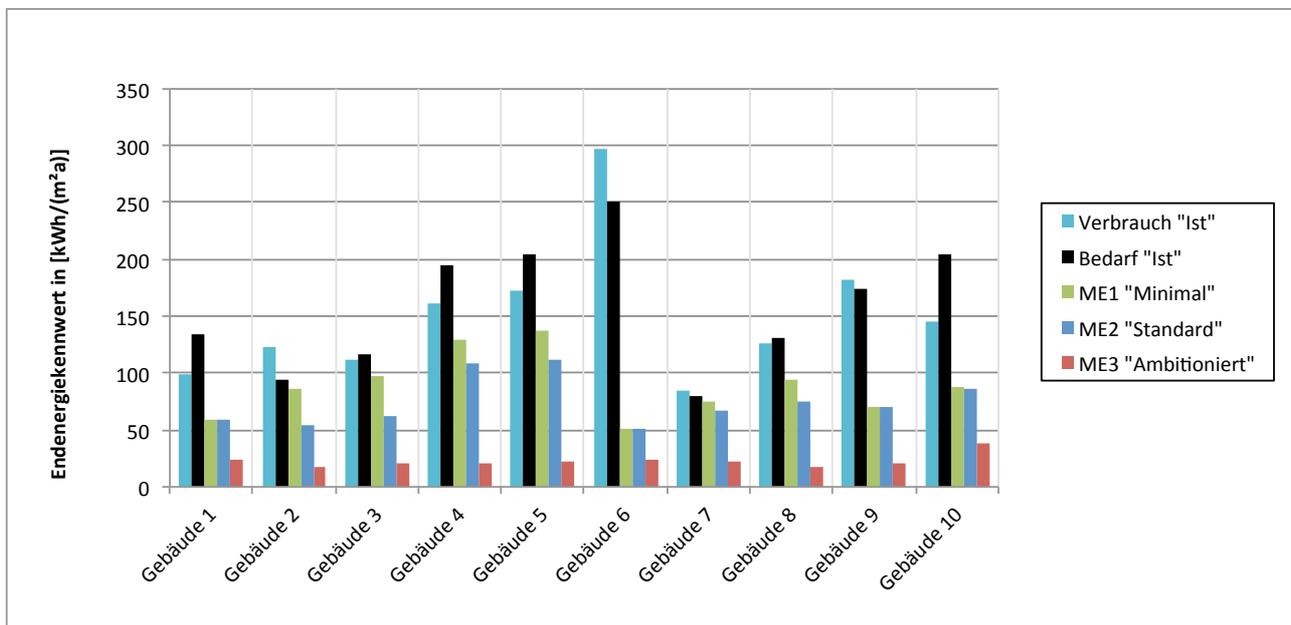
Wie Abbildung 18 zu entnehmen ist, bewegt sich der berechnete Bedarf an elektrischer Energie sehr nahe am gemessenen Verbrauch. Die Größe der Endenergiekennwerte ist für Bestandsgebäude mit geringer bis mittlerer technischer Ausstattung typisch. Für Gebäude 6 wurde ein erkennbar größerer Bedarf ermittelt. Der Ist-Zustand des Gebäudes stellt allerdings eine Rekonstruktion der Nutzung und der baulichen wie anlagentechnischen Randbedingungen vor der umfassenden Modernisierung des Gebäudes dar. Zum Zeitpunkt der TEK-Analyse stand das Gebäude schon über einen längeren Zeitraum leer.

Für den Endenergieeinsatz an Wärme stellt sich in Abbildung 17 ein etwas abweichendes Bild dar. Hier liegt zwar für die meisten der untersuchten Gebäude ein berechneter Bedarf innerhalb einer 20%-igen Über- bzw. Unterschätzung gegenüber dem Verbrauch, allerdings kommt es auch zu höheren Abweichungen, wie bei Gebäude 1 und 10. Eine Über- bzw. Unterschätzung des Energieverbrauchs kann viele Ursachen haben. Die zu energierelevanten Parameter aus thermischer Gebäudehülle, Anlagentechnik und Zonennutzung liefern ein Potenzial für höhere Abweichungen, als es bei der Bilanzierung der elektrischen Energie der Fall ist. So kann allein die Änderung der Raumtemperatur um 1 Kelvin zu einer deutlichen Änderung des berechneten Endenergiebedarfs Heizung führen.

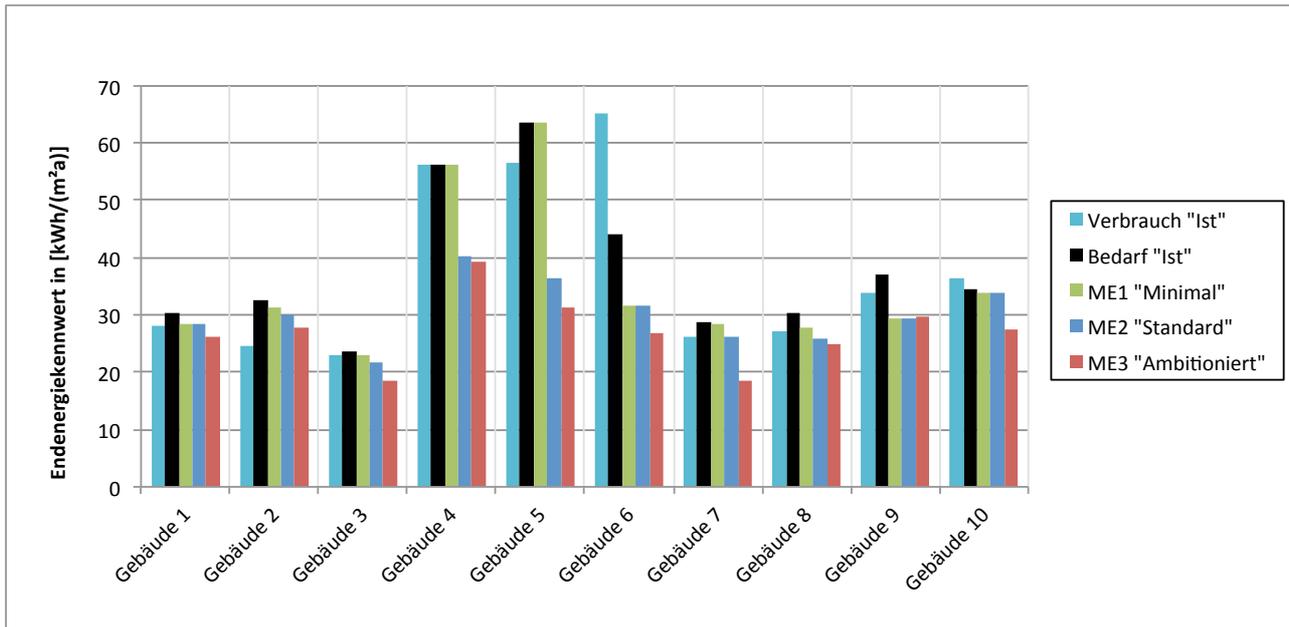
### 4.3.2 Endenergieeinsatz im Bestand und in den Modernisierungsvarianten

Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die berechneten Energiebedarfe auf Endenergieebene für die Modernisierungsempfehlungen. Zur Orientierung ist der Ist-Zustand mit Bedarf und Verbrauch ebenfalls mit aufgeführt. Bei einigen Gebäuden tritt der oben bereits beschriebene Fall ein, dass die Einzelmaßnahmen in Anzahl und energetischer Ausprägung für ME1 und ME2 übereinstimmen. Dementsprechend ergeben sich in diesen Gebäuden auch gleich große Kennwerte für ME1 und ME2.

**Abbildung 19: Vergleich der Endenergiekennwerte im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Wärme**



**Abbildung 20: Vergleich der Endenergiekennwerte im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Elektrische Energie**



Die Ergebnisse der TEK-Bilanzierung zeigen, dass die errechneten Energieeinsparungen beim Endenergiebedarf an Wärme deutlich höher ausfallen als beim Bedarf an elektrischer Energie. Die Einsparpotentiale sind insbesondere für Beleuchtung und Arbeitshilfen begrenzt, da die zugehörigen Komponenten und Systeme eine tendenziell kürzere Nutzungsdauer aufweisen und so in vielen Bestandsgebäuden bereits Modernisierungen stattgefunden haben.

#### Endenergiebedarf an Wärme

Abbildung 19 zeigt, dass ausgehend von den Kennwerten des Ist-Zustandes bei Umsetzung von ME1 bzw. ME2 mitunter sehr verschiedene Zielzustände erreicht werden. Die Maßnahmen in ME1 und ME2 haben zwar – wie schon erwähnt – gleiche energetische Standards. Das heißt, dass im Falle der Gebäudemodernisierung eines Gebäudes nach diesem Standard perspektivisch ein Zielwert nach ME2 denkbar ist. Der Kennwert nach ME1 beschreibt dann einen praxisnahen, von Restriktionen oder wirtschaftlichen Überlegungen geprägten Fall. Aufgrund der geringen Anzahl der Gebäude lassen sich nur Tendenzen qualitativ beschreiben. Sowohl für Gebäude mit mittleren Kennwerten im Ist-Zustand von etwa 100 bis 150 kWh/m<sup>2</sup>a Endenergie als auch für Gebäude mit deutlich höheren Kennwerten sind Beispiele vorhanden, bei denen nach ME2 – also mit Maßnahmen auf dem Niveau der Mindestanforderungen nach EnEV – der Endenergiebedarf an Wärme auf geringe Werte von 50 bis 80 kWh/m<sup>2</sup>a oder aber mittlere Werte in der Größenordnung von 100 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt werden kann. Der Ist-Zustand ist also nicht maßgeblich für den erreichbaren Zielzustand. Die höheren Kennwerte in ME2 sind hier für Gebäude mit großen spezifischen Hüllflächen ermittelt worden. Eines der Gebäude ist mit ca. 800 m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> relativ klein. Das andere besitzt ein Nebengebäude, das in der Bilanzierung berücksichtigt wurde. Als grobe Orientierung kann hier angegeben werden, dass der Energieeinsatz an Wärme rechnerisch etwa um ein Drittel bis die Hälfte des Bedarfes im Ist-Zustand zurückgeht. Die Einsparung bei Teilmodernisierung nach ME1 ist stark von den Abgrenzungskriterien abhängig. Es sind Beispiele für Gebäude vorhanden, bei denen ME1 und ME2 deckungsgleich sind, was dafür steht, dass unter den gesetzten Abgrenzungskriterien alle Modernisierungsmaßnahmen als notwendig angesehen werden. Ebenso gibt es aber Beispiele, bei denen sich die Kennwerte nach ME1 und ME2 deutlich unterscheiden. Dort sind Maßnahmen (z.B. Fenstertausch) bereits durchgeführt worden, deren Restnutzungsdauer noch hoch ist. Das zeigt, dass eine vorschnelle Fixierung auf den Zielwert einer umfangreichen Modernisierung nach ME2 zu Erwartungen führt, die in den Fällen nicht erfüllt werden können, in denen je nach den Präferenzen der Entscheider zunächst ein mehr oder minder großer Anteil der Maßnahmen zurückgestellt wird.

Gebäude 6 und 7 bilden Ausnahmen. Für Gebäude 6 ist bereits erwähnt, dass der Ist-Zustand rekonstruiert wurde. Gebäude 7 ist ein sehr junges Gebäude, dessen Ist-Zustand bereits nahe am Zielzustand nach ME2 liegt. Für ME3 zeigt sich für alle Gebäude ein recht einheitliches Bild. Hier liegen die berechneten Bedarfe bei 20 bis 35 kWh/m<sup>2</sup>a. Das zeigt, dass die vollständige Umsetzung ambitionierter Maßnahmen mit hohem energetischen Standard in der TEK-Berechnung generell zu sehr geringen Energiebedarfen führt. Eine Teilmodernisierung unter Ansatz dieses Standards wurde nicht untersucht.

#### Endenergiebedarf an elektrischer Energie

Der Energieeinsatz von elektrischer Energie verteilt sich auf viele Gewerke. Die gebäudetechnischen Systeme nehmen etwa die Hälfte der Energie in Anspruch, die andere Hälfte entfällt auf nutzungsspezifische Systeme (vgl. Abschnitt 6.3.1). Insbesondere hat sich für das Gewerk Beleuchtung, das bei Gebäuden mit geringer technischer Ausstattung maßgeblich für den Endenergieeinsatz an elektrischer Energie ist, gezeigt, dass in vielen Fällen bereits modernisierte Anlagen genutzt werden. Dementsprechend ergibt sich für die meisten Gebäude in Abbildung 20 eine geringe Einsparung an elektrischer Energie. Gebäude 4, 5 und 6 sind wiederum Ausnahmen. In den Gebäuden 4 und 5 wird die Abbildung des speziellen Beleuchtungssystems im Ist-Zustand und in ME1 als Ursache für den deutlichen Rückgang der Kennwerte in ME2 und ME3 gesehen. In Gebäude 6 ist der Ist-Zustand rekonstruiert. Die Zielwerte der hier untersuchten Gebäude nach ME2 und ME3 liegen bei 20 bis 40 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Unterschiede zwischen den Modernisierungsempfehlungen eines Gebäudes sind gering. Der zusätzliche Energieeinsatz für die flächendeckende Luftförderung in ME3 wird durch Einsparungen in den weiteren Gewerken überkompensiert.

## 4.4 Investitionskostenbetrachtung im Rahmen der TEK-Analyse

Da bei einer energetischen Gebäudemodernisierung nicht ausschließlich energetische Faktoren sondern auch ökonomische Aspekte von Belang sind, stellt die objektspezifische energetische Bilanzierung von Gebäuden lediglich den ersten Schritt im Entscheidungsprozess zur Modernisierung eines Gebäudes dar. Sind die energetischen Schwachstellen des Bestandsgebäudes und das theoretische Energieeinsparpotenzial der Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der TEK-Analyse ermittelt worden, kann anschließend eine Analyse der Investitionskosten vorgenommen werden. Die Kostenbetrachtung dient so als Entscheidungshilfe bei der Wahl einer bestimmten Modernisierungsempfehlung.

Dieser Abschnitt befasst sich mit einer Analyse der Investitionskosten der zehn hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude. Im Anhang befindet sich eine exemplarische Kostenbetrachtung für eines der Nichtwohngebäude. Dazu wurde das Excel-basierte Werkzeug TEK-Wirtschaftlichkeitstool (TEK-WiBe-Tool) aus dem TEK-Projekt verwendet. Für die Modernisierungsmaßnahmen an den 10 zu untersuchenden Gebäuden kann auf Kostenermittlungen aus dem Projekt „Typologie gestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude“ [IWU2014] zurückgegriffen werden.

### 4.4.1 Aufbau und Funktion des Excel-basierten TEK-WiBe-Tools und Anwendung im Rahmen der Verbrauchsstrukturanalyse

Das TEK-Wirtschaftlichkeitstool wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsprojektes „Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden“ entwickelt und wird in der Version 2.5 für die hier bzw. im Anhang durchgeführte Investitionskostenanalyse und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verwendet.

#### 4.4.1.1 Methodik des Rechenwerkzeuges TEK-WiBe-Tool

Im TEK-WiBe-Tool werden mittlere jährliche Gesamtkosten eines Gebäudes über einen gewählten Betrachtungszeitraum ermittelt. Die Methodik des TEK-WiBe-Tools orientiert sich am „Leitfaden für energiebewußte Gebäudeplanung“ (LEG) [IWU1999].

Dabei empfiehlt der LEG die Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsrechnung im Rahmen der Einschätzung von Modernisierungsmaßnahmen. Unter der Maßgabe eines technisch effizienten, ökologisch maßvollen

und gleichzeitig wirtschaftlichen Einsatzes von Energie sollen so die Maßnahmen mit den geringsten jährlichen Gesamtkosten durchgeführt werden<sup>66</sup>.

Um im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedene Modernisierungsvarianten vergleichen zu können, werden nach [IWU 1999] folgende Einflussgrößen berücksichtigt:

- Investitionen
- Nutzungsdauer
- Betrachtungszeitraum
- Kapitalzinssatz
- Jährlicher Energieverbrauch
- Entwicklung der Energiepreise
- Wartung, Inspektion und Instandsetzung.

Das TEK-WiBe-Tool nutzt dabei den Ansatz der Annuitätenmethode aus dem LEG unter Ansatz der Vollkosten der Modernisierungsmaßnahmen. Dabei werden die Gesamtinvestitionskosten auf nominal gleich hohe jährliche Raten (Annuitäten) über den Betrachtungszeitraum verteilt.

Der Vorteil der Methode ist die anschauliche Berechnung der mittleren jährlichen Gesamtkosten, welche sich aus den Betriebskosten und den Kapitalkosten zusammensetzen. Die Betriebskosten werden dabei nochmals in Energiekosten und Instandhaltungskosten unterteilt.

Die mittleren jährlichen Gesamtkosten (dort Jahreskosten) werden nach [IWU 1999] wie folgt berechnet<sup>67</sup>:

$$K_a = m_e \cdot K_e + m_u \cdot K_u + K_i$$

$K_a$ Jahreskosten	(€/a)
$K_e$ Energiekosten (Basis gegenwärtige Preise)	(€/a)
$K_u$ Instandhaltungskosten (Basis gegenwärtige Preise)	(€/a)
$K_i$ Kapitalkosten (annuitätisch)	(€/a)
$m_e$ Mittelwert der Verteuerung der Energie	(-)
$m_u$ Mittelwert der Verteuerung der Instandhaltungskosten	(-)

Diese Kostenkennwerte werden jeweils unter Annahme von aktuellen Preisen und Preissteigerungsraten, der Nutzungsdauer und eines Kalkulationszinssatzes ermittelt. Diese Rahmenbedingungen müssen für jede durchzuführende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung festgelegt werden.

Die jährlichen Energiekosten errechnen sich aus dem mit dem TEK-Tool bilanzierten Endenergiebedarf der unterschiedlichen ME und den jeweiligen mittleren Endenergiepreisen der Energieträger. Die mittleren Endenergiepreise ergeben sich aus der Multiplikation des heutigen Endenergiepreises mit einem Mittelwertfaktor.

Ein Mittelwertfaktor stellt dabei ein Maß für die Verteuerung der Energie innerhalb der Nutzungsdauer dar, und repräsentiert somit das Verhältnis der mittleren Energiepreise während der Nutzungsdauer zum heutigen Energiepreis [IWU1999].

Die jährlichen Instandhaltungskosten setzen sich zusammen aus Kosten für Wartung und Inspektion sowie Kosten für kleinere Instandsetzungen. Sie werden in den Modernisierungsempfehlungen jeweils als Prozentsatz pro Jahr aus den Investitionskosten der Einzelmaßnahmen abgeleitet. Die Prozentsätze pro Jahr wurden aus dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen [BMVBS2013] entnommen.

Die verwendeten Preissteigerungsraten der Energieträger werden in Anlehnung an die DLR Leitstudie 2008 [DLR2008] gesetzt<sup>68</sup>.

<sup>66</sup> Die Methodik orientiert sich somit auch an der „Cost-optimal methodology“ aus der Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) [EPBD2010]

<sup>67</sup> Genauere Informationen zur Annuitätenmethode finden sich in [IWU1999].

<sup>68</sup> Eine Ausnahme erfolgt für die angesetzte Preissteigerungsrate für Strom mit einer leicht erhöhten Annahme von 4%/a

#### 4.4.1.2 Anpassung des Rechenwerkzeuges TEK-WiBe-Tool an die Fragestellungen des Projektes Verbrauchsstrukturanalyse

Für die Anwendung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit dem TEK-WiBe-Tool im Rahmen des VSA-Projektes werden zwei Anpassungen vorgenommen

- Entfernung des Ist-Zustandes aus dem Kostenvergleich
- Berücksichtigung erhöhter Instandhaltungskosten bei einer Teilmodernisierung

##### Entfernung des Ist-Zustandes aus dem Kostenvergleich

Im TEK-WiBe-Tool wird der Ist-Zustand des untersuchten Gebäudes standardmäßig mit den verschiedenen Modernisierungsempfehlungen in Vergleich gesetzt. Auf diese Weise lassen sich die Auswirkungen von Kapitalkosten und Energiekosten einer Modernisierung gegenüber den derzeitigen „laufenden“ Kosten des Gebäudes im Ist-Zustand untersuchen.

Im Rahmen des VSA-Projektes wird davon ausgegangen, dass der Ist-Zustand des Gebäudes bedingt durch die in jedem Fall begrenzte Nutzungsdauer von Bauteilen und Anlagen eine künftige Modernisierung erforderlich macht. Die Modernisierung des Gebäudes stellt somit eine Notwendigkeit dar. Ein Vergleich der ME mit dem Ist-Zustand im Sinne einer Kostenbetrachtung ist dann entbehrlich. Zu untersuchen bleibt, welche Modernisierungsempfehlung die Lösung mit vergleichsweise geringsten jährlichen Gesamtkosten darstellt.

##### Berücksichtigung erhöhter Instandhaltungskosten bei einer Teilmodernisierung

Neben einer vollständigen Modernisierung nach ME2 wird auch die Möglichkeit einer Teilmodernisierung nach ME1 untersucht. Dabei werden Maßnahmen entsprechend den Abgrenzungskriterien aus Abschnitt 4.2 je nach Alter der technischen Anlagen bzw. energetischem Zustand der Bauteile berücksichtigt. Die übrigen Bauteile und Anlagen des Gebäudes verbleiben in ihrem Bestand.

In der Berechnungsmethodik nach LEG werden Kosten für Wartung, Inspektion und Instandsetzung (Instandhaltungskosten) auf Basis der Investitionskosten der durchgeführten Einzelmaßnahmen berechnet. Die Instandhaltungskosten der nach ME1 nicht zu modernisierenden Bauteile und Anlagen blieben diesem Ansatz folgend unberücksichtigt. Praktisch entstehen jedoch insbesondere für diese Bauteile und Anlagen aufgrund der – je nach vorangeschrittener Nutzungsdauer mehr oder minder erhöhten – Abnutzung auch erhöhte Instandhaltungskosten.

Im Rahmen dieses Projektes wird diesem Umstand Rechnung getragen, indem zu den bei einer Teilmodernisierung nach ME1 berechneten jährlichen Instandhaltungskosten zusätzlich auch Instandhaltungskosten der nicht modernisierten Bauteile und Komponenten angenommen werden. Dabei werden den nicht durchgeführten Maßnahmen jährliche Wartungskosten wie bei Durchführung der Maßnahme nach ME2 (s. Abschnitt 9.4.2) zugeordnet. Der Aufwand für Instandsetzung wird erhöht mit 2%/a anstelle dem sonst angenommenen Satz von 1%/a angesetzt. Kapitalkosten nicht durchgeführter Maßnahmen werden nicht angegeben.

#### 4.4.2 Betrachtung der spezifischen Energie- und Investitionskosten mit dem TEK-WiBe-Tool

Die spezifischen, auf die NGF bezogenen jährlichen Energiekosten sind für Endenergiebedarfe an Wärme und elektrischer Energie der Gebäude in Abbildung 21 und Abbildung 22 aufgeführt. Sie basieren auf Energiepreisen von 0,06 €/kWh für Wärme und 0,24 €/kWh für elektrische Energie.

Die zugrunde liegende Energiebezugsfläche (EBZ) der untersuchten Nichtwohngebäude 1, 6 und 9 wurde im Zuge der Modernisierungsvarianten verändert<sup>69</sup>. Um die Entwicklung der Kennwerte vom Ist-Zustand hin zu den Modernisierungszuständen auch für diese drei Gebäude nachvollziehen zu können, wurden die Kennwerte des Ist-Zustandes auf die Energiebezugsfläche der Modernisierungsvarianten bezogen. Die sich daraus ergebenden Veränderungen der flächenspezifischen Kennwerte zeigt Tabelle 17.

<sup>69</sup> Ursachen hierfür sind die Herausnahme von beheizten Kellergeschossen aus der thermischen Gebäudehülle (Gebäude 1 und 9) und neuer Raumaufteilungen durch Entkernung und Errichtung neuer Trennwände (Gebäude 6).

**Tabelle 17: Auswirkungen des veränderten Flächenbezuges von Energiebezugsfläche im Bestand (alt) auf Energiebezugsfläche nach der Modernisierung (neu)**

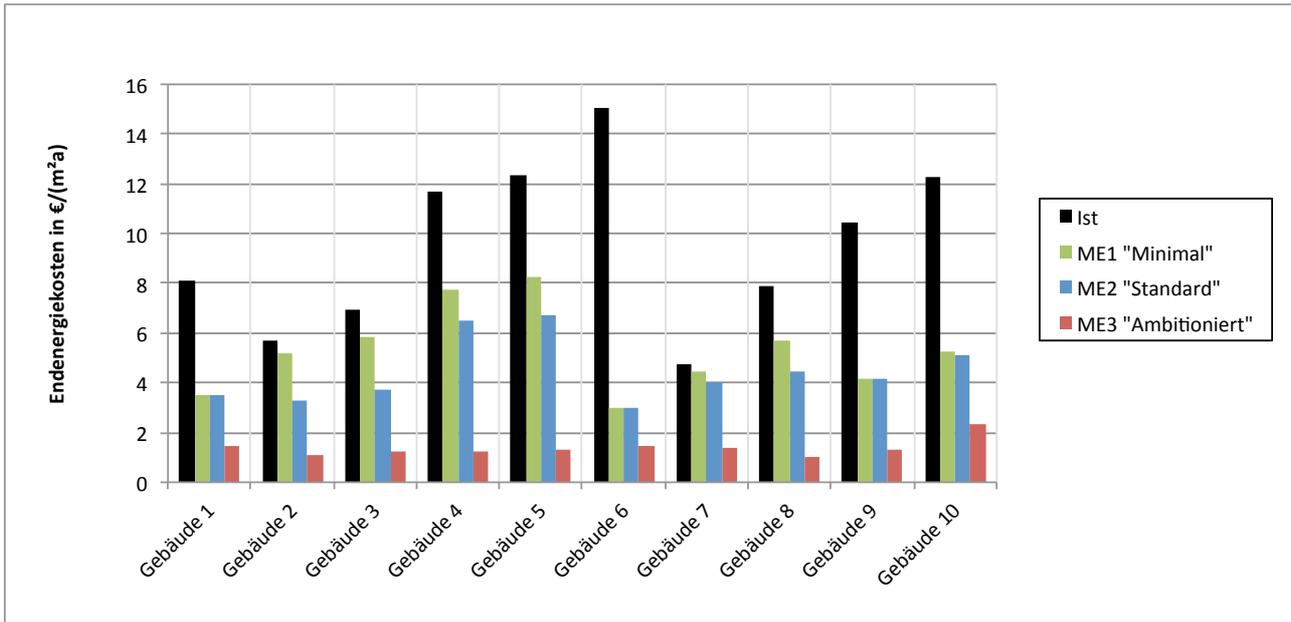
	Gebäude 1	Gebäude 6	Gebäude 9
EBZ_alt in m <sup>2</sup>	5692	1680	4153
EBZ_neu in m <sup>2</sup>	4861	1690	3484
Δ neu/alt	-14,6%	0,6%	16,1%
	Gebäude 1	Gebäude 6	Gebäude 9
Verbrauch Strom_alt in kWh/(m <sup>2</sup> a)	23,9	65,6	28,4
Verbrauch Strom_neu in kWh/(m <sup>2</sup> a)	28,0	65,2	33,9
Δ neu/alt	17,2%	-0,6%	19,4%
Verbrauch Wärme_alt in kWh/(m <sup>2</sup> a)	84,7	299,2	152,8
Verbrauch Wärme_neu in kWh/(m <sup>2</sup> a)	99,1	297,4	182,1
Δ neu/alt	17,0%	-0,6%	19,2%
	Gebäude 1	Gebäude 6	Gebäude 9
Bedarf Strom_alt in kWh/(m <sup>2</sup> a)	25,8	44,4	31,0
Bedarf Strom_neu in kWh/(m <sup>2</sup> a)	30,3	44,1	37,0
Δ neu/alt	17,4%	-0,7%	19,4%
Bedarf Wärme_alt in kWh/(m <sup>2</sup> a)	115,2	252,5	145,9
Bedarf Wärme_neu in kWh/(m <sup>2</sup> a)	134,9	251	173,9
Δ neu/alt	17,1%	-0,6%	19,2%

#### 4.4.2.1 Energiekosten

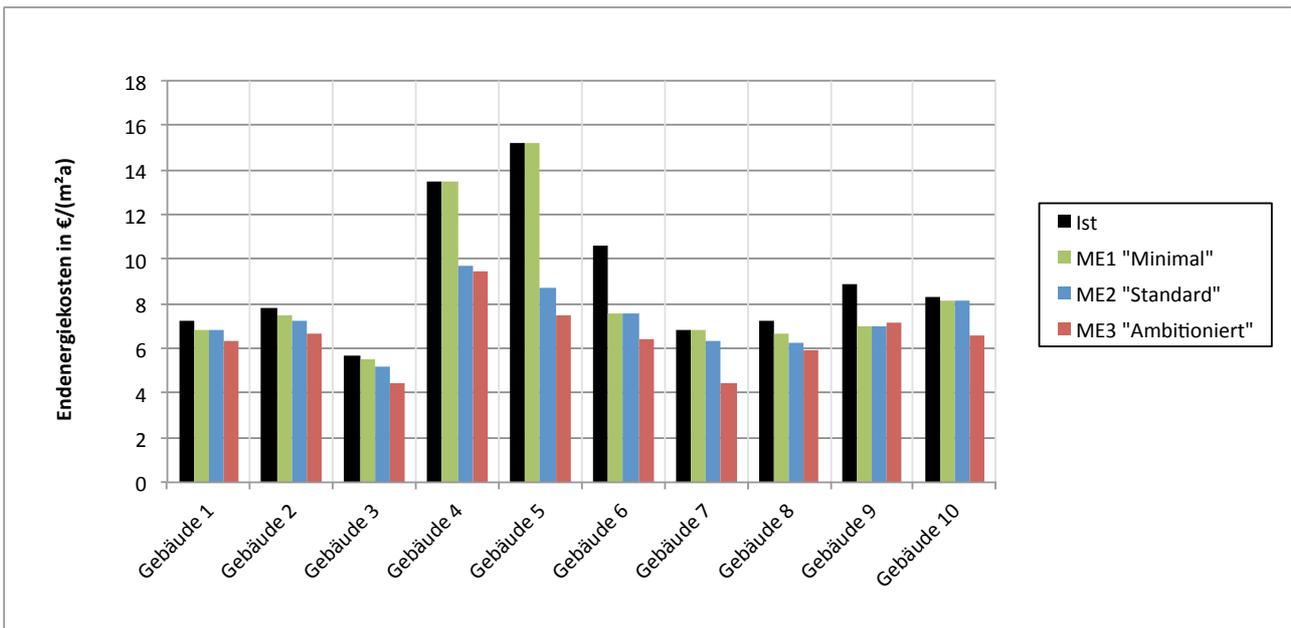
Die spezifischen Energiekosten für Wärme des Ist-Zustandes in Abbildung 21 spiegeln den energetischen Zustand der Gebäude wider. So sind die Energiekosten bei Gebäuden mit höherem Baualter und bisher nicht oder nur geringfügig durchgeführter Modernisierung deutlich höher als bei Gebäuden der jüngeren Baujahre wie beispielsweise Gebäude 2 (1988) oder Gebäude 7 (2003). Bereits bei einer Teilmodernisierung nach ME1 ist für viele Gebäude eine deutliche Reduktion der Energiekosten erkennbar. Die Hüllbauteile der älteren Gebäude gelten entsprechend den Abgrenzungskriterien mehrheitlich als modernisierungsbedürftig. Hingegen bleiben die Gebäude jüngeren Baualters im Rahmen einer Teilmodernisierung gemäß den Abgrenzungskriterien für ME1 (vgl. 4.2.1) überwiegend im Bestand. Dies dort führt zu geringeren Energiekosteneinsparungen (Wärme) gegenüber dem Bestand. So zeigt sich für die Gebäude 2 und 7 bei Umsetzung von ME1 lediglich eine Minderung der Energiekosten von etwa 10%.

