

# **Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 36**

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus  
Velux Licht Aktivhaus  
in Hamburg

## **Forschungsprogramm**

Modellhäuser im „Plus-Energie-Standard“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

## **Messperiode**

März 2015 bis Februar 2017

## **Aktenzeichen**

SWD - 10.08.82-14.2

## **im Auftrag**

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

## **bearbeitet von**

Dipl.-Ing. Architekt Thomas Wilken  
Oliver Rosebrock, M.Sc.  
vom Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS)  
Univ.- Prof. Dr.- Ing. M. Norbert Fisch  
Fakultät Architektur, Bauen, Umwelt  
Mühlenfordtstraße 23  
38106 Braunschweig



## Abschlussbericht

# Monitoring Velux Model Home LichtAktiv Haus Hamburg

TU Braunschweig  
Institut für Gebäude- und Solartechnik

Mühlenpfordtstraße 23  
D-38106 Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

Tel. +49 (0) 531 391-3555  
Fax +49 (0) 531 391-8125

igs@tu-bs.de  
www.tu-braunschweig.de/igs

Ihr Zeichen:  
Ihre Nachricht vom:  
Unser Zeichen: Wilken/Rosebrock

Ausführende Stelle:	Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) Univ.- Prof. Dr.- Ing. M. Norbert Fisch Fakultät Architektur, Bauen, Umwelt Mühlenpfordtstraße 23 38106 Braunschweig
Bearbeitung:	Dipl.-Ing. Architekt Thomas Wilken Oliver Rosebrock, M.Sc.
Auftraggeber:	Velux Deutschland GmbH
Laufzeit Monitoring:	01.01.2011 bis 28.02.2017 Gebäude bewohnt seit 12/2011
Stand:	16.10.2017



Labor:  
Zimmerstraße 24b  
Tel. +49 (0) 531 391-3635  
Fax. +49 (0) 531 391-3636

TU Braunschweig  
Norddeutsche Landesbank Hannover  
Kontonummer 1 999 200  
BLZ 250 500 00

IBAN: DE 79 250500000001999200  
BIC (Swift Code): NOLA DE2H  
USt.-ID: DE 152330858  
Steuer-Nr.: 14/201/24509

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Gebäudebeschreibung.....	7
1.1	Beschreibung des Gebäudes und des Projektes .....	7
1.2	Kenndaten Gebäude.....	8
1.3	Beschreibung der Gebäudetechnik und Darstellung energetischer Kennwerte aus der Planung .....	9
1.4	Monitoringkonzept Energie.....	18
1.5	Monitoringkonzept Komfort .....	20
2	Energetisches-Monitoring über den gesamten Zeitraum von 2011-2016 .....	21
2.1	Strom.....	23
2.1.1	Stromerzeugung/ PV-Ertrag.....	24
2.1.2	Haushaltsstrom.....	25
2.1.3	Anlagentechnik.....	26
2.1.4	Zähler Technik.....	29
2.1.5	E-Mobilität.....	30
2.2	Wärme.....	31
2.2.1	Wärmeabnahme.....	31
2.2.2	Wärmebereitstellung.....	34
2.3	Systemeffizienz.....	35
3	Komfort-Monitoring.....	38
3.1	Beschreibung und Raumübersicht .....	38
3.2	Thermische Behaglichkeit .....	39
3.2.1	Raumtemperatur.....	39
3.2.2	Relative Luftfeuchtigkeit.....	42
3.2.3	Thermische Behaglichkeit für ausgewählte Zonen.....	44
3.3	Luftqualität .....	51
4	Wasserverbrauch .....	60
5	Wirtschaftlichkeit.....	61
6	Erkenntnisse.....	66
7	Anhang.....	69
7.1	Grundrisse .....	69
7.2	Schnitt Gebäude.....	70
7.3	Wetterdaten 2011-2016.....	71
7.4	Übersicht monatlicher Stromverbräuche .....	77
7.5	Übersicht durchschnittlicher monatlicher Raumtemperaturmittelwerte in °C.....	86
7.6	Übersicht durchschnittlicher monatlicher relativer Raumluftheuchtigkeiten in %.....	91
7.7	Anmerkung.....	96
7.8	Ergebnisse der Erdreichsimulation.....	96
8	Literatur.....	97

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Perspektive Südost, Quelle: Velux GmbH .....	7
Abbildung 2: Zeitstrahl Monitoring und Anlagentechniksysteme .....	10
Abbildung 3: Anlagenschema Energieversorgung 2011-2013 (Anlagenkonfiguration 1) .....	11
Abbildung 4: Hydraulikschema 2011-2013, Quelle: WindowMaster .....	12
Abbildung 5: Energiekonzept von 2013 bis 2015 (Anlagenkonfiguration 2) .....	13
Abbildung 6: Hydraulikschema 2013-2015, Quelle WindowMaster .....	14
Abbildung 7: Energiekonzept ab 2015 (Anlagenkonfiguration 3) .....	15
Abbildung 8: Hydraulikschema ab 2015, Quelle Stiebel Eltron .....	16
Abbildung 9: Vergleich Endenergiebedarf nach EnEV .....	18
Abbildung 10: Zählerübersicht Strom .....	19
Abbildung 11: Zählerübersicht Wärme .....	19
Abbildung 12: Raummodul mit Messsondoren .....	20
Abbildung 13: Endenergiebilanz 2011 – 2016 .....	21
Abbildung 14: Primärenergiebilanz 2011 – 2016 .....	22
Abbildung 15: Stromverbrauch nach Art des Verbrauchers 2012-2016 .....	23
Abbildung 16: Übersicht monatlicher PV-Ertrag 2011- Feb 2017 .....	24
Abbildung 17: Übersicht monatlicher Beleuchtungsstrom 2011- Feb 2017 .....	25
Abbildung 18: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Haushaltsgeräte 2011- Feb 2017 .....	25
Abbildung 19: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Steckdosen 2011- Feb 2017 .....	26
Abbildung 20: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Anlagentechnik 2011- Feb 2017 .....	27
Abbildung 21: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Heizstab 2011- Feb 2017 .....	28
Abbildung 22: Temperaturen und Gradtagszahlverhältnisse nach IWU auf Basis von Daten des DWD [4] .....	29
Abbildung 23: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Technik 2011- Feb 2017 .....	30
Abbildung 24: Übersicht monatlicher Stromverbrauch E-Mobilität 2011- Feb 2017 .....	31
Abbildung 25: Vergleich Wärmeverbräuche 2011-2016*; * :siehe Anhang .....	32
Abbildung 26: Übersicht normierte Wärmeverbräuche mit Klimafaktor nach IWU für den Standort Würzburg [4] .....	33
Abbildung 27: Übersicht monatlicher Wärmeverbrauch 2011-2016* * :siehe Anhang .....	34
Abbildung 28: Übersicht monatlicher Ertrag Solarthermie 2011-2016 .....	35
Abbildung 29: Systemjahresarbeitszahlen von 2011 bis 2016 .....	36
Abbildung 30: Arbeitzahl der Wärmepumpe auf Basis Stromaufnahme und erzeugte Wärme aus dem Online-Portal .....	37
Abbildung 31: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 1, 12, 7 .....	39
Abbildung 32: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 12, 8, 9, 13 .....	40
Abbildung 33: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 2, 10, 7 .....	40
Abbildung 34: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 3, 4, 5 .....	41
Abbildung 35: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 1, 12, 7 .....	42
Abbildung 36: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 12, 8, 9, 13 .....	42
Abbildung 37: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 2, 10, 7 .....	43
Abbildung 38: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 3, 4, 5 .....	43
Abbildung 39: Bewertung von Überhitzung und Unterkühlung in den Räumen nach DIN EN 15251 .....	44

Abbildung 40: Überhitzung/Unterkühlung auf Monatsbasis, Zone 1 .....	45
Abbildung 41: Bewertung thermischer Komfort Temperatur + Feuchte, Zone 1 .....	46
Abbildung 42: Überhitzung/Unterkühlung auf Monatsbasis, Zone 12 .....	47
Abbildung 43: Bewertung thermischer Komfort Temperatur + Feuchte, Zone 12 .....	48
Abbildung 44: Überhitzung/Unterkühlung auf Monatsbasis, Zone 6 .....	49
Abbildung 45: Bewertung thermischer Komfort Temperatur + Feuchte, Zone 6 .....	50
Abbildung 46: Jahresverteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Zone 1, 12, 7 .....	51
Abbildung 47: Jahresverteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Zone 12, 8, 9, 13 .....	52
Abbildung 48: Jahresverteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Zone 2, 10, 7 .....	52
Abbildung 49: Jahresverteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Zone 3, 4, 5 .....	53
Abbildung 50: Verteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Wohnzimmer .....	54
Abbildung 51: Verteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Schlafzimmer .....	55
Abbildung 52: Verlauf CO <sub>2</sub> -Konzentration im Schlafzimmer für zwei Wintertage .....	56
Abbildung 53: Verteilung CO <sub>2</sub> -Konzentration Kinderzimmer 1 .....	57
Abbildung 54: CO <sub>2</sub> -Gehalt Wohnzimmer, Carpetplot .....	58
Abbildung 55: Fensterstellung Wohnzimmer, Carpetplot .....	58
Abbildung 56: CO <sub>2</sub> -Gehalt Schlafzimmer, Carpetplot .....	59
Abbildung 57: Fensterstellung Schlafzimmer, Carpetplot .....	59
Abbildung 58: Frischwasserverbrauch im Gebäude .....	60
Abbildung 59: Grundrisse und Zoneneinteilung, nicht maßstabsgetreu (Quelle Velux) .....	69
Abbildung 60: Schnitt durch das Gebäude (Quelle HL-Technik) .....	70
Abbildung 61: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2011 .....	71
Abbildung 62: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2011 .....	71
Abbildung 63: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2012 .....	72
Abbildung 64: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2012 .....	72
Abbildung 65: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2013 .....	73
Abbildung 66: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2013 .....	73
Abbildung 67: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2014 .....	74
Abbildung 68: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2014 .....	74
Abbildung 69: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2015 .....	75
Abbildung 70: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2015 .....	75
Abbildung 71: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2016 .....	76
Abbildung 72: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2016 .....	76
Abbildung 73: Simulationsergebnisse Wärmeentzug aus dem bzw. Wärmeeintrag in das Erdreich für eine Umschaltung auf Regenerationsbetrieb bei einer Speichertemperatur von 75 °C .....	96
Abbildung 74: Simulierte monatliche Solemitteltemperatur für unterschiedliche Anzahl an Betriebsjahren .....	96

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Gebäudedaten .....	8
Tabelle 2: Übersicht technischer Daten Strom- und Wärmeerzeugung .....	10
Tabelle 3: Energiebedarfswerte nach EnEV 2009 .....	17
Tabelle 4: Stromverbräuche und Stromerzeugung nach Jahren .....	24
Tabelle 5: Bewertung thermischer Komfort (Temperatur und relative Feuchte) .....	45
Tabelle 6: Genauigkeit CO <sub>2</sub> -Sensor .....	53
Tabelle 7: Kategorien und CO <sub>2</sub> -Konzentrationsbereiche .....	54
Tabelle 8: Übersicht Investitionskosten .....	61
Tabelle 9: Übersicht Mehrkosten der Gebäudehülle .....	62
Tabelle 10: Mehrinvestitionskosten für die Anlagentechnik .....	63
Tabelle 11: Vergleich Betriebskosten .....	64
Tabelle 12: Vergleich Investitionskosten Lüftungssystem .....	65
Tabelle 13: Jahresgesamtkosten Lüftung .....	65
Tabelle 14 Übersicht Strom 2011 in kWh/Monat .....	77
Tabelle 15 Übersicht Strom 2012 in kWh/Monat .....	78
Tabelle 16 Übersicht Strom 2013 in kWh/Monat .....	79
Tabelle 17 Übersicht Strom 2014 in kWh/Monat .....	80
Tabelle 18 Übersicht Strom 2015 in kWh/Monat .....	80
Tabelle 19 Übersicht Strom 2016 in kWh/Monat .....	81
Tabelle 20 Übersicht Strom 2017 in kWh/Monat .....	81
Tabelle 21 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2011 in kWh/Monat .....	82
Tabelle 22 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2012 in kWh/Monat .....	82
Tabelle 23 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2013 in kWh/Monat .....	83
Tabelle 24 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2014 in kWh/Monat .....	83
Tabelle 25 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2015 in kWh/Monat .....	84
Tabelle 26 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2016 in kWh/Monat .....	84
Tabelle 27 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2017 in kWh/Monat .....	85
Tabelle 28 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2011 .....	86
Tabelle 29 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2012 .....	86
Tabelle 30 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2013 .....	87
Tabelle 31 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2014 .....	87
Tabelle 32 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2015 .....	88
Tabelle 33 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2016 .....	88
Tabelle 34: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2011 .....	89
Tabelle 35: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2012 .....	89
Tabelle 36: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2013 .....	89
Tabelle 37: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2014 .....	89
Tabelle 38: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2015 .....	90

Tabelle 39: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2016 .....	90
Tabelle 40 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2011 .....	91
Tabelle 41 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2012 .....	91
Tabelle 42 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2013 .....	92
Tabelle 43 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2014 .....	92
Tabelle 44 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2015 .....	93
Tabelle 45 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2016 .....	93
Tabelle 46: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2011.....	94
Tabelle 47: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2012.....	94
Tabelle 48: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2013.....	94
Tabelle 49: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2014.....	94
Tabelle 50: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2015.....	95
Tabelle 51: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2016.....	95



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



PLUS  
EffizienzHaus



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



FORSCHUNGSINITIATIVE  
ZukunftBAU

# 1 Gebäudebeschreibung

## 1.1 Beschreibung des Gebäudes und des Projektes

Das LichtAktiv Haus(LAH) im Hamburger Stadtteil Wilhelmsburg ist ein modernisiertes Siedlerhaus aus den 1950er Jahren. Es besteht aus einem sanierten Altbaubereich, der um einen Anbau ergänzt wurde.

Durch eine umfassende Sanierung von Gebäudehülle und -technik sowie der Integration erneuerbarer Energien zur Wärme- und Stromversorgung soll der Energiebedarf des Hauses in der Jahresbilanz regenerativ gedeckt und so eine CO<sub>2</sub>-neutrale Nutzung ermöglicht werden. Zusätzlich sollen ein hoher thermischer Komfort und eine hohe Qualität der Raumluft erreicht werden. Hierzu wurde eine Steuerung zur elektrischen Öffnung der Fenster installiert, die auf Basis von Daten zum Innenraumklima und von Wetterdaten für eine automatisierte natürliche Lüftung sorgt.

Ziel des Projekts ist es, aufzuzeigen, dass auch der Gebäudebestand für einen CO<sub>2</sub>-neutralen Betrieb nachgerüstet werden kann. Außerdem soll untersucht werden, welche messbaren Ergebnisse durch eine automatisierte natürliche Lüftung erzielt werden können.

Die Sanierungs- und Erweiterungsarbeiten konnten im Sommer 2011 abgeschlossen und das Gebäude im Dezember 2011 bezogen werden.



Abbildung 1: Perspektive Südost, Quelle: Velux GmbH



## 1.2 Kenndaten Gebäude

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die allgemeinen Gebäudedaten sowie zu den bauphysikalischen Werten der Gebäudehülle.

**Tabelle 1: Allgemeine Gebäudedaten**

Allgemeine Angaben	
Anschrift	Katenweg 41 D-21109 Hamburg
Baujahr/ Modernisierung	1950er/2010
Bezug	Dezember 2011
Personen/ Nutzer	4
Bauherr	VELUX Deutschland GmbH

Geometrische Gebäudedaten*		
Wohnfläche (n. 2. BV)	132	m <sup>2</sup>
Gebäudenutzfläche A <sub>N</sub> nach EnEV	172,0	m <sup>2</sup>
Gebäudenutzfläche beheizt	172,0	m <sup>2</sup>
Bruttogrundfläche	143,5	m <sup>2</sup>
Wärmeübertragende Umfassungsfläche A	581,1	m <sup>2</sup>
beheiztes Gebäudevolumen V <sub>e</sub>	642,7	m <sup>3</sup>
Fensterfläche	Wand: 62,8 ; Dach: 39,0; ges.:101,8	m <sup>2</sup>
Fensterflächenanteile (Orientierung)	Wände Altbau: 27,2(SO), 27,2(NW) Wände Neubau: 43,7(SO), 38,2(NW), 57,7(NO), 51,1(SW) Dach Altbau: 32,8(SO), 17,5(NW) Dach Neubau: 13,6(SW), 9,7 (Eingang)	%
Kompaktheit/ Verhältnis A/V <sub>e</sub>	0,90	1/m

Gebäudehülle, Wärmedurchgangskoeffizienten, U-Werte der Bauteile**		
Dach (Altbau/ Neubau)	0,14/ 0,14	W/m <sup>2</sup> K
Außenwand (Altbau/ Neubau)	0,16/ 0,14	W/m <sup>2</sup> K
Dachfenster (Altbau/Neubau)	1,40/ 1,00	W/m <sup>2</sup> K
Fassadenfenster	1,11	W/m <sup>2</sup> K
	Einsatz von 2-fach und 3-fach Verglasungen	
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient H' <sub>T</sub>	0,37	W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient H' <sub>T</sub> (Referenzgebäude)	0,442	W/m <sup>2</sup> K
Grenzwert nach EnEV 2009	0,40	W/m <sup>2</sup> K
Sonnenschutz	Automatisch, in Abhängigkeit des Raumklimas	

\* Quelle: EnEV Nachweis HL-Technik [1]

\*\* Quelle: VELUX: Factsheet VELUX Model Home 2020 „Das LichtAktiv Haus“ (Stand November 2010) [2]

Die Grundrisse sowie ein Schnitt sind im Anhang zusammengestellt.

### **1.3 Beschreibung der Gebäudetechnik und Darstellung energetischer Kennwerte aus der Planung**

#### **Kurzbeschreibung Anlagentechnik**

Das Versorgungskonzept des Gebäudes basiert auf der Nutzung von Umweltwärme für die Wärmepumpe in Kombination mit Solarthermie und Photovoltaik.

Der Strombedarf wird vollkommen mit Strom aus dem öffentlichen Netz gedeckt. Im Gegenzug wird der mit der Photovoltaikanlage erzeugte Strom komplett in das Netz eingespeist. Eine Eigenstromnutzung war zum Zeitpunkt der Installation rechtlich noch nicht möglich.

Endenergetisch handelt es sich um ein Nur-Strom-Haus. Die einzige Verbindung zur energetischen Infrastruktur besteht über das Stromnetz.

Das Monitoring des Gebäudes erfolgte über einen Zeitraum von Januar 2011 bis Februar 2017. Während der Phase wurden grundlegende Veränderungen am Konzept vorgenommen.

Zur Wärmeversorgung kamen drei unterschiedliche Anlagenkonfigurationen und zwei unterschiedliche Wärmepumpen zum Einsatz.

#### Anlagenkonfiguration 1

Von 2011 bis 2013

System Solar Compleet 8, bestehend aus einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 8,3 kW und einer 19,6 m<sup>2</sup> großen Solarthermieanlage (Abbildung 3).

Als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen die Außenluft und die Solarthermiekollektoren. Bei sehr kalten Außentemperaturen steht ein Elektroheizstab als Backup zu Verfügung.

#### Anlagenkonfiguration 2

Anfang 2013 bis März 2015

Ergänzung der die Anlage um zwei Erdsonden mit einer Länge von je 50 m, als dritte Wärmequelle (Abbildung 5). Einspeisung solarthermischer Überschüsse in das Erdreich zur Regeneration.

#### Anlagenkonfiguration 3

Ab März 2015 3. Anlagenkombination

Das System wurde deutlich vereinfacht.

Erdreich als monovalente Quelle für die Wärmepumpe

Austausch des Systems Solar Complete durch eine Sole-Wasser-Wärmepumpe

Stilllegung von 1/3 der Solarthermiefläche, um Stagnationszeiten zu verringern und sommerliche Überschüsse zu reduzieren. Eine Regeneration der Erdsonden durch die Solarthermiekollektoren erfolgt weiterhin (Abbildung 7).

Die Erwärmung von Trinkwarmwasser erfolgt über einen externen Wärmetauscher, der mit dem Trinkwassernetz und dem Wärmespeicher zur Wärmeübergabe verbunden ist.

Tabelle 2 und Abbildung 2 geben eine Übersicht über die verwendeten Systeme zur Wärme- und Stromerzeugung seit 2011. Veränderungen gegenüber der jeweils vorherigen Systemkonfiguration sind farblich markiert.

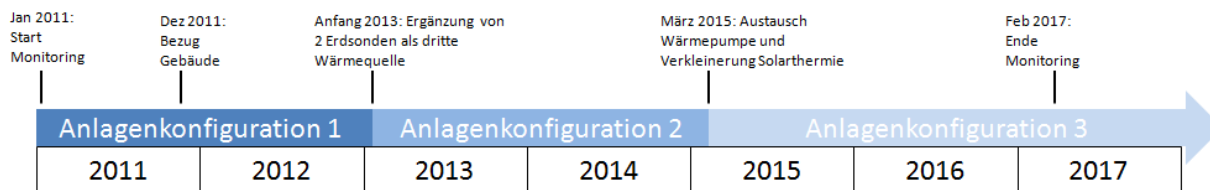


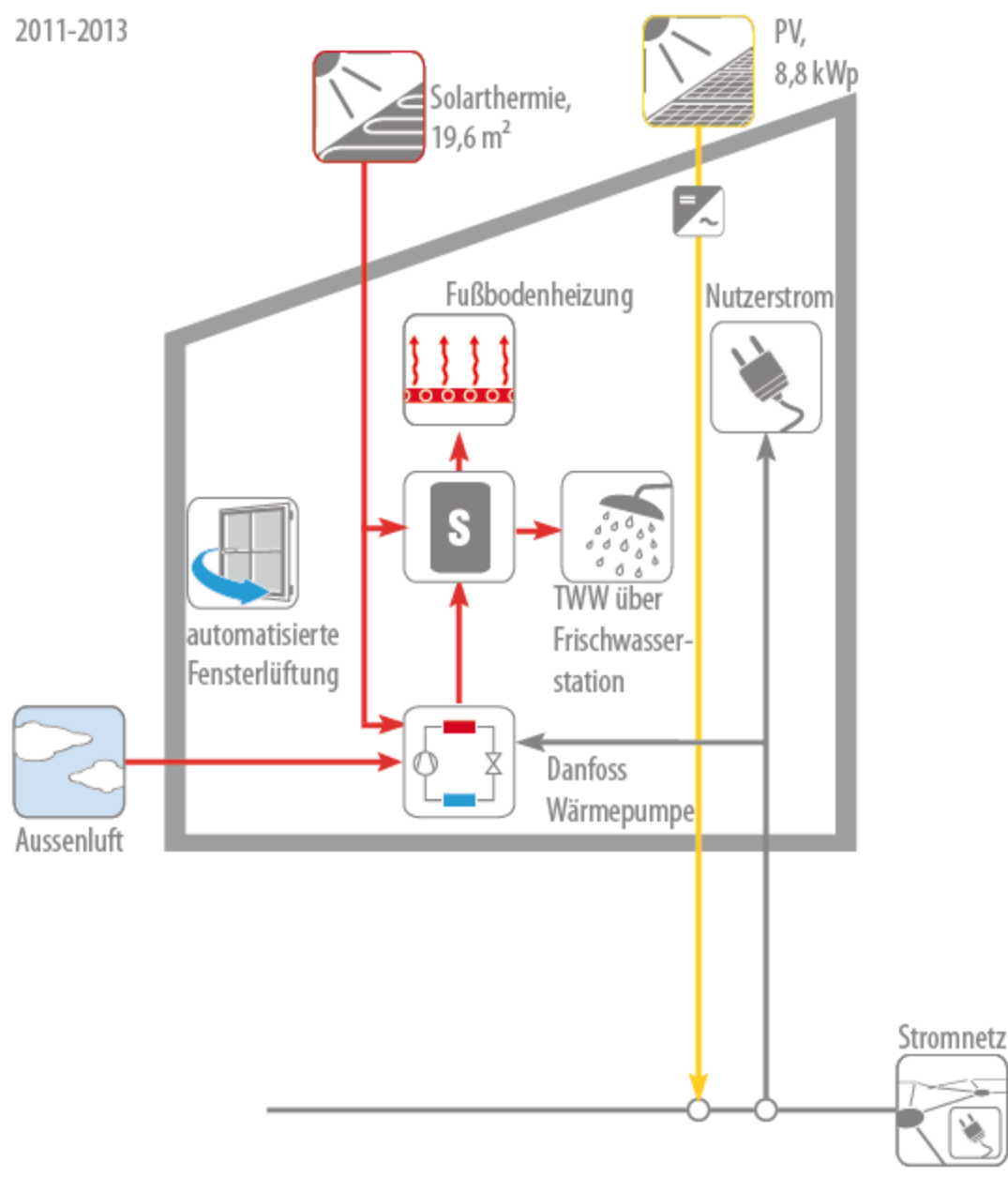
Abbildung 2: Zeitstrahl Monitoring und Anlagentechniksysteme

Tabelle 2: Übersicht technischer Daten Strom- und Wärmeerzeugung

Angaben zur Gebäudetechnik (Wärme- und Energieerzeugung)*			
	2011 bis 2013	2013 bis März 2015	seit März 2015
<b>Wärmeerzeugung</b>			
Luft-Wasser-Wärmepumpe Fabrikat/ Hersteller	Solar Compleet 8, Danfoss	Solar Compleet 8, Danfoss	-
Sole-Wasser-Wärmepumpe Fabrikat/ Hersteller	-	-	WPF 07 Stiebel Eltron
Leistung thermisch (Herstellerangabe) [kW]	8,3	8,3	7,5
COP (Hersteller, DIN EN 14511)	3,6	3,6	4,84
Volumen Speicher (Kombispeicher) [L]	940	940	1.000
Solarthermische Anlage/ Kollektoren (Aperturfläche) [m <sup>2</sup> ]	19,8	19,8	13,2
Neigung/ Azimut [°]	17/25	17/25	17/25
Erdsonden Länge	nicht vorhanden	2x 50 m	2x 50 m
<b>Stromerzeugung</b>			
Photovoltaik-Anlage Leistung [kW <sub>p</sub> ]	8,8	8,8	8,8
Neigung/ Azimut [°]	17/25	17/25	17/25
Photovoltaik-Anlage Größe [m <sup>2</sup> ]	75	75	75
<b>Wärmeübergabe</b>			
Fußbodenheizung	Alle Räume	Alle Räume	Alle Räume
Wandheizung	Diele/Treppenraum, Bad	Diele/Treppenraum, Bad	Diele/Treppenraum, Bad
Statische Heizkörper	Bad	Bad	Bad

\* Quellen: Unterlagen HL-Technik (Stand 21.10.2011) und Hydraulikschema Stiebel Eltron

2011-2013



**Abbildung 3: Anlagenschema Energieversorgung 2011-2013 (Anlagenkonfiguration 1)**

Als Wärmequellen der Wärmepumpe dienen die Außenluft und die Solarthermieanlage. Die Solarthermieanlage kann über einen Wärmetauscher auch direkt Wärme an den Speicher abgeben.

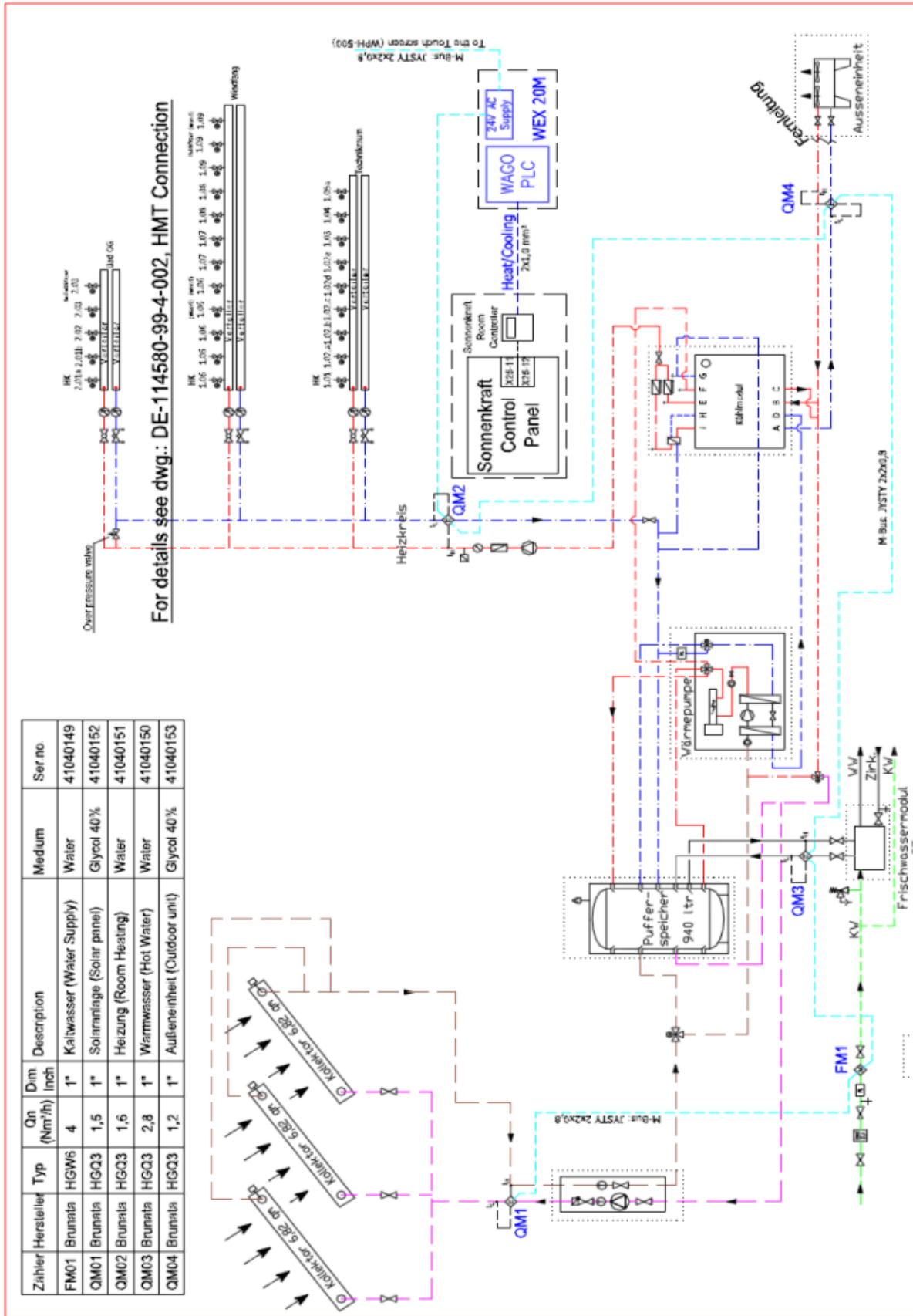


Abbildung 4: Hydraulikschema 2011-2013, Quelle: WindowMaster

2013-2015

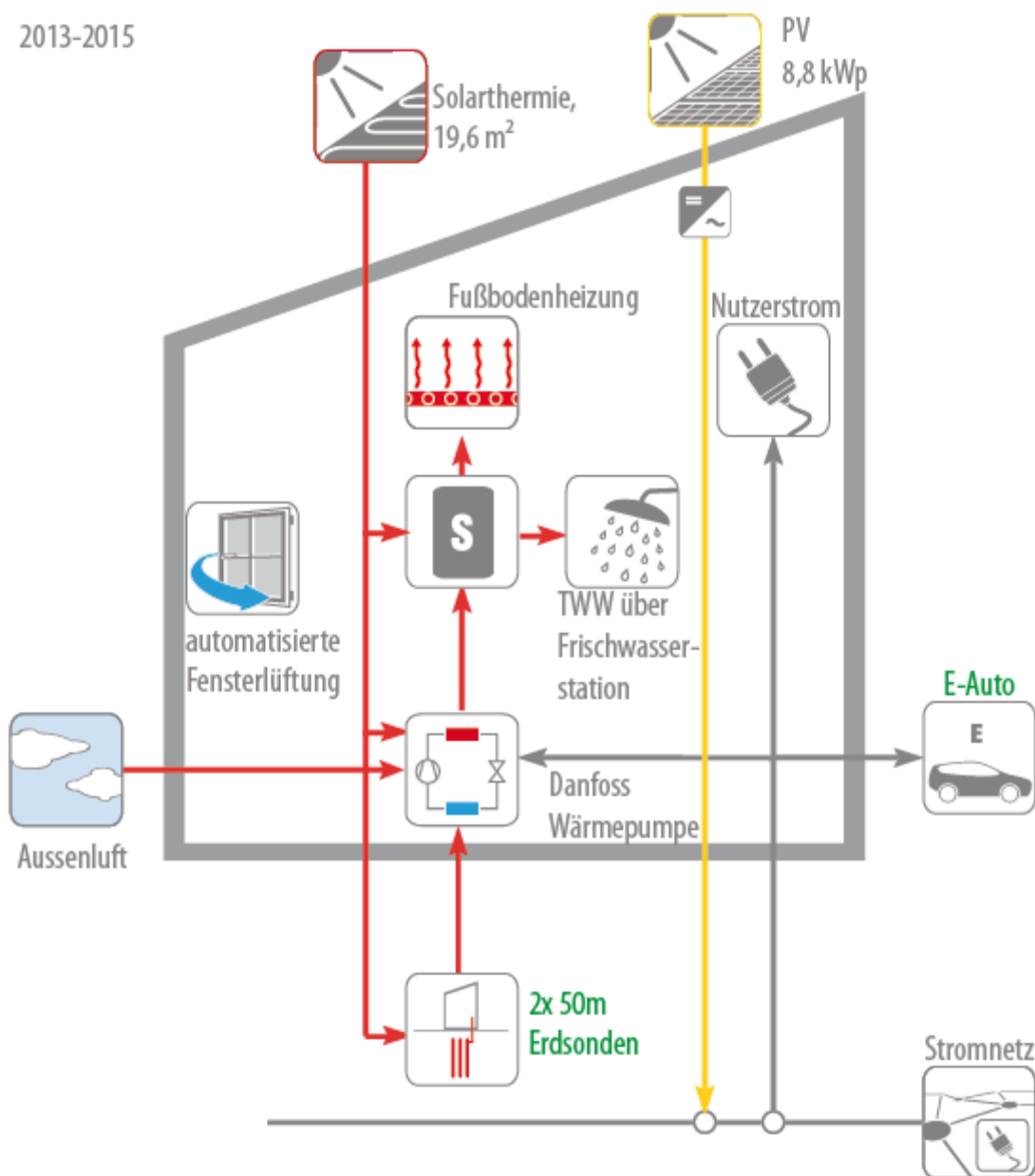


Abbildung 5: Energiekonzept von 2013 bis 2015 (Anlagenkonfiguration 2)

Zusätzlich zum vorhandenen System wurden Erdsonden als zusätzliche Wärmequelle integriert. Eine Regeneration des Erdreichs über die Solarthermieanlage ist möglich.