Bei vollständiger Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen nach ME2 können Kostenkennwerte von etwa 3 bis 7 €/m<sup>2</sup>a abgelesen werden. Diese Kennwerte sind auch von der Größe des Gebäudes geprägt. Für kleinere Gebäude ergeben sich tendenziell höhere Kennwerte. Für den sprunghaften Rückgang der Kostenkennwerte von ME2 nach ME3 ist neben der verbesserten Wärmedämmung auch die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verantwortlich. Dadurch werden auch die Lüftungswärmeverluste deutlich reduziert. Die Kennwerte liegen dann bei 1 bis 2 €/m<sup>2</sup>a. Der Einfluss der Größe des Gebäudes geht erkennbar zurück. Bei ambitionierter Modernisierung mit passivhaustauglichen Komponenten (ME3) ergibt sich für die 10 untersuchten Gebäude ein Rückgang der Energiekosten (Wärme) von ca. 70% bis 90% gegenüber dem Bestand.

**Abbildung 21: Vergleich der spezifischen jährlichen Energiekosten im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Wärme**



**Abbildung 22: Vergleich der spezifischen jährlichen Energiekosten im Bestand und in den Modernisierungsvarianten für die 10 untersuchten Nichtwohngebäude – Elektrische Energie**



Die spezifischen Energiekosten für elektrische Energie Abbildung 22 zeigen ein abweichendes Bild. Die durch die drei Modernisierungsempfehlungen erzielten Einsparungen fallen insgesamt deutlich geringer aus als bei Wärme. Als Ursache hierfür sind folgende Zusammenhänge zu nennen.

### Beleuchtung

Die Beleuchtungsanlagen der 10 Gebäude sind im Bestand zwischenzeitlich nahezu vollständig auf Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) oder elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) modernisiert worden. Halogenlampen oder Glühlampen kommen nur noch vereinzelt zum Einsatz. Insbesondere der Einsatz von Leuchtstofflampen mit EVG entspricht dem aktuellen Stand der Technik und bietet nur wenig Potential für weitere Energieeinsparungen. Einsparpotential ist hier primär bei der Steuerung/Automatisierung (Abschaltautomatik, Bewegungs- und Lichtsensoren) zu erzielen. Solche Maßnahmen fallen allerdings nur bei ME3 an. Folglich ist das Einsparpotential der Beleuchtung gering.

Eine Ausnahme hiervon stellen die Gebäude 4 und 5 dar. Hier wurden im Bestand zusätzlich zu der fest installierten Beleuchtung an den Arbeitsplätzen mobile Deckenstrahler aufgestellt. Diese bleiben nur im Rahmen von ME1 bestehen. Bei Betrachtung von ME2 und ME3 werden sie entfernt und die fest installierte Beleuchtung modernisiert, was zu einer deutlichen Einsparung führt.

### Luftförderung

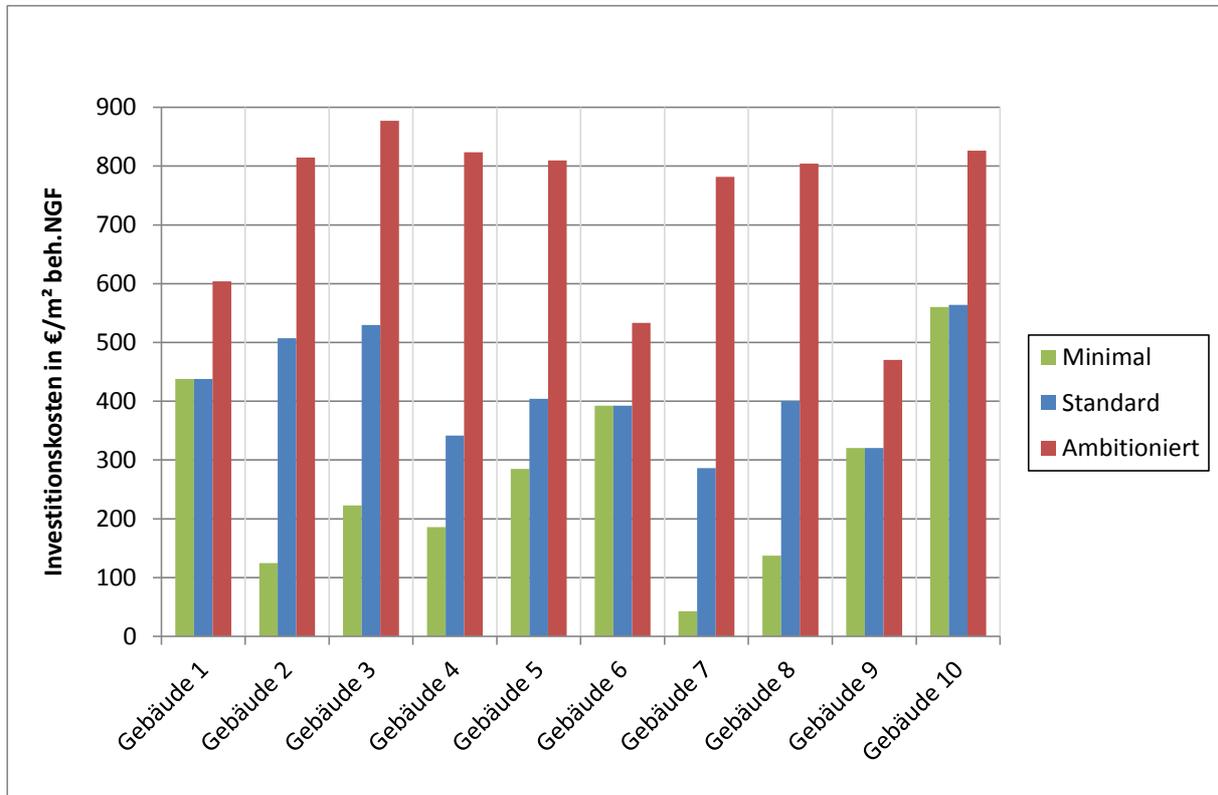
Die Belüftung der Gebäude erfolgt im Bestand überwiegend durch Fensterlüftung. Lüftungsanlagen sind nur selten und dann häufig in vereinzelt Räumen vorhanden z.B. zur Versorgung eines Sitzungssaals. Im Rahmen von ME1 und ME2 werden die vorhandenen Anlagen den Abgrenzungskriterien entsprechend auf den aktuellen Stand der Technik modernisiert. Diese – den Volumenstrom, die Ventilatorleistung und die Steuerung betreffenden – Änderungen haben bezogen auf den Gesamtbedarf an elektrischer Energie jedoch nur geringe Auswirkungen. In ME3 wird eine geregelte Belüftung des gesamten Gebäudes durch Lüftungsanlagen vorgesehen. Durch Wärmerückgewinnung sollen die Lüftungswärmeverluste verringert werden. Dies führt zwar zu einer Einsparung beim Wärmebedarf. Bedingt durch die umfangreichere Lüftungsanlage führt das jedoch auch zu einem höheren Bedarf an elektrischer Energie. Somit wirkt in ME3 die standardmäßige Installation von Lüftungsanlagen im gesamten Gebäude der Reduzierung des elektrischen Energieeinsatzes entgegen.

### Arbeitshilfen

In büroartig genutzten Nichtwohngebäuden haben die Arbeitshilfen (IT-Ausstattung wie PC, Server, Drucker, Beamer etc.) einen nennenswerten elektrischen Energiebedarf. Die Arbeitshilfen sind im Bestand bereits auf die Nutzung ausgelegt und stellen somit einen Grundbedarf dar. Prinzipiell ist hier eine Energieeinsparung durch Verwendung stromsparender Geräte denkbar, wird jedoch im Rahmen dieser Untersuchungen nicht berücksichtigt. Der Energiekennwert wie auch die Energiekosten für Arbeitshilfen bleiben folglich in allen Modernisierungsempfehlungen gegenüber dem Bestand unverändert.

#### 4.4.2.2 Investitionskosten

Abbildung 23: Vergleich der spezifischen Investitionskosten der ME für die 10 öffentlichen Nichtwohngebäude



Der Rückgang der Energiekosten hängt, wie eben gesehen, von Umfang und energetischem Niveau der Modernisierungsmaßnahmen ab. Bei Betrachtung der Investitionskosten üben darüber hinaus auch die baukonstruktiven Randbedingungen Einfluss auf die Kostenkennwerte aus. Die spezifischen Investitionskosten der zehn untersuchten Gebäude sind in Abbildung 23 für die drei Modernisierungsempfehlungen aufgeführt.

Die untersuchten Gebäude setzen sich aus insgesamt drei Gerichtsgebäuden, vier Verwaltungsgebäuden, zwei Polizeidienstgebäuden und einem Bürogebäude zusammen. Bei ähnlicher, büroartiger Nutzung unterscheiden sich die Gebäude in ihren baulichen Merkmalen.

So weisen die Gebäudemerkmale

- Baualter
- Bauteilkonstruktionen der Gebäudehülle (z.B. Putz-, Klinker-, Vorhang- oder Pfosten-Riegel-Fassade)
- Modernisierungszustand (unsaniert, teilsaniert)
- Vorhandene technische Gebäudeausrüstung (Wärmeerzeuger, Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Klimageräte etc.)
- Denkmalschutz

eine große Bandbreite auf<sup>70</sup>.

Die Eigenschaften des Gebäudes beeinflussen auch einzelne Maßnahmen bezüglich der zu modernisierenden thermischen Hüllflächen. Ist beispielsweise eine Modernisierung der Außenwandflächen durch ein Wärmedämmverbundsystem realisierbar (wie bei Gebäude 6), ergibt sich ein deutlich geringerer Kostenkennwert pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche (€/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>) als bei einer 2-schaligen Klinkerfassade (wie bei Gebäude 3) oder

<sup>70</sup> Eine tabellarische Zusammenfassung der Gebäudemerkmale der 10 untersuchten Gebäude ist in Anhang 9.7 zu finden.

bei einer Denkmalschutz bedingten Innendämmung (wie bei Gebäude 10). Dies soll exemplarisch an den Kostenkennwerten der Außenwandmodernisierung für die ambitionierte Modernisierung (ME3) verdeutlicht werden:

#### Gebäude 6

Außenwanddämmung durch Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems auf das vorhandene einschalige Mauerwerk

Kostenkennwert der Maßnahme: 146 €/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>

#### Gebäude 3

Rückbau der 2-schaligen Klinkerfassade, Dämmung auf Tragschale und Neuerrichtung der Klinkerschale

Kostenkennwert der Maßnahme: 481 €/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>

#### Gebäude 10

Innendämmung der Außenwandflächen aufgrund des Denkmalschutzes des Gebäudes

Kostenkennwert der Maßnahme: 324 €/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>

Die baukonstruktive Ausgangssituation des zu untersuchenden Gebäudes und der gewählte Modernisierungsstandard beeinflussen somit entscheidend die Investitionskosten einer Modernisierungsempfehlung. Die Auswirkungen der Höhe der Investitionskosten auf die mittleren jährlichen Gesamtkosten sind im Anhang 9.4.2 am exemplarisch am Beispiel eines der zehn untersuchten öffentlichen Nichtwohngebäude aufgezeigt.

Die Bandbreite der spezifischen Investitionskosten liegt für die hier untersuchten Gebäude in der Größenordnung von 400 bis 500 €/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub> bei Umsetzung von ME2 und 800 bis 900 €/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub> für ME3.

### **4.4.2.3 Bemerkungen zu den Kapitalkosten**

Die Kapitalkosten der Modernisierungsempfehlung „Minimal“ wurden nicht diskutiert. ME1 wurde eingerichtet, um Auskunft über energetische Effizienzverbesserungen zu bekommen, wenn zunächst nur eine Teilmodernisierung vorgenommen werden soll. Die Abgrenzungskriterien zwischen Durchführung und Unterlassen einzelner Maßnahmen wurden so gesetzt, dass eine entsprechend geringe Effizienzverbesserung oder aber hohe Restnutzungsdauer auch in der Praxis wahrscheinlich im Grenzbereich zwischen Durchführung und Unterlassen dieser Maßnahmen liegen. Dabei standen also energetische Motive und Kostenaspekte (Restnutzungsdauer) im Fokus. In der Methodik des TEK-WiBe-Tools werden Kapitalkosten nicht durchgeführter Maßnahmen nicht abgebildet. Auch hier wären Hilfskonstrukte – ähnlich wie der bei den Investitionskosten erhöht angenommene Instandsetzungsaufwand – denkbar. Die Anzahl der festzulegenden Parameter wäre allerdings beachtlich gewesen. Da insbesondere die Bestimmung der Restnutzungsdauer den Rahmen der hier durchgeführten einfachen, abschätzenden Betrachtungen gesprengt hätte, wurde auf die Angabe von Kapitalkosten nicht durchgeführter Maßnahmen verzichtet.

Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass auch die Maßnahmen Kapitalkosten aufweisen, die nach den Abgrenzungskriterien von ME1 nicht durchgeführt werden sollen. In „Nullter Näherung“ kann davon ausgegangen werden, dass die Kapitalkosten von ME1 und ME2 in gleicher Größenordnung liegen, sofern nicht Maßnahmen an Bauteilen und Anlagen unterbleiben, deren Restnutzungsdauer bereits bei Null liegt. Überträgt man die Kapitalkosten von ME2 gedanklich größenordnungsmäßig nach ME1, um die Kapitalkosten nicht durchgeführter Maßnahmen abzuschätzen, erhält man ein ganz anderes Bild von den jährlichen mittleren Gesamtkosten. Sie sind für ME1 dann häufig größer als für ME2. Eine genauere Betrachtung derartiger Fragestellungen bleibt separaten Untersuchungen mit Fokus auf Kosten und Wirtschaftlichkeit der Modernisierung von Nichtwohngebäuden vorbehalten.

## 5 Testanwendung des VSA-Tools an 10 hessischen öffentlichen Gebäuden

Bei der Auswertung der Testanwendung des VSA-Tools an 10 hessischen öffentlichen Gebäuden steht der Vergleich von Bedarf und Verbrauch im Fokus. Zur Ermittlung des Bedarfes liegt mit der VSA ein einfaches ingenieurmäßiges Verfahren vor. Für Gewerke mit Bewertungshilfen können die Ausprägungen der energetischen Parameter in Stufen variiert werden. Für Gewerke ohne Bewertungshilfen wirkt die qualifizierte Einschätzung durch den Anwender maßgeblich auf den Energiebedarf. Dieser Abschnitt soll einen ersten Eindruck davon vermitteln, wie gut Bedarf und Verbrauch übereinstimmen und wie die vorgeschlagenen Energieaufwandsklassen der Bewertungshilfen zu beurteilen sind. Die Anzahl der untersuchten Gebäude ist zu gering, um statistische Aussagen – etwa über die mittlere Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch – treffen zu können.

Die Ermittlung der Parameterausprägungen in der Testanwendung der VSA erfolgt möglichst nahe am praktischen Anwendungsfall. Für die 10 untersuchten Gebäude liegen Pläne, Fotos und ein Bericht über den Zustand des Gebäudes aus der TEK-Analyse vor. Diese Unterlagen liegen in einem Umfang und in einer Qualität vor, wie sie auch im praktischen Anwendungsfall zu erwarten sind. Auf die Nutzung der im TEK-Tool enthaltenen Angaben (insb. Flächen, U-Werte, Nutzungsparameter) wurde bei der Testanwendung der VSA bewusst verzichtet, um dem praktischen Fall einer raschen, ingenieurmäßigen Abschätzung energetisch relevanter Parameter im Rahmen einer Gebäudeaufnahme möglichst nahe zu kommen.

### 5.1.1 Überblick über Bedarf und Verbrauch der untersuchten Gebäude

Die 10 untersuchten hessischen öffentlichen Gebäude stellen eine Auswahl dar, die für Wärme und elektrische Energie verschiedene Quantile der praktischen vorkommenden Endenergieverbräuche abdeckt. Als praktisch vorkommende Verbräuche wird hier die Verteilung der Endenergiekennwerte für Wärme und elektrische Energie aus [TEK-QSA2014] verstanden. In dieser Untersuchung werden 93 Nichtwohngebäude untersucht. Die Verteilung der Endenergiekennwerte auf Gebäudeebene wird dort in Klassen mit Intervallen von  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  dargestellt.

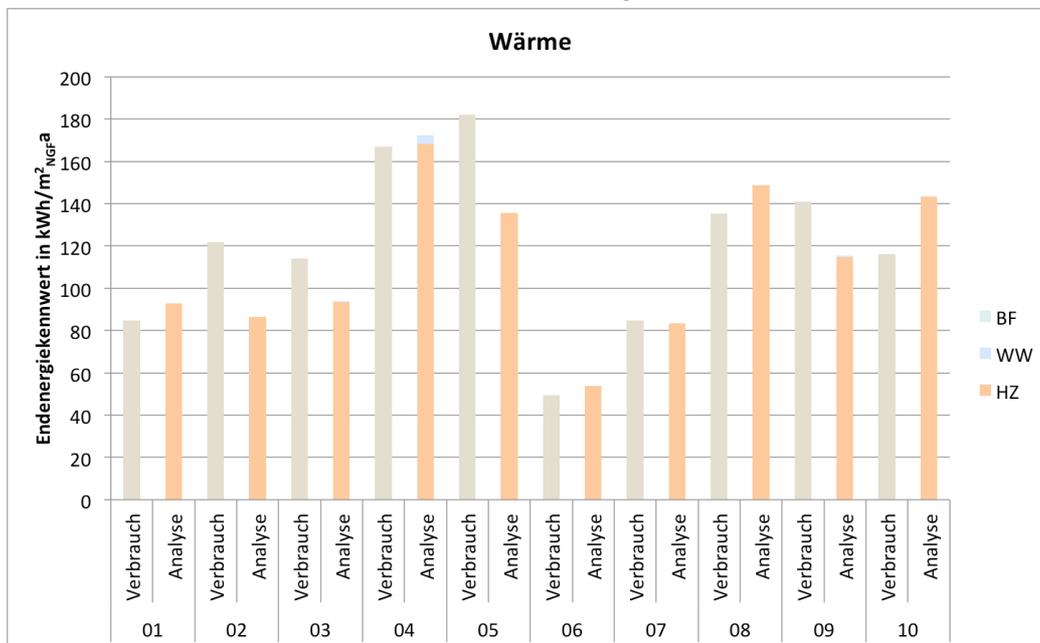
#### Wärme

Die Bandbreite der Verbrauchskennwerte der 10 hier untersuchten Gebäude in Abbildung 24 reicht von 50 bis  $182 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Lediglich 5 der 93 der bereits im TEK-Projekt untersuchten Gebäude [TEK-QSA2014] gehören den Klassen bis  $40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  an, weitere 10 den Klassen mit Kennwerten größer als  $200 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Dies ist ein erstes deutliches Indiz dafür, dass die Aussagen zum Vergleich von Bedarf und Verbrauch von Wärme für einen großen Teil des Nichtwohngebäudebestandes gelten könnten. Ein weiteres Indiz liefert der Umstand, dass wesentliche, energetisch wirksame Parameter bei den 10 Gebäuden in sehr unterschiedlicher Ausprägung vorkommen. So sind Gebäude mit langgestreckten Flügeln (z.B. Gebäude 07) und kompakte, quasi würfelförmige Gebäude (Gebäude 08) gleichermaßen vertreten. Auch die Größe variiert mit ca.  $800$  bis  $8000 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$  deutlich. Schließlich variiert der bauliche Wärmeschutz stark. So sind junge (Gebäude 07) bzw. energetisch aufwendig modernisierte Vertreter (Gebäude 06) ebenso zu finden wie Gebäude mit einem erkennbar schlechteren energetischen Standard (Gebäude 08). Einschränkend muss allerdings ergänzt werden, dass die Nutzung der Gebäude in allen Fällen büroähnlich ist. Bei Betrachtung des Endenergieverbrauchs an Wärme ist diese Einschränkung nicht vordergründig. Der Verbrauch wird normalerweise dominiert vom Gewerk Heizung. Dort sind Raumtemperatur, U-Werte und spezifische Hüllfläche maßgeblich für den Zonenkennwert. Die Nutzung insbesondere die Nutzungszeit, die je nach Nutzungsprofil variiert, tritt hinter den baulichen Einflüssen zurück. Der Einfluss von RLT-Anlagen mit/ohne Wärmerückgewinnung auf den Endenergiebedarf Heizung kann derzeit nicht mit der Bewertungshilfe der Verbrauchsstrukturanalyse abgebildet werden.

Die Übereinstimmung der Endenergiekennwerte der Basisvarianten für Bedarf und Verbrauch an Wärme ist gut. Aussagen zu systematischen Abweichungen können aus der geringen Anzahl Gebäude nicht abgeleitet werden. Es kann aber festgehalten werden, dass sich aus den Ergebnissen für Gebäude mit geringem bis

erhöhtem Energiebedarf eine gute Übereinstimmung zwischen Bedarf und Verbrauch ablesen lässt. Auf besondere Aspekte und deren Auswirkungen den Bedarf wird in den folgenden Abschnitten noch eingegangen.

**Abbildung 24: Überblick über den klimabereinigten Verbrauch und den mit dem VSA-Tool ermittelten Bedarf der 10 untersuchten Gebäude – Endenergie Wärme**



### Elektrische Energie

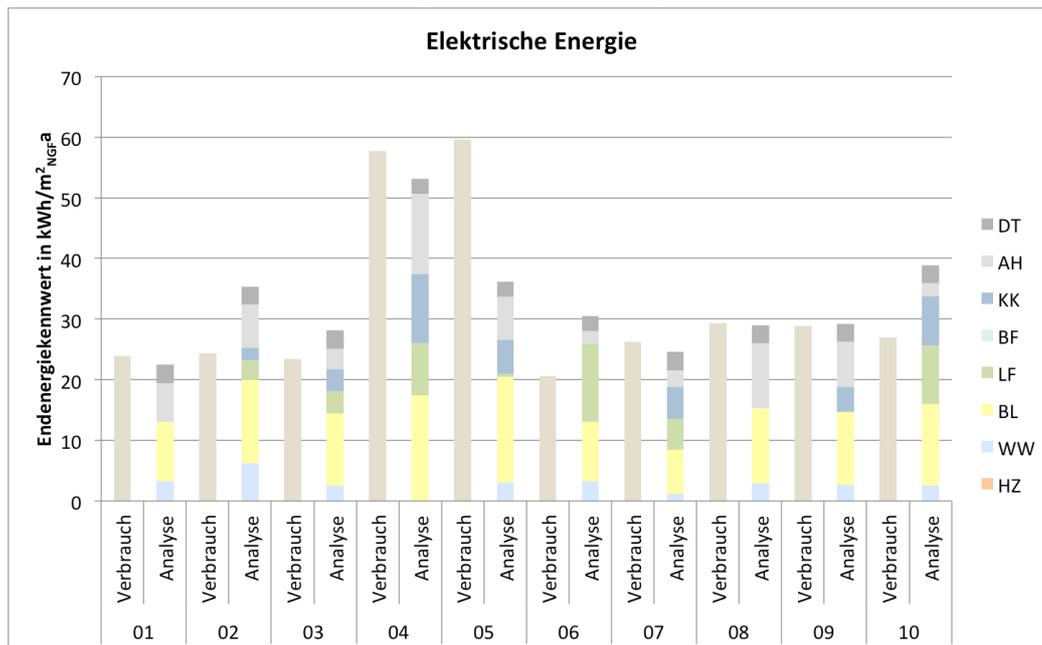
Bei der Betrachtung der Endenergiekennwerte für elektrische Energie in Abbildung 25 ergibt sich ein etwas anderes Bild. Alle 10 Verbrauchskennwerte liegen oberhalb der 20 kWh/m<sup>2</sup>a. 11 der 93 Gebäude aus [TEK-QSA2014] finden sich in der Klasse bis 20 kWh/m<sup>2</sup>a wieder und haben somit kleinere Verbrauchskennwerte. Nach oben sind die Verbräuche der in diesem Projekt untersuchten Gebäude allerdings auf Kennwerte bis 60 kWh/m<sup>2</sup>a begrenzt. In [TEK-QSA2014] weisen 42 der 93 (und damit fast die Hälfte der) Gebäude einen Verbrauchskennwert von mehr als 60 kWh/m<sup>2</sup>a aus, 6 davon mehr als 160 kWh/m<sup>2</sup>a. Das zeigt klar, dass das Segment der Nichtwohngebäude mit hohem technischen Ausstattungsgrad bzw. hohem elektrischem Energieverbrauch von den 10 untersuchten Gebäuden nicht abgedeckt wird. Dementsprechend sind auch die Ergebnisse vorsichtiger zu interpretieren.

Auch hier ist die Übereinstimmung zwischen Bedarf und Verbrauch dem Anschein nach gut<sup>71</sup>. Aussagen zur generellen Anwendbarkeit der getroffenen Annahmen (z.B. Basis der Untersuchung ist Wahl der Klasse „Mittel“) auf den gesamten Nichtwohngebäudebestand können aufgrund der geringen Fallzahl und der größeren Anzahl Gewerke mit Einfluss auf den Endenergiekennwert zunächst nicht getroffen werden. Hier sind weitere Untersuchungen – auch zu Gebäuden mit hohen spezifischen elektrischen Energieverbräuchen – notwendig. Auch für die elektrische Energie werden die besonderen Aspekte und deren Auswirkungen den Bedarf in den folgenden Abschnitten diskutiert. Folgende Aspekte werden dabei betrachtet:

- Zonierung der genutzten Flächen
- Bewertungshilfen – Einfluss der Klassifizierung der Kennwerte in EAK
- Bewertungshilfen – Einfluss von Sondereffekten auf den Endenergiebedarf
- Benchmarks für Wärme und elektrische Energie.

<sup>71</sup> Für das Gebäude 05 wurde der Bedarf an elektrischer Energie im Vergleich zum Verbrauch deutlich geringer abgeschätzt. Trotz mehrmaliger Prüfung kann keine abschließende Erklärung für den Unterschied geliefert werden. In der TEK-Analyse wird ein zusätzliches Beleuchtungssystem angesetzt, das in der Verbrauchsstrukturanalyse nicht berücksichtigt wurde. Die deutlich größere Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch wird hier als Ausreißer gesehen.

**Abbildung 25: Überblick über den Verbrauch und den mit dem VSA-Tool ermittelten Bedarf der 10 untersuchten Gebäude – Endenergie Elektrische Energie**



### 5.1.2 Zonierung der genutzten Flächen

Die vollständige Erfassung der Flächen und eindeutige Zuweisung zu Zonen ist wichtig (s. Abschnitt 3.7.1.2). Weder Hüllflächen noch Grundflächen werden im Rahmen der VSA detailliert ermittelt. Im Zuge der Testanwendungen des Tools wurde eine Zonierungshilfe zur Erfassung der NGF entwickelt und in das Tool eingebettet, da sich gezeigt hatte, dass so die Aufteilung der Grundflächen auf Zonen deutlich schneller und weniger fehleranfällig geschehen kann. Gleichzeitig ist die Zonierung dadurch auch zu einem späteren Zeitpunkt rekonstruierbar.

Die in der VSA vereinfacht ermittelten NGF der Zonen stimmen gut mit den detailliert angegebenen Flächen in TEK überein (s. Tabelle 18). In den Gebäuden 01, 09 und 10 ergeben sich größere Unterschiede dadurch, dass die Systemgrenze der thermischen Hülle in der VSA-Analyse anders gezogen wurde als in TEK. In Gebäude 09 wurden ein Kellergeschoss und ein Nebengebäude in VSA zusätzlich berücksichtigt, in den Gebäuden 01 und 10 ein Kellergeschoss. Rechnet man diese Flächen wieder heraus, stimmen die auch hier die NGF gut überein. Die Abweichungen liegen dann auch für diese Gebäude bei weniger als 10%.

**Tabelle 18: Gegenüberstellung der beheizten Nettogrundflächen aus VSA und TEK**

Gebäudenummer	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
NGF <sub>beheizt,VSA</sub> in m <sup>2</sup>	5692	7900	4100	779	2905	1655	3960	3580	5103	3850
NGF <sub>beheizt,TEK</sub> in m <sup>2</sup>	4861	7807	4185	804	3059	1690	3969	3856	3484	2848
NGF <sub>beheizt,VSA</sub> / NGF <sub>beheizt,TEK</sub>	117%	101%	98%	97%	95%	98%	100%	93%	146%	135%

### 5.1.3 Bewertungshilfen – Einfluss der Klassifizierung der Kennwerte in EAK

Die Bildung von Referenz-Teilenergiekennwerten (Referenz-TEK) hat zum Ziel, Endenergiekennwerte nach Gewerk und Nutzung in der praktisch zu erwartenden Bandbreite zu klassifizieren. In einigen Nutzungsprofilen nehmen die Kennwerte einzelner Gewerke große Bandbreiten ein. So sind im Gewerk Heizung in den höheren EAK Unterschiede der klassifizierten Kennwerte benachbarter Klassen von mehr als 100 kWh/m<sup>2</sup>a von einem Referenzkennwert zum nächst höheren vorzufinden. Es stellt sich also die Frage, ob die Klassifizierung in 5 Klassen fein genug ist, um den Energiebedarf in guter Näherung abzubilden.

**Abbildung 26: Beispiel für eine von der Bewertungshilfe Heizung vorgeschlagene Klassifizierung mittig zwischen zwei Energieaufwandsklassen**

Klassifizierung des Endenergiebedarfs für Heizung



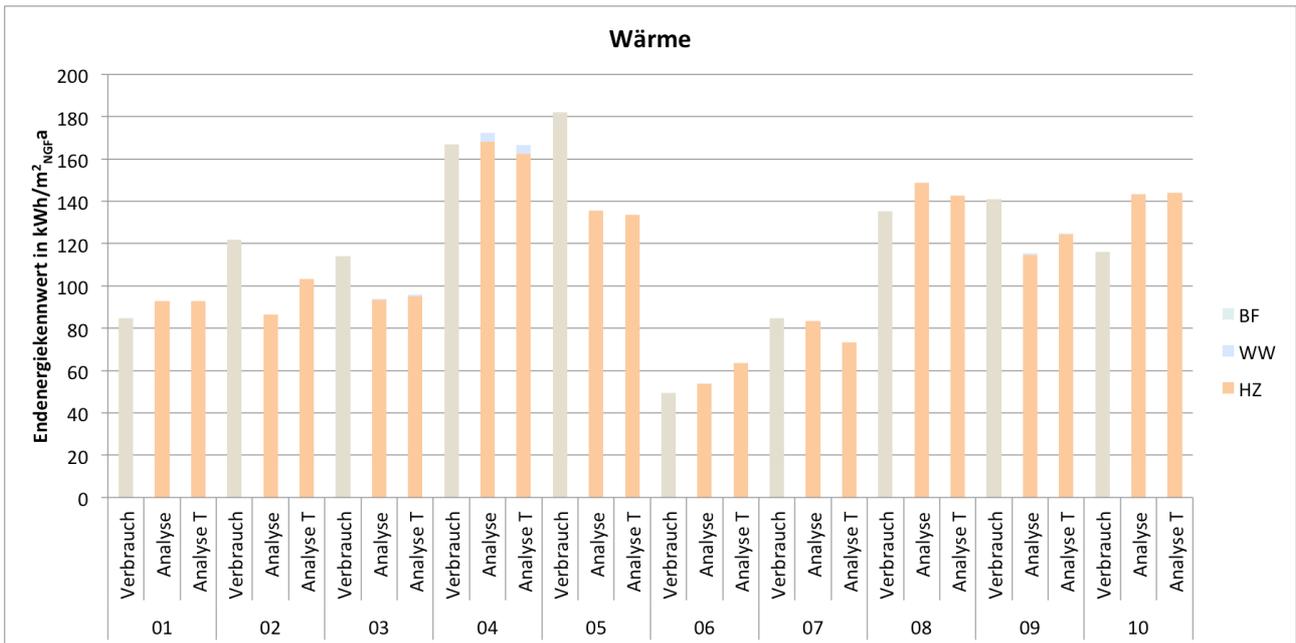
Um den Einfluss der Klassifizierung in 5 Klassen zu beleuchten, wurden – in einem parallel angelegten VSA-Tool je Gebäude – ausgehend von der Basisvariante der VSA Zonen geteilt, für die der Vorschlag der Bewertungshilfe mittig zwischen zwei Energieaufwandsklassen lag. Abbildung 26 stellt bereits einen Grenzfall dar. Läge der Vorschlag näher an „Hoch“, wäre die Zone nicht geteilt worden. Im Fall der Teilung wurde beiden Zonen die Hälfte der Zonenfläche der ursprünglichen Zone zugeordnet. Einer Zone wurde die kleinere, der anderen Zone die größere der Energieaufwandsklassen, zwischen denen der Vorschlag der Bewertungshilfe lag, zugewiesen.

Es wurden nicht alle Zonen geteilt, deren Vorschlag mittig zwischen zwei EAK lag. Geteilt wurden Zonen, die einen großen Anteil an der NGF des Gebäudes einnehmen. Die Teilungen wurden vornehmlich für das Gewerk Heizung vorgenommen. Das hat zwei Gründe. Einerseits sind die Sprünge der Kennwerte zwischen den Referenz-TEK der einzelnen Klassen größer bei gleichzeitig häufiger vorkommenden höheren EAK in den Zonen. Andererseits sind die Kennwerte im Gewerk Heizung – wie bereits erwähnt – nicht so stark von der Nutzung abhängig. Im Gewerk Beleuchtung sind deutliche Unterschiede in der Größenordnung der Referenz-TEK je nach Nutzungsprofil erkennbar. Die Bewertungshilfe Beleuchtung kam deshalb nicht bei allen Zonen in allen Gebäuden zum Einsatz. Der Fokus lag hier bei den Zonen mit Hauptnutzungsprofilen und Verkehrsflächen.

Ergänzend zur Darstellung in Abbildung 24 enthält Abbildung 27 je Gebäude eine zusätzliche Spalte „Analyse T“, die den Bedarf an Wärme unter Berücksichtigung der geteilten Zonen enthält. Die Teilung der Zonen hat nicht in allen Fällen dazu geführt, dass der Bedarfskennwert näher an den Verbrauchskennwert gerückt ist. Das war auch nicht zu erwarten, da in dem Vorschlag der Bewertungshilfe bereits eine Unsicherheit<sup>72</sup> enthalten ist (s. Abschnitt 3.3.2.3 – dort Abweichung zwischen TEK-Berechnung und VSA-Bewertung). Es kann jedoch festgehalten werden, dass die Änderung des Bedarfskennwertes auf Gebäudeebene die Größenordnung von  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  nicht übersteigt, während benachbarte Referenz-TEK höherer EAK bekanntermaßen mehr als  $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  auseinander liegen können.

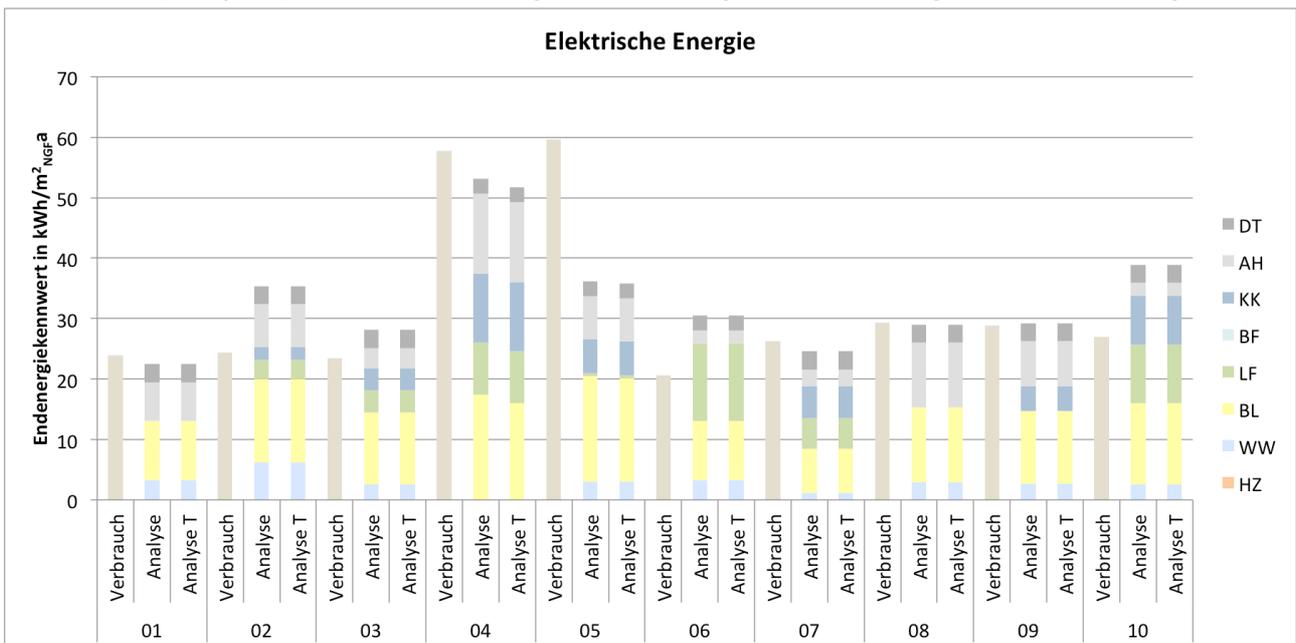
<sup>72</sup> Neben der Abweichung zur TEK-Berechnung sind Unsicherheiten bei der Wahl geeigneter Parameterausprägungen in der Bewertungshilfe und im TEK-Berechnungsalgorithmus vorhanden.

**Abbildung 27: Überblick über Verbrauch und Bedarf unter Berücksichtigung der Teilung von Zonen (Analyse T) nach dem Vorschlag der Bewertungshilfe – Endenergie Wärme**



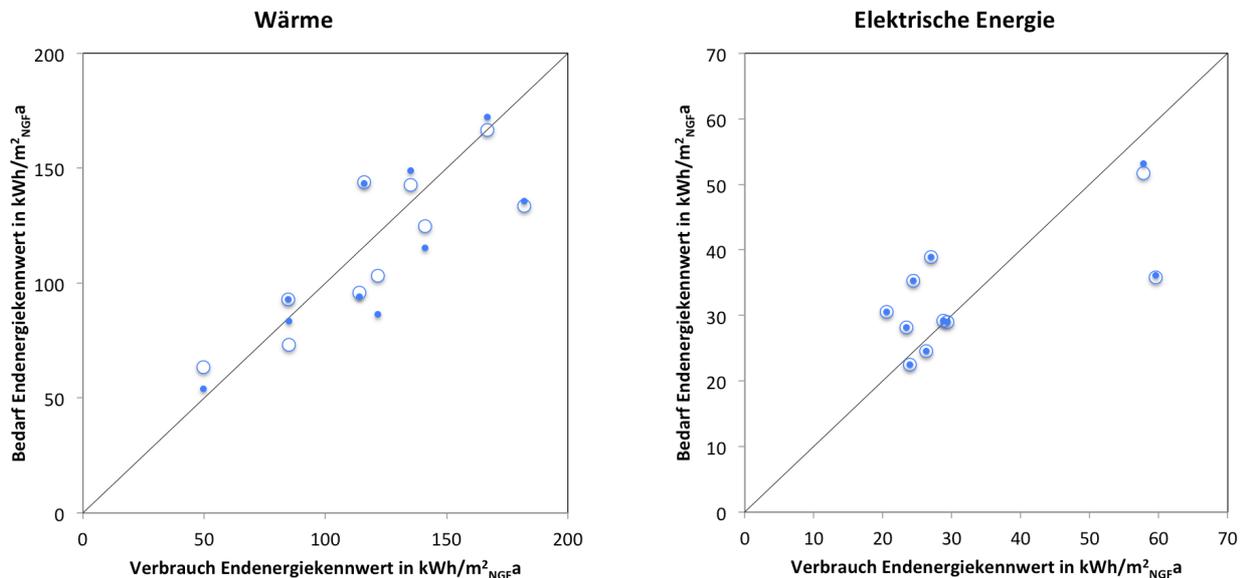
Für den Endenergiebedarf an elektrischer Energie stellt sich die in Abbildung 28 dargestellte Situation wie folgt dar. In lediglich 2 der 10 Gebäude (Gebäude 04 und 05) sind Zonen aufgrund der Bewertungshilfe Beleuchtung geteilt worden. Obwohl nur die maßgeblichen Zonen (großer Flächenanteil und große Referenz-TEK) betrachtet wurden, kann festgehalten werden, dass die Änderung des Endenergiebedarfs für Beleuchtung auf Gebäudeebene durch die Teilung von Zonen bei wenigen kWh/m<sup>2</sup>a liegt. Sie fällt dadurch absolut geringer aus als beim Gewerk Heizung. Auf Sondereffekte im Rahmen der Testanwendung wird unten eingegangen.

**Abbildung 28: Überblick über Verbrauch und Bedarf unter Berücksichtigung der Teilung von Zonen (Analyse T) nach dem Vorschlag der Bewertungshilfe – Endenergie Elektrische Energie**



Der Einfluss der Teilung von Zonen auf die Endenergiekennwerte der 10 untersuchten Gebäude ist in Abbildung 29 für Wärme und elektrische Energie zusammenfassend dargestellt. Die Punkte stehen für die Bedarfe der Basisvariante (ohne Teilung von Zonen). Die Kreise dementsprechend für die Varianten mit Teilung von Zonen.

**Abbildung 29: Einfluss der Teilung von Zonen gemäß Vorschlag der EAK der Bewertungshilfe auf die Endenergiekennwerte des Gebäudes – Punkt-ohne Teilung und Kreis-mit Teilung von Zonen**



#### 5.1.4 Bewertungshilfen – Einfluss von Sondereffekten auf den Endenergiebedarf

In diesem Abschnitt werden Sondereffekte behandelt, die derzeit durch die Verbrauchsstrukturanalyse nicht abgebildet werden können. Die Effekte treten mehrheitlich in dem energetisch aufwendig modernisierten Gebäude auf.

##### Wärme

Für Gebäude 06 bewirkt eine Teilung der Zonen mit einem Vorschlag der Bewertungshilfe mittig zwischen zwei EAK eine Vergrößerung der Überschätzung des Verbrauches um 10 kWh/m<sup>2</sup>a auf dann 14 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 28%. Dieses Gebäude wurde mit passivhaustauglichen Komponenten energetisch aufwendig modernisiert. In den TEK-Berechnungsvarianten der Parameterstudie wurde immer mit einer Heizungsverteilung gerechnet. Im hier untersuchten Gebäude ist die Heizungsverteilung jedoch nur teilweise vorhanden bzw. genutzt. Im Normalfall wird hier über die RLT-Anlage geheizt.

Der in den TEK-Berechnungen in der Größenordnung von 10 bis 20 kWh/m<sup>2</sup>a angesetzte Verteilverlust wird in Gebäuden mit geringem Endenergiebedarf für Heizung maßgeblich. In den niedrigen EAK entspricht eine halbe Klasse zwischen zwei Referenz-TEK etwa 5 bis 10 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies kann folgendermaßen interpretiert werden: Die derzeitige Bewertungshilfe liefert in Gebäuden mit geringem Bedarf und ohne (nennenswerte) Heizungsverteilung tendenziell Vorschläge mit zu hohen EAK. Der Anstieg des Bedarfs liegt in dieser Größenordnung und kann durchaus mit den – von der Bewertungshilfe – zu hoch angenommenen Verteilverlusten in Zusammenhang gebracht werden. Dennoch ist auch hier zu beachten, dass weitere Unsicherheiten gleichermaßen die Ursache für die Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch sein können.

Der Kennwert von Gebäude 05 ist der größte Wärmeverbrauchskennwert in dieser Untersuchung. In Abbildung 27 ist ein um 46 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 26% deutlich geringerer Bedarf abgebildet. In dieser Liegenschaft werden Nebengebäude durch eine Nahwärmeleitung mit Heizwärme versorgt. Zu Länge und Dämmung der Leitung liegen keine Informationen vor. Der Wärmeverlust bezogen auf die beheizte NGF kann also nur

grob mit 15 bis 40 kWh/m<sup>2</sup>a abgeschätzt werden. Verteilnetzverluste außerhalb des Gebäudes – im Sinne von zentralen (Wärme-)Großverbrauchern – können derzeit nicht im VSA-Tool abgebildet werden. Folglich fehlt der Netzverlust auch in den Bedarfswerten. Wird er mit berücksichtigt, ergibt sich auch für dieses Gebäude eine gute Übereinstimmung von Bedarf und Verbrauch.

#### Elektrische Energie

In Gebäude 06 überschätzt die Verbrauchsstrukturanalyse den Bedarf an elektrischer Energie deutlich um 10 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 49%. Es ist als einziges der 10 untersuchten Gebäude vollständig durch RLT-Anlagen belüftet und weitgehend mit Automation der Beleuchtungsanlage und Verschattung ausgestattet. Für dieses Gebäude liegen Betriebsmessdaten getrennt nach Beleuchtung (6 kWh/m<sup>2</sup>a) und Luftförderung (5 kWh/m<sup>2</sup>a) vor, die aufzeigen, dass der Energieeinsatz in beiden Gewerken von der Verbrauchsstrukturanalyse überschätzt wird.

Zwei Aspekte werden als ursächlich für die Überschätzung des Bedarfs an Beleuchtung gesehen. In allen Büros sind beide Leuchten separat<sup>73</sup> ansteuerbar. Dadurch ist ein Teilbetrieb möglich und wird auch praktiziert. Weiterhin sind die Büros von einer geringeren Standardbelegungsichte geprägt als in den Randbedingungen der TEK-Berechnungsvarianten hinterlegt. Beide verbrauchsmindernden Einflüsse können in der Bewertungshilfe nicht angegeben werden.

Der Energieverbrauch durch Luftförderung wird maßgeblich mitbestimmt vom hygienischen Mindestvolumenstrom. In der realisierten Anlage wird ein Volumenstrom zur Verfügung gestellt, der deutlich unter dem normgerechten hygienischen Mindestvolumenstrom liegt. In der VSA-Analyse wurde für alle Zonen die Klasse „Gering“ abgeschätzt. Offenbar wird dennoch der Verbrauch überschätzt.

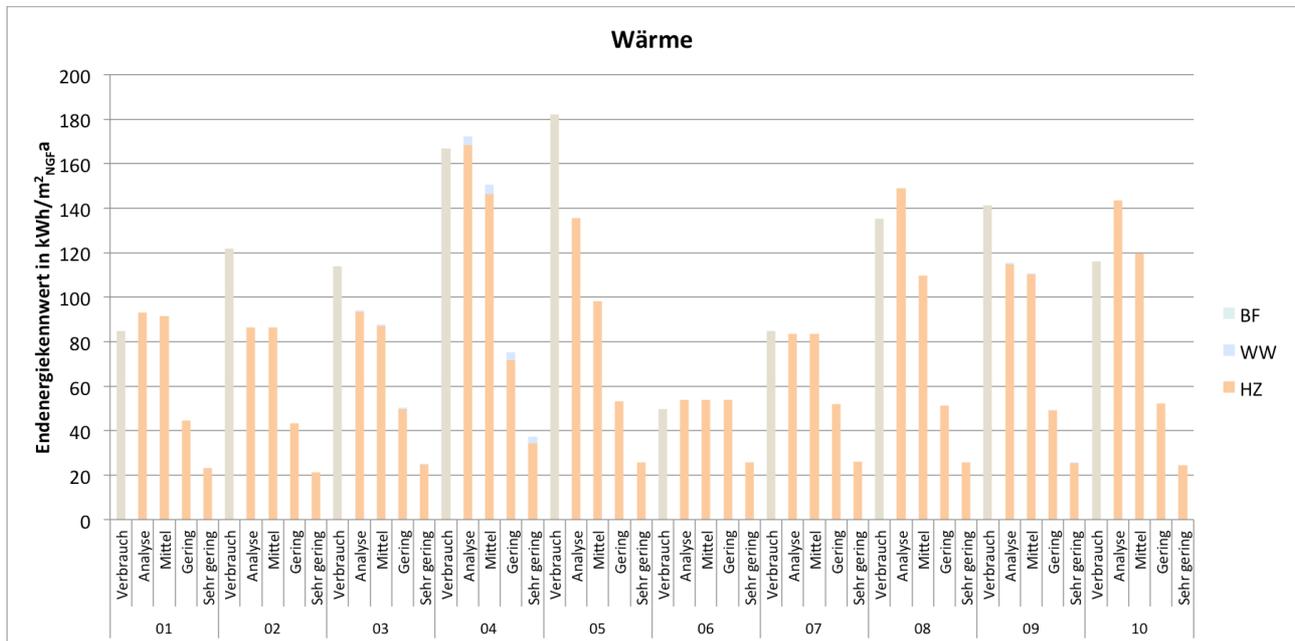
### **5.1.5 Benchmarks für Wärme und elektrische Energie**

Die objektspezifischen Benchmarks für Wärme aller drei Varianten („Mittel“, „Gering“ und „Sehr gering“) nach Abschnitt 2.3 sind in Abbildung 30 den gemessenen Verbrauchskennwerten und den Bedarfskennwerten nach Verbrauchsstrukturanalyse für den Ist-Zustand gegenübergestellt. Alle 10 untersuchten Gebäude sind als Bürogebäude genutzt. Es ist deutlich erkennbar, dass dennoch unterschiedliche Benchmarks für die einzelnen Zielzustände vorliegen. Für die Variante „Gering“ liegen die Benchmarks bei 40 bis 50 (75) kWh/m<sup>2</sup>a, für „Sehr gering“ bei 20 bis 25 (35) kWh/m<sup>2</sup>a. Die Klammerwerte stammen von Gebäude 04. Es handelt sich dabei nicht um Ausreißer. Hier macht sich vielmehr die Anpassung der Referenzkennwerte aufgrund der kleinen beheizten NGF bemerkbar. Alle weiteren Effekte, wie abweichende Nutzungsstruktur und Ausschluss der Verschlechterung einer EAK gegenüber dem Ist-Zustand (Abschnitt 2.3), treten in ihren Wirkungen scheinbar hinter dem Einfluss der NGF des Gebäudes zurück. Eine diesbezügliche Sensitivitätsanalyse wurde jedoch nicht durchgeführt, sodass aufgrund der geringen Anzahl der Gebäude keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden können.

---

<sup>73</sup> Ähnliches gilt für Besprechungsräume und Bibliothek. Dort sind die Leuchten allerdings gruppiert.

**Abbildung 30: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an Wärme für die 10 untersuchten Gebäude**



In Abbildung 31 sind die Verbrauchs- und Bedarfskennwerte sowie die Benchmarks für drei der 10 untersuchten Gebäude dargestellt, um noch einen weiteren Aspekt zu beleuchten. Die Referenz-TEK steigen mit zunehmender Klasse exponentiell an. Somit müssten auch die Benchmarks auf Gebäudeebene diesen exponentiellen Anstieg widerspiegeln. Für Gebäude 07 ist jedoch ein quasi linearer Anstieg der Benchmarks von „Sehr gering“ über „Gering“ hin zu „Mittel“ ablesbar. Hier wurde bei Anwendung der Verbrauchsstrukturanalyse für einige Zonen offenbar bereits im Ist-Zustand eine geringere EAK als „Mittel“ angesetzt, so dass der Benchmark auf Gebäudeebene für „Mittel“ nennenswert durch die geringere Klassifizierung in diesen Zonen beeinflusst wird. In den beiden anderen Gebäuden hat die Analyse hingegen auf Gebäudeebene jeweils einen Endenergiekennwert Heizung ergeben, der deutlich größer als der Benchmark für „Mittel“ ist. Hier mögen immer noch einzelne Zonen<sup>74</sup> im Ist-Zustand eine EAK „Gering“ aufweisen. Der Einfluss auf den Benchmark für „Mittel“ ist allerdings deutlich geringer und es stellt sich der erwartete exponentielle Anstieg der Benchmarks ein.

<sup>74</sup> Für Verkehrsflächen ist auch hier durchaus eine EAK „Gering“ denkbar.

**Abbildung 31: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an Wärme für die Gebäude 04, 07 und 08**

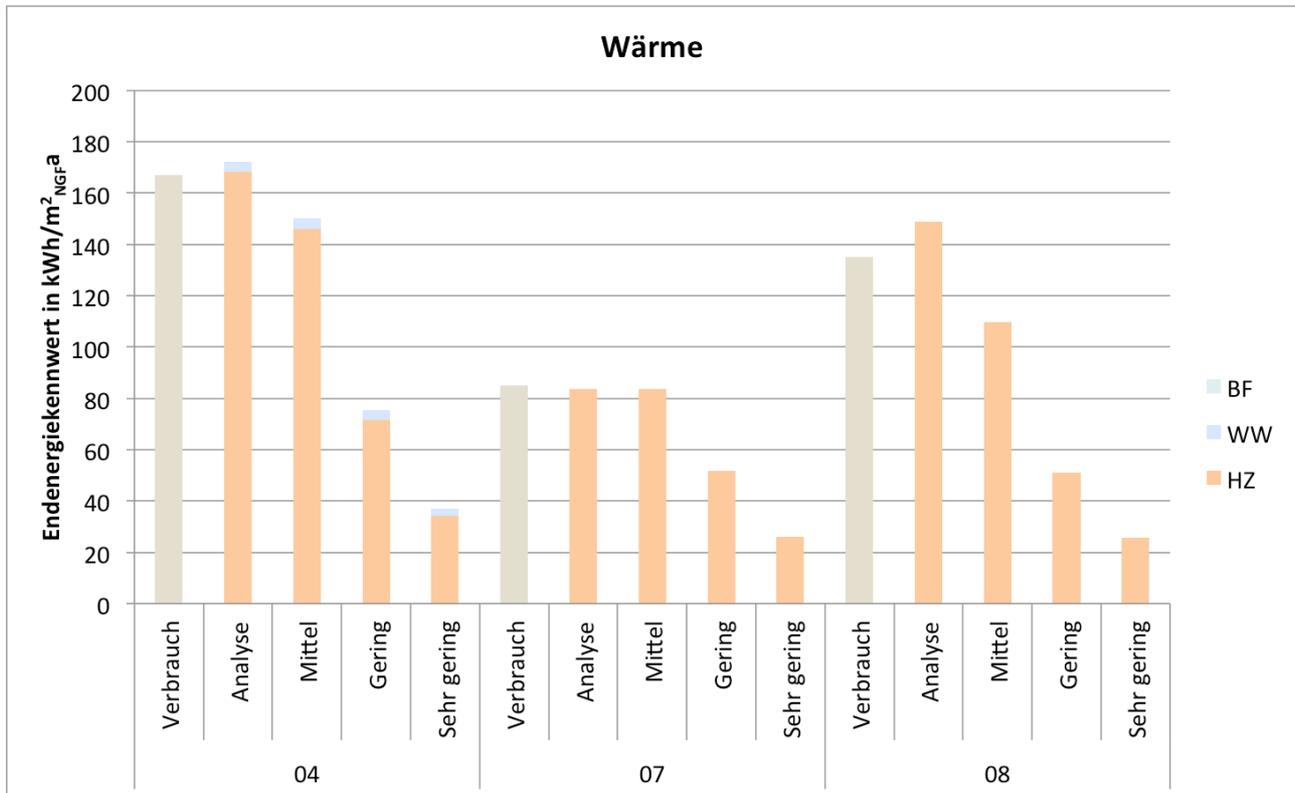
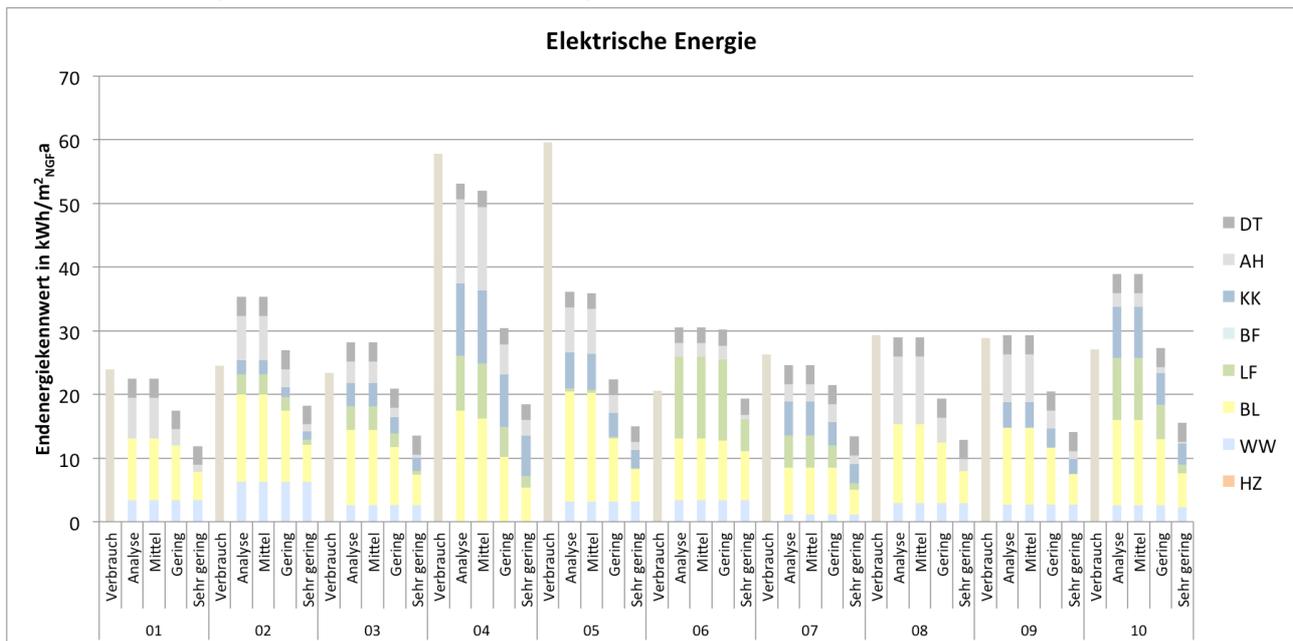


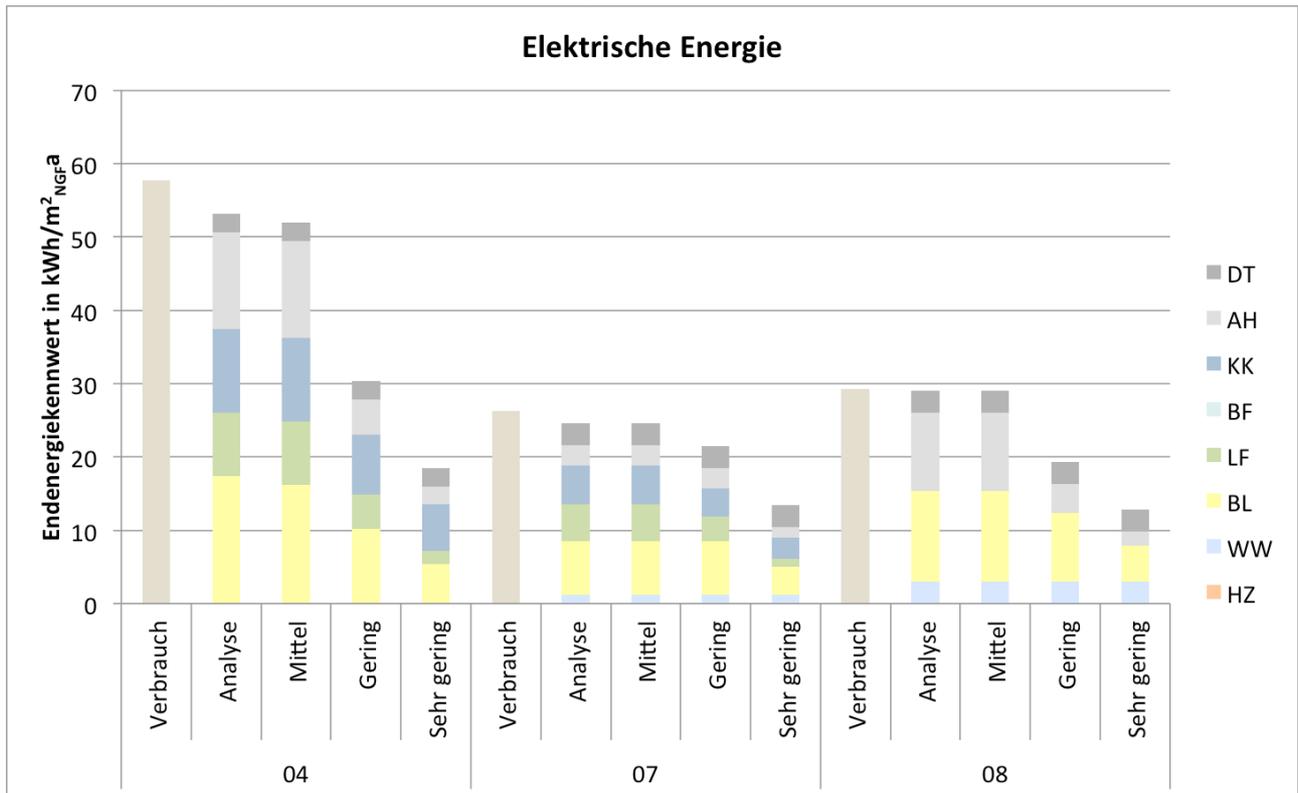
Abbildung 32 zeigt nun die Gegenüberstellung von Verbräuchen, Bedarfen und Benchmarks für elektrische Energie wiederum auf Endenergieebene. Die Aussage zum exponentiellen Anstieg der Referenzkennwerte und dem Widerspiegeln in den Benchmarks gilt analog. Die Unterschiede zwischen den objektspezifischen Benchmarks eines Einzelgebäudes haben hier allerdings weitere Ursachen. Das Gewerk Beleuchtung wurde in diesem Forschungsprojekt als einziges Gewerk mit einer Bewertungshilfe ausgerüstet und untersucht. Insofern ist es auch das einzige Gewerk, in dem für die einzelnen Zonen verschiedene Energieaufwandsklassen zur Beschreibung der Energieeffizienz des Systems angesetzt wurden. Für alle weiteren Gewerke wurden Annahmen entsprechend Abschnitt 3.6 abgebildet. Für die Gewerke Diverse Technik und Warmwasser bleiben die Kennwerte in allen Benchmarks unverändert. Für Warmwasser kommt dabei die methodische Besonderheit zum Ansatz, dass im Rahmen der VSA zunächst als Standard-Energieaufwandsklasse „Sehr gering“ anzusetzen ist (s. Abschnitt 3.6.1). Für die Gewerke Klimakälte und Arbeitshilfen wurde in der Analyse generell „Mittel“ angesetzt. Das gilt für das Gewerk Luftförderung mit Ausnahme von Gebäude 06 ebenfalls. In diesem Gebäude lautet der Standardansatz in der Analyse „Gering“. Das Gewerk Befeuchtung hatte keines der 10 Gebäude aufgewiesen.

**Abbildung 32: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an elektrischer Energie für die 10 untersuchten Gebäude**



In Abbildung 33 sind nochmals die Kennwerte für drei der Gebäude dargestellt. Diese Gebäude unterscheiden sich deutlich, was die Größe der Kennwerte, deren anteilige Zusammensetzung und das Vorkommen der Gewerke Warmwasser, Luftförderung und Klimakälte angeht. Zudem unterscheiden sie sich noch in der NGF (ca. 800 m<sup>2</sup> in Gebäude 04, ca. 4000 m<sup>2</sup> in den Gebäude 07 und 08) und dem Baualter (Gebäude 07 mit Baujahr 2003 sehr jung). Trotz dieser Unterschiede ist für diese Beispiele eine gute Übereinstimmung zwischen Bedarf und Verbrauch abzulesen. Dennoch ist zunächst auch bei diesen Gebäuden bei der Interpretation der Benchmarks für elektrische Energie Zurückhaltung angebracht, was die Treffsicherheit der Kennwerte je Gewerk angeht. Für die Beleuchtung wurde in Abschnitt 3.5.2 letztlich für jedes untersuchte Nutzungsprofil eine separate Regressionsgleichung gefunden, bei deren Nutzung der Vorschlag der Bewertungshilfe bei identischen Parameterausprägungen durchaus Unterschiede von einer ganzen EAK zwischen den Profilen betragen kann. Es stellt sich also die Frage, ob in jeder Zone der die standardisierte Energieaufwandsklasse des Benchmarks (hier insbesondere „Sehr gering“) überhaupt erreicht werden kann. Diese Frage stellt sich selbstredend auch für die anderen Gewerke, für die bisher keine Bewertungshilfe vorliegt. Letztlich ist es eine Frage der Bildung der Referenz-TEK. Je näher die dort zugrunde gelegten Parameterausprägungen an den konkreten Parameterausprägungen einer Zone liegen, desto besser wird der Kennwert der standardisierten EAK des Benchmarks auch mit dem praktisch erreichbaren Kennwert der Zone übereinstimmen. Im Rahmen der Weiterentwicklung des Verfahrens der Verbrauchsstrukturanalyse sollte eine Untersuchung zur Benchmarkbildung unter Berücksichtigung konkreter Parameterausprägungen der Zonen durchgeführt werden.