Zusätzlich zum Umbau der Wärmeversorgung gab es eine weitere Veränderung. Den Bewohnern wurde ein E-Auto zur Verfügung gestellt, das am Gebäude geladen wurde und als zusätzlicher Stromverbraucher erfasst wurde.

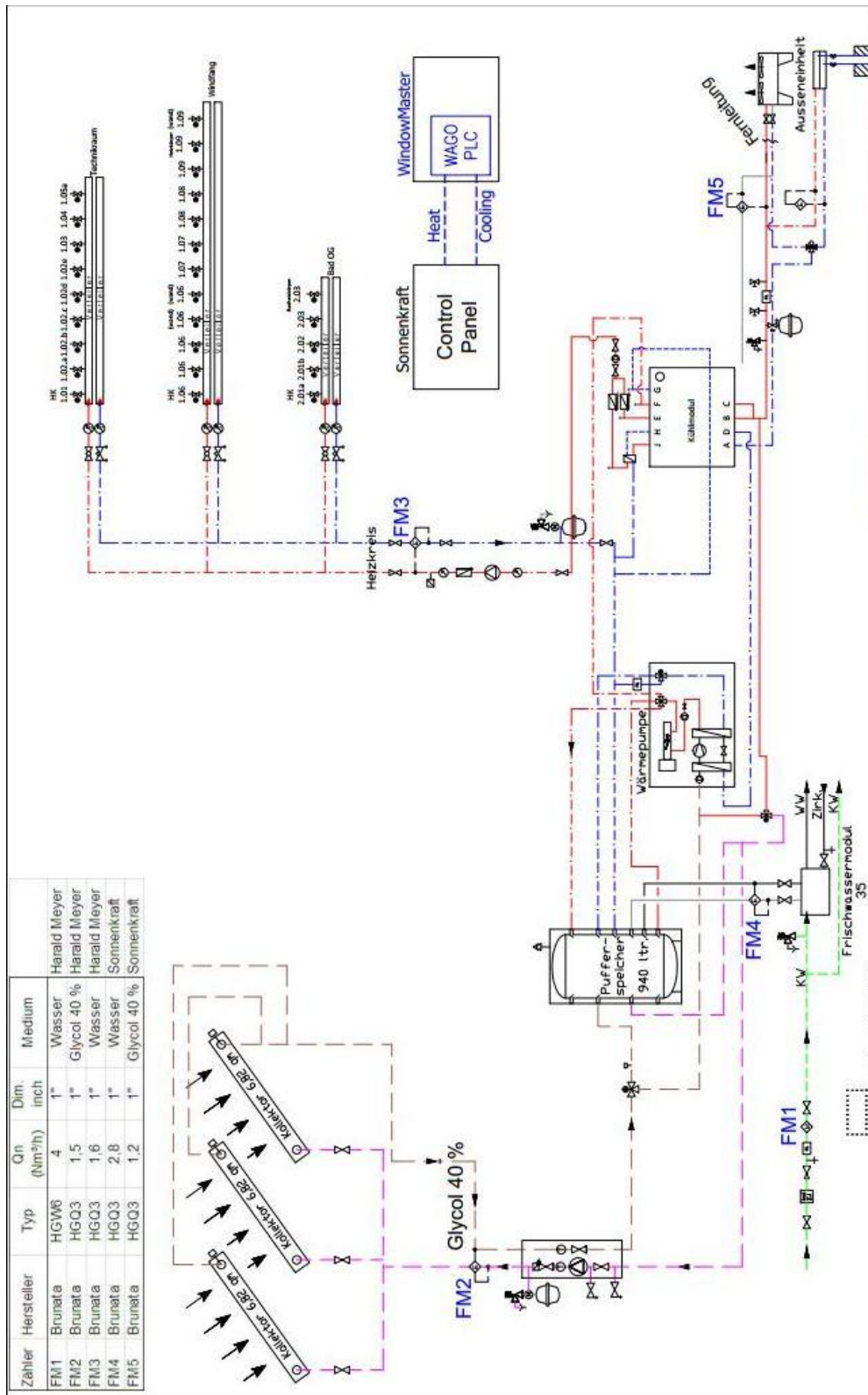


Abbildung 6: Hydraulikschema 2013-2015, Quelle WindowMaster

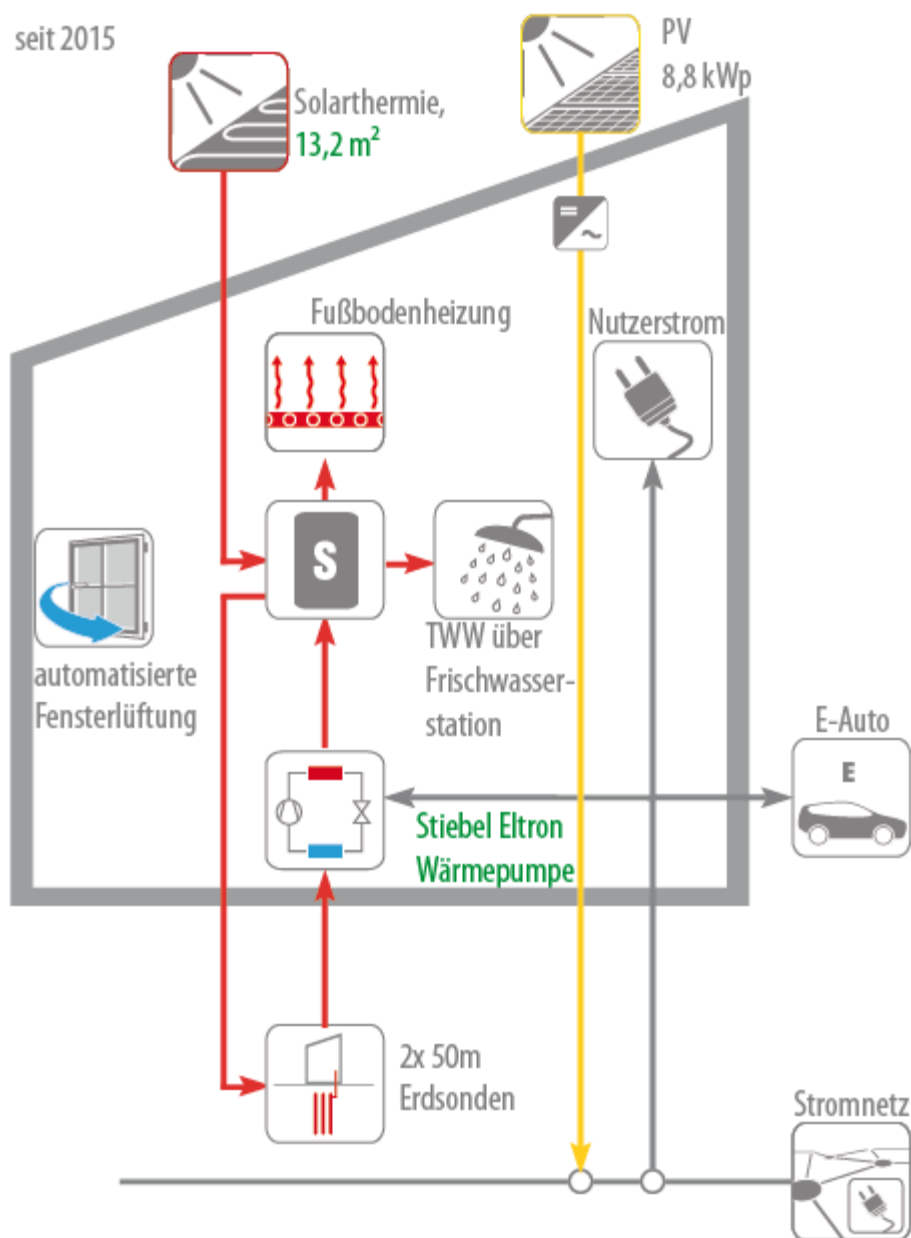


Abbildung 7: Energiekonzept ab 2015 (Anlagenkonfiguration 3)

2015 erfolgte die Vereinfachung des Systems durch Austausch der Wärmepumpe, Reduzierung der Wärmequellen und die Verkleinerung der Solarthermieanlage. Die Wärmepumpe nutzt ausschließlich die Erdsonden als Wärmequelle. Die Regeneration des Erdreichs erfolgt über den Speicher als hydraulische Weiche.



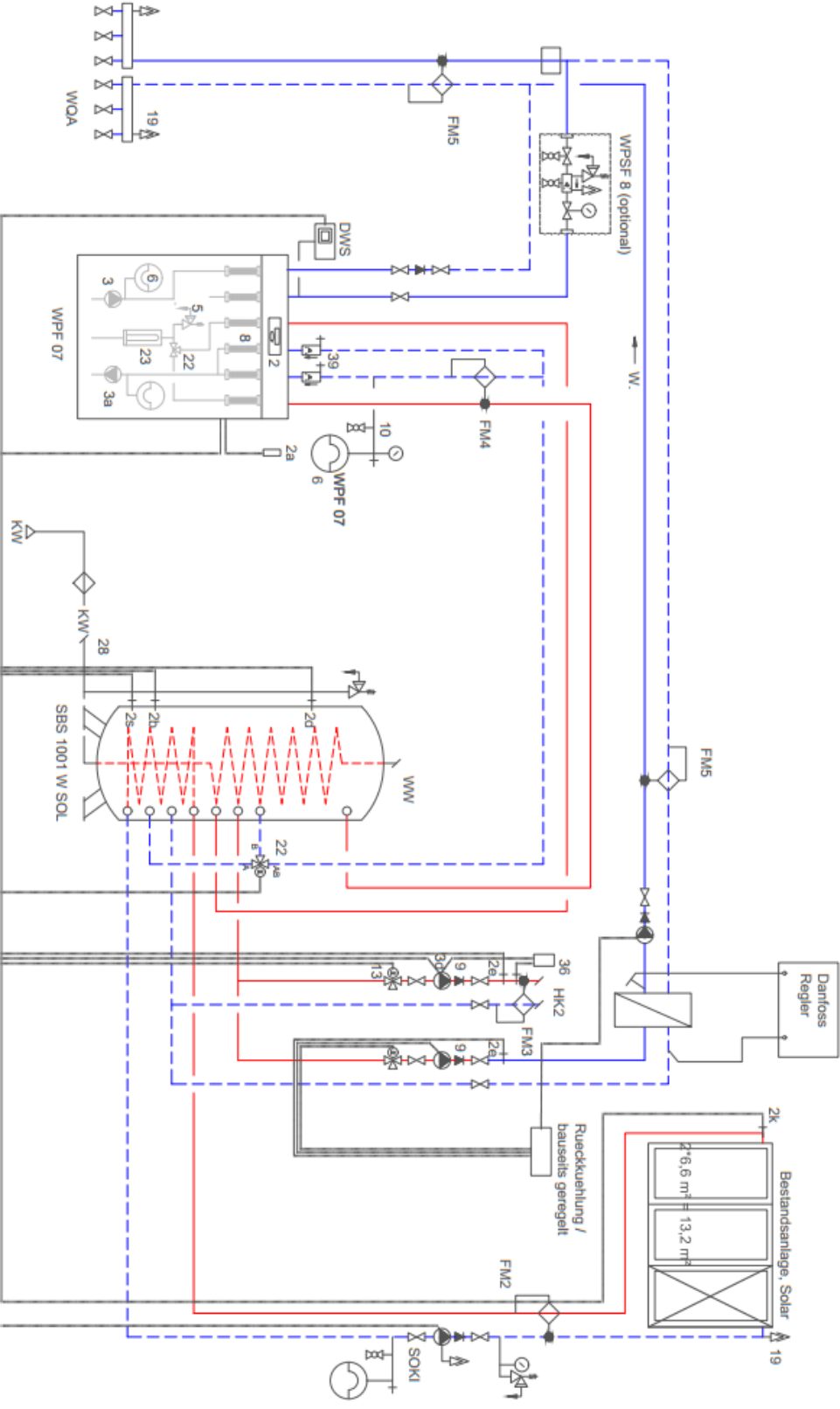


Abbildung 8: Hydraulikschema ab 2015, Quelle Stiebel Eltron

Im Zuge des zweiten Umbaus der Anlagentechnik 2015 wurde die Energiebedarfsrechnung nach EnEV 2009 (DIN V 18599) vom Institut für Gebäude- und Solartechnik aktualisiert. Hierzu wurden die Daten aus dem ursprünglichen Nachweis übertragen und entsprechende notwendige Änderungen an der Energieversorgung berücksichtigt. Es ergeben sich bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs geringfügige Abweichungen.

Die Energiebedarfswerte aus der ursprünglichen Planung sowie die aktualisierten Werte zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3: Energiebedarfswerte nach EnEV 2009**

<b>Energetische Kennwerte aus der Planung HL-Technik und nach Austausch der WP</b>		
	2011 – 03/2015	seit 03/2015
Jahresheizwärmebedarf ( $Q_h$ ) absolut [kWh/a]	12.278	11.768
Jahresheizwärmebedarf ( $q_h$ )spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	71,4	68,4
Jahreswärmebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung absolut [kWh/a]	2.065	2.064
Jahreswärmebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	12	12
Endenergiebedarf Strom (Strom-Mix) absolut [kWh/a]	3.085	1.907
Endenergiebedarf Strom (Strom-Mix) spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	17,8	11,08
Primärenergiebedarf absolut [kWh/a]	8.021	4.959
Spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	46,6	28,8
Grenzwert nach EnEV (Referenzgebäude) [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	137,6	146,5
Unterschreitung der gesetzlichen Anforderung (Referenzgebäude) [%]	66,1	80,3
Normheizlast (Auslegung HL-Technik) [W]	7.954	

Anmerkung: Aufgrund der installierten Anlagentechnik kommt weder Heizöl noch Gas als Energieträger zum Einsatz. Der Endenergiebedarf wird als Strom ausgewiesen.

Da PV-Strom nach §5 EnEV 2009 mit dem Bedarf auf monatlicher Basis angerechnet werden darf, ist eine Vergleichbarkeit der Endenergiebedarfe nur bedingt gegeben.

Abbildung 9 zeigt den monatlichen und jährlichen Strombedarf zur Wärmeversorgung ohne die Berücksichtigung der Anrechnung von PV-Strom.

Der Jahresstrombedarf sinkt demnach um 29 % von 4.462 kWh/a auf 3.174 kWh/a.

Der Ertrag der PV-Anlage wird nicht direkt berücksichtigt, sodass im späteren Verlauf ein sinnvoller Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Werten erfolgen kann.

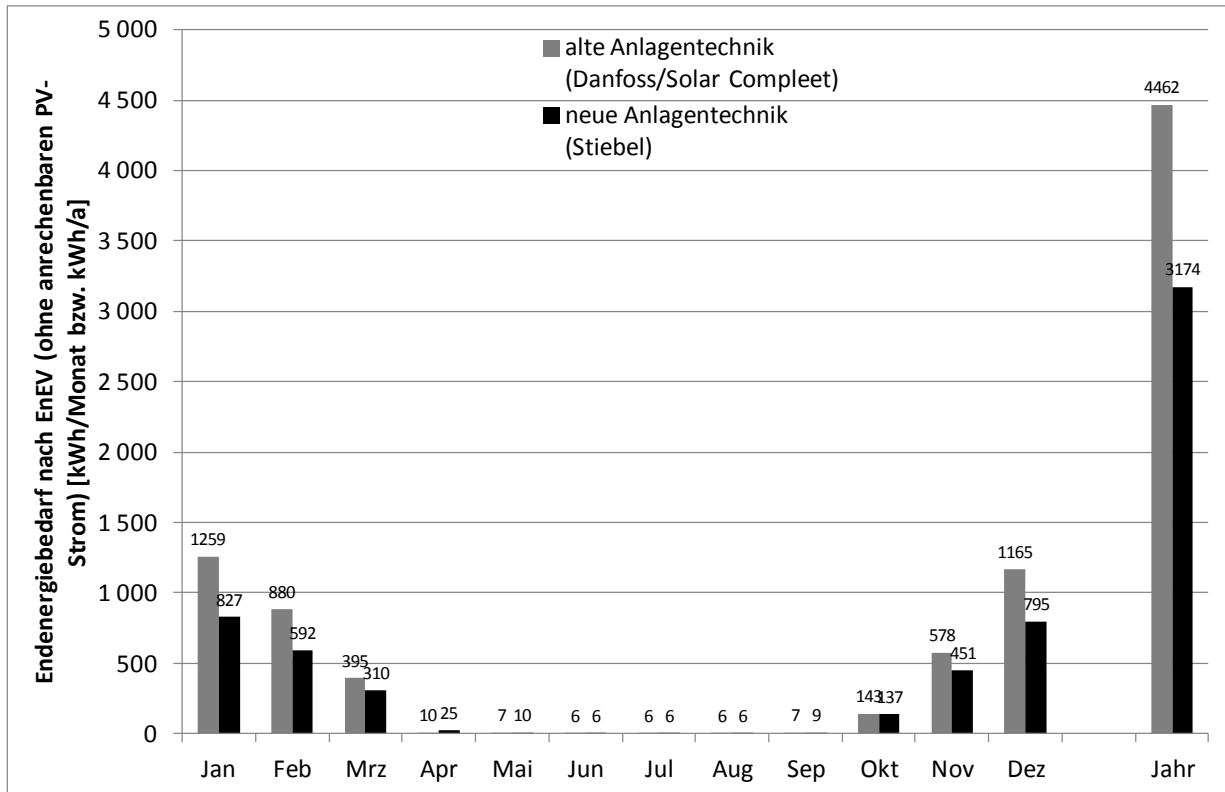


Abbildung 9: Vergleich Endenergiebedarf nach EnEV

### 1.4 Monitoringkonzept Energie

Zur Bewertung der Gebäudeperformance und für das energetische Monitoring gibt es eine Infrastruktur zur Messung von Strom- und Wärmeverbräuchen. Für die Betrachtung werden die Zählerstände von Wärmemengen- bzw. Stromzähler automatisch erfasst und weitergeleitet. Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die installierten Messstellen.