Abbildung 33: Gemessene Verbräuche, Bedarfe im Ist-Zustand nach VSA und Benchmarks für den Endenergiebedarf an elektrischer Energie für die Gebäude 04, 07 und 08



## 6 Querschnittsuntersuchung für öffentliche Gebäude

### 6.1 Datenbank

Für die 10 Gebäudeanalysen in der Feldphase des Projekts VSA wurde das TEK-Tool in der Version 5.5 benutzt. In Berechnungsvariante „VSA-Basis“ wurden jeweils die Ist-Zustände der Gebäude abgebildet. Daraus wurden die Modernisierungsvarianten „Minimal“, „Standard“ und „Ambitioniert“ abgeleitet. Die Berechnungen wurden mit den Einstellungen „objektspezifisch“ durchgeführt, d.h. mit in den Gebäuden erhobenen Parametern für Raumtemperaturen, Nutzungszeiten und interne Wärmequellen, mit detailliert ermittelten Gebäudehüllflächen und nach Möglichkeit am Objekt erhobenen Bauteilkennwerten, die Beleuchtungsleistung wurde über die Anzahl der Leuchtmittel in den Zonen ermittelt.

Mit dem überarbeiteten Tool TEK-6.2\_DB-3.57\_Analysetool.xslm wurden die Gebäudeanalysen in Version TEK-5.5 aktualisiert und mit dem Transfermanager zusammen mit 82 anderen Gebäudedatensätzen in die TEK-Datenbank DB-12.30-QSA-TEK.accdb übertragen. In der TEK-DB sind insgesamt 1.242 Datenfelder für alle Eingabe- und Ausgabeparameter des TEK-Tools vorhanden. Ebenfalls dokumentiert werden die für die Gebäudeanalyse gewählten Methoden sowie die Referenz-Teilenergiekennwerte. Die Daten wurden im Rahmen des TEK-Projekts mit dem Querschnittsanalyse-Tool TEK-QSA-Tool-09.40.xslm ausgewertet.

Darüber hinaus wurden weitere Auswertungen speziell für das Projekt VSA vorgenommen anhand einer separaten Datenbank, die nur für die hier betrachteten 10 öffentlichen Gebäude angelegt wurde und neben den Basis-Varianten auch die jeweiligen Modernisierungsvarianten enthält (Access-Datenbank).

### 6.2 Hüllflächenexposition

Die Hüllflächenexposition einer Zone ist entscheidend wichtig bei der Bestimmung des spezifischen Heizwärmebedarfs in den Bewertungshilfen des VSA-Tools. Deshalb wurden zur Orientierung in Querschnittsauswertungen für alle 93 Gebäude aus der TEK-DB Vergleichswerte für folgende, gebäudebezogene Parameter ermittelt: Mittlerer Fensterflächenanteil an der Fassade, Verhältnis A/V, spezifische Kellerdeckenfläche und spezifische Dachfläche sowie die spezifische Außenwandfläche, die Fensterfläche nach Norden und die Fensterfläche nach Süden, Osten und Westen, jeweils in  $\text{m}^2$  Bauteilfläche (Bruttobezug) pro  $\text{m}^2$  Nettogeschossfläche. Die Bandbreite der Schieberegler-Einstellungen im VSA-Tool kann damit auf Plausibilität überprüft werden.

Die nach Gebäude-Unterkategorien differenzierten Ergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt. Diesen Ergebnissen aus dem TEK-Tool liegt die Berechnungseinstellung „objektspezifisch“ für die Gebäudehülle zugrunde, d.h. die Hüllflächenanteile wurden detailliert aus Plänen oder vor Ort ausgemessen.

Für die horizontalen Hüllflächenbauteile besteht ein Einfluss auf die Kennzahl durch die Geschossigkeit des Gebäudes. Büro- und Hotelgebäude haben im Durchschnitt etwa doppelt so viele Geschosse als z.B. Handels- oder Schulgebäude. Dadurch sind die spezifischen Kellerdecken- und Dachflächen der letzteren etwa doppelt so groß wie die der ersteren. Bereinigt man um die Geschossanzahl, ergeben sich über alle Gebäudekategorien Werte von  $1,18 [\text{m}^2_{\text{Kellerdecke}}/\text{m}^2_{\text{Geschoss}}]$  für den unteren Abschluss der beheizten Flächen und  $1,21 [\text{m}^2_{\text{Dach}}/\text{m}^2_{\text{Geschoss}}]$  für den oberen Abschluss. Das ist plausibel, da die Bauteilfläche mit Bruttobezug, die Geschossfläche aber mit Nettobezug gemessen werden.

Handelsgebäude können trotz der geringen Geschossigkeit dennoch sehr kompakt sein, wie man am Beispiel der Kauf- und Warenhäuser sieht. Sie haben im Durchschnitt größere Geschosshöhen, brauchen nicht wie z.B. Büro- oder Schulgebäude einen hohen Tageslichtbezug im Innenraum und können damit größere Gebäudetiefen zulassen.

Die spezifischen Fensterflächen liegen bei den Handels- und Veranstaltungsgebäuden, der Nutzung entsprechend, recht niedrig. Auch die durchschnittlichen Anteile der Fensterflächen an der gesamten Fassade sind bei Handelsgebäuden mit 19% und bei Veranstaltungsgebäuden mit 22% deutlich niedriger als bei Büro- und Verwaltungsgebäuden mit 31% und bei Schulen und Kindertagesstätten mit 30%. Hochschulge-

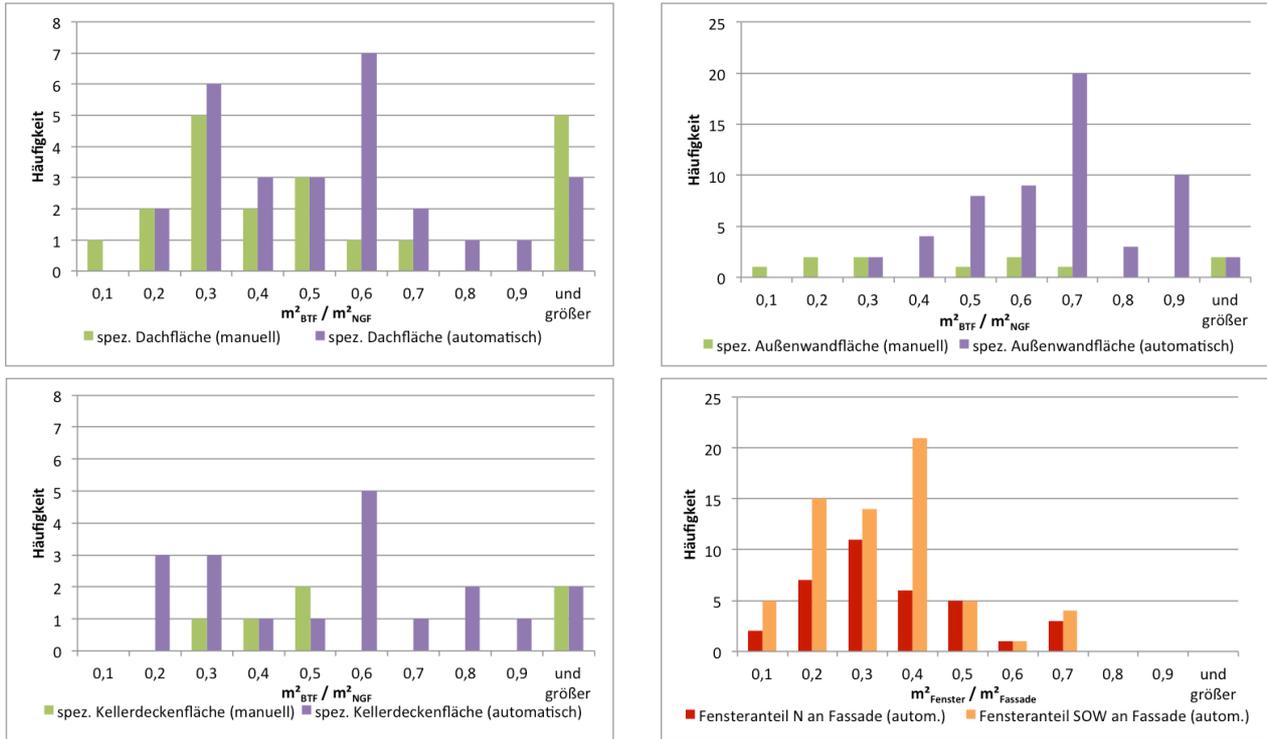
bäude liegen mit 28% ebenso wie Hotels und Beherbergungsgebäude mit 25% dazwischen. Die Streubreiten über die jeweils gesamte Gebäudekategorie sind allerdings beträchtlich. In allen Gebäudekategorien sind die Anteile der nach Norden ausgerichteten Fenster deutlich geringer als nach Süden, Osten oder Westen.

In Abbildung 34 bis Abbildung 37 sind zonenbezogen für verschiedene Bauteile spezifische Hüllflächen angegeben: Spezifische Dachfläche, spezifische Kellerdeckenfläche und die spezifische Außenwandfläche, jeweils in  $\text{m}^2$  Bauteilfläche (Bruttobezug) pro  $\text{m}^2$  Zonenfläche (Nettobezug), sowie der Fensterflächenanteil an der Fassade in den Orientierungen Süden, Osten und Westen bzw. Norden, jeweils in  $\text{m}^2$  Fensterfläche pro  $\text{m}^2$  Gesamt-Fassadenfläche. Auch diese Ergebnisse stammen aus der TEK-DB und wurden mit dem TEK-Tool berechnet. Der einer Zone zugeordnete Anteil der jeweiligen Bauteilhüllfläche wird im TEK-Tool in der Regel automatisch aufgrund der Zonenfläche berechnet. Bei genauerer Kenntnis der Lage der Zone im Gebäude kann dieser Anteil als Option aber auch manuell zugewiesen werden. Deshalb sind in den Abbildungen jeweils beide Kennwerte angegeben. Nur die Angaben zum Fensterflächenanteil an der Fassade beruhen ausschließlich auf automatisch generierten Kennwerten, da es zu wenige Fälle gab, in denen sowohl die Fensterflächen als auch die Außenwandfläche einer Zone manuell ermittelt wurden.

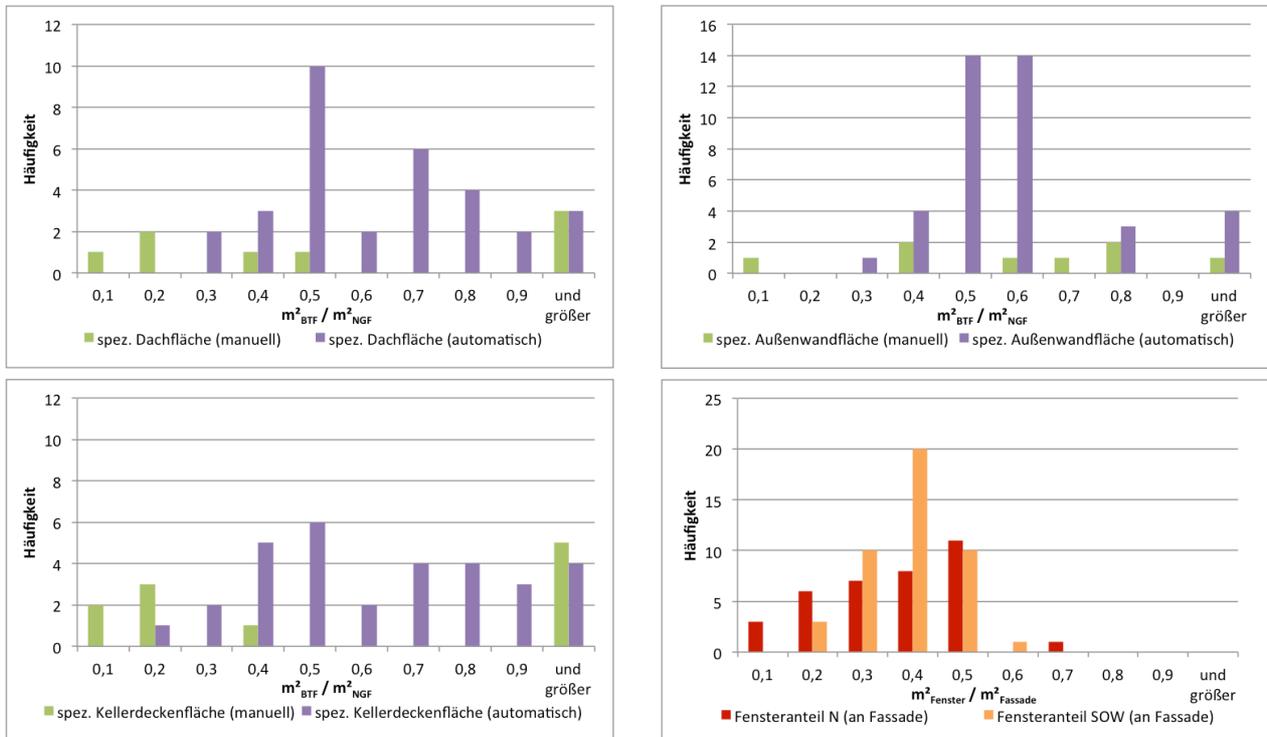
**Tabelle 19: Spezifische geometrische Parameter der Gebäudehülle aus der TEK-DB nach Gebäude-Unterkategorien differenziert**

Gebäude-Unterkategorie		Anzahl	Geschosse		Mittlerer Fensterflächenanteil (NSOW) an der Fassade [%]		Verhältnis A/V [1/m]		spezifische Kellerdeckenfläche [m² <sub>BTF</sub> / m² <sub>Netf</sub> ]		spezifische Dachfläche [m² <sub>BTF</sub> / m² <sub>Netf</sub> ]		spezifische Wandfläche [m² <sub>BTF</sub> / m² <sub>Netf</sub> ]		spezifische Fensterfläche N [m² <sub>BTF</sub> / m² <sub>Netf</sub> ]		spezifische Fensterfläche SOW [m² <sub>BTF</sub> / m² <sub>Netf</sub> ]	
			Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.	Mittel	Stdabw.
Ämter, Verwaltungsgebäude		5			35%	16%	0,34	0,05	0,31	0,09	0,34	0,13	0,43	0,13	0,06	0,02	0,17	0,08
Banken		1			29%		0,25		0,23		0,23		0,39		0,04		0,11	
Bürogebäude (auch mit Publ.-verkehr)		12			33%	10%	0,30	0,10	0,30	0,16	0,30	0,16	0,44	0,14	0,06	0,03	0,14	0,04
Gerichtsgebäude		3			23%	4%	0,35	0,01	0,34	0,10	0,35	0,09	0,64	0,13	0,07	0,02	0,12	0,02
Polizei; Feuerwehr, THW		2			17%	1%	0,45	0,01	0,35	0,07	0,37	0,04	0,83	0,04	0,03	0,01	0,14	0,01
<b>Büro, Dienstleistungen</b>		<b>23</b>	<b>5,17</b>		<b>31%</b>	<b>11%</b>	<b>0,33</b>	<b>0,09</b>	<b>0,31</b>	<b>0,13</b>	<b>0,32</b>	<b>0,13</b>	<b>0,49</b>	<b>0,17</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>
Einkaufszentren		6			19%	12%	0,30	0,05	0,90	0,23	0,86	0,25	0,31	0,05	0,02	0,01	0,06	0,04
Großhandel		1			6%		0,27		0,90		0,80		0,45		0,02		0,01	
Kauf- und Warenhäuser		4			21%	14%	0,17	0,01	0,24	0,04	0,24	0,04	0,23	0,07	0,01	0,01	0,05	0,03
<b>Handel</b>		<b>11</b>	<b>2,37</b>		<b>19%</b>	<b>12%</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>	<b>0,66</b>	<b>0,37</b>	<b>0,63</b>	<b>0,35</b>	<b>0,29</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>
Fachhochschulen		1			44%		0,48		0,61		0,60		0,43		0,15		0,18	
Hörsaalgebäude		5			24%	14%	0,40	0,14	0,81	0,43	0,84	0,39	0,72	0,30	0,03	0,04	0,18	0,09
Institutsgebäude für Lehre und Forschung		12			28%	9%	0,28	0,07	0,29	0,12	0,32	0,14	0,46	0,11	0,04	0,04	0,13	0,05
Versuchshallen mit Werkstatt		1			27%		0,34		0,40		0,40		0,49		0,01		0,17	
<b>Hochschulen</b>		<b>19</b>	<b>3,44</b>		<b>28%</b>	<b>11%</b>	<b>0,33</b>	<b>0,11</b>	<b>0,45</b>	<b>0,32</b>	<b>0,47</b>	<b>0,32</b>	<b>0,53</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,15</b>	<b>0,06</b>
Ferien- und Schullandheime		1			23%		0,35		0,77		0,66		0,50		0,05		0,10	
Hotels		7			26%	9%	0,27	0,06	0,22	0,13	0,23	0,12	0,44	0,12	0,03	0,02	0,12	0,07
<b>Hotels, Beherbergungsgebäude</b>		<b>8</b>	<b>6,80</b>		<b>25%</b>	<b>8%</b>	<b>0,28</b>	<b>0,06</b>	<b>0,29</b>	<b>0,23</b>	<b>0,28</b>	<b>0,19</b>	<b>0,45</b>	<b>0,11</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,12</b>	<b>0,07</b>
Berufsschulen		5			31%	7%	0,31	0,06	0,32	0,06	0,34	0,04	0,55	0,21	0,05	0,03	0,18	0,06
Grund-, Haupt-, Realschulen, Gymnasium		8			29%	5%	0,40	0,13	0,58	0,25	0,58	0,24	0,54	0,20	0,04	0,01	0,17	0,06
Kindertagesstätte		2			29%	6%	0,61	0,22	0,82	0,40	0,86	0,34	0,61	0,04	0,08	0,00	0,17	0,05
Sporthallen		1			20%		0,44		0,90		0,76		1,04		0,18		0,08	
<b>Schulen, Kindertagesstätten</b>		<b>15</b>	<b>2,62</b>		<b>30%</b>	<b>5%</b>	<b>0,40</b>	<b>0,15</b>	<b>0,52</b>	<b>0,27</b>	<b>0,54</b>	<b>0,26</b>	<b>0,55</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,17</b>	<b>0,05</b>
Büchereien		3			29%	17%	0,24	0,04	0,26	0,07	0,28	0,07	0,28	0,03	0,02	0,02	0,10	0,08
Freizeitzentren, Gemeinde-, Bürgerhäuser		3			18%	8%	0,39	0,16	0,58	0,10	0,74	0,14	0,49	0,14	0,03	0,03	0,09	0,05
Museen, Ausstellungsgebäude		8			22%	11%	0,30	0,08	0,39	0,10	0,43	0,30	0,71	0,27	0,08	0,07	0,12	0,05
Stadthallen / Saalbauten		2			18%	8%	0,32	0,06	0,55	0,05	0,54	0,14	0,65	0,05	0,04	0,02	0,12	0,07
<b>Veranstaltungsgebäude</b>		<b>16</b>	<b>3,3</b>		<b>22%</b>	<b>11%</b>	<b>0,31</b>	<b>0,10</b>	<b>0,42</b>	<b>0,14</b>	<b>0,48</b>	<b>0,26</b>	<b>0,58</b>	<b>0,26</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>0,05</b>
<b>Mittel über alle Gebäude</b>		<b>93</b>	<b>3,87</b>		<b>26%</b>	<b>10%</b>	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>	<b>0,44</b>	<b>0,29</b>	<b>0,45</b>	<b>0,29</b>	<b>0,50</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>

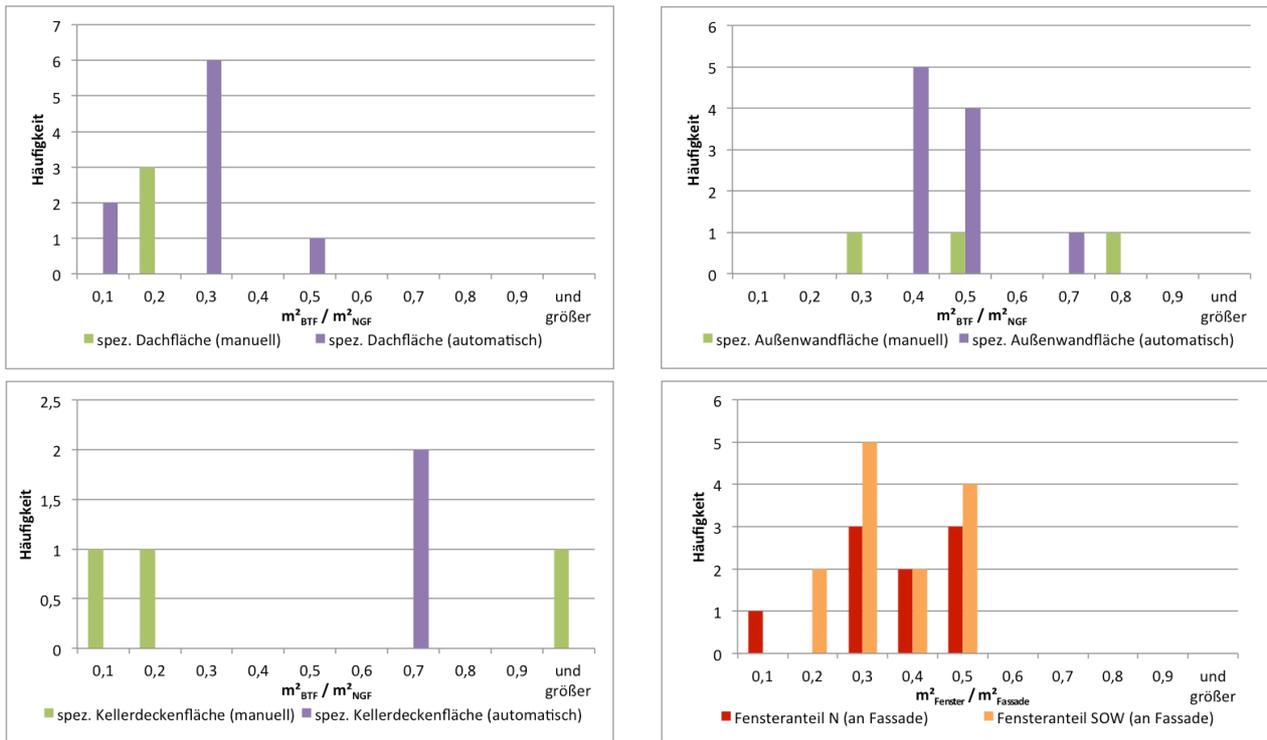
**Abbildung 34: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 70 verschiedene Einzelbürozononen, automatisch bzw. manuell ermittelt**



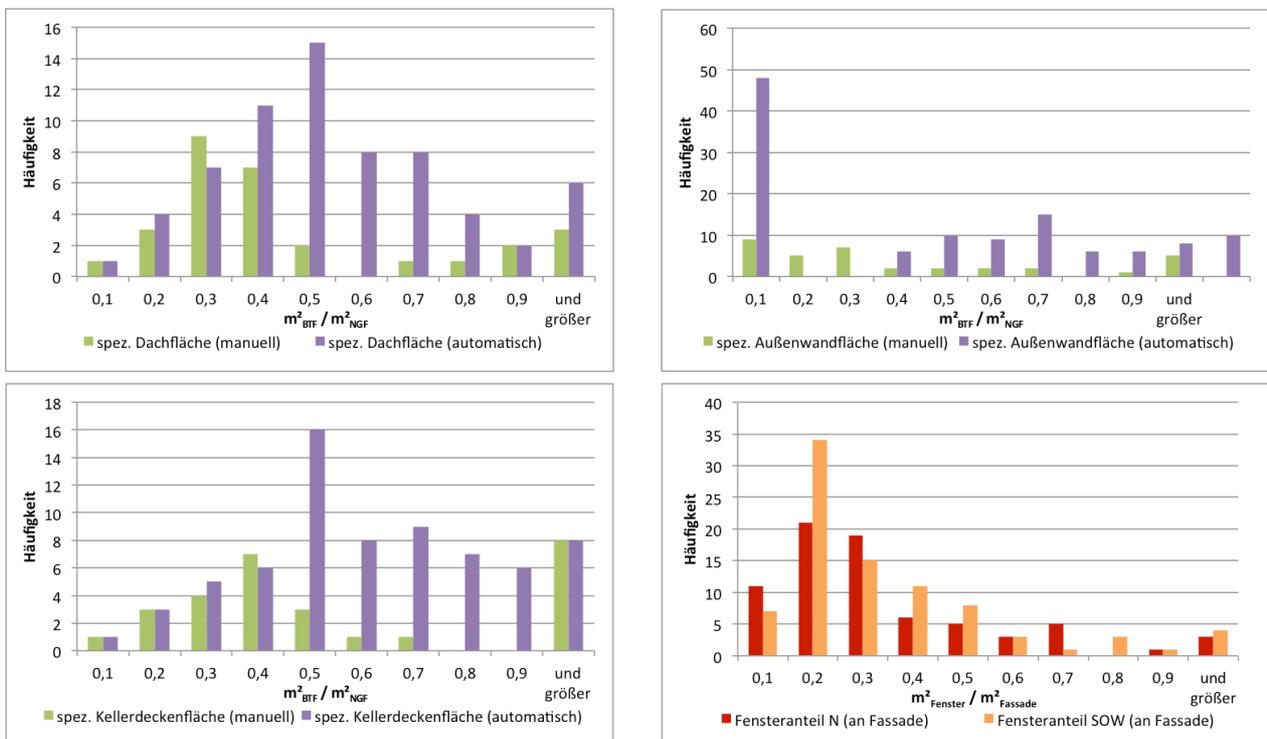
**Abbildung 35: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 50 verschiedene Klassenraumzonen, automatisch bzw. manuell ermittelt**



**Abbildung 36: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 13 verschiedene Hotelzimmerzonen, automatisch bzw. manuell ermittelt**



**Abbildung 37: Spezifische Bauteilflächen und Fensterflächenanteile aus der TEK-DB für 118 verschiedene Verkehrsflächenzonen, automatisch bzw. manuell ermittelt**



Die Auswertungen der zonenbezogenen, spezifischen Bauteilflächen können nur eine grobe Orientierung geben, in welchen Bandbreiten diese Werte üblicherweise liegen. Für die realistische Einschätzung sind dabei die manuell ermittelten Werte maßgebend, leider ist deren Anzahl vergleichsweise gering. Die meisten manuell ermittelten Werte liegen für die horizontalen Hüllbauteile vor, also für die Kellerdecke und das Dach. In Abbildung 37 bei den Verkehrsflächen zeigt sich, dass die manuell ermittelten Werte für die horizontalen Hüllflächen häufig von den automatisch ermittelten abweichen und auch anders verteilt sind. Bei Einzelbürozonen und Klassenräumen sind keine klaren Trends zu erkennen, eine gewisse Tendenz zu kleineren spezifischen Hüllflächen bei manueller Ermittlung gegenüber der automatischen deutet sich an. Für Hotelzimmer kann aufgrund der sehr kleinen Stichprobe keine Aussage getroffen werden.

## 6.3 Teilenergiekennwerte

### 6.3.1 Teilenergiekennwerte auf Gebäudeebene

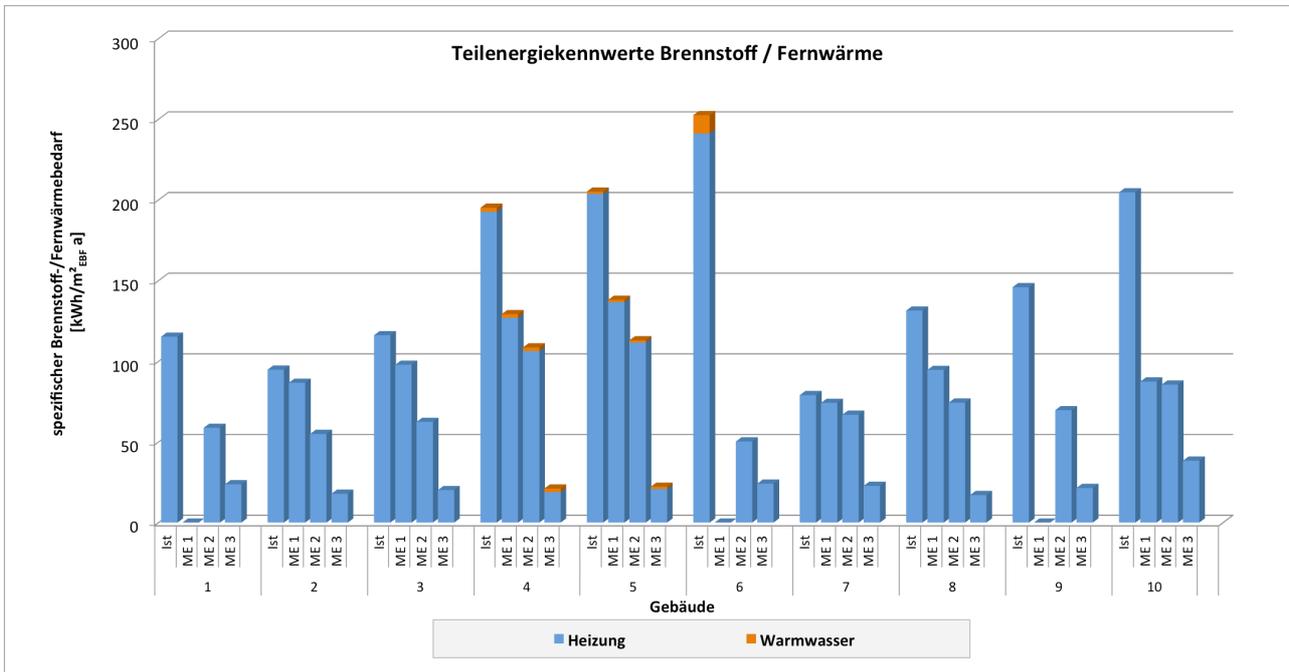
Den Bedarf an Brennstoffen bzw. Fernwärme in Nichtwohngebäuden und hier speziell in Büro- und Verwaltungsgebäuden dominiert der Anteil für die Heizung, der Anteil für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser ist vernachlässigbar. Das gilt für den Ist-Zustand und alle Modernisierungsempfehlungen, wie Abbildung 38 zeigt. Der Warmwasserbedarf ist in Nichtwohngebäuden ohnehin gering und vielfach sind dezentrale, elektrische Systeme der Warmwasserbereitung im Einsatz. Sehr deutlich werden die drastischen Einsparpotenziale bei Heizwärme im Gebäudebestand, teilweise zeichnen sich Reduzierungen bis zu einem Faktor 10 ab.