Im Zuge des zweiten Umbaus wurde der Zähler zur Erfassung des Trinkwarmwassers auf der Erzeugungsseite eingebaut. Gemessen wird seitdem die durch die Wärmepumpe erzeugte Wärmemenge für Trinkwarmwasser. Es ist somit davon auszugehen, dass ab März 2015 im Sommer geringere Werte gemessen werden, da der Wärmebedarf hauptsächlich durch die Solarthermie gedeckt wird. In den Wintermonaten ist von höheren Messwerten aufgrund von Speicherverlusten auszugehen.

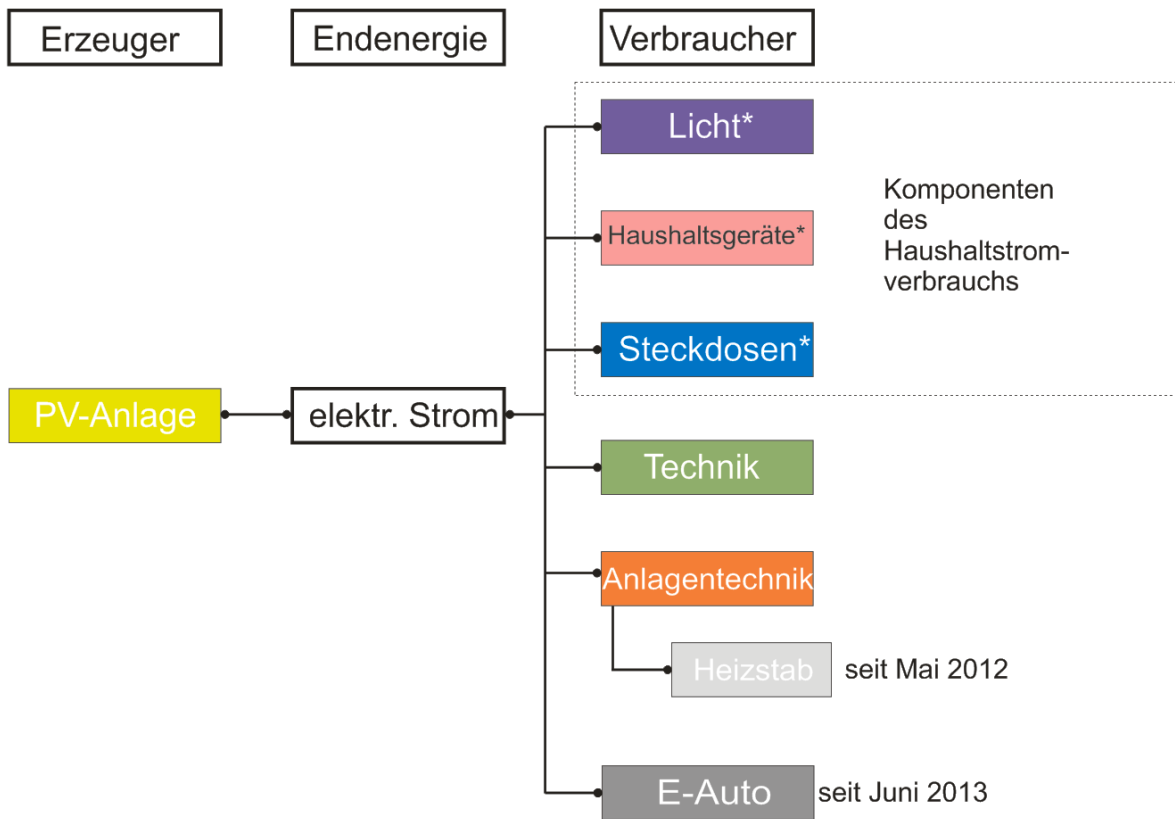


Abbildung 10: Zählerübersicht Strom

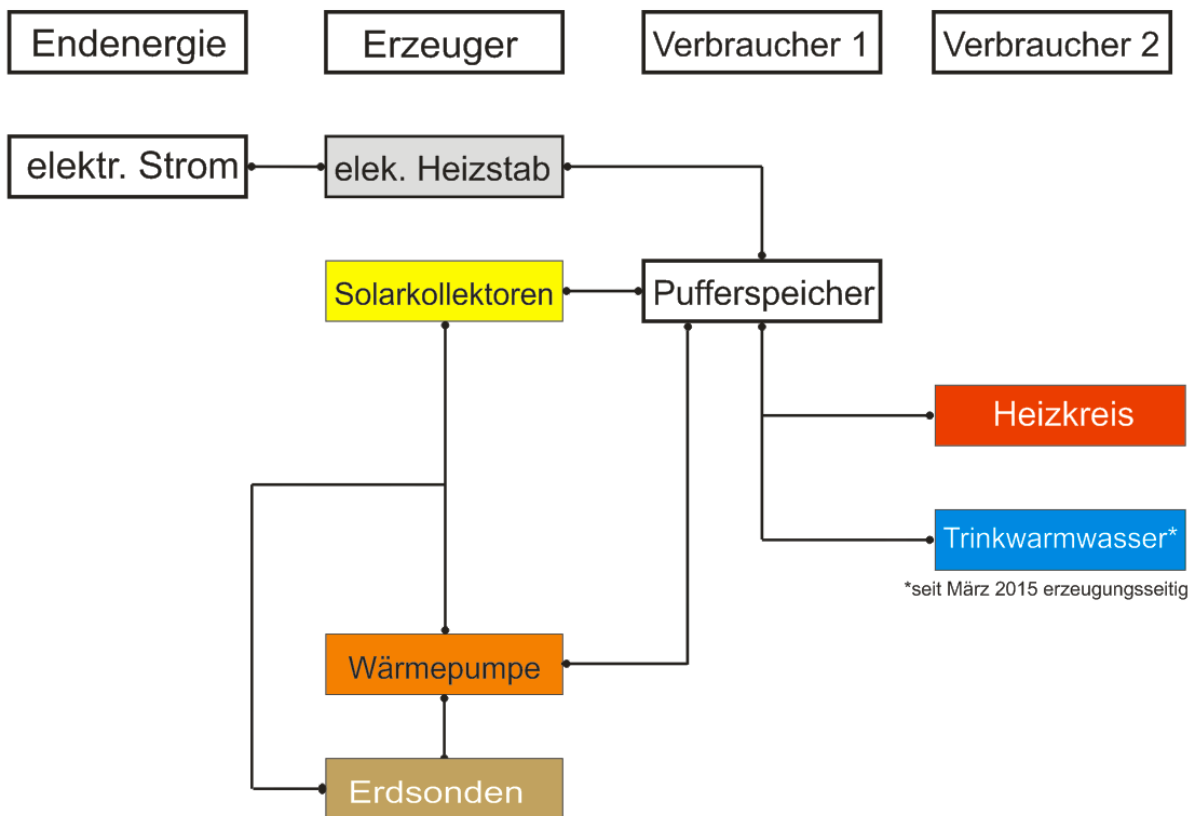


Abbildung 11: Zählerübersicht Wärme

## 1.5 Monitoringkonzept Komfort

Auf den Komfort in einem Raum haben mehrere Parameter Einfluss. Zum einen ist dies das Tageslichtangebot durch transparente Bauteile (Fenster) inkl. der resultierenden Beleuchtungsstärke aus dem natürlichen Angebot, das hier nicht weiter betrachtet wird. Entscheidende Kriterien für die Behaglichkeit sind die Parameter Raumlufttemperatur in Verbindung mit der relativen Luftfeuchtigkeit sowie der CO<sub>2</sub>-Gehalt als Indikator für die Luftqualität. Darüber hinaus wird der Gehalt flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) gemessen.

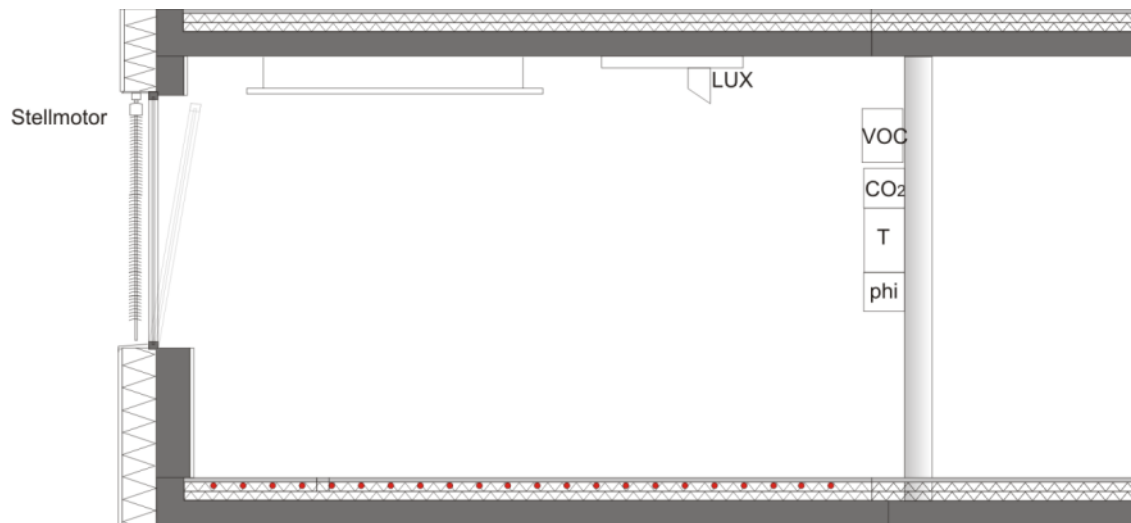


Abbildung 12: Raummodul mit Messsensoren

Weiterhin werden mittels einer Wetterstation die Außentemperatur, die relative und absolute Feuchte, der Niederschlag und die Niederschlagsmenge, die Globalstrahlung sowie die Windgeschwindigkeit gemessen.

## 2 Energetisches-Monitoring über den gesamten Zeitraum von 2011-2016

Zunächst wird die Gesamtenergiebilanz über die jeweiligen Jahre dargestellt.

Da in der Planungsphase keine E-Mobilität berücksichtigt und eine Nullenergiebilanz auf end-energetischer Ebene angestrebt wurde, ist in Abbildung 13 und Abbildung 14 E-Mobilität separat ausgewiesen. Der Zähler „Technik“ (vgl. Abbildung 10) enthält Stromverbräuche für die Messdatenaufnahme und –visualisierung (projektspezifisch), den Stromverbrauch des Systems zur automatisierten natürlichen Lüftung (Fenstersteuerung, objektspezifisch) und Strom für den Heizkreisverteiler der Fußbodenheizung.

Der Stromverbrauch „Strom zur Wärmeversorgung“ ergibt sich aus dem Stromverbrauch des Zählers „Anlagentechnik“ und einem Anteil des Zählers „Technik“ für den Fußbodenheizungs-kreisverteiler. Details finden sich in Kap. 2.1.4.

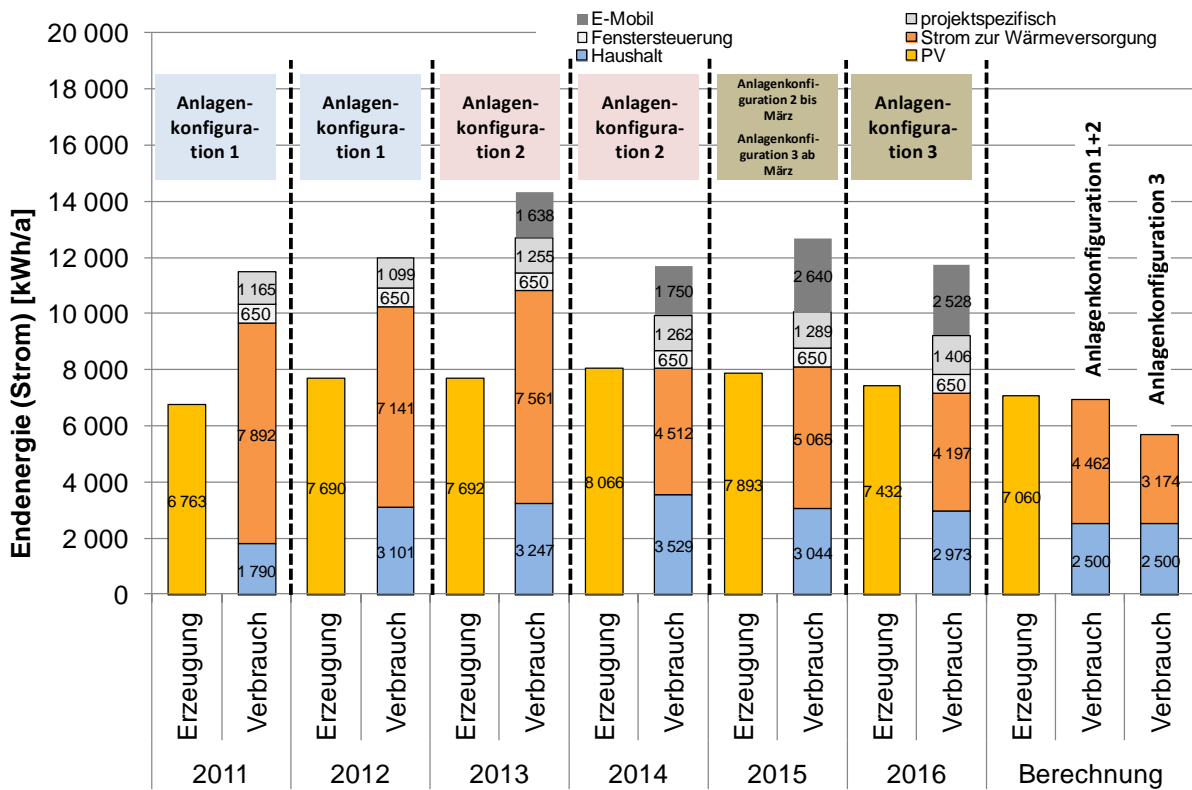


Abbildung 13: Endenergiebilanz 2011 – 2016

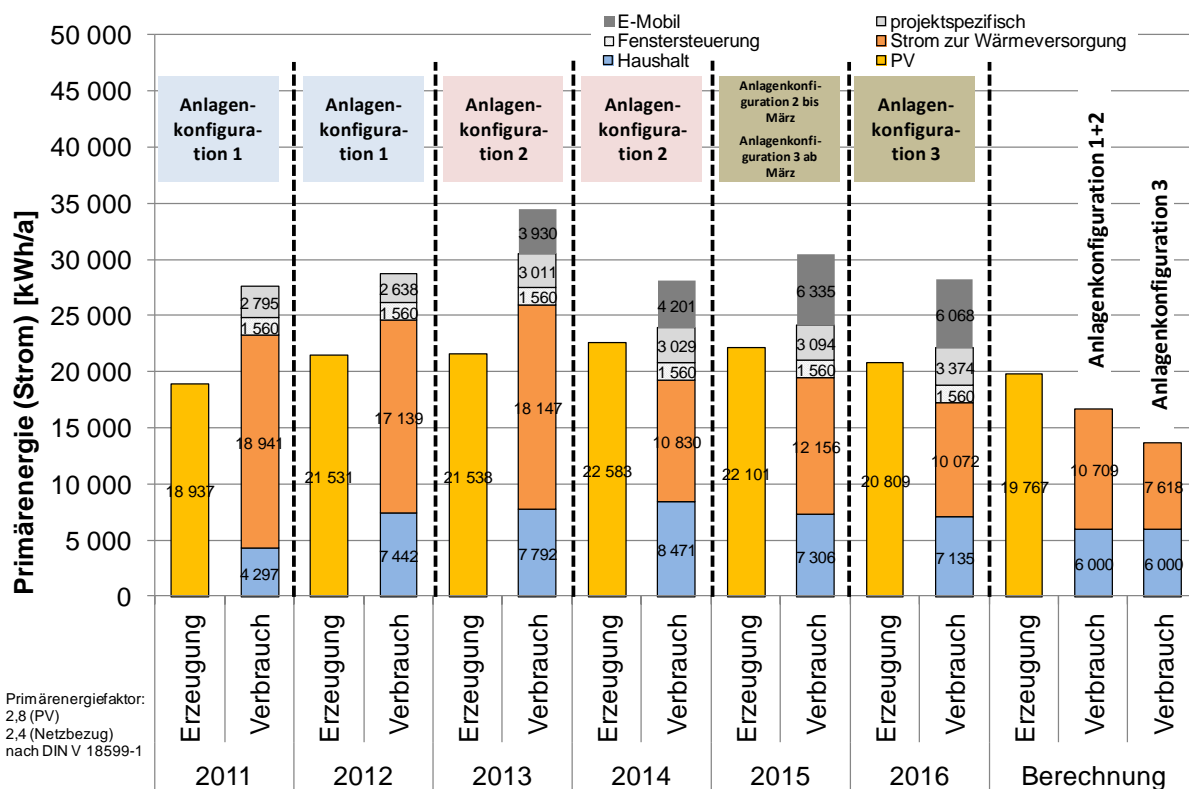


Abbildung 14: Primärenergiebilanz 2011 – 2016

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen, dass die Ziele eines Effizienzhaus Plus (negative Endenergiebilanz und negative Primärenergiebilanz) unter Berücksichtigung von Haushaltsstrom und Strom für die Wärmeversorgung ab 2014 erreicht werden. E-Mobilität wird in der Bilanz nicht betrachtet, da diese in der Planungsphase keine Berücksichtigung fand.