Komplexer stellt sich das Bild beim elektrischen Energiebedarf dar (vgl. Abbildung 39). Der Bedarf verteilt sich auf viele verschiedene Anwendungen, zum einen in den gebäudetechnischen Systemen für Beleuchtung, Lüftung, Kühlung und Warmwasserbereitung und zum anderen auf die sehr stark von der Nutzung abhängigen Betriebseinrichtungen wie Arbeitshilfen, zentrale Anlagen wie große Küchen und Aufzüge oder sonstige Großgeräte. Das über die 10 Gebäude flächengewichtete Mittel des Anteil elektrischer Energie der nutzerspezifischen Systeme liegt im Ist-Zustand bei 48% und steigt in der ME 3 – Ambitioniert auf 55% (vgl. Tabelle 20, linker Teil). Je höher der Effizienzstandard des Gebäudes umso höher ist der prozentuale Anteil des elektrischen Energiebedarfs für die nutzerspezifischen Betriebseinrichtungen. Offensichtlich lassen sich diese Verbraucher durch typische Modernisierungsmaßnahmen an Gebäude und technischen Anlagen nur wenig beeinflussen. Ihr prozentualer Anteil steigt in dem Maße wie die gebäudetechnischen Anteile sinken. Der Anteil der gebäudetechnischen Systeme am elektrischen Energiebedarf in den 10 betrachteten Verwaltungsgebäuden wird von der Beleuchtung dominiert, wie man am rechten Teil der Tabelle 20 erkennt. Mit zunehmendem Effizienzstandard wächst die Bedeutung der Lüftung, insbesondere in ME3 „Ambitioniert“, die eine mechanische Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung beinhaltet.

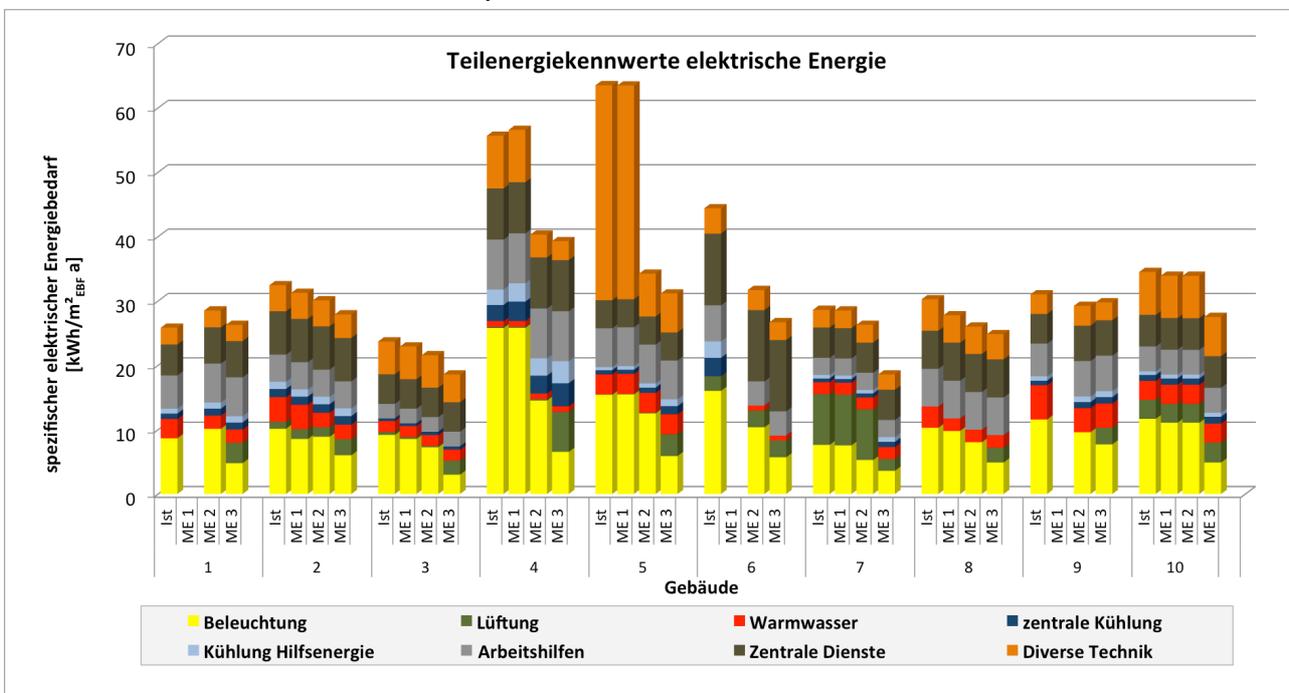
**Tabelle 20: Mittlerer, flächengewichteter Anteil gebäudetechnischer und nutzerspezifischer Systeme am elektrischen Energiebedarf**

	Anteil gebäudetechnischer Systeme am gesamten, elektrischen Energiebedarf	Anteil nutzerspezifischer Systeme	Anteil Beleuchtung am gebäudetechnischen Energiebedarf	Anteil Luftförderung
<b>Ist</b>	<b>52%</b>	<b>48%</b>	<b>65%</b>	<b>8%</b>
<b>Minimal</b>	50%	50%	64%	11%
<b>Standard</b>	50%	50%	64%	10%
<b>Ambitioniert</b>	45%	55%	44%	23%

**Abbildung 38: Verteilung des Bedarfs an Brennstoff / Fernwärme auf die Gewerke Heizung und Trinkwarmwasser in den 10 Gebäuden für den Ist-Zustand (Ist) und die Modernisierungsempfehlungen 1 bis 3 (Minimal, Standard und Ambitioniert)**



**Abbildung 39: Verteilung des Bedarfs an elektrischer Energie auf verschiedene Gewerke in den 10 Gebäuden für den Ist-Zustand (Ist) und die Modernisierungsempfehlungen 1 bis 3 (Minimal, Standard und Ambitioniert)**



### 6.3.2 Teilenergiekennwerte auf Zoneebene

Für die Nutzungsprofile Einzelbüro, Klassenraum, Hotelzimmer und Verkehrsfläche wurden die Häufigkeitsverteilungen der Teilkennwerte im Ist-Zustand für Heizung, Beleuchtung, Luftförderung, Klimatisierung sowie für Betriebseinrichtungen (Arbeitshilfen) bezüglich der vordefinierten fünf Energieaufwandsklassen

(Referenz-TEK) ermittelt. Alle Kennwerte aus den 93 Gebäuden der TEK-Datenbank wurden für diese Auswertungen mit objektspezifischen Nutzungsparametern berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 40 und Abbildung 41 dargestellt. Die Analyse dient zur Einschätzung, ob die Parameter zur Bestimmung der Referenz-TEK in den fünf Energieaufwandsklassen für die Bewertung von Bestandsgebäuden plausibel gewählt sind und ob die Objekt-TEK damit plausibel bewertet werden können. Dabei ist zu beachten, dass die Referenz-TEK mit Standardnutzungsparametern berechnet wurden.

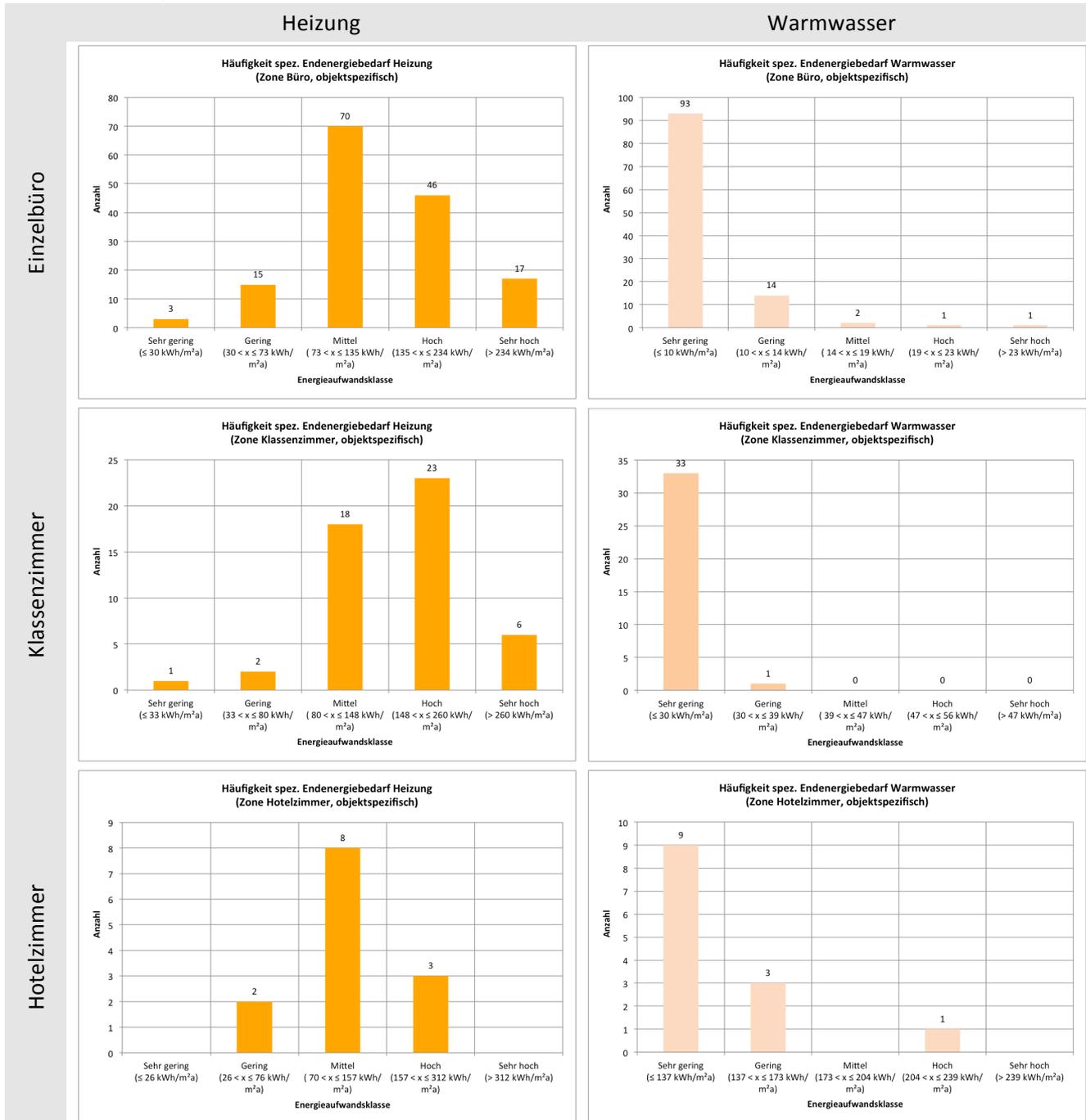
Die Teilenergiekennwerte sind zonenbezogen definiert, stellvertretend wurden die Nutzungsprofile Büro, Klassenraum, Hotelzimmer und Verkehrsfläche ausgewählt. Insgesamt wurden 151 Zonen mit der Nutzung Büro, darunter 70 Einzelbüros, 70 Gruppenbüros und 11 Großraumbüros, 50 Zonen mit der Nutzung Klassenraum, 13 Zonen mit der Nutzung Hotelzimmer und 118 Verkehrsflächen analysiert.

In Abbildung 40 sind die zonenbezogenen Objekt-TEK im Ist-Zustand des spezifischen Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser der Gebäude im Ist-Zustand für die Nutzungsprofile Büro, Klassenraum und Hotelzimmer aufgetragen. Für Heizung ergibt sich eine nachvollziehbare Verteilung und damit auch eine plausible Bewertung, wie man sie für – meist noch nicht modernisierte – Bestandsgebäude erwarten würde: Die meisten, zonenbezogenen Objekt-TEK im Ist-Zustand für Heizung und Warmwasser liegen in den Energieaufwandsklassen „Mittel“ und „Hoch“. Die Objekt-TEK im Ist-Zustand für Warmwasser zeigen dagegen ein ganz andere Verteilung: Überwiegend liegen die Kennwerte in der Energieaufwandsklasse „Sehr gering“. Vermutlich sind die Standardnutzungsparameter der Vornorm DIN V 18599 für den Warmwasserbedarf in Nichtwohngebäuden nicht realistisch und führen zu überhöhten Referenz-TEK. Die Kennwerte müssen überarbeitet werden.

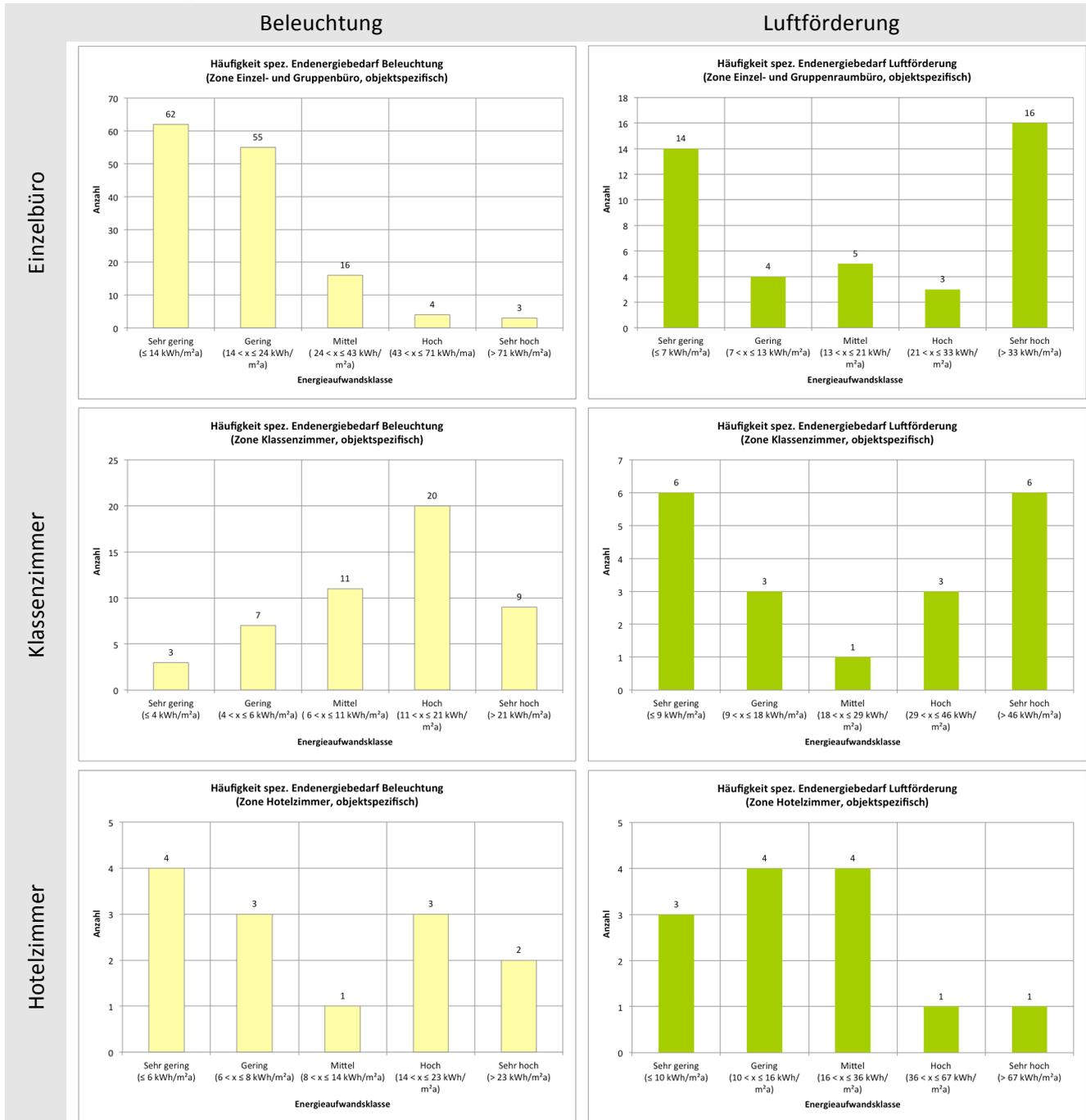
In Abbildung 41 sind die zonenbezogenen Objekt-TEK im Ist-Zustand des spezifischen Endenergiebedarfs für Beleuchtung und Luftförderung der Gebäude im Ist-Zustand aufgetragen. Bei der Beleuchtung zeigt sich ein differenziertes Bild. In den Bürozononen liegen die meisten Objekt-TEK im Ist-Zustand in den Aufwandsklassen „Sehr gering“ und „Gering“. Möglicherweise ist dies eine Folge der Berechnung der installierten Beleuchtungsleistung bei der Bildung der Referenz-TEK nach dem Tabellenverfahren aus DIN V 18599-4: 2007-02. Das Verfahren könnte zu hohen spezifischen Leistungen führen. Die objektspezifischen, durch Lampenzahlen ermittelten Objekt-TEK im Ist-Zustand würden demgegenüber systematisch zu gut bewertet. Allerdings zeigen die anderen Zonen auch ganz andere Verteilungen der Beleuchtungskennwerte, Klassenräume mit einem Schwerpunkt in der Klasse „Hoch“ und Hotelzimmer mit uneinheitlicher Tendenz, die möglicherweise der sehr geringen Stichprobe geschuldet ist. Andererseits könnte es natürlich auch sein, dass in Bestandsgebäuden die Beleuchtungsanlagen insbesondere in den Bürozononen aus ergonomischen Gründen (Bildschirmarbeitsplätze) bereits erneuert wurden und deshalb mehrheitlich geringe Aufwandsklassen aufweisen.

Bei der Luftförderung liegen die Objekt-TEK im Ist-Zustand für Bürozononen und Klassenräume häufig entweder in der Klasse „Sehr gering“ oder in der Klasse „Sehr hoch“. Möglicherweise bilden sich darin unterschiedliche Lüftungs- und Klimatisierungsstrategien in Bestandsgebäuden ab, zum einen einfache Lüftungsanlagen mit am hygienisch notwendigen Mindest-Luftwechsel orientierten Volumenstrom und zum anderen RLT-Anlagen mit mehreren Luftbehandlungsfunktionen z.B. zur Kühlung, die dazu einen deutlich höheren Volumenstrom benötigen.

**Abbildung 40: Zonenbezogene Teilenergiekennwerte des spezifischen Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser der Gebäude im Ist-Zustand (Objekt-TEK) aufgetragen als Häufigkeitsverteilung über die Energieaufwandsklassen (Referenz-TEK) für die Nutzungsprofile Einzelbüro, Klassenzimmer und Hotelzimmer**



**Abbildung 41: Zonenbezogene Teilenergiekennwerte des spezifischen Endenergiebedarfs für Beleuchtung und Luftförderung der Gebäude im Ist-Zustand (Objekt-TEK) aufgetragen als Häufigkeitsverteilung über die Energieaufwandsklassen (Referenz-TEK) für die Nutzungsprofile Büro, Klassenzimmer und Hotelzimmer**



## 7 Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt ist mit der Verbrauchsstrukturanalyse ein Verfahren entwickelt und in eine einfache Excel-Arbeitshilfe umgesetzt worden, dass zur Abbildung der des Energieeinsatzes an Wärme und elektrischer Energie in bestehenden Nichtwohngebäuden dient. In dem Verfahren wird der Energieverbrauch im Gebäude für die meisten Gewerke auf Zonenebene abgebildet. Anhand einer Querschnittsanalyse konnten die für den Energieeinsatz an Wärme und elektrischer Energie jeweils maßgeblichen Gewerke identifiziert werden. Für diese Gewerke – Heizung und Beleuchtung – wurden Bewertungshilfen entwickelt. Jede Bewertungshilfe liefert auf Basis konkreter Ausprägungen der energetischen Parameter des Gewerks einen Vorschlag für die Wahl einer Energieaufwandsklasse (EAK). Die Regressionsanalyse hat für beide Bewertungshilfen Schätzgleichungen hervorgebracht, bei deren Anwendung nur für ein geringen einstelligen Prozentsatz der untersuchten Berechnungsfälle eine EAK vorgeschlagen wird, die mehr als eine halbe Klasse von dem in TEK berechneten (und in eine EAK umgerechneten) Kennwert entfernt liegt. Die Schätzgleichungen beider Bewertungshilfen liefern also in fast allen untersuchten Fällen hinreichend genaue Vorschläge für die Wahl einer EAK. Die weiteren unterstützenden Elemente des Excel-Werkzeuges (Zonierungshilfe und Makros) tragen dazu bei, den Aufwand zur energetischen Abbildung des Gebäudes auf einen halben Tag zu begrenzen.

Dieses Werkzeug (VSA-Tool) ist an 10 hessischen öffentlichen Nichtwohngebäuden getestet worden. Der zeitliche Aufwand zur energetischen Abbildung des Gebäudes hat in allen Fällen einen halben Tag nicht überschritten. Für den Abgleich von Bedarf und Verbrauch hat sich für Wärme insgesamt eine gute Übereinstimmung ergeben. Für den Abgleich bezüglich elektrischer Energie hat sich gezeigt, dass die pauschale Annahme „Alle Gewerke zunächst auf Klasse Mittel setzen“ als „Nullte Näherung“ gelten kann. In beiden Fällen (Wärme und elektrische Energie) können die Ergebnisse aufgrund der geringen Anzahl untersuchter Gebäude nicht verallgemeinert werden. Für Wärme lieferte die Auswahl der 10 Gebäude zwar ein breiteres Verbrauchskennwertespektrum. Insofern kann die gute Übereinstimmung von Bedarf und Verbrauch optimistisch gesehen werden. Allerdings verleiht diese breite Streuung den untersuchten Gebäuden zusätzlich den Charakter von Einzelbetrachtungen. Die Betrachtung des elektrischen Energieeinsatzes hat gezeigt, dass Gebäude mit geringer bis mittlerer technischer Ausstattung ausgewählt wurden. Die Kennwerte sind auf Gebäudeebene insgesamt relativ gering, sodass bei gleichzeitigem Vorkommen vieler Gewerke nennenswerte Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch zu erkennen waren. Die Interpretation der Abweichungen ist erschwert, da für die meisten dieser Gewerke noch keine Bewertungshilfen existieren.

Aus den TEK-Analysen der 10 Gebäude resp. Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich konnte entnommen werden, dass die Verbräuche fast aller Gebäude gut erklärt werden. Die Formulierung von Zielzuständen der Modernisierung hat für Wärme ähnliche Einsparungen hervorgebracht wie in der Verbrauchsstrukturanalyse durch das Benchmarking abgeschätzt werden. Die Einsparungen für elektrische Energie werden in den Modernisierungsempfehlungen der Teilenergiekennwertanalyse weniger optimistisch gesehen als nach dem VSA-Benchmarking. Hier sind neben den Unschärfen in der Verbrauchsstrukturanalyse aufgrund fehlender Bewertungshilfen auch Unterschiede in der Methodik der beiden Analysen (Lüftung in allen Zonen in TEK ME3) verantwortlich.

### 7.2 Ausblick

#### Bewertungshilfen und Klassifizierung des Endenergiebedarfs

Die Methodik zur Erstellung von Bewertungshilfen sollte weiterentwickelt werden. Im laufenden Forschungsprojekt war es möglich, in beiden untersuchten Gewerken (Heizung und Beleuchtung) Schätzgleichungen zu finden, die die in TEK berechneten Energieaufwandsklassen im Sinne einer qualifizierten Schätzung hinreichend genau nachbilden. Perspektivisch lässt sich eine noch bessere Übereinstimmung zwischen der mit TEK berechneten und der mit der Bewertungshilfe der Verbrauchsstrukturanalyse abgeschätzten

Energieaufwandsklasse eines Gewerks erzielen. Hier ist ein methodischer Abgleich zwischen der Referenzkennwertbildung in TEK und der Regressionsanalyse in der Verbrauchsstrukturanalyse vorzunehmen. In Abschnitt 3.3 wird angenommen, dass die Schätzgleichung für Heizung näherungsweise auch zur Bewertung anderer Nutzungsprofile genutzt werden kann. Hier sind weitere Parameterstudien notwendig, um die Übertragbarkeit sicherzustellen. Außerdem kann die Übereinstimmung dadurch verbessert werden, dass für jedes Nutzungsprofil eine separate Regressionsanalyse durchgeführt wird. Das hat das Vorgehen bei der Erstellung der Bewertungshilfe Beleuchtung gezeigt.

Auch Überlegungen zur Anzahl der Energieaufwandsklassen sollten angestellt werden. Bei der Testanwendung der Verbrauchsstrukturanalyse an 10 öffentlichen hessischen Gebäuden hat sich gezeigt, dass die Intervalle der Referenzkennwerte insbesondere für das Gewerk Heizung recht groß sind. In der Folge wird die energetische Bewertung der Zone durch die Wahl einer der beiden Energieaufwandsklassen zu stark beeinflusst.

Schließlich sind weitere Verbesserungen durch schärfer abgrenzbare Parameterausprägungen denkbar. Für das Gewerk Heizung könnte das beispielsweise in der Aufnahme von RLT-Anlagen mit Heizregistern und der Differenzierung der Anzahl Hüllbauteile nach „horizontal“ und „vertikal“ bestehen. Für das Gewerk Beleuchtung erscheint eine Auflösung der Parameterbündel (Tageslichtsituation) angebracht.

#### Tool zur Auswertung der Verbrauchsstrukturanalysen eines Gebäudepools

Bisher dient das VSA-Tool zur Abbildung eines Einzelgebäudes. Liegen für größere Portfolios die Ergebnisse der Verbrauchsstrukturanalysen vor, ist selbstredend eine Auswertung der Ergebnisse erforderlich. Ein hierzu dienendes, zu entwickelndes Auswertungstool sollte verschiedene Funktionalitäten auf Gebäudeebene (Sortierung nach Gebäudekategorien) und auf Zonenebene (Sortierung nach Gewerken, nach absolut bzw. prozentual höchster Einsparung für Wärme, Elektrische Energie, beides usw.) aufweisen.

#### Überarbeitung Referenzkennwerte

Das Gewerk Warmwasser sollte methodisch an den „Zonengedanken“ angepasst werden. Bisher wird dieses Gewerk in TEK auf Gebäude-/Nutzungseinheitenebene abgebildet. Eine Referenzkennwertbildung mit dem TEK-Tool in Anlehnung an DIN V 18599 erscheint aber auch weiterhin möglich.

#### Strategisches Einsparpotential

Der Weggang bei der Regression von den Energieaufwandsklassen hin zu Energiekennwerten verbessert die Schätzung des Energiebedarfes vermutlich nochmals. Zumindest für das Gewerk Heizung sollte aufgrund des großen Kennwertespektrums eine diesbezügliche Untersuchung angestellt werden.

Das Benchmarking ist bisher starr auf eine Klasse der Referenz-TEK fixiert. Für das Gewerk Heizung zeigt sich aber, dass die Klasse „Sehr gering“ bei normaler oder vergrößerter spezifischer Hüllfläche nur in Zonen mit Raumtemperaturen  $< 21^{\circ}\text{C}$  erreicht werden kann. Hier erscheint eine Anwendung der Regressionsgleichung zur Benchmarkbildung auf Zonenebene vielversprechend. Dabei würden bauliche und anlagentechnische Parameter entsprechend dem definierten Zielzustand angesetzt, die Hüllflächenexposition bliebe (der Zone entsprechend) unverändert. Die EAK bzw. der Kennwert, der sich für die Zone im Zielzustand ergibt, wäre dann gleichzeitig Benchmark der Zone.

Der Ansatz, Referenz-TEK des Gebäudes unter Berücksichtigung von konkreten Parameterausprägungen zu bilden, lässt sich auch auf weitere Gewerke übertragen. Dies bedeutet aber, dass dann die Anwendung aller vorhandenen Bewertungshilfen in allen Zonen zur Beschreibung der konkreten Ausprägungen notwendig wird. Methodisch ist dann abzuwägen zwischen der Verbesserung der Abbildung der Gewerke und dem zusätzlichen Zeitaufwand bei der Anwendung der Verbrauchsstrukturanalyse.