Im LAH wird die natürliche Lüftung automatisiert durch Stellmotoren an den Dachflächenfenstern und Oberlichtern umgesetzt. Die hohe Anzahl der Fenster hängt mit dem architektonischen Entwurf und dem Bauherrenwunsch nach Produktpräsentation zusammen.

Objektspezifisch führt dies zu einem überproportional hohen Stromverbrauch durch Standby-Verluste in Höhe von 650 kWh/a (vgl. Kap. 2.1.4). Das Prinzip der natürlichen Lüftung erhält im LAH durch die Stellmotoren ein zusätzliches Komfortmerkmal, ist aber keine Grundvoraussetzung zur Erreichung der Ziele. Der Energieaufwand ist bisher in Normen nicht enthalten und entsprechend nicht Gegenstand der Kalkulationen zur Energiebilanz. Normativ ist eine Fensterlüftung berücksichtigt, bei der keine Stromverbräuche für die Lüftung auftreten. Die Höhe der Lüftungswärmeverluste ist in der Bilanz nach DIN V 18599 nicht verringert angesetzt worden. Wird der Stromverbrauch von 650 kWh/a in die Bilanz einbezogen, wird die endenergetische Anforderung an ein Effizienzhaus Plus knapp verfehlt.

Abbildung 13 zeigt ebenfalls, dass der erfasste Stromverbrauch für die Wärmebereitstellung von 2011 bis 2013 über dem berechneten Bedarf liegt. Die Abweichungen liegen bei 72,4 % (2011) bzw. 55,5 % (2012) und 64,9 % (2013). 2014 liegt der gemessene Wert 3,4 % unterhalb der Berechnung. Begründet werden kann dies mit dem warmen Klima und dem damit geringeren Heizwärmeverbrauch. Auf die Witterungsbereinigung wird in Kapitel 2.1 näher eingegangen.

Mit der Veränderung der Anlagentechnik konnte der absolute Stromverbrauch zur Wärmeversorgung gegenüber den Jahren 2011 bis 2013 gesenkt werden. Die relativen Abweichungen

zum berechneten Bedarf liegen 2015 bei 22,3 % und 2016 bei 25,8 %. Für 2015 wurde der Bedarfswert mit 3.979 kWh/a ermittelt und ergibt sich nach Abbildung 9 aus dem Bedarf der alten Anlagentechnik bis einschließlich März und dem Bedarf der neuen Anlagentechnik ab April.

Es zeigt sich, dass der Stromverbrauch zur Wärmerversorgung durch die Implementierung einer vereinfachten Anlagentechnik (Anlagenkonfiguration 3) im Jahr 2015 sowohl absolut als auch relativ zur Bedarfsberechnung gesenkt werden konnte.

Der Haushaltsstromverbrauch liegt im Bereich von 3.000 – 3.500 kWh/a und damit über dem Ansatz von 2.500 kWh/a nach Effizienzhaus Plus [3]. Der erfasste Wert liegt im Verbrauchsverhalten von Einfamilienhäusern [6].

## 2.1 Strom

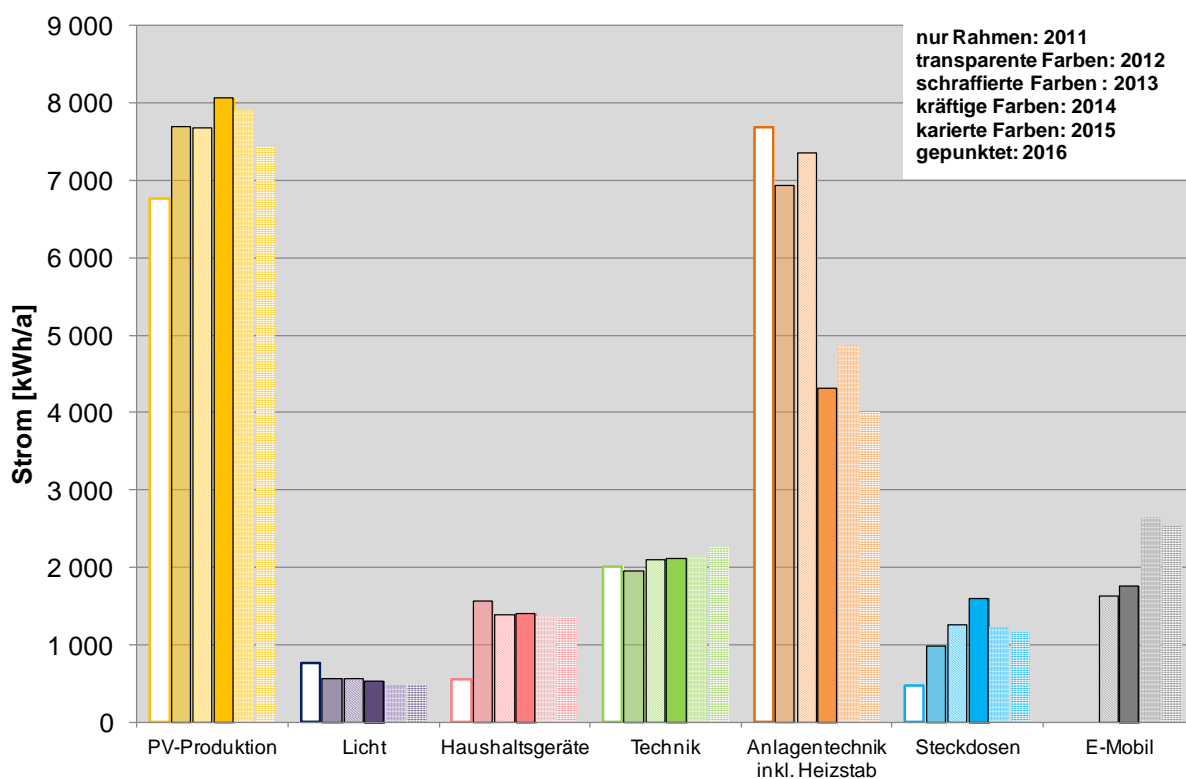


Abbildung 15: Stromverbrauch nach Art des Verbrauchers 2012-2016

Abbildung 15 zeigt den Stromverbrauch nach unterschiedlichen Kategorien. Der Haushaltstromverbrauch setzt sich aus den Kategorien „Licht“, „Haushaltsgeräte“ und „Steckdosen“ zusammen. Der Zähler Technik umfasst projektspezifische Verbräuche sowie die Fenstersteuerung und –stellmotoren sowie einen Heizkreisverteiler.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 4 die Verbräuche und die Erzeugung nach Jahren in spezifischen Werten bezogen auf eine Energiebezugsfläche von 172 m<sup>2</sup> bzw. eine Peakleistung von 8,8 kW<sub>p</sub>.



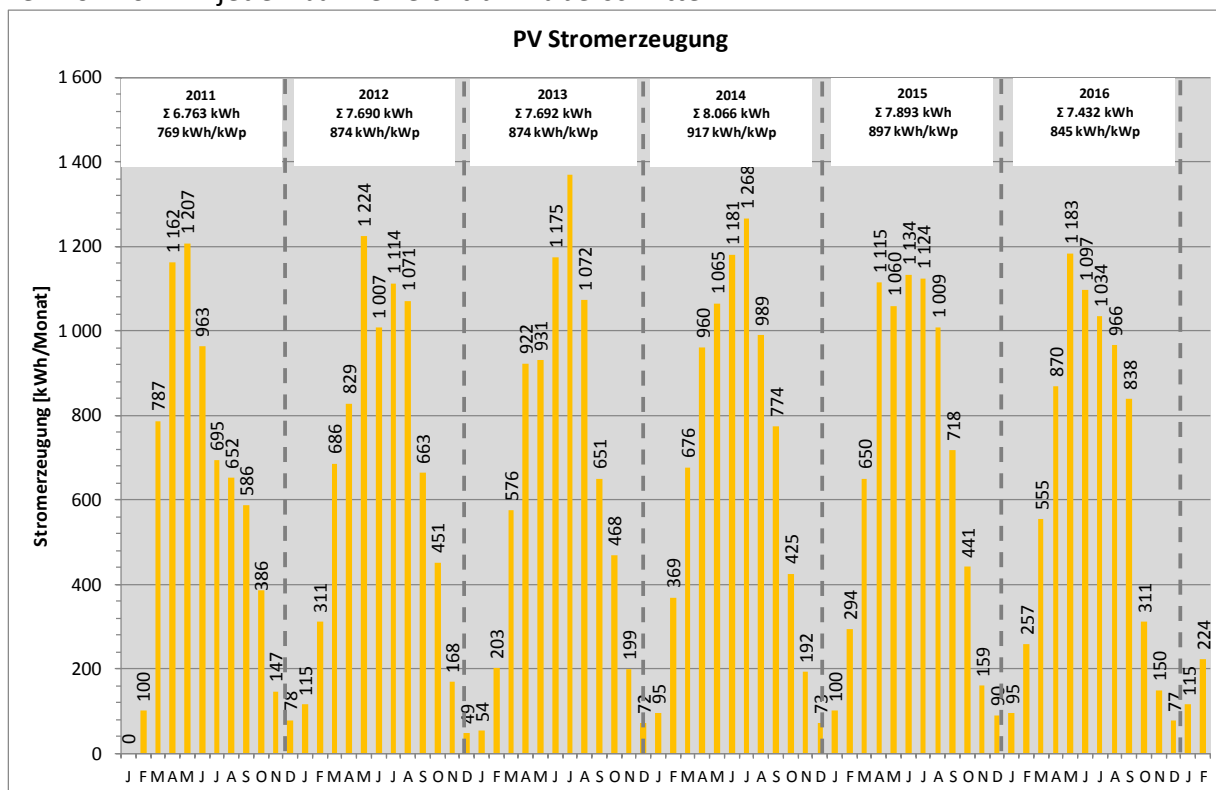
**Tabelle 4: Stromverbräuche und Stromerzeugung nach Jahren**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Licht [kWh/m²a]	4,4	3,3	3,4	3,1	2,7	2,8
Haushaltsgeräte [kWh/m²a]	3,2	9,1	8,1	8,2	7,9	7,8
Steckdosen [kWh/m²a]	2,7	5,7	7,4	9,3	7,1	6,7
<b>Haushalt gesamt</b> [kWh/m²a]	<b>10,3</b>	<b>18,1</b>	<b>18,9</b>	<b>20,6</b>	<b>17,7</b>	<b>17,3</b>
<b>Technik</b> [kWh/m²a]	<b>11,7</b>	<b>11,3</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>13,1</b>
<b>Anlagentechnik inkl.</b> <b>Heizstab</b> [kWh/m²a]	<b>44,7</b>	<b>40,4</b>	<b>42,8</b>	<b>25,1</b>	<b>28,3</b>	<b>23,2</b>
E-Auto [kWh/m²a]	0,0	0,0	9,5	10,2	15,3	14,7
<b>PV-Produktion</b> [kWh/kW <sub>p</sub> a]	<b>769</b>	<b>874</b>	<b>874</b>	<b>917</b>	<b>897</b>	<b>845</b>

Die deutlichen Abweichungen im Jahr 2011 gegenüber den anderen Jahren sind damit zu erklären, dass das Gebäude erst im Dezember 2011 bezogen wurde. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde das Gebäude nach Fertigstellung als Demonstrationsprojekt gezeigt und war nicht bewohnt. Daher ist der Stromverbrauch an den Steckdosen und der der Haushaltsgeräte deutlich geringer, der Beleuchtungsstromverbrauch aufgrund von Marketingzwecken höher.

2.1.1 Stromerzeugung/ PV-Ertrag

Es gab keine Probleme mit der PV-Anlage. Der Planungswert von 7.060 kWh/a wurde abgesehen von 2011 in jedem Jahr erreicht bzw. überschritten.



**Abbildung 16: Übersicht monatlicher PV-Ertrag 2011- Feb 2017**

Bezogen auf die gemessene Globalstrahlung auf die Horizontale ergeben sich jährliche Wirkungsgrade der PV-Anlage von 9,6 % (2011) bis 13 % (2015). Unter Berücksichtigung der technischen Daten (8,8 kWp bei 75 m²) liegen die Wirkungsgrade in einem zu erwartenden Bereich.

## 2.1.2 Haushaltsstrom

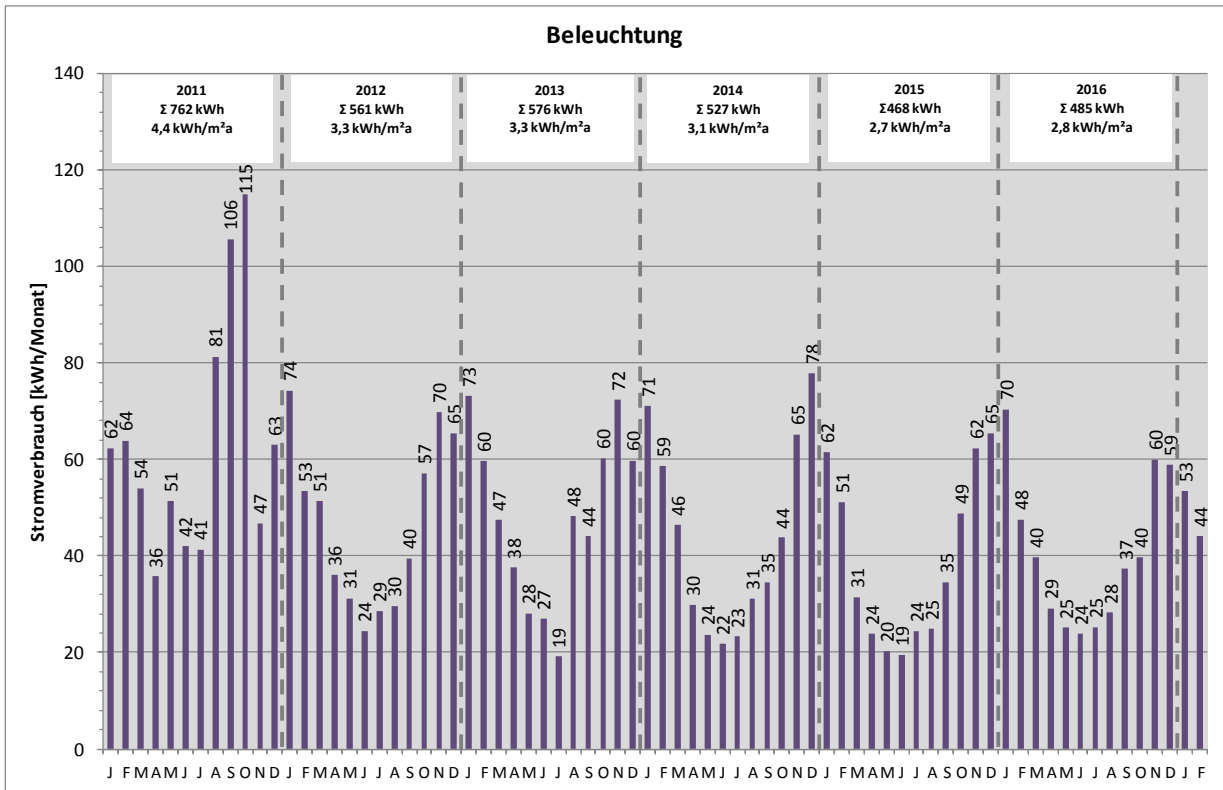


Abbildung 17: Übersicht monatlicher Beleuchtungsstrom 2011- Feb 2017

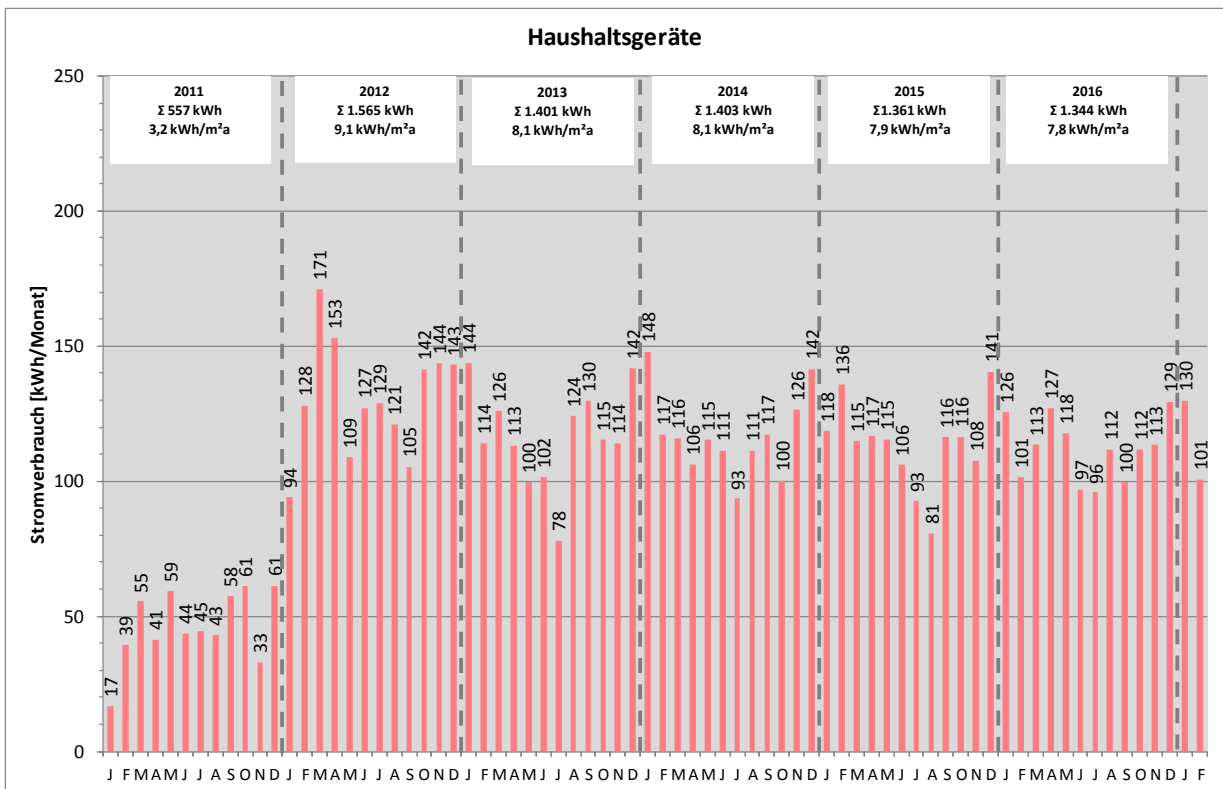


Abbildung 18: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Haushaltsgeräte 2011- Feb 2017