## 8 Quellen

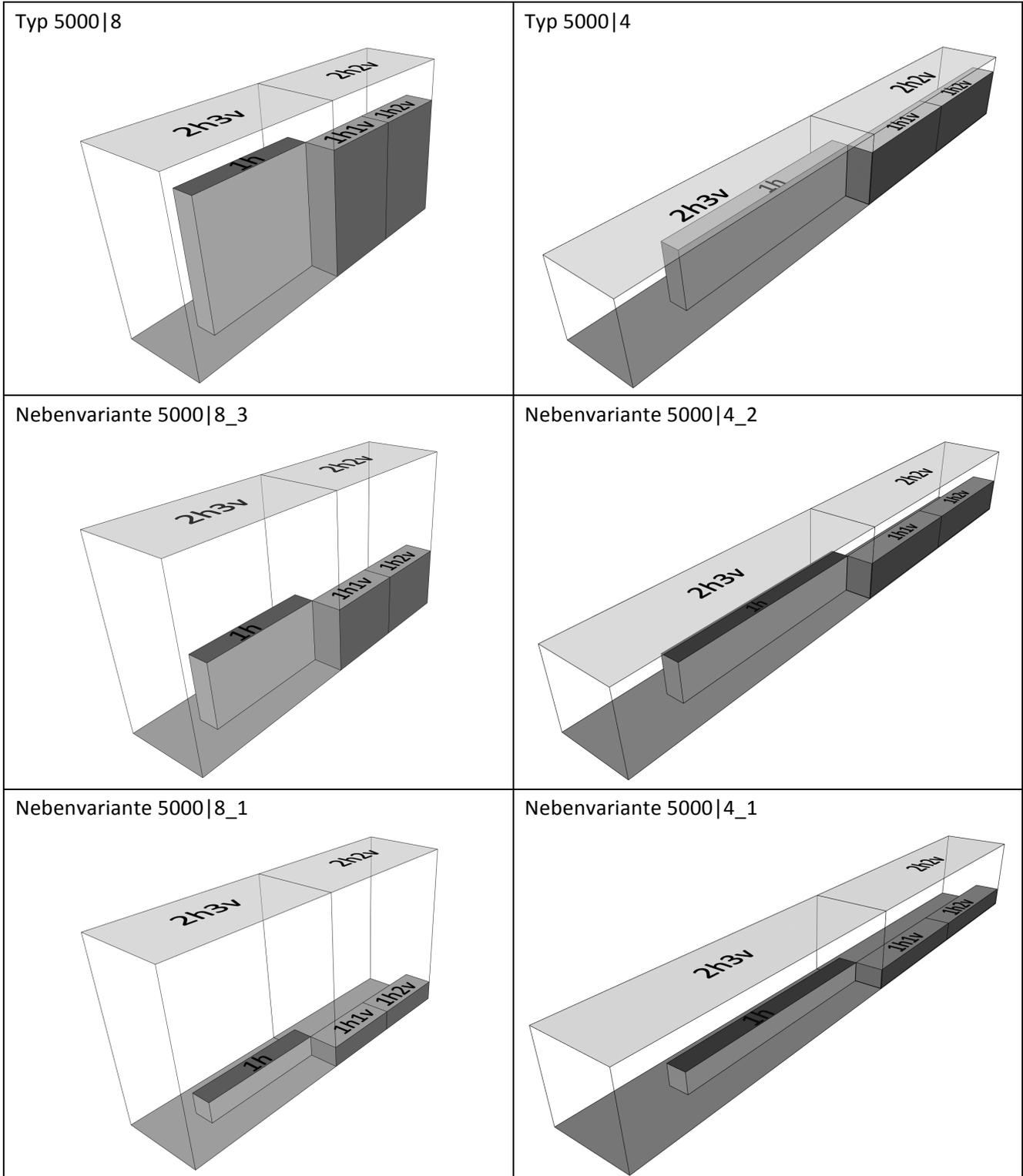
- [TEK-Methodik2013] Hörner, M., Knissel, J., et al.: Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden (TEK) – Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools Version TEK 6.2, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2013
- [DINV18599-2\_2007] DIN V 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen, Beuth-Verlag, Berlin Februar 2007
- [DINV18599-4\_2007] DIN V 18599-4: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutz- und Endenergiebedarf Beleuchtung, Beuth-Verlag, Berlin Februar 2007
- [Holzbau2013] Borsch-Laaks, R.: Wärmeschutz praktisch optimiert – Architektur und Wärmeschutz bestimmen den Aufwand; Holzbau Quadriga 2/2013 S. 14-19
- [BMVBS2009] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand, Berlin, Juli 2009
- [VFF2011] Verband Fenster + Fassade: Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern – Aktualisierung Juli 2011 der Studie „Im neuen Licht: Energetische Modernisierung von alten Fenstern“, Frankfurt am Main/Troisdorf, Juli 2011
- [BBSR2011] BBSR (Hrsg.), Thiel, D. und Riedel, D. (Bearbeiter): Typisierte Bauteilaufbauten - Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Bekanntmachung der Regeln der Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand; Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2011
- [Hörner 2003] Hörner, M. et al.: Methodik zu Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden – Modul 2.2 : Luftförderung; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2003
- [TEK-QSA2014] Hörner, M., Bagherian, B., Jedek, C.: Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden (TEK) – Querschnittsanalyse der Ergebnisse der Feldphase; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2014
- [EPBD2010] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; 2010
- [IWU1999] Institut Wohnen und Umwelt: Heizenergie im Hochbau - Leitfaden für energiebewußte Gebäudeplanung (LEG), Anhang E; HMUELV; Niedernhausen 1999
- [IWU2014] Institut Wohnen und Umwelt: Typologiegestützte Analyseinstrumente für die energetische Bewertung bestehender Nichtwohngebäude  
URL:<http://www.iwu.de/forschung/energie/laufend/nichtwohngebaeudeanalyse/>
- [DLR2008] Nitsch, Joachim: „Leitstudie 2008“, Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas; BMU: Stuttgart 2008
- [BMVBS2013] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB); Anlage 3; BMVBS; Berlin 2013
- [HEG2012] Hessisches Energiezukunftsgesetz; HMUELV; Wiesbaden 2012

## 9 Anhang

### 9.1 Bewertungshilfe Heizung

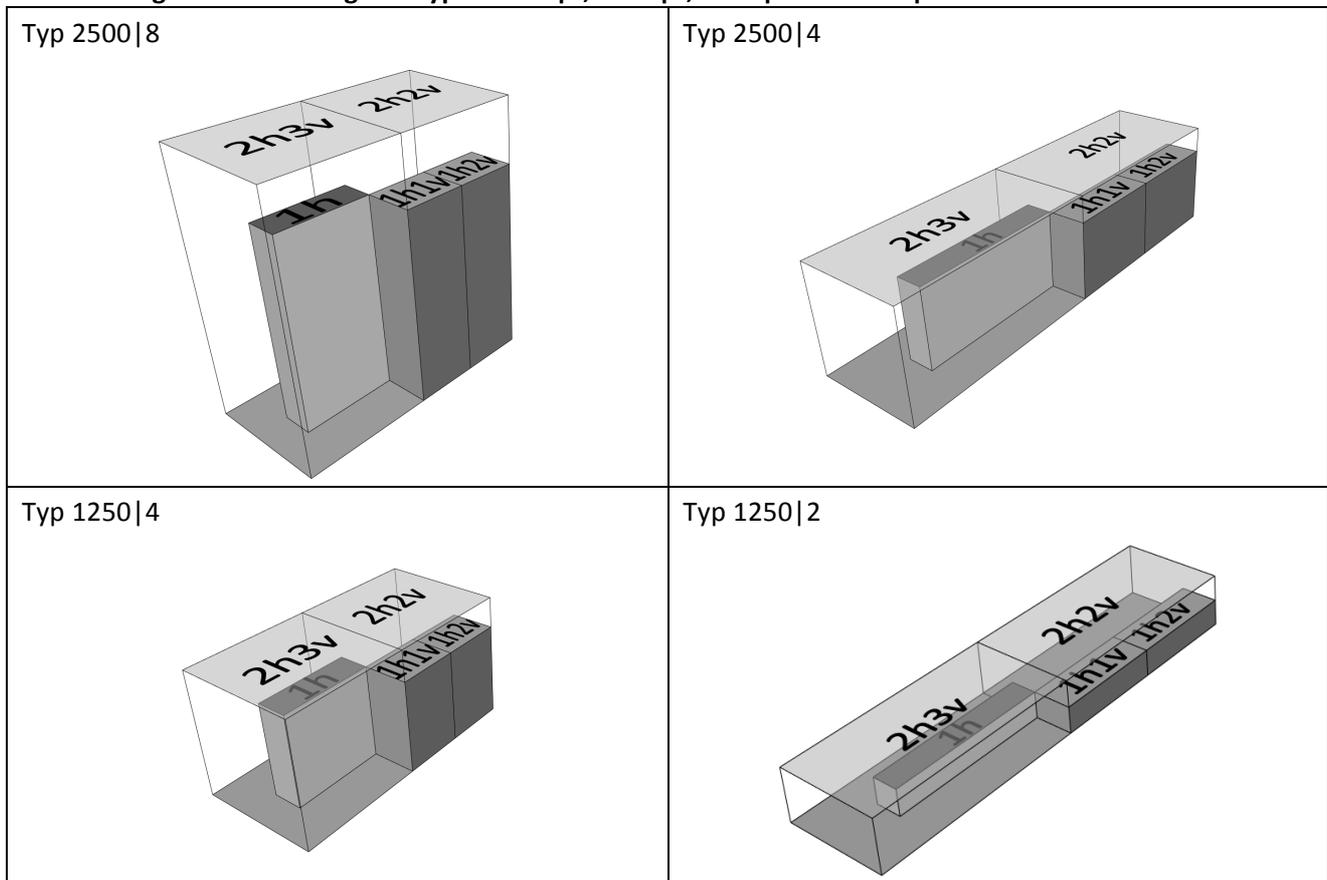
#### 9.1.1 Varianten des Geometriemodells mit 5000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>

Abbildung 42: Darstellung der Typen 5000|8 und 5000|4 des Geometriemodells und Nebenvarianten



### 9.1.2 Varianten des Geometriemodells mit 2500 und 1250 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>

Abbildung 43: Darstellung der Typen 2500|8, 2500|4, 1250|4 und 1250|2 des Geometriemodells



## 9.2 Tabellierte Referenz-TEK

### 9.2.1 Heizung

Besonderheit: Die Referenz-TEK Heizung gelten für eine beheizte Energiebezugsfläche von 5000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Bei Abweichung davon wird entsprechend der TEK-Methodik angepasst (s. auch Abschnitt 3.2.2.2).

**Tabelle 21: Endenergiebedarf für Heizung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Heizung in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	315,1	173,1	110,4	44,4	21,1
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	318,6	179,1	112,1	45,3	21,5
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	352,2	186,6	117,6	44,5	19,1
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	596,8	263,3	179,6	75,0	21,3
Schalterhalle	324,2	203,8	125,0	50,5	24,9
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	382,7	214,8	131,3	47,6	18,5
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	425,1	243,9	146,7	51,5	18,8
Klassenzimmer (Schulen)	367,2	197,4	123,4	49,7	21,8
Hörsaal, Auditorium	676,5	293,1	191,8	74,3	18,8
Bettzimmer	601,0	265,3	174,9	64,6	25,2
Hotelzimmer	459,2	218,3	121,5	42,6	14,6
Kantine (Essbereich)	535,5	244,4	139,2	52,3	16,6
Restaurant (Essbereich)	912,9	356,2	195,2	72,6	17,7
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	3426,9	1116,3	642,3	264,4	113,5
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	716,8	272,9	150,9	57,1	23,2
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	636,9	282,6	211,3	109,0	48,2
Sonstige Aufenthaltsräume	396,1	195,8	126,1	49,7	18,3
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	264,7	171,1	109,0	49,6	27,7
Verkehrsfläche	244,8	157,1	101,8	47,7	26,6
Lager	307,4	205,5	128,9	59,5	34,0
Serverraum/Rechenzentrum	194,2	69,2	40,1	21,4	9,7
Werkstatt (feine Arbeiten)	327,4	138,3	75,1	30,4	13,3
Werkstatt (grobe Arbeiten)	358,9	160,0	85,3	32,5	14,2
Zuschauerbereich	808,0	387,2	252,8	99,5	26,8
Theater - Foyer	508,5	231,8	156,7	63,5	20,0
Bühne	398,0	296,8	181,3	75,3	39,6
Messe/Kongress	441,0	279,3	162,2	68,1	32,9
Ausstellungsräume und Museum	451,1	258,1	166,2	72,7	39,3
Bibliothek - Lesesaal	443,0	201,2	129,4	47,0	15,6
Bibliothek - Freihandbereich	285,8	167,3	105,0	40,4	19,8
Bibliothek - Magazin und Depot	373,1	210,1	140,8	65,3	36,2
Sporthalle	500,4	383,8	193,8	83,8	44,4
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	241,1	77,8	49,4	25,0	11,2
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	803,9	242,3	157,3	69,8	29,0
Saunabereich	971,0	410,3	192,4	71,0	31,5
Fitnessraum	766,0	291,0	157,3	57,1	18,8
Labor	1591,2	631,0	378,5	177,7	110,8
Untersuchungs- und Behandlungsräume	533,4	271,4	181,4	73,8	29,8
Spezialpflegebereiche	3227,6	1436,7	1111,5	620,0	472,2
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	1147,8	514,4	393,6	221,3	154,5
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	463,8	229,3	134,7	51,8	26,4
Lagerhallen, Logistikhallen	211,0	128,0	76,4	33,7	17,6
Wohnen (EFH)	233,5	121,3	71,7	26,0	9,5
Wohnen (MFH)	223,8	112,4	63,6	22,1	8,3

## 9.2.2 Warmwasser

**Tabelle 22: Endenergiebedarf für Warmwasser – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Warmwasser in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	24,8	21,4	15,7	12,7	7,9
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	24,8	21,4	15,7	12,7	7,9
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	24,8	21,4	15,7	12,7	7,9
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Schalterhalle	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	16,1	13,9	9,2	7,3	3,9
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	16,1	13,9	9,2	7,3	3,9
Klassenzimmer (Schulen)	60,6	52,1	42,0	35,1	24,3
Hörsaal, Auditorium	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Bettzimmer	292,8	251,1	213,2	180,4	131,2
Hotelzimmer	257,5	220,8	187,1	158,3	114,9
Kantine (Essbereich)	242,5	208,0	176,1	149,0	108,0
Restaurant (Essbereich)	289,0	247,8	210,3	178,0	129,4
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Sonstige Aufenthaltsräume	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Verkehrsfläche	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Lager	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Serverraum/Rechenzentrum	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Werkstatt (feine Arbeiten)	53,9	46,3	37,0	30,9	21,2
Werkstatt (grobe Arbeiten)	53,9	46,3	37,0	30,9	21,2
Zuschauerbereich	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Theater - Foyer	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Bühne	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Messe/Kongress	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Ausstellungsräume und Museum	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Bibliothek - Lesesaal	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Bibliothek - Freihandbereich	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Bibliothek - Magazin und Depot	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Sporthalle	62,6	53,7	43,5	36,3	25,2
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Saunabereich	176,3	151,2	127,3	107,5	77,5
Fitnessraum	222,2	190,6	161,1	136,2	98,7
Labor	24,8	21,4	15,7	12,7	7,9
Untersuchungs- und Behandlungsräume	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Spezialpflegebereiche	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	24,8	21,4	15,7	12,7	7,9
Lagerhallen, Logistikhallen	10,3	8,9	5,0	3,6	1,2
Wohnen (EFH)	33,5	28,8	22,1	18,2	11,9
Wohnen (MFH)	41,3	35,5	27,8	23,0	15,4

### 9.2.3 Beleuchtung

**Tabelle 23: Endenergiebedarf für Beleuchtung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Beleuchtung in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGfA</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	84,0	58,4	28,3	19,1	9,8
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	76,6	46,6	25,5	17,2	8,8
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	113,8	58,3	31,9	25,6	14,4
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	97,6	59,4	32,4	18,2	9,4
Schalterhalle	40,3	23,0	13,2	11,0	5,7
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	84,7	43,4	25,7	21,4	13,6
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	92,9	47,6	28,2	23,5	16,1
Klassenzimmer (Schulen)	27,1	14,6	7,6	5,2	2,5
Hörsaal, Auditorium	39,9	20,5	12,1	8,8	6,0
Bettzimmer	152,6	87,2	48,5	40,6	27,4
Hotelzimmer	28,7	17,5	9,5	6,9	4,8
Kantine (Essbereich)	28,5	14,6	7,3	6,1	3,2
Restaurant (Essbereich)	84,1	43,1	24,4	20,3	14,0
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	282,5	161,4	91,2	76,2	47,6
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	138,8	79,3	44,3	25,5	16,4
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	45,3	33,0	15,6	3,3	1,9
Sonstige Aufenthaltsräume	60,6	36,9	19,6	10,9	5,7
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	4,2	2,4	1,4	1,1	0,7
Verkehrsfläche	23,7	17,2	7,9	2,6	1,5
Lager	1,8	1,0	0,6	0,5	0,3
Serverraum/Rechenzentrum	184,0	105,1	59,6	34,9	22,6
Werkstatt (feine Arbeiten)	58,3	29,2	17,7	14,1	9,6
Werkstatt (grobe Arbeiten)	82,4	44,3	26,1	20,8	13,7
Zuschauerbereich	20,5	10,1	6,1	5,1	4,1
Theater - Foyer	23,9	11,8	7,1	4,2	3,3
Bühne	134,4	68,9	40,8	34,1	24,2
Messe/Kongress	19,9	9,7	6,3	3,7	2,1
Ausstellungsräume und Museum	30,1	16,2	9,5	8,0	4,6
Bibliothek - Lesesaal	168,8	96,5	50,7	42,3	23,9
Bibliothek - Freihandbereich	72,7	41,5	23,3	18,6	10,4
Bibliothek - Magazin und Depot	5,9	3,4	1,9	1,5	0,9
Sporthalle	103,2	55,5	32,8	23,0	14,1
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	2,0	1,1	0,6	0,5	0,3
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	23,0	11,3	6,8	2,3	1,7
Saunabereich	106,3	70,4	35,5	29,8	17,4
Fitnessraum	140,4	75,5	44,5	37,3	22,4
Labor	137,2	83,5	44,6	30,7	18,1
Untersuchungs- und Behandlungsräume	148,3	92,1	47,7	38,2	19,6
Spezialpflegebereiche	253,6	157,4	82,7	67,5	41,7
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	92,5	61,3	30,7	10,3	6,6
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	140,1	86,9	43,5	34,9	17,6
Lagerhallen, Logistikhallen	35,9	18,6	11,0	5,6	3,9
Wohnen (EFH)	132,8	80,8	44,2	23,3	14,8
Wohnen (MFH)	144,6	88,1	48,3	28,2	18,0

## 9.2.4 Luftförderung

**Tabelle 24: Endenergiebedarf für Luftförderung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Luftförderung in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGfA</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	41,9	24,9	16,3	9,0	5,0
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	41,9	24,9	16,3	9,0	5,0
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	62,8	37,4	24,4	13,5	8,1
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	157,1	93,4	60,9	33,9	8,6
Schalterhalle	20,9	12,5	8,1	4,5	2,5
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	54,1	32,2	21,0	11,7	6,4
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	54,1	32,2	21,0	11,7	6,4
Klassenzimmer (Schulen)	58,0	34,5	22,5	12,5	6,4
Hörsaal, Auditorium	174,0	103,5	67,5	37,5	9,1
Bettzimmer	143,8	85,5	54,6	31,0	19,0
Hotelzimmer	84,4	50,2	20,9	11,6	7,7
Kantine (Essbereich)	130,5	77,6	34,3	19,1	8,9
Restaurant (Essbereich)	278,4	165,6	68,9	38,3	15,5
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	1305,0	776,3	335,0	186,1	126,5
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	217,5	129,4	55,8	31,0	21,1
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	157,1	93,4	60,9	33,9	12,3
Sonstige Aufenthaltsräume	73,3	43,6	28,4	15,8	6,6
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	1,6	0,9	0,6	0,3	0,2
Verkehrsfläche	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lager	1,6	0,9	0,6	0,3	0,2
Serverraum/Rechenzentrum	37,4	22,2	14,2	8,1	5,5
Werkstatt (feine Arbeiten)	80,6	47,9	19,9	11,1	7,5
Werkstatt (grobe Arbeiten)	80,6	47,9	19,9	11,1	7,5
Zuschauerbereich	193,3	115,0	75,0	41,7	11,0
Theater - Foyer	120,8	71,9	46,9	26,0	10,6
Bühne	2,9	1,7	0,6	0,4	0,2
Messe/Kongress	37,2	22,1	9,7	5,4	3,5
Ausstellungsräume und Museum	57,5	34,2	21,9	12,4	8,4
Bibliothek - Lesesaal	108,3	64,4	42,0	23,3	10,4
Bibliothek - Freihandbereich	27,1	16,1	10,5	5,8	4,0
Bibliothek - Magazin und Depot	40,6	24,2	15,8	8,8	5,0
Sporthalle	85,0	47,8	10,5	5,8	4,9
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	83,8	49,8	16,2	9,0	6,1
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	319,9	190,3	81,5	45,3	30,8
Saunabereich	247,0	146,9	60,9	33,8	23,0
Fitnessraum	239,9	142,7	61,2	34,0	19,9
Labor	483,3	287,5	119,5	66,4	45,2
Untersuchungs- und Behandlungsräume	104,7	62,3	40,6	22,6	9,5
Spezialpflegebereiche	862,7	513,1	327,8	185,9	126,4
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	287,6	171,0	109,3	62,0	42,1
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	96,7	57,5	21,1	11,7	8,0
Lagerhallen, Logistikhallen	28,2	16,8	7,0	3,9	2,6
Wohnen (EFH)	28,8	17,1	10,9	6,2	3,4
Wohnen (MFH)	28,8	17,1	10,9	6,2	3,4

## 9.2.5 Befeuchtung

**Tabelle 25: Endenergiebedarf für Befeuchtung – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Befeuchtung in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGfA</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	30,8	23,0	19,2	15,3	4,3
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	30,8	23,0	19,2	15,3	4,3
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	46,2	34,5	28,7	23,0	7,1
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	115,4	86,2	71,8	57,5	7,5
Schalterhalle	15,4	11,5	9,6	7,7	2,2
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	39,8	29,7	24,8	19,8	5,6
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	39,8	29,7	24,8	19,8	5,6
Klassenzimmer (Schulen)	42,6	31,8	26,5	21,2	5,6
Hörsaal, Auditorium	127,9	95,5	79,6	63,7	8,0
Bettzimmer	105,6	78,9	64,4	52,6	16,5
Hotelzimmer	62,1	46,4	29,0	23,2	6,8
Kantine (Essbereich)	95,9	71,6	46,4	37,1	6,6
Restaurant (Essbereich)	204,6	152,8	95,5	76,4	13,5
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	958,9	716,3	457,6	366,0	128,0
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	159,8	119,4	76,3	61,0	21,3
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	115,4	86,2	71,8	57,5	10,7
Sonstige Aufenthaltsräume	53,9	40,2	33,5	26,8	5,8
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	1,2	0,9	0,7	0,6	0,2
Verkehrsfläche	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lager	1,2	0,9	0,7	0,6	0,2
Serverraum/Rechenzentrum	27,5	20,5	16,7	13,7	4,8
Werkstatt (feine Arbeiten)	59,2	44,2	27,6	22,1	7,7
Werkstatt (grobe Arbeiten)	59,2	44,2	27,6	22,1	7,7
Zuschauerbereich	142,1	106,1	88,4	70,7	9,6
Theater - Foyer	88,8	66,3	55,3	44,2	9,3
Bühne	2,1	1,6	1,0	0,8	0,3
Messe/Kongress	27,3	20,4	13,2	10,5	2,6
Ausstellungsräume und Museum	42,3	31,6	25,8	21,0	7,4
Bibliothek - Lesesaal	79,6	59,4	49,5	39,6	9,1
Bibliothek - Freihandbereich	19,9	14,9	12,4	9,9	3,5
Bibliothek - Magazin und Depot	29,8	22,3	18,6	14,9	4,3
Sporthalle	36,2	27,2	14,4	11,5	4,3
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	61,6	46,0	25,1	20,0	7,0
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	235,1	175,6	111,6	89,2	31,2
Saunabereich	181,5	135,6			23,6
Fitnessraum	176,3	131,7	83,7	66,9	17,3
Labor	355,2	265,3	165,8	132,6	46,4
Untersuchungs- und Behandlungsräume	76,9	57,5	47,9	38,3	8,3
Spezialpflegebereiche	633,9	473,5	386,3	315,6	110,3
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	211,3	157,8	128,8	105,2	36,8
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	71,0	53,1	33,2	26,5	9,3
Lagerhallen, Logistikhallen	20,7	15,5	9,7	7,7	2,7
Wohnen (EFH)	21,1	15,8	12,9	10,5	3,0
Wohnen (MFH)	21,1	15,8	12,9	10,5	3,0

## 9.2.6 Klimakälte

Abweichung zur TEK-Methodik: In der VSA werden die Kennwerte aus TEK für Klimakälte und Hilfsenergie Kühlung zusammengefasst. Dabei werden die Referenz-TEK gleicher Klassen aufaddiert.

**Tabelle 26: Endenergiebedarf für Klimakälte – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Klimakälte in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	74,7	38,7	22,1	13,5	8,2
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	71,0	35,5	21,1	12,9	7,8
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	95,5	44,2	27,0	17,5	10,6
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	108,5	52,6	33,8	19,8	11,4
Schalterhalle	42,2	21,9	12,6	8,0	4,8
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	81,2	38,0	24,1	16,1	10,5
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	87,8	41,0	26,3	18,0	12,1
Klassenzimmer (Schulen)	56,6	29,6	18,6	11,4	7,0
Hörsaal, Auditorium	102,4	49,8	37,5	25,5	17,1
Bettzimmer	173,4	72,9	48,5	34,1	25,1
Hotelzimmer	54,0	26,0	16,3	11,4	8,4
Kantine (Essbereich)	86,9	44,1	28,5	18,6	11,9
Restaurant (Essbereich)	155,1	71,7	48,2	32,7	22,5
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	1175,2	534,4	423,9	300,6	215,2
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	159,8	71,5	47,5	31,6	22,4
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	57,0	26,5	18,4	11,2	5,9
Sonstige Aufenthaltsräume	59,6	29,1	17,9	10,8	6,7
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	5,3	2,8	1,0	0,6	0,4
Verkehrsfläche	8,2	4,3	1,5	0,8	0,5
Lager	12,3	7,2	3,3	1,9	1,1
Serverraum/Rechenzentrum	2183,0	907,6	749,8	541,1	430,6
Werkstatt (feine Arbeiten)	68,3	33,3	21,9	16,6	11,5
Werkstatt (grobe Arbeiten)	110,4	52,2	37,1	29,0	20,2
Zuschauerbereich	100,8	50,0	35,7	22,2	12,7
Theater - Foyer	51,6	23,8	17,0	10,5	5,9
Bühne	75,9	35,7	19,1	11,7	7,0
Messe/Kongress	57,5	31,5	19,7	12,1	7,2
Ausstellungsräume und Museum	38,1	19,3	11,2	6,5	4,0
Bibliothek - Lesesaal	169,2	77,2	49,6	34,0	22,3
Bibliothek - Freihandbereich	47,6	22,5	12,6	8,2	5,0
Bibliothek - Magazin und Depot	16,0	7,6	4,9	3,0	1,8
Sporthalle	124,7	61,7	37,2	22,1	14,4
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	36,2	17,0	13,7	6,0	4,4
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	95,5	43,5	30,4	17,4	12,2
Saunabereich	200,5	101,8	49,9	43,0	36,7
Fitnessraum	249,9	110,6	77,6	54,8	39,6
Labor	137,0	63,7	39,8	24,7	16,2
Untersuchungs- und Behandlungsräume	126,9	60,9	36,8	23,8	14,2
Spezialpflegebereiche	489,1	214,2	156,5	104,0	75,8
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	76,7	34,9	23,2	14,2	9,9
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	108,5	52,6	29,6	19,3	11,3
Lagerhallen, Logistikhallen	40,6	21,7	11,5	6,4	4,6
Wohnen (EFH)	109,1	46,8	28,7	18,6	14,5
Wohnen (MFH)	151,7	64,2	42,0	28,9	22,9

## 9.2.7 Arbeitshilfen

**Tabelle 27: Endenergiebedarf für Arbeitshilfen – Referenz-TEK in Energieaufwandsklassen**

Nutzungen	Endenergiebedarf Arbeitshilfen in kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGFa</sub>				
	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einzelbüro	46,5	22,5	10,5	4,5	1,5
Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	46,5	22,5	10,5	4,5	1,5
Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätzen)	55,5	28,5	15,0	6,0	1,5
Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	5,0	3,0	2,0	1,0	0,5
Schalterhalle	30,8	14,3	6,0	2,3	0,4
Einzelhandel/Kaufhaus (ohne Kühlprodukte)	18,0	10,8	7,2	3,6	1,8
Einzelhandel/Kaufhaus (mit Kühlprodukten)	40,8	30,6	25,5	20,4	17,9
Klassenzimmer (Schulen)	10,0	6,0	4,0	2,0	1,0
Hörsaal, Auditorium	9,0	5,4	3,6	1,8	0,9
Bettzimmer	21,9	13,1	8,8	4,4	2,2
Hotelzimmer	40,2	24,1	16,1	8,0	4,0
Kantine (Essbereich)	6,3	3,8	2,5	1,3	0,6
Restaurant (Essbereich)	10,5	6,3	4,2	2,1	1,1
Gewerbeküchen (kochen mit Strom)	1080,0	720,0	540,0	360,0	270,0
Gewerbeküche - Vorbereitung, Lager	108,0	72,0	54,0	36,0	27,0
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonstige Aufenthaltsräume	5,0	3,0	2,0	1,0	0,5
Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Verkehrsfläche	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lager	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Serverraum/Rechenzentrum	5256,0	2190,0	657,0	219,0	131,4
Werkstatt (feine Arbeiten)	130,0	90,0	70,0	50,0	40,0
Werkstatt (grobe Arbeiten)	130,0	90,0	70,0	50,0	40,0
Zuschauerbereich	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Theater - Foyer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bühne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Messe/Kongress	4,5	2,7	1,8	0,9	0,5
Ausstellungsräume und Museum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bibliothek - Lesesaal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bibliothek - Freihandbereich	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bibliothek - Magazin und Depot	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sporthalle	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Parkhäuser für Büro- und Privatnutzung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saunabereich	292,0	219,0	182,5	146,0	127,8
Fitnessraum	21,9	13,1	8,8	4,4	2,2
Labor	229,5	94,5	27,0	9,0	0,0
Untersuchungs- und Behandlungsräume	20,0	12,5	8,8	5,0	3,1
Spezialpflegebereiche	175,2	113,9	83,2	52,6	37,2
Flure des allgemeinen Pflegebereichs	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Arztpraxen und Therapeutische Praxen	13,8	8,8	6,3	3,8	2,5
Lagerhallen, Logistikhallen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wohnen (EFH)	61,3	36,8	24,5	16,4	12,3
Wohnen (MFH)	92,0	55,2	36,8	24,5	18,4

### 9.3 Randbedingungen zur Bildung der Referenz-Teilenergiekennwerte

Hier sollen lediglich die Randbedingungen, die sich je Energieaufwandsklasse unterscheiden, tabellarisch dargestellt werden. Weitere Randbedingungen wie Klima, Nutzung und Geometrie sind zur Berechnung der Referenzkennwerte aller Energieaufwandsklassen gleich angesetzt worden. Detaillierte Informationen dazu sind in [TEK-Methodik2013] enthalten.

**Tabelle 28: Je Energieaufwandsklasse veränderliche Randbedingungen zur Berechnung der Referenz-teilenergiekennwerte aus [TEK-Methodik2013]**

		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
<b>Baukörper - U-Wert</b>						
Außenwand	W/(m <sup>2</sup> K)	0,12	0,28	0,60	1,00	1,40
Dach	W/(m <sup>2</sup> K)	0,10	0,20	0,50	1,00	2,10
Kellerdecke	W/(m <sup>2</sup> K)	0,15	0,35	0,80	1,00	1,50
Fenster O,S,W	W/(m <sup>2</sup> K)	0,86	1,44	2,49	3,72	3,72
Fenster N	W/(m <sup>2</sup> K)	0,86	1,44	2,49	3,72	3,72
<b>Baukörper - g_tot-Wert</b>						
Fenster O,S,W	-	0,07	0,09	0,29	0,78	0,78
Fenster N	-	0,30	0,47	0,78	0,78	0,78
<b>Baukörper - sonstige Angaben</b>						
Sonnenschutz – Steuerung		strahlungsab.	man. od. Zeit	man. od. Zeit	man. od. Zeit	man. od. Zeit
Bauschwere	-	mittelschwer	mittelschwer	mittelschwer	leicht	leicht
Luftdichtheit	-	Neubau, n50-Test und RLT	Neubau, n50-Test ohne RLT	Bestand, ohne n50-Test	Bestand, ohne n50-Test	Bestand, undicht
Wärmebrückenzuschlag	W/(m <sup>2</sup> K)	0,05	0,05	0,1	0,1	0,15
Sturzhöhe in % der lichten Raumhöhe		100%	90%	80%	70%	70%

**Fortsetzung Tabelle 28**

		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
<b>Heizungsanlage</b>						
Erzeugerart		BWK verb.	BWK ab 95	NTK ab 95	NTK vor 95	KTK ab 95
Baualter Verteilung (Dämmstandard)		ab 1995	ab 1995	1980 - 1994	bis 1979	bis 1979
Lage horizontale Verteilung		beheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt
Heizungsbetrieb Nachts		Abschaltung	reduziert	reduziert	reduziert	durchgehend
Heizungsbetrieb Wochenende		Abschaltung	reduziert	reduziert	reduziert	durchgehend
<b>Beleuchtungsanlage</b>						
Lampenart		Lsl stab - EVG	Lsl stab - EVG	Lsl kmp -ex EVG	Lsl kmp -ex KVG	Halogenl.
Beleuchtungsart		direkt	direkt / indirekt	direkt / indirekt	indirekt	direkt
Steuerung		dim - aus	manuell	manuell	manuell	manuell
Präsenzmelder		ja	ja	nein	nein	nein
Blendschutz - Steuerung		lichtlenkend	manuell	manuell	manuell	manuell
		<b>sehr gering</b>	<b>gering</b>	<b>mittel</b>	<b>hoch</b>	<b>sehr hoch</b>
<b>RLT-Anlage</b>	<b>Büro-ähnlich</b>					
Vol.-Regelung		bedarfsabh.	konstant	konstant	konstant	konstant
Dimensionierungsfaktor	% von hyg. Mind.-Vol.	100%	100%	125%	150%	200%
spez. Ventilatorleistung	kW/(m <sup>3</sup> s)	ZL 1,0 <sup>75</sup> AL 0,7	ZL 1,5 <sup>76</sup> AL 1,0	ZL 2,1 <sup>77</sup> AL 1,5	ZL 2,7 AL 1,9	ZL 3,4 AL 2,4
WRG - Typ		Wär. + Feuch.	Wärme	Wärme	Wärme	keine
Rückgewinnungsgrad		75%	60%	45%	45%	-
Feuchteanforderung		mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz

<sup>75</sup> Entspricht einem energieeffizienten Neubau-Standard in Anlehnung an [Hörner 2003].

<sup>76</sup> Entspricht einem Neubau-Standard nach EnEV 2009.

<sup>77</sup> Entspricht einem durchschnittlichen Bestandsgebäude in Anlehnung an [Hörner 2003].

**Fortsetzung Tabelle 28**

RLT-Anlage		Sonstige (mit Konditionierung)				
Vol.-Regelung		bedarfsabh. <sup>78</sup>	Konstant oder Variabel (Zeit, Nutzung)	Konstant oder Variabel (Zeit, Nutzung) <sup>79</sup>	konstant	konstant
Dimensionierungsfaktor	% von hyg. Mind.-Vol.	100%	100%	125%	150%	200%
spez. Ventilatorleistung	kW/(m <sup>3</sup> s)	ZL 1,0 AL 0,7	ZL 1,5 AL 1,0	ZL 2,1 AL 1,5	ZL 2,7 AL 1,9	ZL 3,4 AL 2,4
WRG - Typ		Wär. + Feuch.	Wärme	Wärme	Wärme	keine
Rückgewinnungsgrad		75%	60%	45%	45%	-
Feuchteanforderung		mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz <sup>80</sup>	mit Toleranz	mit Toleranz
RLT-Anlage		Sonstige (ohne Konditionierung: Parkhaus privat und öffentlich)				
Vol.-Regelung		bedarfsabh.	Variabel (Zeit, Nutzung)	Variabel (Zeit, Nutzung)	konstant	konstant
Dimensionierungsfaktor	% von hyg. Mind.-Vol.	100%	100%	125%	150%	200%
spez. Ventilatorleistung	kW/(m <sup>3</sup> s)	ZL 0,43 AL 0,39	ZL 0,77 AL 0,68	ZL 1,33 AL 1,15	ZL 1,66 AL 1,43	ZL 2,01 AL 1,78
WRG - Typ		keine	keine	keine	keine	keine
Rückgewinnungsgrad		-	-	-	-	-
Feuchteanforderung		-	-	-	-	-
Hilfsenergie Kälte						
Effizienz der Kälteverteilung		gering	gering	mittel	mittel	hoch
Kälteerzeugung						
Wärmeabfuhr Kältemaschine (Kondensator)	Wassergekühlt (Primärkreis) durch Rückkühlwerk (bei unbekannt)					
Verdichterart / Teillastregelung	Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - mehrstufig		Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unbekannt)		Wassergekühlt - Kolbenverdichter - Zylinderabschaltung	
Kaltwassertemperatur Kältemaschine	variabel (moderne Anlagen; Verdichter u. Expansionsventil geregelt)		konstant (bei unbekannt)			
Kaltwasser-Austritt Kältemaschine	14°C		6 °C (bei unbekannt)			
Rückkühlwerk (bei wassergekühlt)	Verdunstungsrückkühler - geschlossener Kreislauf		Trockenrückkühler (bei unbekannt)			
Jahresprofil der Kältelast	saisonale Kälte- und Bandlast (z.B. Einzelhandel mit Kühlprodukten)					

<sup>78</sup> Bei Nutzungszonen mit überwiegend oder ausschließlich Gebäude-bezogenen, also ohne Personen-bezogenem Mindestaußenluftvolumenstrom, wie z.B. Küche und Küche (Lager, Vorbereitung), Gewerbehallen, Theaterbühne, Parkhaus, Saunabereich, Labor, Lagerhalle wird in der Energieaufwandsklasse „Sehr gering“ statt bedarfsabhängiger Regelung die Einstellung wie bei „gering“ gewählt.

<sup>79</sup> Nutzungszonen Hotel, Kantine, Restaurant, Küche, Gewerbehallen, Theaterbühne, Messe, Sporthalle, Parkhaus, Labor, Saunabereich, Fitnessraum, Lagerhalle mit Einstellung der Volumenstromregelung auf „Variabel (Zeit, Nutzung)“ als zweistufige Anlage abgebildet, die zu 50% der täglichen Anlagenbetriebszeit auf 50% des Nennvolumenstroms reduziert wird.

<sup>80</sup> Ausnahme Saunabereich: Ohne Feuchteanforderung und ohne Kühlung.

## 9.4 Kostenbetrachtungen

### 9.4.1 Aufbau des Rechenwerkzeuges TEK-WiBe-Tool

Das TEK-WiBe-Tool führt den Anwender in wenigen Schritten zu einer Kostenbetrachtung der zu untersuchenden Modernisierungsempfehlungen. Dabei setzt sich das Vorgehen aus folgenden Schritten zusammen:

- Import der zu betrachtenden Einzelmaßnahmen aus dem TEK-Tool

Über eine makrobasierete Schaltfläche wird das entsprechende Excel-File der TEK-Berechnung des Ist-Zustandes ausgewählt und die dort hinterlegten Energiebedarfskennwerte (Ist-Zustand) und Einzelmaßnahmen in das TEK-WiBe-Tool importiert.
- Bildung von Modernisierungsempfehlungen (ME) durch Bündelung von Einzelmaßnahmen

Durch eine Dropdown-Auswahl im TEK-WiBe-Tool können die vorgesehenen Einzelmaßnahmen der energetischen Modernisierung zu Modernisierungsempfehlungen (ME) zusammengefasst werden. Dabei ermöglicht das TEK-WiBe-Tool in seiner derzeitigen Version die Bildung und den Vergleich von bis zu fünf verschiedenen ME.
- Definition der Berechnungsrandbedingungen

Wie in Abschnitt 4.4.1 bereits aufgeführt, ist die Definition mehrerer Parameter notwendig, um die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchführen zu können. Dazu zählen:

  - Kalkulationszinssatz (nominal)
  - Betrachtungszeitraum (maximale Nutzungsdauer)
  - Preissteigerungsrate Endenergie Wärme (nominal)
  - Preissteigerungsrate Endenergie Strom (nominal)
  - Preissteigerungsrate Wartung und Inspektion (nominal)
  - Preissteigerungsrate Instandsetzung (nominal)
  - Durchschnittspreis Endenergie Wärme
  - Durchschnittspreis Endenergie Strom
- Auswahl der Einzelmaßnahmen aus der Kostendatenbank zum TEK-WiBe-Tool

Die Excel-basierte Kostendatenbank zum TEK-WiBe-Tool ermöglicht eine zentrale Sammlung von spezifischen Modernisierungsmaßnahmen, welche im TEK-WiBe-Tool über eine Dropdown-Auswahl den Einzelmaßnahmen zugeordnet werden können. Ein Datensatz zu solch einer spezifischen Modernisierungsmaßnahme enthält unter anderem Angaben zu:

  - Kostengruppe nach DIN 276 (3.Ebene)
  - Bezeichnung und Beschreibung der Maßnahme
  - Bezugsgröße (z.B. m<sup>2</sup> Nettogrundfläche)
  - Kostenkennwert der Gesamtkosten in €/Bezug
  - Rechnerische Nutzungsdauer der Maßnahme in Jahren
  - Aufwand für Wartung und Inspektion in Prozent/Jahr
  - Aufwand für Instandsetzung in Prozent/Jahr
- Kosten der Einzelmaßnahmen

Die Kosten einer Einzelmaßnahme ergeben sich aus dem Umfang der Maßnahme (entsprechend der jeweiligen Bezugsgröße, z.B. m<sup>2</sup> Bauteilfläche) und dem Kostenkennwert der Maßnahme aus der Datenbank. Beispiel: 700 m<sup>2</sup> Dachfläche x 249 €/m<sup>2</sup> = 174.300 € Investitionskosten der Einzelmaßnahme

• Graphisch aufbereiteter Vergleich der Modernisierungsempfehlungen

Der Nutzer des TEK-WiBe-Tools erhält nach Eingabe aller benötigten Daten mehrere graphische Vergleichsdarstellungen. Darin werden alle untersuchten ME untereinander und mit dem Ist-Zustand verglichen. Die Darstellungen vergleichen dabei unter anderem:

- Mittlere jährliche Gesamtkosten
- Gesamt-Investitionskosten
- Jährliche Endenergiebedarfe für Wärme und Strom
- Jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen

**9.4.2 Kostenbetrachtungen mit dem TEK-WiBe-Tool am Beispiel eines Nichtwohngebäudes**

Neben der Betrachtung der Investitionskosten einer Modernisierungsempfehlung ermöglicht das TEK-WiBe-Tool auch die Betrachtung der mittleren jährlichen Gesamtkosten bestehend aus Kapital-, Energie- und Instandhaltungskosten. Die Kostenbetrachtung mit dem TEK-WiBe-Tool soll nun exemplarisch an einem der 10 untersuchten Nichtwohngebäude dargestellt werden. Dafür wird das Gebäude 6 als energetisch vollständig zu modernisierendes Gebäude herangezogen. Die gebäudeindividuellen Einzelmaßnahmen der drei untersuchten Modernisierungsempfehlungen sind nachfolgend in Tabelle 29 aufgeführt<sup>81</sup>. Da sich für alle Bauteile Modernisierungsbedarf ergibt, wird das Vorgehen bei der Zuweisung der Maßnahmen zum Vergleich auch für ein Gebäude jungen Baujahrs (Gebäude 7) in Tabelle 30 dargestellt, für das sich die Anzahl der Maßnahmen je Modernisierungsempfehlung deutlich unterscheidet.

**Tabelle 29: Einzelmaßnahmen mit energetischen Bauteilkennwerten zu den drei ME (Gebäude 6)**

Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
			ME1	ME2	ME3
1	334 Außentüren und -fenster	Fenster-Erneuerung, Fassade Nord + Süd	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
2	334 Außentüren und -fenster	Erneuerung Eingangsanlage	ja	ja	ja
3	338 Sonnenschutz	Austausch Sonnenschutz, Süd	ja	ja	ja
4	335 Außenwandbekleidungen, außen	Sanierung Außenwände, komplett	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,10 W/(m <sup>2</sup> K)
5	363 Dachbeläge	Sanierung Flachdach, komplett	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)	0,08 W/(m <sup>2</sup> K)
6	353 Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)
7	492 Gerüste	Fassadengerüst LK3	ja	ja	ja
8	445 Beleuchtungsanlagen	Erneuerung der Beleuchtungsanlage komplett	ja	ja	ja
9	431 Lüftungsanlagen	Erneuerung der Zu- und Abluftanlage	ja	ja	ja
10	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch Gas-Brennwertkessel, verbessert	ja	ja	ja
11	335 Außenwandbekleidungen, außen	Außenwand gegen die unbeheizten Räume	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)

**Tabelle 30: Einzelmaßnahmen mit energetischen Bauteilkennwerten zu den drei ME (Gebäude 7)**

Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
			ME1	ME2	ME3
1	334 Außentüren und -fenster	Austausch Fenster	-	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
2	338 Sonnenschutz	Installation eines Sonnenschutzes	-	ja	ja
3	334 Außentüren und -fenster	Austausch Pfosten-Riegel-Fassade	-	-	0,12 W/(m <sup>2</sup> K)
4	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Außenwände	-	-	0,17 W/(m <sup>2</sup> K)
5	363 Dachbeläge	Dämmung des Flach und Pultdaches	-	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)	0,08 W/(m <sup>2</sup> K)
6	352 Deckenbeläge	Dämmung der Sohle gegen Erdreich	-	-	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)
7	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Kelleraußenwände	-	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,13 W/(m <sup>2</sup> K)
8	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch des alten Heizkessel	ja	ja	ja
9	445 Beleuchtungsanlagen	Modernisierung der Gebäudebeleuchtung	teilweise	teilweise	ja
10	431 Lüftungsanlagen	Modernisierung der Gebäudebelüftung	-	-	ja
11	492 Gerüste	Gerüstaufstellung	-	ja	ja

<sup>81</sup> Die tabellarischen Beschreibungen der Modernisierungsmaßnahmen aller 10 Nichtwohngebäude sind in Tabelle 34 zu finden.

In Tabelle 29 und Tabelle 30 werden die Einzelmaßnahmen aufgelistet und den ME zugeordnet. Ein „ – “ steht hier für eine – den Abgrenzungskriterien entsprechend – nicht durchzuführende Einzelmaßnahme innerhalb einer Modernisierungsempfehlung. Für die Bauteile der thermischen Hüllfläche werden die energetischen Bauteilkennwerte (Wärmedurchgangskoeffizienten) nach erfolgter Modernisierung angegeben. Die restlichen Maßnahmen werden durch „ja“ oder „teilweise“ den ME zugeordnet, wobei letzteres sinn gemäß eine teilweise Ausführung der Einzelmaßnahme bedeutet, z.B. eine Modernisierung der Beleuchtung in Teilflächen des Gebäudes.

Zur Unterscheidung der Modernisierungsempfehlungen hinsichtlich des Umfangs der Maßnahmen sei hier nochmals erwähnt, dass nach ME3 in allen Gebäuden eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorgesehen ist. Zusätzlich zu ME2 wird in einigen Gebäuden noch der untere Gebäudeabschluss energetisch modernisiert, sodass der Umfang der Maßnahmen zwischen ME2 und ME3 nicht identisch ist, obwohl in beiden Fällen von einer Vollmodernisierung gesprochen wird.

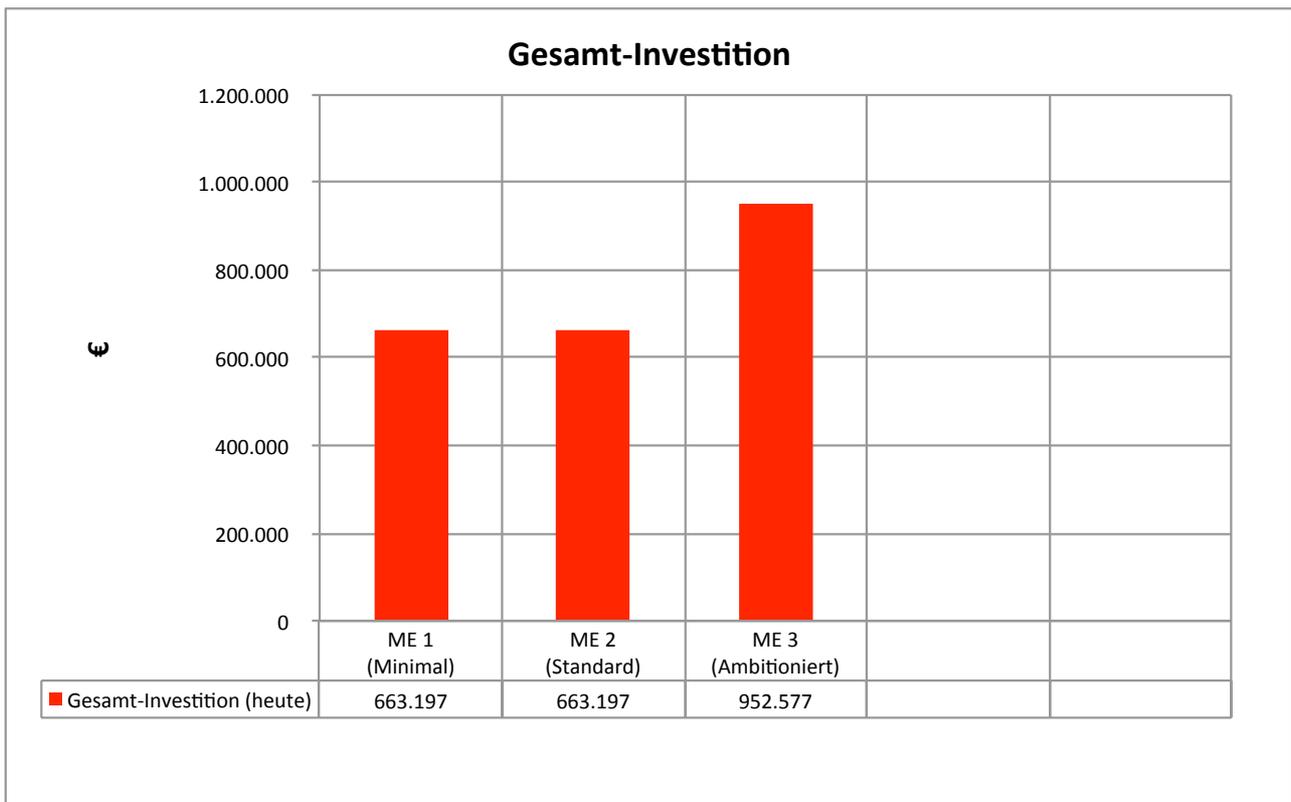
Die für die Kostenbetrachtung mit dem TEK-WiBe-Tool festzulegenden Randbedingungen wurden im Rahmen der Untersuchungen des VSA-Projektes wie folgt gesetzt:

▪ Kalkulationszinssatz (nominal)	: 4,5 %/a
▪ Betrachtungszeitraum (maximale Nutzungsdauer)	: 40 a
▪ Preissteigerungsrate Endenergie Wärme (nominal)	: 4,0 %/a
▪ Preissteigerungsrate Endenergie Strom (nominal)	: 4,0 %/a
▪ Preissteigerungsrate Wartung und Inspektion (nominal)	: 2,0 %/a
▪ Preissteigerungsrate Instandsetzung (nominal)	: 1,0 %/a
▪ Aufwand für Instandsetzung (nominal)	: 1,0 %/a
▪ Aufwand für Instandsetzung (nominal) „erhöht“	: 2,0 %/a
▪ Durchschnittspreis Endenergie Wärme	: 0,06 €/kWh
▪ Durchschnittspreis Endenergie Strom	: 0,24 €/kWh

#### 9.4.2.1 Investitionskostenbetrachtung am Beispiel von Gebäude 6

Im ersten Schritt sind bei der Betrachtung der Kosten eines Modernisierungsvorhabens die Gesamtinvestitionskosten von Interesse. Die hier enthaltenen Informationen ermöglichen eine erste Einschätzung über den finanziellen Aufwand jeder Modernisierungsempfehlung an Abhängigkeit vom energetischen Niveau. Durch einen direkten Vergleich der einzelnen ME lässt sich auf einen Blick erkennen, welcher Mehrkostenaufwand ausgehend von einer standardmäßigen (ME2) hin zu einer umfangreicheren und energetisch ambitionierten Modernisierung (ME3) zu erwarten ist. Die absoluten Gesamtinvestitionskosten sind für Gebäude 6 nachfolgend in Abbildung 44 aufgeführt.

**Abbildung 44: Investitionskosten der drei Modernisierungsempfehlungen für Gebäude 6**

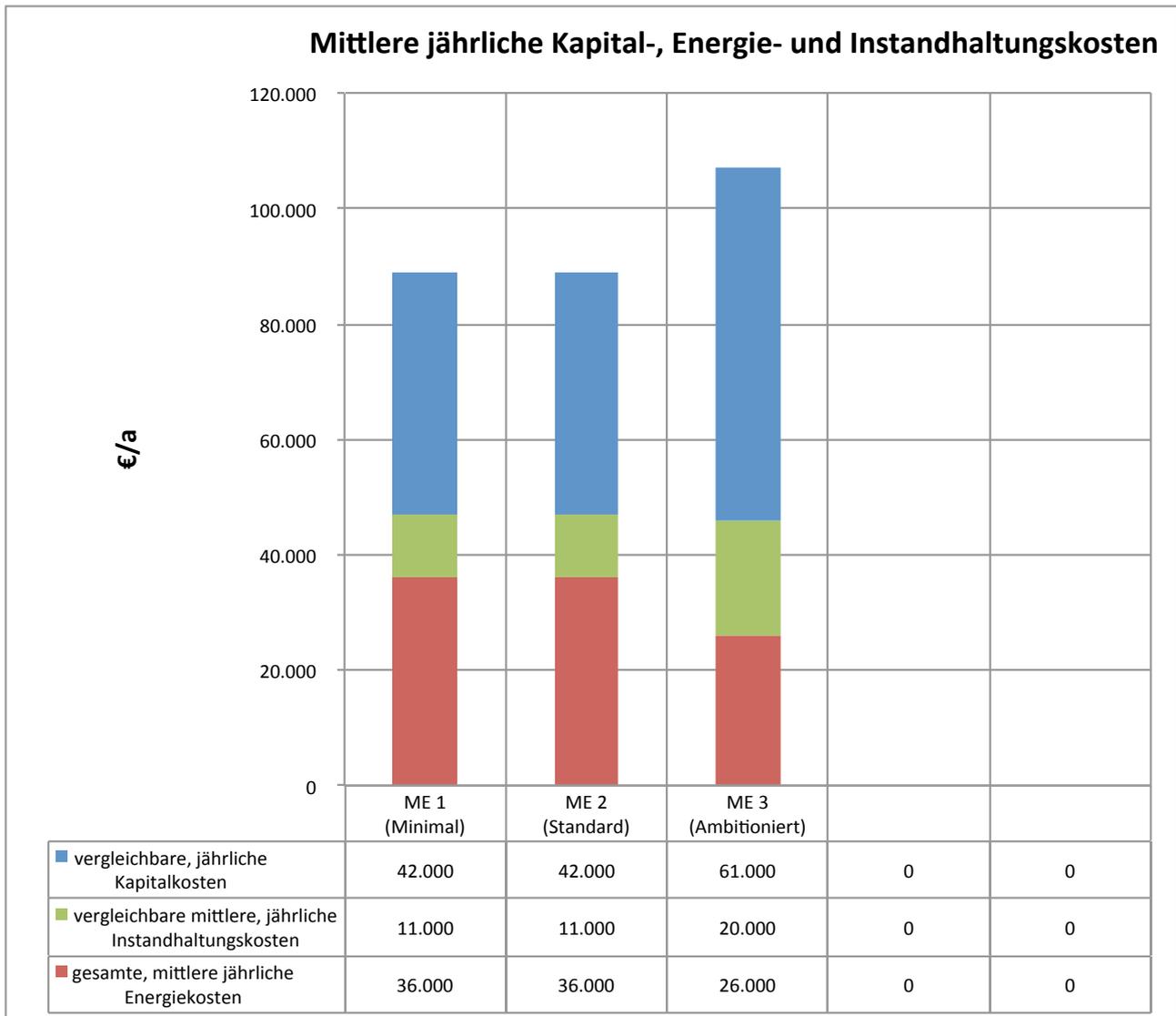


Wie beschrieben, handelt es sich bei Gebäude 6 um ein Gebäude aus dem Jahr 1960, das vollständig modernisiert werden soll. Die Maßnahmenbündel in ME1 und ME2 sind dementsprechend nach den gesetzten Randbedingungen in Umfang und energetischer Qualität gleich (vgl. Tabelle 29), was auch zu identischen Investitionskosten führt. Die Investitionskosten für eine ambitionierte Modernisierung im Sinne von ME3 (unter Zielvorgabe eines höheren energetischen Niveaus unter Einsatz von RLT mit WRG im gesamten Gebäude) steigen in diesem Beispiel um ca. 30% gegenüber den Kosten von ME2.

#### 9.4.2.2 Betrachtung der mittleren jährlichen Gesamtkosten am Beispiel von Gebäude 6

Sind die notwendigen Gesamtinvestitionskosten ermittelt, fällt das Augenmerk auf die mittleren jährlichen Gesamtkosten, welche unter den oben getroffenen Annahmen zu erwarten sind. Abbildung 45 zeigt diese Kosten für die verschiedenen Modernisierungsempfehlungen für Gebäude 6.

Abbildung 45: Mittlere jährliche Gesamtkosten der drei Modernisierungsempfehlungen für Gebäude 6

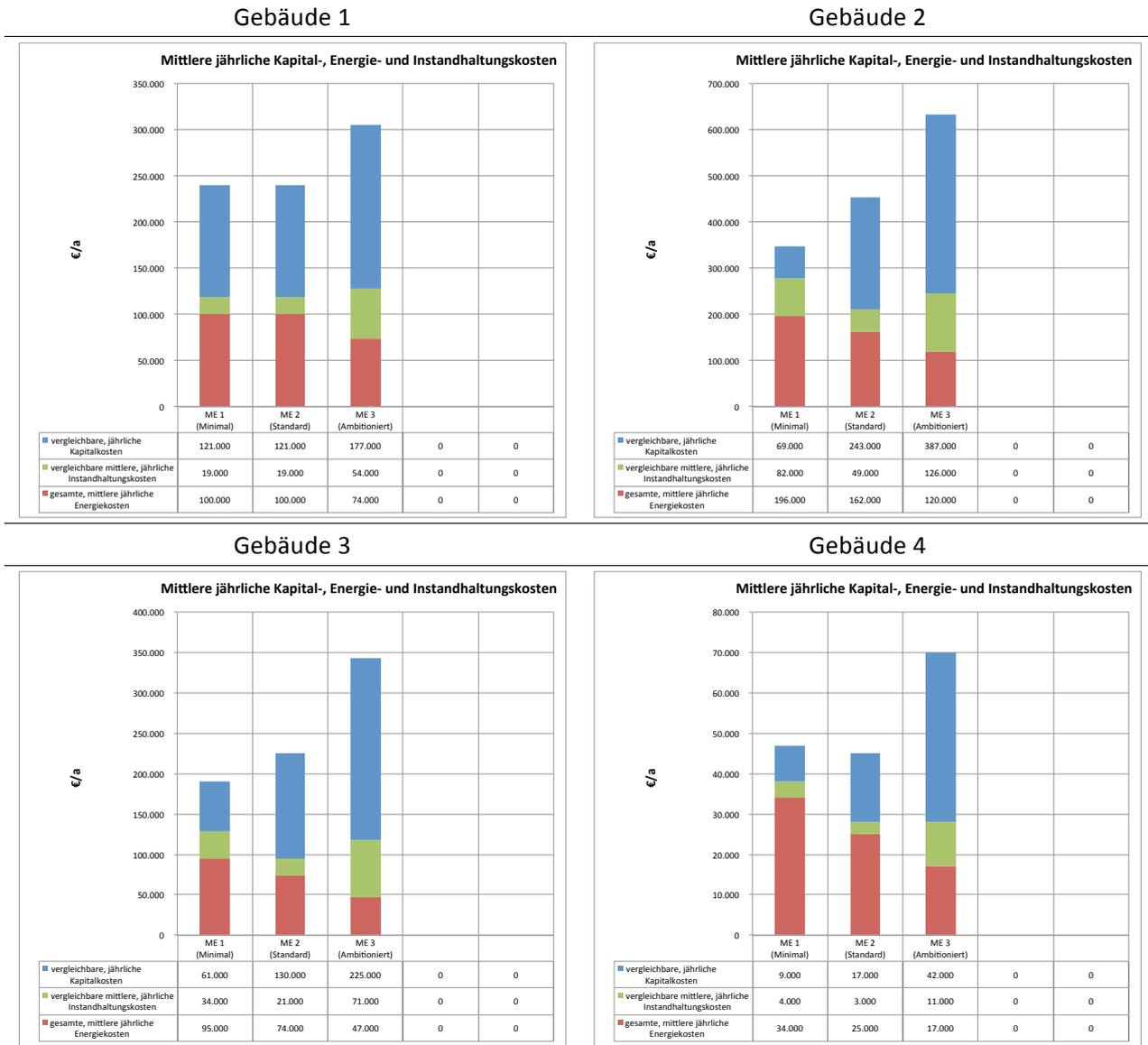


Bei der Betrachtung der mittleren jährlichen Gesamtkosten zeigt sich das erwartete Bild. Die Anteile, die Kapital-, Instandhaltungs- und Energiekosten einnehmen, sind für ME2 und ME3 verschieden. Bei Umsetzung der Maßnahmen nach ME3 sinken die Energiekosten absolut und auch relativ gegenüber ME2. Dem stehen allerdings im vorliegenden Beispiel Kostensteigerungen bei Kapital- und Instandhaltungskosten gegenüber. Die Kapitalkosten steigen wegen der aufwendigeren Maßnahmen und wegen der zusätzlichen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Insgesamt ergeben sich bei diesem Gebäude um ca. 20% höhere mittlere jährliche Gesamtkosten für die ambitionierte Modernisierung nach ME3. Damit für dieses Gebäude eine Entscheidung zugunsten eines solchen ambitionierten Standards auch aus wirtschaftlichen Erwägungen getroffen werden kann, erscheinen Fördermaßnahmen notwendig.

Die Differenz der mittleren jährlichen Gesamtkosten zwischen ME3 und ME2 kann durch bundes- oder landesspezifische Förderprogramme gemindert oder ausgeglichen werden. Als Förderprogramme in diesem Sinne sind auf Bundesebene beispielsweise die Förderprogramme der KfW aufzuführen, welche energieeffiziente Modernisierungen durch zinsgünstige Darlehen unterstützen. Auf Landesebene ist das Programm zur Förderung der energetisch optimierten Modernisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden mit passivhaustauglichen Komponenten nach Teil II Nr.1 der Richtlinien des Landes Hessen zur Förderung nach §§ 4 bis 8 des Hessischen Energiezukunftsgesetzes zu nennen [HEG2012].