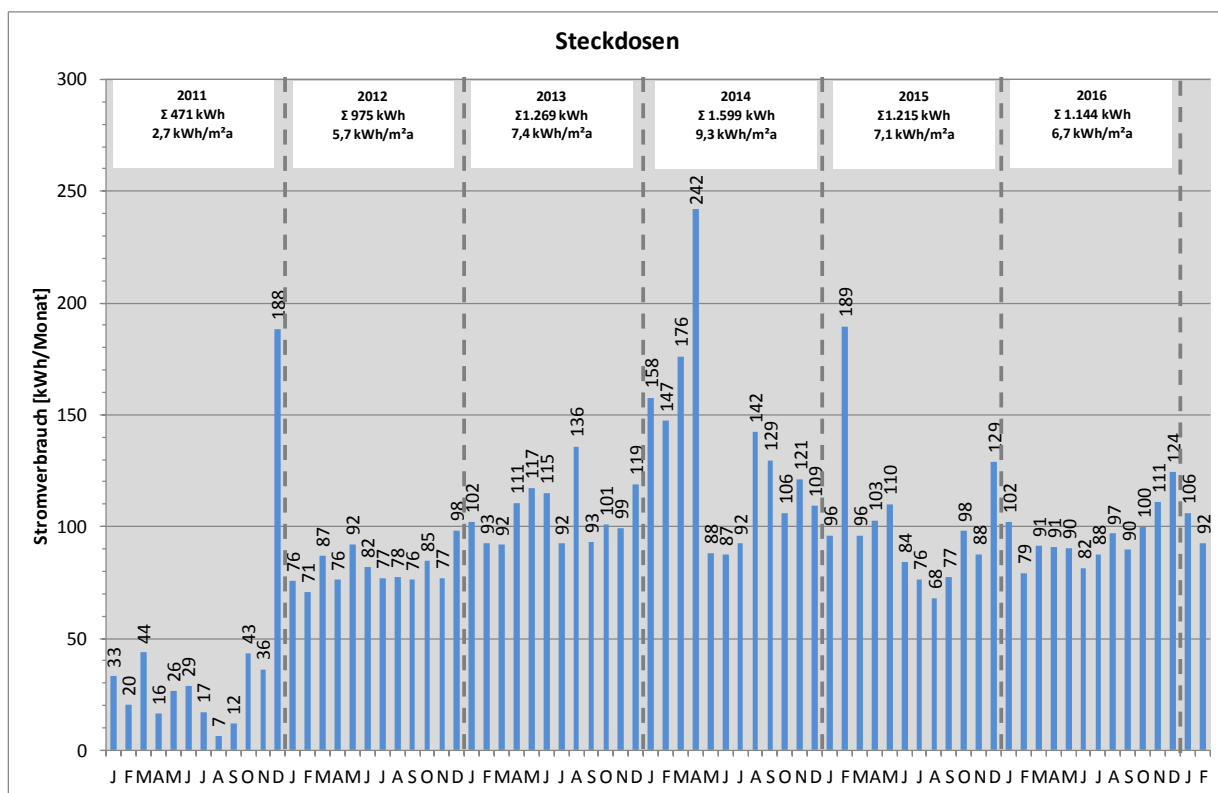


Abbildung 19: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Steckdosen 2011- Feb 2017

Es ist zu erkennen, dass der Verbrauch von Haushaltsgeräte und Licht über die Jahre konstant ist, während an den Steckdosen unterschiedlich viel Strom genutzt wurde. Der Grenzwert von 20 kWh/(m²a) der Effizienzhaus Plus Kriterien wird eingehalten, der absolute Stromverbrauch ist jedoch, wie bereits erwähnt, höher als 2.500 kWh/a [3].

Der Beleuchtungsstromverbrauch liegt im Bereich von 3 kWh/(m²a) und zeigt aufgrund der großen Tageslichtverfügbarkeit im Gebäude starke jahreszeitliche Schwankungen.

### 2.1.3 Anlagentechnik

Der größte Stromverbraucher ist die Anlagentechnik, also die Wärmepumpe und die Peripherie (Umwälzpumpen etc.). Inkludiert ist im gemessenen Verbrauch auch der Stromverbrauch des Heizstabs als Backup-System.

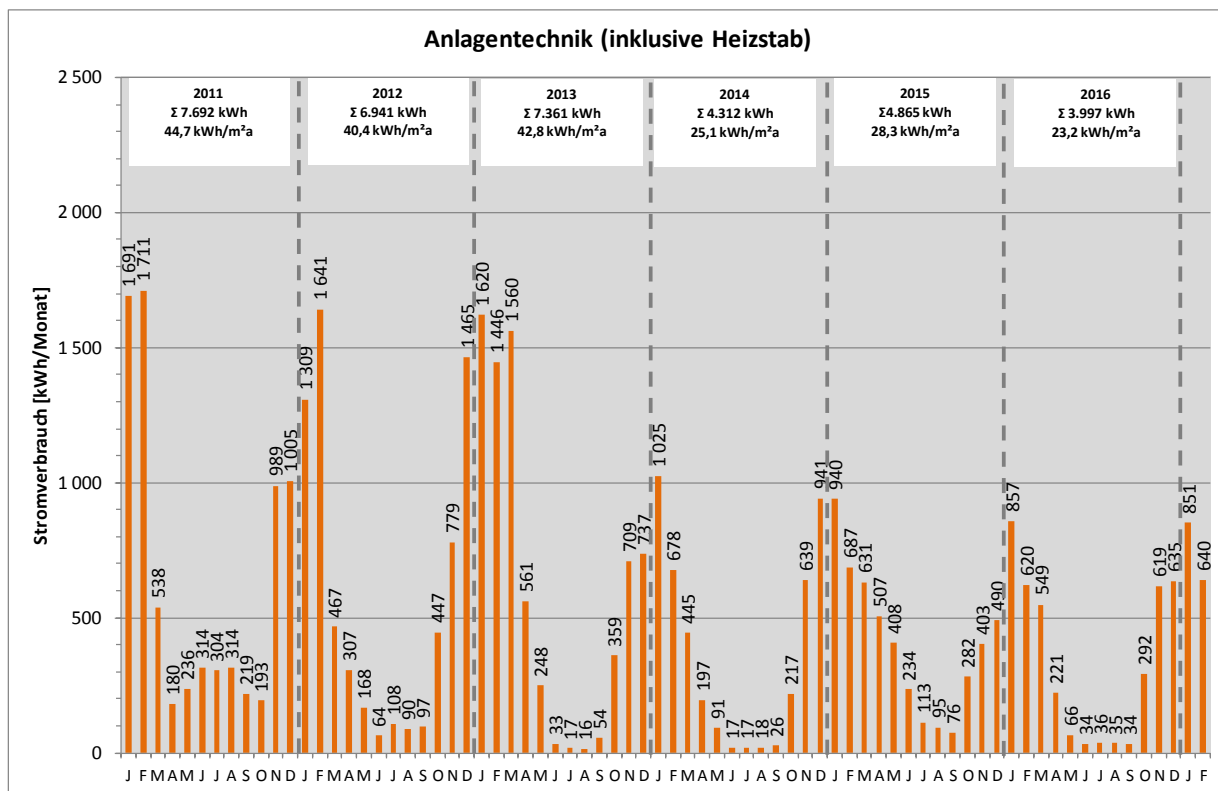


Abbildung 20: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Anlagentechnik 2011- Feb 2017

In den ersten Heizperioden 2011, 2011/2012 und 2012/2013 ist ein sehr hoher Stromverbrauch der Anlagentechnik vorhanden, der deutlich von den geplanten Werten abweicht. Die Abweichungen sind zum einen anlagentechnisch und klimatisch bedingt. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen und geringer Sonneneinstrahlung steht dem Versorgungssystem (Anlagenkonfiguration 1) keine nutzbare Wärmequelle zur Verfügung und das Gebäude wird mittels Heizstab direkt elektrisch beheizt, sodass die Gesamtsystemeffizienz gering ist. Durch die Nachrüstung eines Stromzählers für den Heizstab im Mai 2012 konnte der Anteil des Heizstabbetriebs ausgewertet werden.

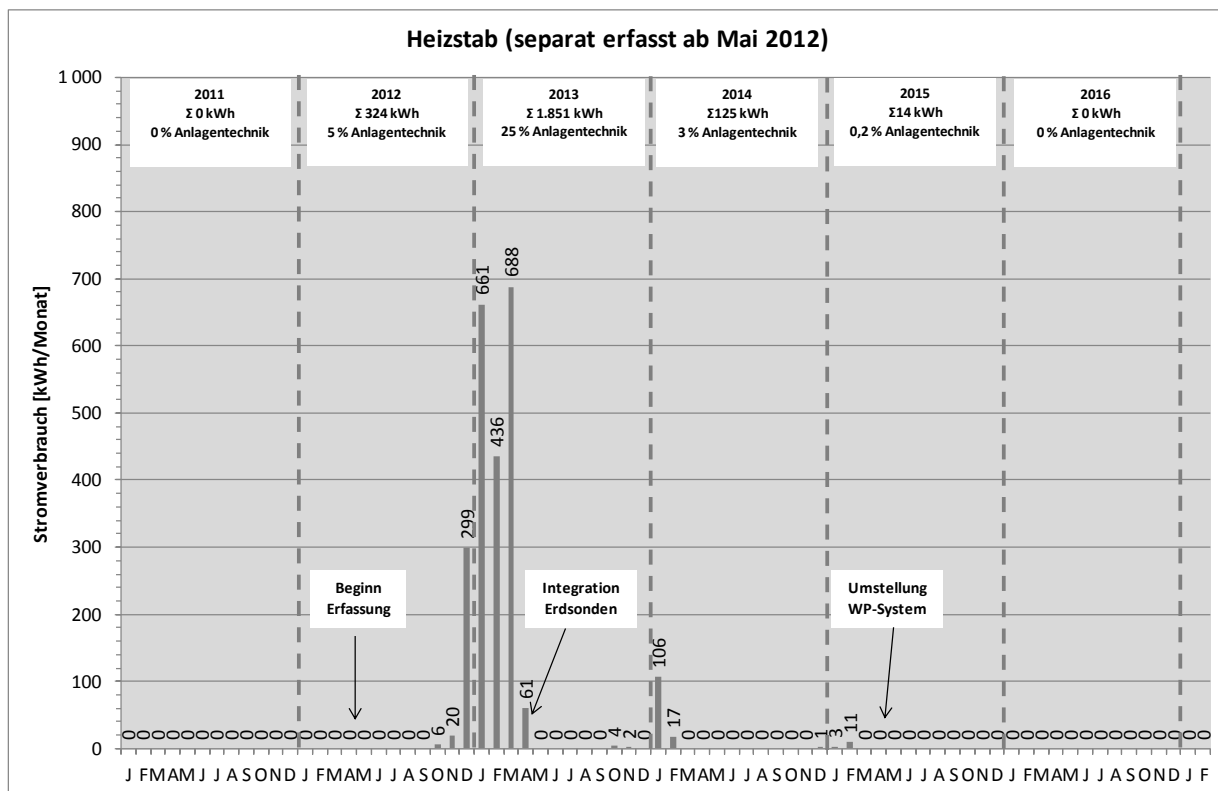


Abbildung 21: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Heizstab 2011- Feb 2017

Es ist zu erkennen, dass in kalten Monaten der Heizstab einen nicht unerheblichen Anteil der Wärmeversorgung übernehmen muss (Winter 2012/2013). Durch die Integration der Erdwärmesonden konnte der Heizstabbetrieb vermieden werden (ab Apr 2013). Hieraus folgt, dass ab 2014 der Strombedarf in der Jahressumme deutlich niedriger ist.

2014 war allerdings auch ein mildes Jahr, sodass der Rückgang des Stromverbrauchs auch mit dem Klima zu begründen ist.

Zur Bewertung des klimatischen Einflusses dient das Gradtagszahlverhältnis, bei dem die Gradtagszahl des aktuellen Jahres auf das langjährige Mittel bezogen wird. Genutzt werden die Daten für den Standort Hamburg-Fuhlsbüttel, die vom Institut für Wohnen und Umwelt zur Verfügung gestellt werden. Die Daten zeigt Abbildung 22.

Ist das Gradtagszahlverhältnis kleiner als 1, war das betrachtete Jahr im Schnitt wärmer als das langjährige Mittel und der zu erwartende Heizwärmeverbrauch und damit auch der zu erwartende Stromverbrauch der Wärmepumpe ist entsprechend geringer.

Zur Vollständigkeit sind auch die Jahresdurchschnittstemperaturen sowie die durchschnittlichen Temperaturen an Heiztagen dargestellt.

Der Anstieg des Stromverbrauchs 2015 im Vergleich zu 2014 ist zum einen damit zu begründen, dass 2014 milder als 2015 war ( $G_{19/12}$  0,81 zu 0,91).

Zum anderen gab es Probleme bei der Regelung der Regeneration des Erdreichs durch die Solarthermiekollektoren, was eine erhöhte Laufzeit der Wärmepumpe zur Folge hatte (vgl. sommerliche Verbräuche der Anlagentechnik in Abbildung 20).

Nach Optimierung der Regelung (Anpassung der Solesolltemperatur, nach der die Regeneration des Erdreichs gesteuert wird) ist der Stromverbrauch deutlich gesunken (Jahr 2016).

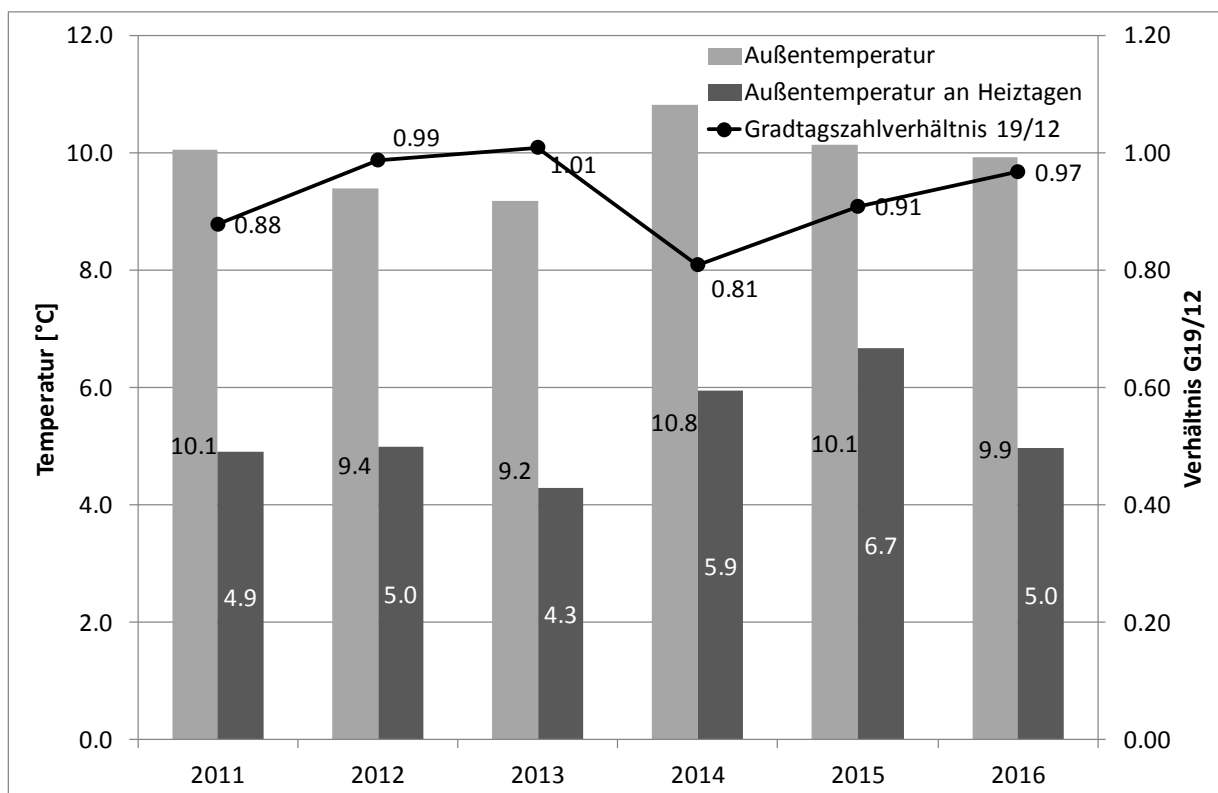


Abbildung 22: Temperaturen und Gradtagszahlverhältnisse nach IWU auf Basis von Daten des DWD [4]

Werden die Jahre 2012, 2014 und 2016 verglichen, so ist zu erkennen, dass der Umbau der Anlagentechnik zu einem einfacheren System gelungen ist, da der Gesamtstromaufwand sowohl bei ähnlichen (2016 zu 2012) als auch bei schlechteren klimatischen (2016 zu 2014) Verhältnissen in der Heizperiode gesunken ist (vgl. Abbildung 15).