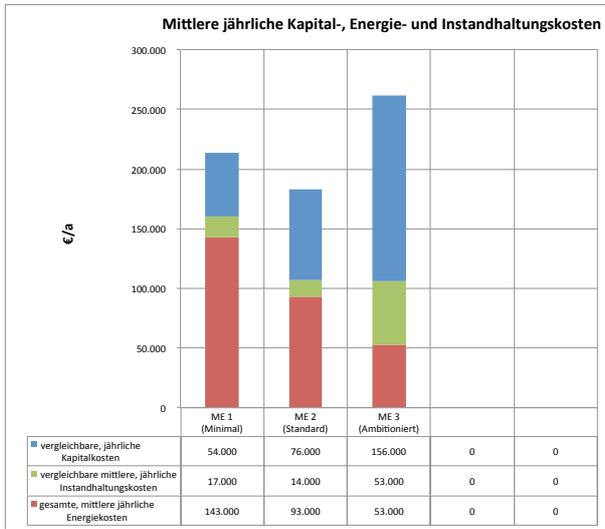
### 9.4.3 Mittlere jährliche Gesamtkosten für die drei Modernisierungsempfehlungen der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude

**Tabelle 31: Vergleich der mittleren jährlichen Gesamtkosten der drei Modernisierungsempfehlungen**

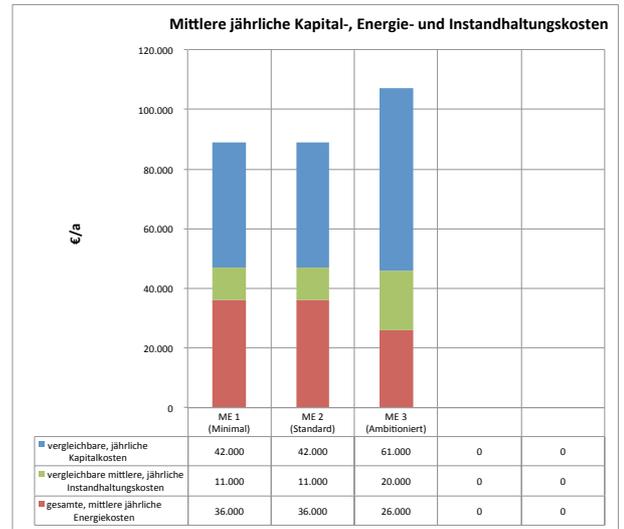


## Fortsetzung von Tabelle 31

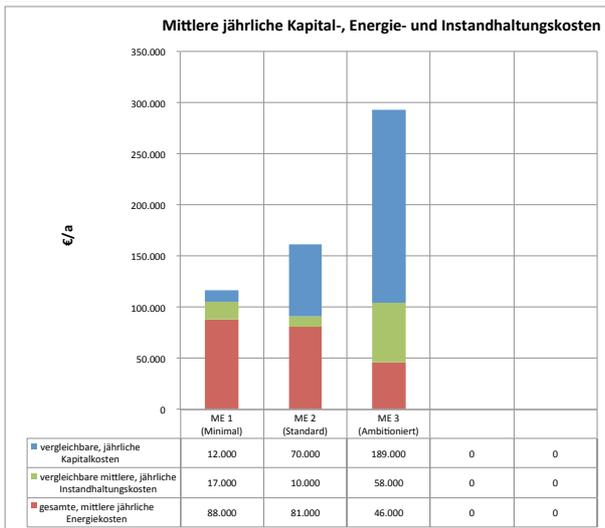
Gebäude 5



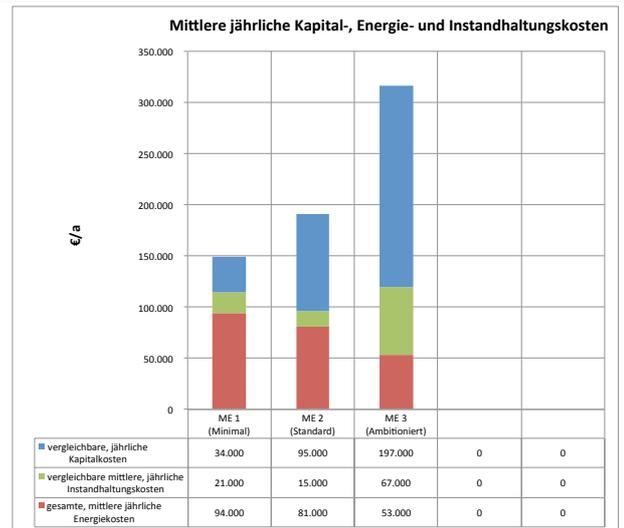
Gebäude 6



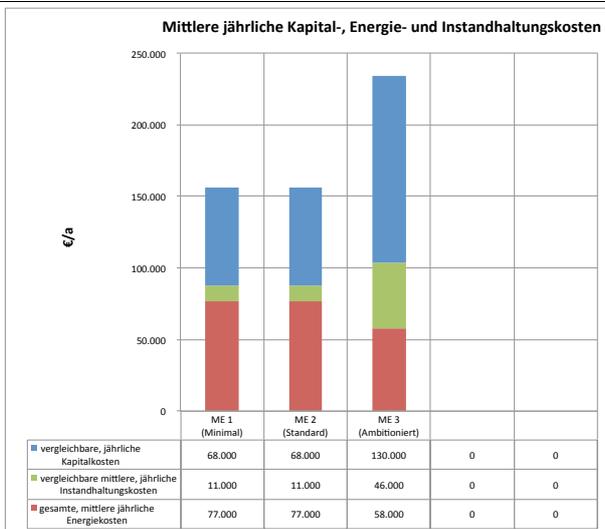
Gebäude 7



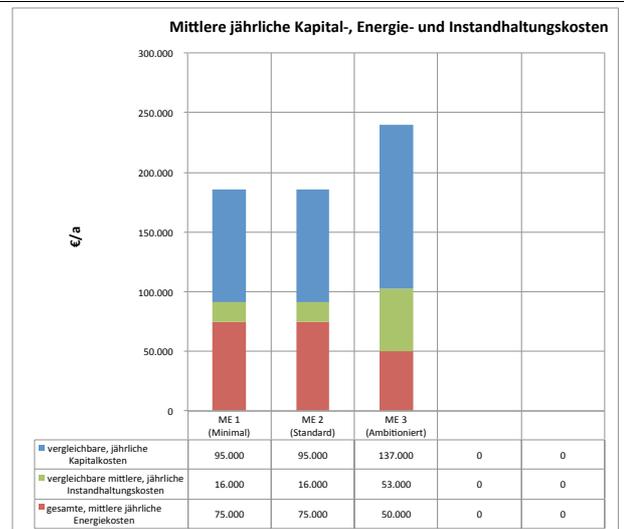
Gebäude 8



Gebäude 9



Gebäude 10



## 9.5 Randbedingungen für die drei Modernisierungsempfehlungen

Tabelle 32: Bauteilbezogene Randbedingungen der drei Modernisierungsempfehlungen

Gewerk	TEK-Eingaben	Modernisierungsvariante		
		"Minimal"	"Standard"	"Ambitioniert"
thermische Gebäudehülle	Bauschwere		wie Ist-Zustand	wie Ist-Zustand
	Luftdichtheit		Neubau mit Dichtheitstest und raumluftechnischer Anlage	Passivhausanforderung erfüllt
	Wärmebrücken		gering (DIN 4108 Beiblatt 2)	gering (DIN 4108 Beiblatt 2)
	Sonnenschutz - Steuerung		manuell oder zeitgesteuert (wenn der Ist-Zustand nicht besser Ist)	einstrahlungsabhängig
	Blendschutz - Steuerung		manuell (wenn der Ist-Zustand nicht besser Ist)	lichtlenkend
	Dach/ Flachdach		0,24 / 0,2 W/(m²K)	0,12 / 0,1 W/(m²K)
	oberste Geschossdecke		0,3 W/(m²K)	0,15 W/(m²K)
	Kellerdecke/ Kellerfußboden		0,3 / 0,5 W/(m²K)	0,15 / 0,25 W/(m²K)
	AW_Außenluft		0,24 W/(m²K)	0,12 W/(m²K)
	AW_Erdreich/ unbeheizt		0,3 W/(m²K)	0,15 W/(m²K)
	Fenster Süd Fenster Ost Fenster West	Ausführung wie bei Variante "Standard", wenn Anforderungen der Modernisierungsrandbedingungen erfüllt sind	WDG 2-fach $U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g = 0,60$ $\tau_{D65} = 0,80$ $\Psi_g = 0,08 \text{ W/(mK)}$ $F_F = 70 \%$ $U_f = 1,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Kunststoff oder Holz) Dreh-Kipp Fenster $U_w = 1,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g_{rot} = 0,08$ (mit Sonnenschutz) Sonnenschutz: (A-Jalousie 45°, dunkel-grau)	WDG 3-fach $U_g = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g = 0,60$ $\tau_{D65} = 0,74$ $\Psi_g = 0,04 \text{ W/(mK)}$ $F_F = 70 \%$ $U_f = 0,74 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Passivhausqualität) Dreh-Kipp Fenster $U_w = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g_{tot} = 0,07$ (mit Sonnenschutz) Sonnenschutz: (A-Jalousie 45°, dunkel-grau)
	Fenster Nord		Wie oben, es sei denn die von P3 Angabe: "Zulage Sonnenschutzglas Fassade Nord" SSGV 2-fach $U_g = 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g = 0,37$ $\tau_{D65} = 0,67$ $\Psi_g = 0,08 \text{ W/(mK)}$ $F_F = 70 \%$ $U_f = 1,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Kunststoff oder Holz) Dreh-Kipp Fenster $U_w = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g_{rot} = 0,09$ (mit Sonnenschutz)	Wie oben, es sei denn die von P3 Angabe: "Zulage Sonnenschutzglas Fassade Nord" SSGV 3-fach $U_g = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g = 0,34$ $\tau_{D65} = 0,63$ $\Psi_g = 0,04 \text{ W/(mK)}$ $F_F = 70 \%$ $U_f = 0,74 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (Kunststoff oder Holz) Dreh-Kipp Fenster $U_w = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g_{rot} = 0,06$ (mit Sonnenschutz)
	Fenster horizontal		$U_w = 2,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g = 0,6$ $g_{rot} = 0,6$ (ohne Sonnenschutz) $g_{rot} = 0,08$ (mit Sonnenschutz)	$U_w = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g = 0,6$ $g_{rot} = 0,6$ (ohne Sonnenschutz) $g_{rot} = 0,07$ (mit Sonnenschutz)

**Tabelle 33: Anlagentechnische und Nutzungsrandbedingungen der drei Modernisierungsempfehlungen**

<b>Zonenbeschreibung</b>	mittlere Raumtemperatur Heizfall	Ausführung wie bei Variante "Standard", wenn Anforderungen der Modernisierungsrandbedingungen erfüllt sind	wie Ist-Zustand	21°C
	mittlere Raumtemperatur Kühlfall		wie Ist-Zustand	24°C
	Lüftungsart		wie beim Ist-Zustand	alle über RLT nach 18599
	Raumkühlsystem		wie beim Ist-Zustand	wie beim Ist-Zustand
	Raumheiztyp		wie beim Ist-Zustand	wie beim Ist-Zustand
	Beleuchtungsanlage		Zuordnung wie beim Ist-Zustand	Zuordnung wie beim Ist-Zustand
	Warmwassererzeuger		elektr. Durchlauferhitzer	elektr. Durchlauferhitzer
<b>Beleuchtung</b>	Steuerung (überwiegendes System)	Ausführung wie bei Variante "Standard", wenn Anforderungen der Modernisierungsrandbedingungen erfüllt sind	manuell	dimmend ausschaltend (nur Hauptnutzflächen)
	Präsenzmelder		nein	ja
	Lampenart		Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG
	Zielwert spez. Bewertungsleistung pro 100Lux		3,0 (W/m <sup>2</sup> 100Lux) (falls im Ist nicht bereits besser)	2,0 (W/m <sup>2</sup> 100Lux)
<b>Heizung / Warmwasser</b>	Erzeugerart	Ausführung wie bei Variante "Standard", wenn Anforderungen der Modernisierungsrandbedingungen erfüllt sind	Brennwertkessel verbessert (Gas, Öl) oder Fernwärme, wenn bereits Ist-Zustand	Brennwertkessel verbessert (Gas, Öl) oder Fernwärme, wenn bereits Ist-Zustand
	Baulter Verteilung		Dämmstandard "1980-1994"	Dämmstandard "ab 1995"
	Lage horizontale Verteilung ab Erzeuger		wie Ist-Zustand	wie Ist-Zustand
	Pumpenlaufzeit bedarfsgeregelt		außentemperaturabhängig	außentemperaturabhängig
	Pumpenleistung geregelt		Druck konstant	Druck variable
	Heizungsbetrieb Nachts		reduziert	Abschaltung
	Heizungsbetrieb Wochenende		reduziert	Abschaltung
	Pumpe auf Bedarf ausgelegt		nein	ja
	Warmwasser: Zentrale Verteilung vorhanden		nein	nein
	Warmwasserzirkulation vorhanden		nein	nein
<b>Luftförderung</b>	Nennvolumenstrom	Ausführung wie bei Variante "Standard", wenn Anforderungen der Modernisierungsrandbedingungen erfüllt sind	wie Ist-Zustand	Nach DIN V 18599-100
	elektrische Nennleistung		Zuluft 1,5kW/(m <sup>3</sup> /s); Abluft 1,0 kW/(m <sup>3</sup> /s)	Zuluft 0,7kW/(m <sup>3</sup> /s); Abluft 0,5 kW/(m <sup>3</sup> /s)
	Umluftanteil		keiner	keiner
	Volumenstromregelung		wie Ist-Zustand	bedarfsabhängig (Präsenzmelder) oder variabel (Kühllast)
	Heiz-/Kühlregister		wie Ist-Zustand	Heizregister
	Max. Zulufttemp. Kühlfall		keine Kühlung	keine Kühlung
	Min. Zulufttemp. Heizfall		20°C	
	Feuchteanforderung		keine	keine
	Befeuchtertyp		keiner	keiner
	WRG-Typ		Wärme (außer bei Abluftanlagen)	Wärme (außer bei Abluftanlagen)
	Rückgewinnungsgrad		60%	80%
				(alle Räume über RLT versorgt)

## 9.6 Tabellarische Zusammenstellung der energetischen Bauteilkennwerte der thermischen Gebäudehülle für die 10 öffentlichen Nichtwohngebäude

**Tabelle 34: Einzelmaßnahmen mit energetischen Bauteilkennwerten zu den drei ME der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude**

	Gebäude 1	Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
					ME1	ME2	ME3
		1	334 Außentüren und -fenster	Fassade Nord + Süd	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
		2	334 Außentüren und -fenster	Eingangsanlage	ja	ja	ja
		3	338 Sonnenschutz	Sonnenschutz	ja	ja	ja
		4	336 Außenwandbekleidungen, innen	Innendämmung	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)
		5	352 Dachbeläge	Dämmung Miw o	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
		6	353 Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke Miw o, vlieskaschiert	0,27 W/(m <sup>2</sup> K)	0,27 W/(m <sup>2</sup> K)	0,27 W/(m <sup>2</sup> K)
		7	492 Gerüste	Fassadengerüst LK3	ja	ja	ja
		8	445 Beleuchtungsanlagen	Reduzierung der Beleuchtungsstärke sowie den Einsatz der EVG	ja	ja	ja
		9	431 Lüftungsanlagen	Zu- und Abluftanlage	-	-	ja
		10	445 Beleuchtungsanlagen	Präsenzmelder	-	-	ja
		11	445 Beleuchtungsanlagen	Beleuchtungssteuerung	-	-	ja
	Gebäude 2	1	334 Außentüren und -fenster	Fenster erneuern	-	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
		2	338 Sonnenschutz	Sonnenschutz erneuern	-	ja	ja
		3	492 Gerüste	Fassadengerüst LK3	-	ja	ja
		4	335 Außenwandbekleidungen, außen	w ärmetechnische Modernisierung der Außenwände	-	0,23 W/(m <sup>2</sup> K)	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)
		5	364 Dachbekleidungen	w ärmetechnische Modernisierung des Daches	-	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)
		6	352 Deckenbeläge	w ärmetechnische Modernisierung der Bodenplatte	-	-	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)
		7	431 Lüftungsanlagen	Modernisierung der Lüftungsanlage	ja	ja	ja
		8	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Kessel erneuern	ja	ja	ja
		9	445 Beleuchtungsanlagen	Beleuchtung erneuern	teilweise	ja	ja
		10	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Kelleraußenwände	-	-	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
	Gebäude 3	1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
		2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Abbruch und Neuaufbau der Klinkerschale mit verbesserter Dämmschicht	-	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,12 W/(m <sup>2</sup> K)
		3	338 Sonnenschutz	Installation eines verbesserten Sonnenschutzes	ja	ja	ja
		4	363 Dachbeläge	kompletterneuerung der Dachflächen, inklusive der Lichtkuppeln	-	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	0,13 W/(m <sup>2</sup> K)
		5	362 Dachfenster, Dachöffnungen	Austausch der Lichtkuppeln	2,5 W/(m <sup>2</sup> K)	-	-
		6	431 Lüftungsanlagen	Austausch der veralteten Lüftungsanlage	ja	ja	-
		7	431 Lüftungsanlagen	Austausch aller Lüftungsanlagen	-	-	ja
		8	445 Beleuchtungsanlagen	Austausch und Ersatz von veralteten Leuchten	ja	ja	ja
		9	492 Gerüste	Gerüstarbeiten für Fassadenerneuerung	ja	ja	ja
		10	352 Deckenbeläge	Dämmung der Kellersohle	-	-	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)
		11	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Kelleraußenwände	-	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,13 W/(m <sup>2</sup> K)

**Fortsetzung von Tabelle 34**

	Gebäude	Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
					ME1	ME2	ME3
Gebäude 4	1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)	
	2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Gebäudefassade ohne Kellerwände	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	-	-	
	3	363 Dachbeläge	Modernisierung des Dachstuhls	-	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	
	4	353 Deckenbekleidungen	Dämmung des Kellerfußboden	-	-	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	
	5	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch des Niedertemperaturkessel	ja	ja	ja	
	6	445 Beleuchtungsanlagen	Austausch der veralteten Beleuchtung	-	ja	ja	
	7	431 Lüftungsanlagen	Neuauslegung der Lüftungsanlage	-	-	ja	
	8	492 Gerüste	Gerüstarbeiten für Hüllflächendämmung	ja	ja	ja	
	9	338 Sonnenschutz	Anbringung eines Sonnenschutzes	ja	ja	ja	
	10	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Gebäudefassade inklusive Kellerwände	-	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,10 W/(m <sup>2</sup> K)	
	11	352 Deckenbeläge	Dämmung der obersten Geschossdecke	-	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	
Gebäude 5	1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)	
	2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Gebäudefassade	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	-	-	
	3	352 Deckenbeläge	Dämmung der obersten Geschossdecke	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	
	4	336 Außenwandbekleidungen, innen	Dämmung des Kellerfußboden	-	-	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	
	5	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Gebäudefassade	-	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,10 W/(m <sup>2</sup> K)	
	6	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch des Niedertemperaturkessel	ja	ja	ja	
	7	445 Beleuchtungsanlagen	Austausch der veralteten Beleuchtung	-	ja	ja	
	8	431 Lüftungsanlagen	Neuauslegung der Lüftungsanlage	-	-	ja	
	9	492 Gerüste	Gerüstarbeiten für Hüllflächendämmung	ja	ja	ja	
	10	338 Sonnenschutz	Installation eines neuen Sonnenschutzes	ja	ja	ja	
Gebäude 6	1	334 Außentüren und -fenster	Fenster-Erneuerung, Fassade Nord + Süd	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)	
	2	334 Außentüren und -fenster	Erneuerung Eingangsanlage	ja	ja	ja	
	3	338 Sonnenschutz	Austausch Sonnenschutz, Süd	ja	ja	ja	
	4	335 Außenwandbekleidungen, außen	Sanierung Außenwände, komplett	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,10 W/(m <sup>2</sup> K)	
	5	363 Dachbeläge	Sanierung Flachdach, komplett	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)	0,08 W/(m <sup>2</sup> K)	
	6	353 Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	
	7	492 Gerüste	Fassadengerüst LK3	ja	ja	ja	
	8	445 Beleuchtungsanlagen	Erneuerung der Beleuchtungsanlage komplett	ja	ja	ja	
	9	431 Lüftungsanlagen	Erneuerung der Zu- und Abluftanlage	ja	ja	ja	
	10	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch Gas-Brennwertkessel, verbessert	ja	ja	ja	
	11	335 Außenwandbekleidungen, außen	Außenwand gegen die unbeheizten Räume	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)	
Gebäude 7	1	334 Außentüren und -fenster	Austausch Fenster	-	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)	
	2	338 Sonnenschutz	Installation eines Sonnenschutzes	-	ja	ja	
	3	334 Außentüren und -fenster	Austausch Pfosten-Riegel-Fassade	-	-	0,12 W/(m <sup>2</sup> K)	
	4	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Außenwände	-	-	0,17 W/(m <sup>2</sup> K)	
	5	363 Dachbeläge	Dämmung des Flach und Pultdaches	-	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)	0,08 W/(m <sup>2</sup> K)	
	6	352 Deckenbeläge	Dämmung der Sohle gegen Erdreich	-	-	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)	
	7	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Kelleraußenwände	-	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,13 W/(m <sup>2</sup> K)	
	8	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch des alten Heizkessel	ja	ja	ja	
	9	445 Beleuchtungsanlagen	Modernisierung der Gebäudebeleuchtung	teilweise	teilweise	ja	
	10	431 Lüftungsanlagen	Modernisierung der Gebäudebelüftung	-	-	ja	
	11	492 Gerüste	Gerüstaufstellung	-	ja	ja	

**Fortsetzung von Tabelle 34**

	Gebäude 8	Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
					ME1	ME2	ME3
		1	334 Außentüren und -fenster	Fenster erneuern + Eingangstüranlage erneuern	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	-	-
		2	338 Sonnenschutz	Sonnenschutz erneuern	ja	ja	ja
		3	492 Gerüste	Gerüststellung für Modernisierungsmaßnahmen an der Fassade erforderlich	ja	ja	ja
		4	334 Außentüren und -fenster	Erneuerung Pfosten-Riegel-Fassade	-	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,12 W/(m <sup>2</sup> K)
		5	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung des Innenhofs	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,10 W/(m <sup>2</sup> K)
		6	363 Dachbeläge	Dämmung des Flachdaches	-	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)
		7	352 Deckenbeläge	Dämmung der Kellerdeckenfläche	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,19 W/(m <sup>2</sup> K)	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)
		8	335 Außenwandbekleidungen, außen	Dämmung der Kelleraußenwände	-	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,15 W/(m <sup>2</sup> K)
		9	352 Deckenbeläge	Dämmung der Kellersohle	-	-	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)
		10	445 Beleuchtungsanlagen	Modernisierung der Gebäudebeleuchtung	ja	ja	ja
		11	431 Lüftungsanlagen	Installation einer geregelten Gebäudelüftung	-	-	ja

	Gebäude 9	Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
					ME1	ME2	ME3
		1	334 Außentüren und -fenster	allseitig	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
		2	334 Außentüren und -fenster	Eingangsanlage	ja	ja	ja
		3	338 Sonnenschutz	Sonnenschutz Fassade allseitig	ja	ja	ja
		4	335 Außenwandbekleidungen, außen	Außenwandbekleidungen (außen)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,10 W/(m <sup>2</sup> K)
		5	352 Deckenbeläge	Dachdämmung inkl. Dampfsperre	0,17 W/(m <sup>2</sup> K)	0,17 W/(m <sup>2</sup> K)	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)
		6	353 Deckenbekleidungen	Dämmung Kellerdecke	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)
		7	492 Gerüste	Fassadengerüst LK3	ja	ja	ja
		8	445 Beleuchtungsanlagen	Optimierung der Beleuchtungsanlage	ja	ja	ja
		9	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage	ja	ja	ja
		10	431 Lüftungsanlagen	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	-	-	ja
		11	445 Beleuchtungsanlagen	Präsenz- und Konstantlichtregelung	-	-	ja

	Gebäude 10	Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Modernisierungsvariante		
					ME1	ME2	ME3
		1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der Fenster	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	0,90 W/(m <sup>2</sup> K)
		2	336 Außenwandbekleidungen, innen	Dämmung der Gebäudefassade	0,28 W/(m <sup>2</sup> K)	0,28 W/(m <sup>2</sup> K)	0,28 W/(m <sup>2</sup> K)
		3	363 Dachbeläge	Modernisierung des Flachdaches Anbau	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)	0,13 W/(m <sup>2</sup> K)
		4	353 Deckenbekleidungen	Dämmung der Kellerdecke	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,23 W/(m <sup>2</sup> K)
		5	352 Deckenbeläge	Dämmung der obersten Geschossdecke	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,16 W/(m <sup>2</sup> K)
		6	421 Wärmeerzeugungsanlagen	Austausch des veralteten Heizkessels	ja	ja	ja
		7	445 Beleuchtungsanlagen	Austausch der veralteten Beleuchtung	ja	ja	ja
		8	431 Lüftungsanlagen	Neuauslegung der Lüftungsanlage	-	-	ja
		9	492 Gerüste	Gerüstarbeiten für Hüllflächendämmung	ja	ja	ja
		10	338 Sonnenschutz	Sonnenschutz in den Fenstern integriert	ja	ja	ja

## 9.7 Kurzbeschreibung der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude

**Tabelle 35: Kurzbeschreibung der 10 untersuchten hessischen öffentlichen Nichtwohngebäude**

Gebäudebezeichnung:	Gebäude 1	Gebäude 2
<b>Kriterium:</b>	Definition von Maßnahmen an schlichter, denkmalgeschützter Fassade	Definition von Maßnahmen an einem hochwertigen, zweischaligen Fassadensystem; zwei Dachformen
<b>Baujahr:</b>	1908	1988
<b>Bauwerkszuordnungskatalog [BMVBS 2009]:</b>	1300	1300
<b>beheizte NGF:</b>	4861 m <sup>2</sup>	7807 m <sup>2</sup>
<b>thermische Hüllfläche:</b>	6640 m <sup>2</sup>	9362 m <sup>2</sup>
<b>energetischer Qualitätsstandard:</b>	Dach ungedämmt, oberste Geschossdecke gedämmt, Wände ungedämmt, Fenster 1992 erneuert, Keller ungedämmt	Fenster vollständig 2000 saniert, restliches Gebäude unsaniert
<b>A/V-Verhältnis:</b>	0,28	0,33
<b>Fassade:</b>	Massivbau Mauerwerk, Lochfassade, Fenstergewände	hochwertige Vorhangfassade mit Fensterband (Zweischalige Aussenwand; Stahlbeton, Dämmung, Luftschicht, Metallverkleidung)
<b>oberer Gebäudeabschluss:</b>	oberste Geschossdecke 3.Obergeschoss	Flachdach und Paralleldach
<b>unterer Gebäudeabschluss:</b>	Stahlbetondecke ungedämmt	Stahlbetonsohle Kellergeschoss
<b>Raumlufttechnik:</b>	nein	Sitzungssaal, Kantine, WC-Abluft
<b>Klimatisierung:</b>	Splitgerät im Serverraum	1 x Klimasplitgerät
<b>Wärmeerzeuger:</b>	Fernwärme	Konstanttemperaturkessel (Erdgas H)
<b>Wärmeverbrauch gebäudescharf:</b>	ja	ja
<b>Stromverbrauch gebäudescharf:</b>	ja	ja
<b>Gebäudeansicht:</b>		

**Fortsetzung von Tabelle 35**

Gebäudebezeichnung:	Gebäude 3	Gebäude 4
<b>Kriterium:</b>	Definition von Maßnahmen an einem hochwertigen, zweischaligen Fassadensystem; Handlungsspielraum durch Verklinkerung eingeschränkt	homogenes Gebäude ohne bauliche Besonderheiten, mit 24h-Nutzung
<b>Baujahr:</b>	1982	1935
<b>Bauwerkszuordnungskatalog [BMVBS 2009]:</b>	1200	1340
<b>beheizte NGF:</b>	4185 m <sup>2</sup>	804 m <sup>2</sup>
<b>thermische Hüllfläche:</b>	5667 m <sup>2</sup>	1343 m <sup>2</sup>
<b>energetischer Qualitätsstandard:</b>	RLT-Anlage Kassenraum 2010 installiert, Wärmeerzeuger 2006 ausgetauscht, restliches Gebäude unsaniert	Außenwand verputzt 1985, Dach teilweise gedämmt 1985, Fenster teilweise 1985 und 2005 ausgetauscht, Wärmeerzeuger 1985 ausgetauscht, restliches Gebäude unsaniert
<b>A/V-Verhältnis:</b>	0,35	0,45
<b>Fassade:</b>	zweischalige Fassade mit Klinker, Lochfassade, Flachdach (Teil Kaldt Dach, Teil Warmdach)	einschaliges Mauerwerk verputzt, Sockel mit Natursteinverblendung, Lochfassade
<b>oberer Gebäudeabschluss:</b>	Flachdach (teils Warmdach, teils Kaldt Dach)	Teil Walmdach im 1.DG + oberste Geschossdecke 1.DG
<b>unterer Gebäudeabschluss:</b>	Stahlbetonsohle Kellergeschoss	Sohlplatte Kellergeschoss
<b>Raumlufttechnik:</b>	Lüftungs Sitzungssäle und Kasse	Zellen , Büroraum, WC/Sanitärräume KG
<b>Klimatisierung:</b>	3 x Klimasplitgerät	2 x Klimasplitgerät
<b>Wärmeerzeuger:</b>	Brennwertkessel verbessert (Erdgas H)	Konstanttemperaturkessel (Erdgas H)
<b>Wärmeverbrauch gebäudescharf:</b>	ja	ja
<b>Stromverbrauch gebäudescharf:</b>	ja	ja
<b>Gebäudeansicht:</b>		

**Fortsetzung von Tabelle 35**

Gebäudebezeichnung:	Gebäude 5	Gebäude 6
<b>Kriterium:</b>	denkmalgeschütztes Gebäude mit Potenzial zur Außendämmung (Besonderheit: beheiztes Werkstattgebäude im hinteren Teil der Liegenschaft)	ambitionierte Sanierung auf Passivhausstandard
<b>Baujahr:</b>	1938	1960
<b>Bauwerkszuordnungskatalog [BMVBS 2009]:</b>	1340	9.2 [nach BMVBS 2009]
<b>beheizte NGF:</b>	3059 m <sup>2</sup>	1690 m <sup>2</sup>
<b>thermische Hüllfläche:</b>	5430 m <sup>2</sup>	2915 m <sup>2</sup>
<b>energetischer Qualitätsstandard:</b>	Dach/oberste Geschossdecke saniert (Jahr unbekannt), Fenster vollständig 1991 saniert, Wärmeerzeuger 1986 ausgetauscht, restliches Gebäude unsaniert	Dach und Fenster teilweise saniert (Jahr unbekannt), Weärmeerzeuger 1992 ausgetauscht, restliches Gebäude unsaniert. (Besonderheit: Gebäude wurde 2011 zum Passivhaus saniert)
<b>A/V-Verhältnis:</b>	0,44	0,42
<b>Fassade:</b>	Lochfassade, verputzt, denkmalgeschützt	Stützenraster- / Lochfassade
<b>oberer Gebäudeabschluss:</b>	Teil Walmdach im 1.DG + oberste Geschossdecke 1.DG	Flachdach
<b>unterer Gebäudeabschluss:</b>	Stahlbetonsohle Kellergeschoss	Kellerdecke (KG unbeheizt)
<b>Raumlufttechnik:</b>	1 RLT-Anlage im Zellentrakt (800 m <sup>3</sup> /h, Türkontakt)	früher: zentrale RLT nur Sitzungssaal, Schalldämmlüfter in jedem Fenster zur Straßenseite heute: RLT mit WRG im ganzen Gebäude früher: nein, heute: im Serverraum passiv über Umluft
<b>Klimatisierung:</b>	4 x Klimasplitgerät	Brennwertkessel (Erdgas H)
<b>Wärmeerzeuger:</b>	Niedertemperaturkessel (Erdgas H)	früher: nein, nach Flächenanteil umgelegt heute: ja
<b>Wärmeverbrauch gebäudescharf:</b>	Hauptgebäude und Werkstattgebäude zusammen	früher: nein, nach Flächenanteil umgelegt heute: ja
<b>Stromverbrauch gebäudescharf:</b>	Hauptgebäude und Werkstattgebäude zusammen	
<b>Gebäudeansicht:</b>		

**Fortsetzung von Tabelle 35**

Gebäudebezeichnung:	Gebäude 7	Gebäude 8
<b>Kriterium:</b>	Definition von Maßnahmen an einem modernen Fassadensystem	70er Jahre Systembau mit erheblichen Wärmebrücken
<b>Baujahr:</b>	2003	1966
<b>Bauwerkszuordnungskatalog [BMVBS 2009]:</b>	1200	1300
<b>beheizte NGF:</b>	3969 m <sup>2</sup>	3856 m <sup>2</sup>
<b>thermische Hüllfläche:</b>	5350 m <sup>2</sup>	4768 m <sup>2</sup>
<b>energetischer Qualitätsstandard:</b>	unsaniert, da noch junges Baujahr	Flachdach 2001 nach WSVO 95 saniert, Fenster Teilweise 2002 ausgetauscht, restliches Gebäude unsaniert
<b>A/V-Verhältnis:</b>	0,36	0,32
<b>Fassade:</b>	Glasfassade in Pfosten-Riegel-Konstruktion und Außenwand mit Sandstein-Vorhangfassade	Betonskelettkonstruktion, Wärmebrücken, Vorhangfassade, Fensterband
<b>oberer Gebäudeabschluss:</b>	Flachdach	Flachdach
<b>unterer Gebäudeabschluss:</b>	Stahlbetonsohle Kellergeschoss	Stahlbetonsohle Kellergeschoss und Erdgeschoss
<b>Raumlufttechnik:</b>	Zuluftanlage (H, WRG; Sitzungssäle), WC-Abluft	keine
<b>Klimatisierung:</b>	2 x Klimasplitgerät	keine
<b>Wärmeerzeuger:</b>	Niedertemperaturkessel (Erdgas H)	Fernwärme
<b>Wärmeverbrauch gebäudescharf:</b>	ja	ja
<b>Stromverbrauch gebäudescharf:</b>	ja	ja
<b>Gebäudeansicht:</b>		

**Fortsetzung von Tabelle 35**

Gebäudebezeichnung:	Gebäude 9	Gebäude 10
<b>Kriterium:</b>	Lochfassade, verputzt, homogener Aufbau	Altbau aus 1881, Anbau aus 1954 und Garagengebäude; typische Fragestellungen denkmalgeschützter Vorkriegsbauten; BHKW
<b>Baujahr:</b>	1965	1881
<b>Bauwerkszuordnungskatalog [BMVBS 2009]:</b>	1300	1200
<b>beheizte NGF:</b>	3484 m <sup>2</sup>	2848 m <sup>2</sup>
<b>thermische Hüllfläche:</b>	4360 m <sup>2</sup>	5312 m <sup>2</sup>
<b>energetischer Qualitätsstandard:</b>	Fenster teilweise 2000 und 2007 ausgetauscht, Wärmerezeuger teilweise 1982, 1988 und 2006 ausgetauscht, restliches gebäude unsaniert	oberste Geschossdecke teilweise saniert (Jahr unbekannt), Fenster vollständig 1980 und 1985 ausgetauscht, RLT-Anlagen 2009 teilweise saniert, Wärmerezeuger und Kälterezeuger 1990 ausgetauscht
<b>A/V-Verhältnis:</b>	0,29	0,34
<b>Fassade:</b>	Mauerwerk, ungedämmt, verputzt; Lochfassade	denkmalgeschützte Fassade in Klinkerbauweise, Lochfassade
<b>oberer Gebäudeabschluss:</b>	Flachdach (teils Warmdach, teils Kaldach)	Flachdach (Neubau), oberste Geschossdecke und Steildach (Altbau)
<b>unterer Gebäudeabschluss:</b>	Stahlbetonsohle Kellergeschoss	Kellerdecke (KG unbeheizt)
<b>Raumlufttechnik:</b>	keine	Sitzungssaal
<b>Klimatisierung:</b>	1 x Klimasplitgerät	3 x Klimasplitgerät
<b>Wärmerezeuger:</b>	Niedertemperaturkessel (Erdgas H)	Brennwertkessel (Erdgas H)
<b>Wärmeverbrauch gebäudescharf:</b>	Haupthaus, Pavillion und Garage zusammen	ja
<b>Stromverbrauch gebäudescharf:</b>	Haupthaus, Pavillion und Garage zusammen	ja
<b>Gebäudeansicht:</b>		