#### 2.1.4 Zähler Technik

Ein weiterer Großverbraucher sind die Komponenten, die im Zähler Technik zusammengefasst sind. Zu den Komponenten gehören die Steuerung und der Antrieb der automatisierten Fensterlüftung, die Messtechnik inkl. Sensorik und Datenübertragung, die Steuerung der Fußbodenheizung inkl. Heizkreisverteiler sowie zwei Informationsbildschirme für die Gebäudenutzer. Insgesamt sind es also drei Anteile: projektspezifisch (Messdatenaufnahme und Darstellung für den Nutzer), objektspezifisch (Steuerung und Antrieb der automatisierten natürlichen Lüftung) und Steuerung der Fußbodenheizung.

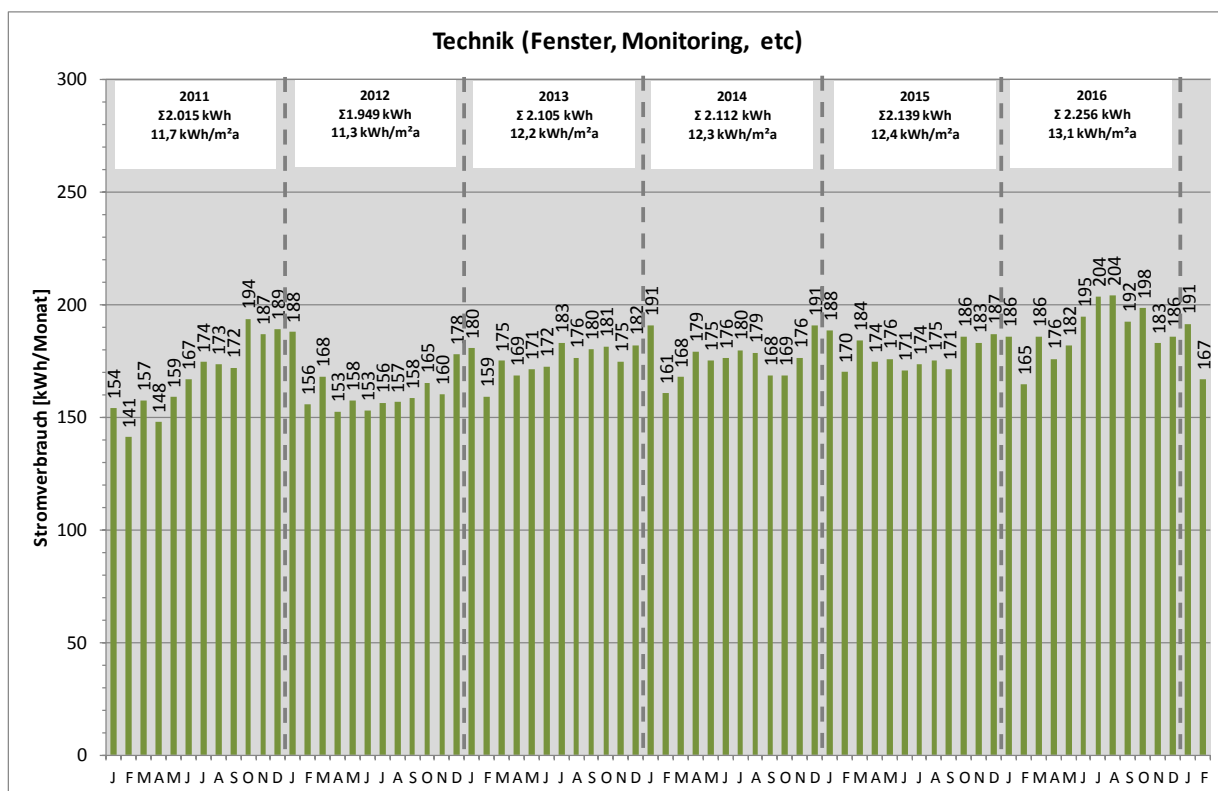


Abbildung 23: Übersicht monatlicher Stromverbrauch Technik 2011- Feb 2017

Der Stromverbrauch liegt durchschnittlich bei 180 kWh/Monat. Einen großen Anteil haben hier die Fenstersteuerung und die Stellmotoren der Fenster. Die Standby-Leistung aller verbauten Fenster (Anzahl angeben) liegt nach Aussagen der Fa. Velux bei 65 Watt. Dies führt zu einem Stromverbrauch von ca. 650 kWh/a (Standby 570 kWh/a + Motorbetrieb 80 kWh/a) und macht damit schon ¼ des Stromverbrauchs vom Zähler Technik aus. Der Stromverbrauch für die Steuerung der Fußbodenheizung wird mit 200 kWh/a angesetzt.

### 2.1.5 E-Mobilität

Im Jahr 2013 ist den Bewohnern des Hauses ein Elektroauto zur Verfügung gestellt worden. Es handelte sich um einen Peugeot iOn. Das Elektroauto erweiterte das Projekt um eine Dimension, da in Zukunft davon ausgegangen werden kann, dass insbesondere Elektroautos als Zwischenspeicher Teil eines Smart Grid sein werden. Im April 2014 ist dieses Auto zurückgegeben worden und wurde im September 2014 durch einen Mitsubishi Outlander PHEV ersetzt. Die Funktion des bidirektionalen Ladens, die durch das Auto unterstützt wird, wurde nicht implementiert, sodass ausgeschlossen werden kann, dass extern an einer Ladesäule bezogener Strom zur Deckung des Strombedarfs des Gebäudes genutzt wird. Im Oktober 2016 wurde das Auto zurückgegeben.

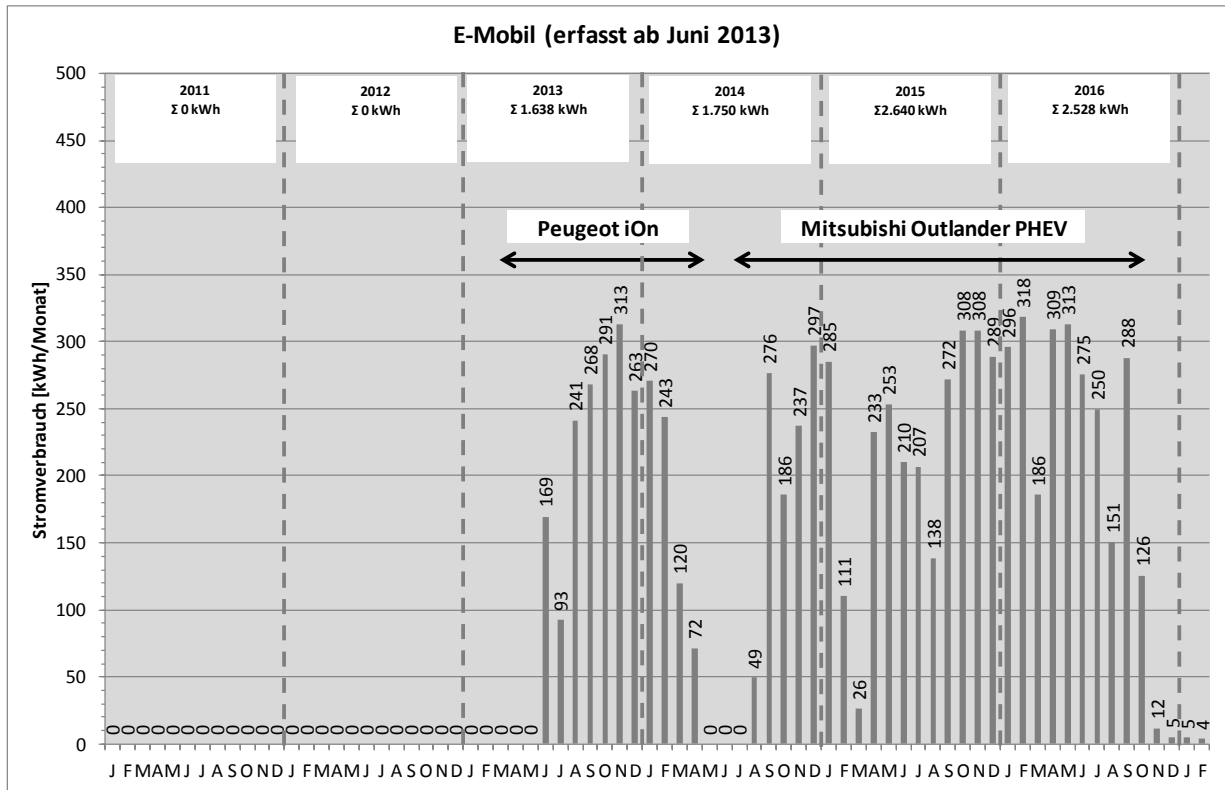


Abbildung 24: Übersicht monatlicher Stromverbrauch E-Mobilität 2011- Feb 2017

Der Verbrauch des E-Autos stellt einen zusätzlichen Verbraucher dar, der etwa so hoch ist wie der Haushaltsstromverbrauch (Beleuchtung + Haushaltsgeräte + Steckdosen).

Verbräuche im August 2014 sowie November und Dezember sind durch andere Geräte (z.B. eine Außenbeleuchtung) bedingt, die an der Steckdose genutzt wurde.

Die elektrisch zurückgelegten Strecken liegen bei einem angesetzten Verbrauch von etwa 17 kWh/100 km zwischen 10.000 bis 15.000 km/a.

## 2.2 Wärme

### 2.2.1 Wärmeabnahme

Zunächst wird betrachtet, wie hoch die Wärmeverbräuche in den Jahren 2011-2016 bezogen auf die Energiebezugsfläche von 172 m<sup>2</sup> waren.



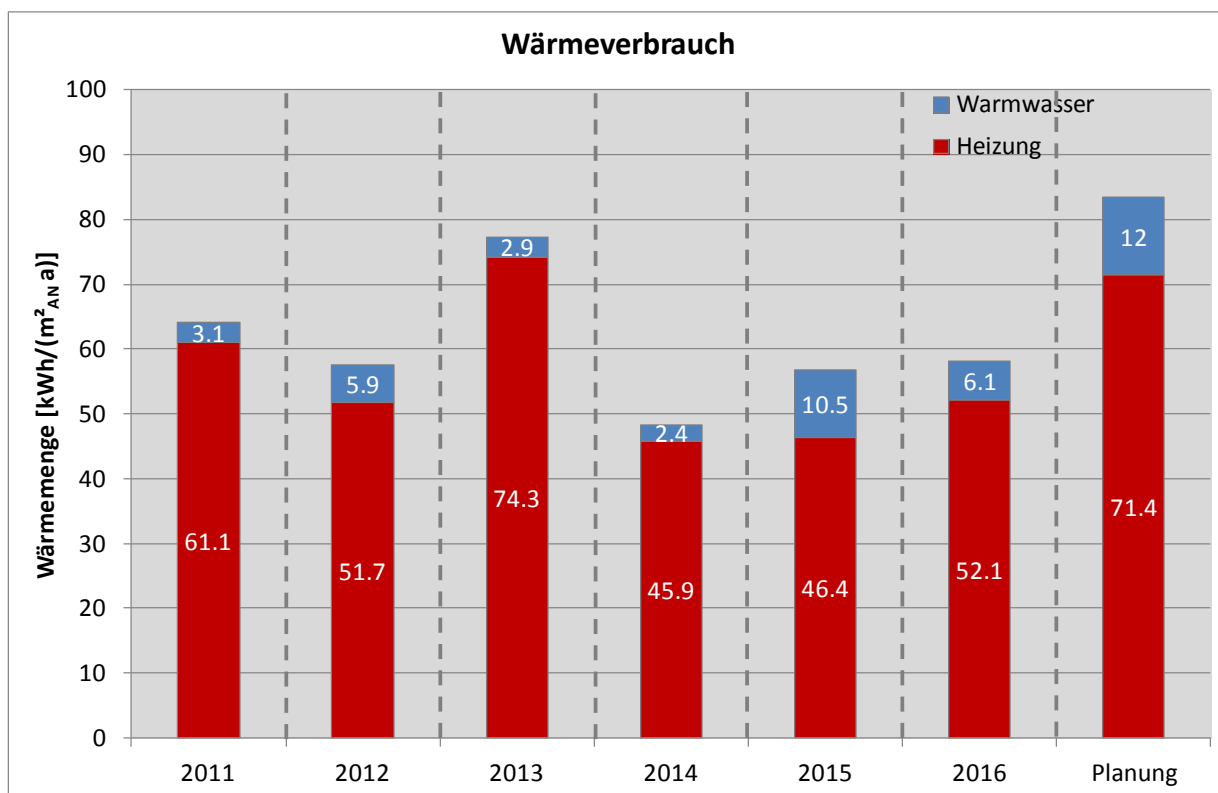


Abbildung 25: Vergleich Wärmeverbräuche 2011-2016\*;

\*:siehe Anhang

Es ist zu erkennen, dass der Wärmeverbrauch in den Jahren 2014, 2015 und 2016 insgesamt deutlich niedriger war als 2011 bis 2013. Bedingt ist dies im Jahr 2014 durch das warme Klima (vgl. Abbildung 22) und dementsprechend geringen Wärmeverbrauch. Eine klimabereinigte Darstellung der Verbräuche zeigt Abbildung 26. Der erhöhte Verbrauch im Jahr 2013 ist durch das sehr kalte erste Jahresdrittel zu erklären.

2015 waren die Temperaturen in der Heizperiode etwas niedriger als in den Vorjahren. Hierauf wird in der Komfortauswertung im späteren Verlauf eingegangen.

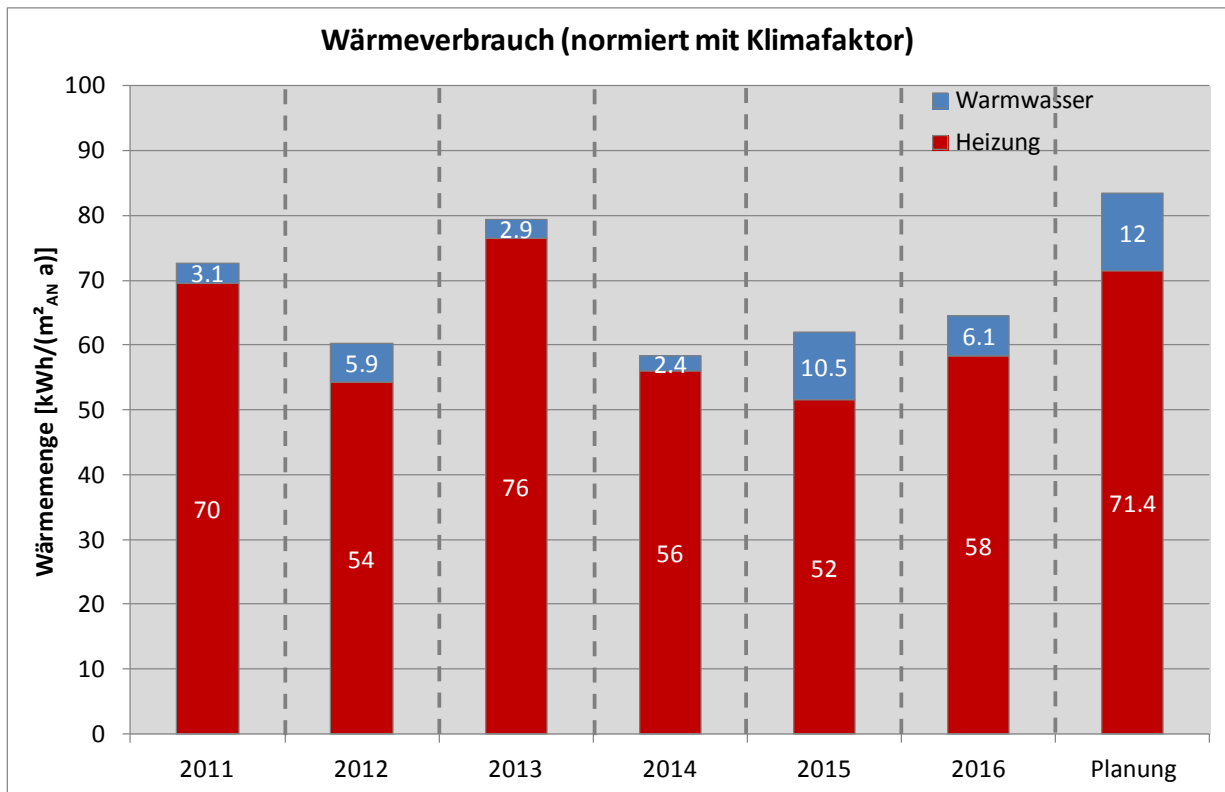


Abbildung 26: Übersicht normierte Wärmeverbräuche mit Klimafaktor nach IWU für den Standort Würzburg [4]

Während des zweiten Umbaus im März 2015 wurde der Wärmemengenzähler Trinkwarmwasser auf die Erzeugungsseite versetzt. Gemessen wird seitdem, wie viel Wärme auf hohem Temperaturniveau durch die Wärmepumpe erzeugt wird.

Es wird deutlich, dass die erzeugte Wärmemenge insbesondere 2015 deutlich höher ist als der Verbrauch, der in den Jahren zuvor gemessen wurde.

Dies hat zwei Gründe.

Zum einen war die Funktion der Erdreichregeneration 2015 noch nicht richtig implementiert. Durch die fehlerhafte Regelung der Solltemperatur für die Erdsonden wurde der Wärmespeicher abgekühlt. Stand kein Solarertrag zur Verfügung, fiel die Speichertemperatur unter die Solltemperatur, sodass die Wärmepumpe Wärme erzeugen musste.

Der zweite Grund sind Speicherverluste.

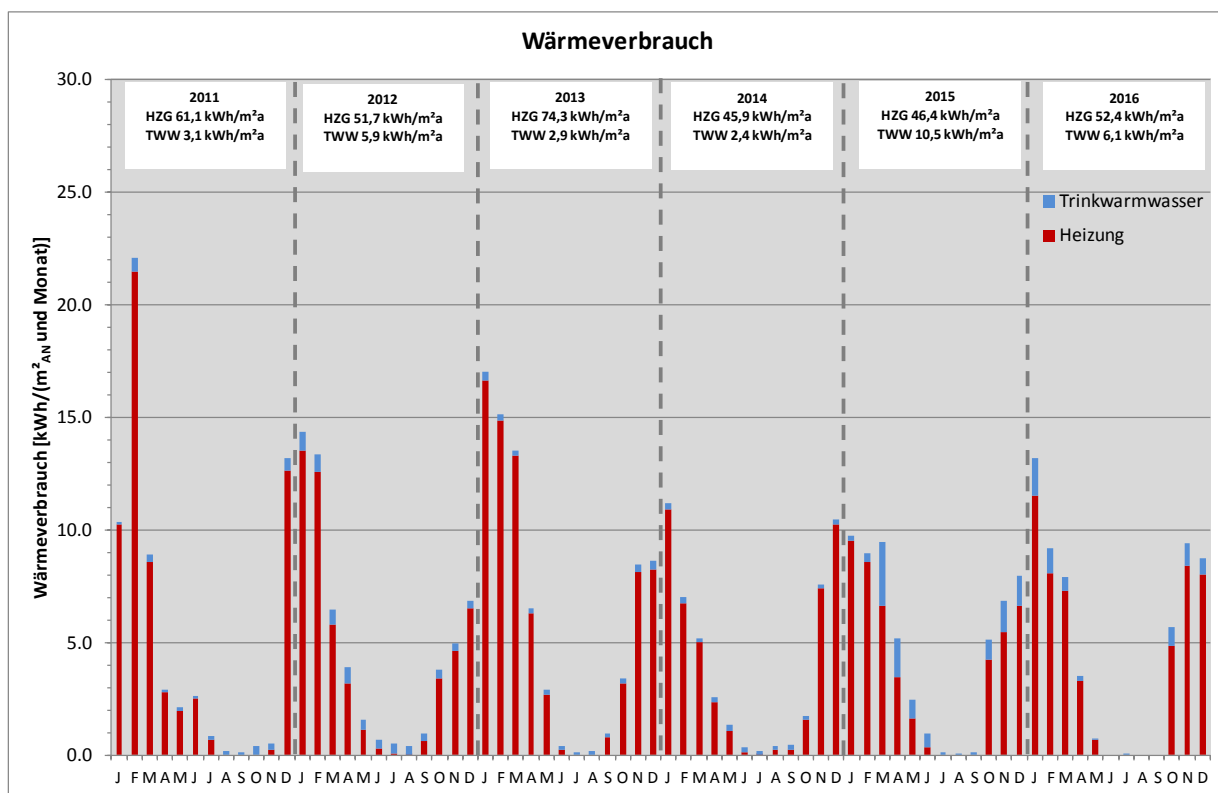


Abbildung 27: Übersicht monatlicher Wärmeverbrauch 2011-2016\*

\*:siehe Anhang

Insgesamt lässt sich auf Basis der Messwerte festhalten, dass der Wärmeverbrauch sowohl für die Heizung als auch für Trinkwarmwasser etwas unterhalb des kalkulierten Niveaus liegt.

### 2.2.2 Wärmebereitstellung

Abbildung 28 zeigt die monatlichen Erträge aus der Solarthermie bezogen auf die installierte Fläche. Gemessen wurden die Erträge selbst, nicht die Verwertung bzw. Nutzbarkeit.

Der Verlauf ist in den Jahren 2012, 2013, 2014 und 2016 sehr ähnlich. Im Jahr 2015 sind die Erträge verglichen mit den anderen Jahren sehr hoch.

Dies lässt sich mit der Regelung der Erdreichregeneration begründen. Nach dem Umbau der Wärmepumpe in 2015 wurde ein Regler implementiert, bei dem die Temperatur der Erdsonden überprüft wird.

Fällt die Temperatur unter den eingestellten Schwellenwert, wird Wärme aus dem Wärmespeicher ins Erdreich gebracht und somit freie Kapazität im Wärmespeicher für die Solarthermie geschaffen.

Zu Problemen führt die Regelung insbesondere im Sommer in der Hinsicht, dass bei zu hoch eingestellten Werten der Solesolltemperatur Wärme aus dem Wärmespeicher unabhängig vom aktuellen Solarertrag in das Erdreich eingebracht wird. Die Folge ist, dass die Speichersolltemperatur unterschritten wird und die Wärmepumpe in Betrieb geht. In den Sommermonaten 2015 gab es aufgrund dieser Regelung in den Nachtstunden einen Wärmepumpenbetrieb, sodass der Stromverbrauch der Anlagentechnik vergleichsweise hoch war (Abbildung

20) und gleichzeitig der Solarertrag extrem stieg, da tagsüber freie Kapazitäten im Wärmespeicher geschaffen wurden.

Im Laufe des Jahres 2015 und 2016 wurde die Regeltemperatur im Regler sukzessive gesenkt, sodass ein Kompromiss zwischen Regeneration des Erdreichs und Stromverbrauch der Anlagentechnik gefunden werden konnte. Dennoch ist hier ein Punkt zur Optimierung gegeben, da im Optimalfall ein Regler verwendet werden sollte, der den aktuellen Solarertrag berücksichtigt.

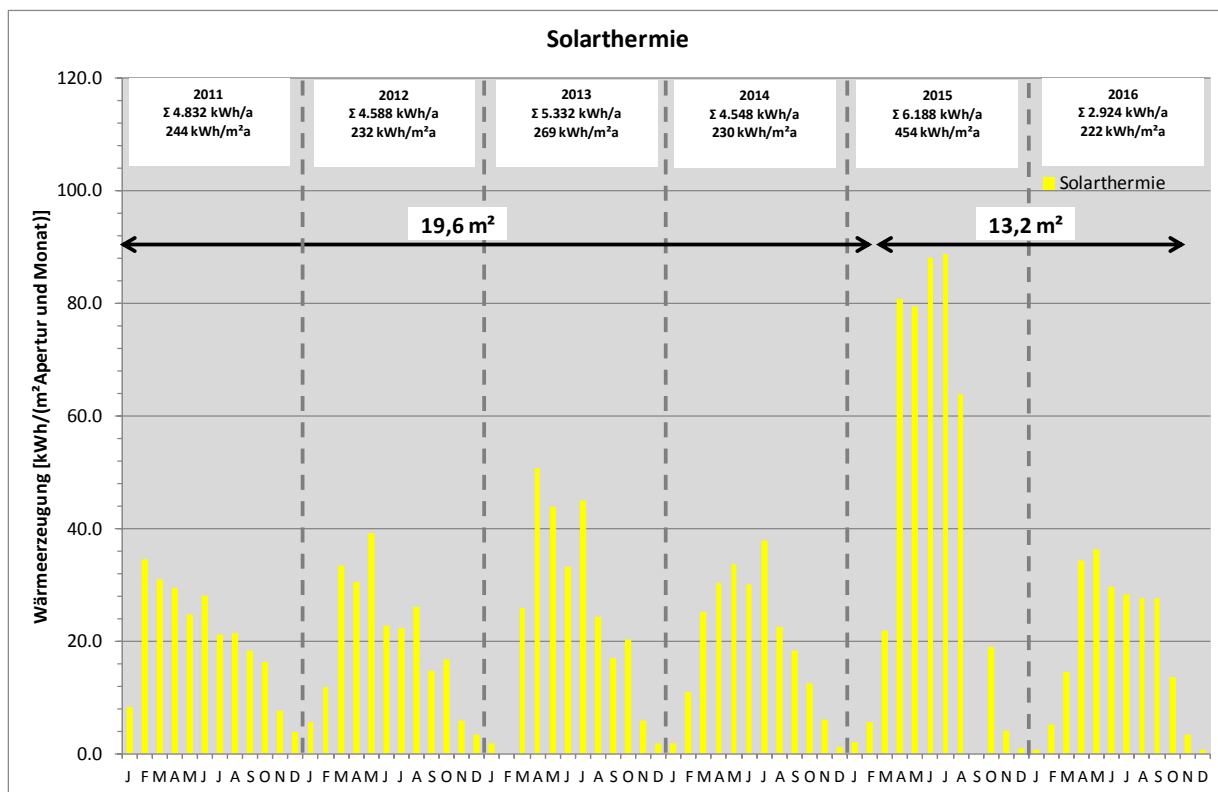
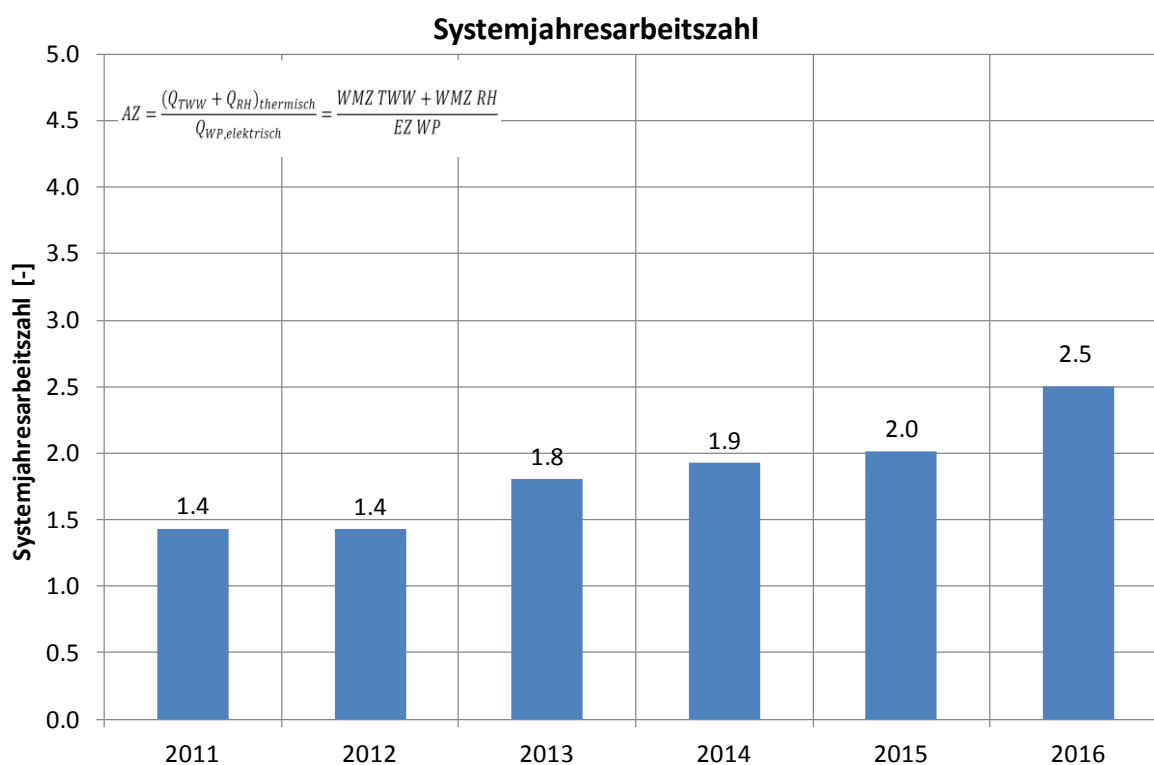


Abbildung 28: Übersicht monatlicher Ertrag Solarthermie 2011-2016

### 2.3 Systemeffizienz

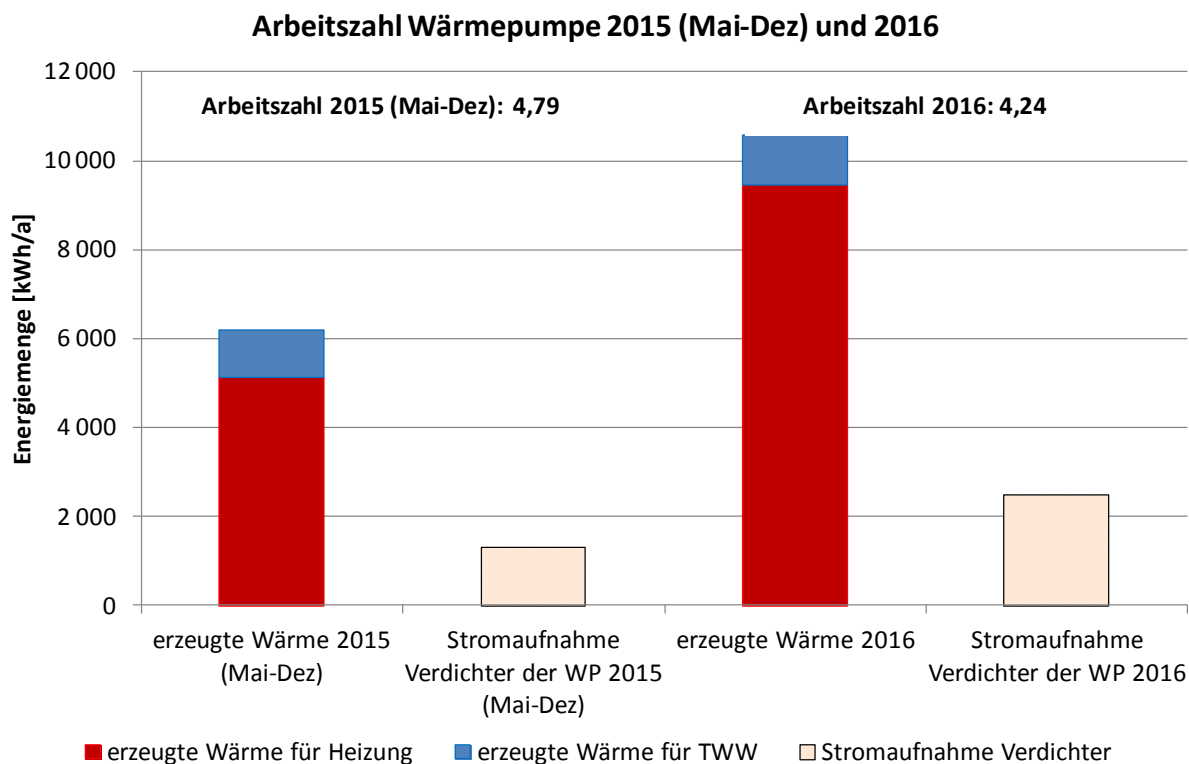
Wird die Wärme für Heizung und Trinkwarmwasser (vgl. Abbildung 25) auf den Stromverbrauch der Anlagentechnik bezogen, so ergeben sich Systemarbeitszahlen im Bereich von 1,4 (2011) bis 2,5 (2016). In der Systemarbeitszahl sind alle Stromverbräuche für das Heizen inkl. Steuerung und Umwälzpumpen und alle Wärmeverluste berücksichtigt. Durch diesen Bilanzrahmen ist keine Vergleichbarkeit mit den Herstellerangaben der Jahresarbeitszahl gegeben.



**Abbildung 29: Systemjahresarbeitszahlen von 2011 bis 2016**

Durch die Umstellung des Systems von Anlagenkonfiguration 2 auf Anlagenkonfiguration 3 und den damit verbundenen Austausch der Wärmepumpe konnte durch ein vom Hersteller bereitgestelltes Online-Portal auch ermittelt werden, wie hoch die produzierte Wärme durch die Wärmepumpe und wie groß der Energieverbrauch durch den Verdichter der Wärmepumpe war. Diese Daten standen ab Mai 2015 zur Verfügung.

Mit Hilfe dieser Daten kann die Arbeitszahl der Wärmepumpe selbst ohne Stromverbräuche durch die Peripherie ermittelt werden. Die Arbeitszahlen liegen bei 4,79 für den Zeitraum Mai bis Dezember 2015 und bei 4,24 im Jahr 2016.



**Abbildung 30: Arbeitszahl der Wärmepumpe auf Basis Stromaufnahme und erzeugte Wärme aus dem Online-Portal**

Es kann festgehalten werden, dass der Stromverbrauch der Anlagentechnik durch die Anpassung auf ein vereinfachtes System (Anlagenkonfiguration 3) gesunken ist (vgl. Abbildung 15). Bei ähnlichen klimatischen Verhältnissen 2012 und 2016 ist der Stromverbrauch der Anlagentechnik um 42 % gesunken. Dies ist zum einen mit dem Vermeiden eines Stromdirektheizungsbetriebs über den Heizstab zu begründen, zum anderen durch eine höhere Effizienz des Gesamtsystems. Durch die Integration der Erdsonden im Jahr 2013 (Anpassung von Anlagenkonfiguration 1 auf Anlagenkonfiguration 2) konnte die Systemarbeitszahl von 1,4 auf 1,8 (2013) bzw. 1,9 (2014) gesteigert werden. Der Umbau des Systems mit dem Wechsel der Wärmepumpe und der Vereinfachung sowie der Einregulierung des neuen Systems hat zu einer Verbesserung der Systemarbeitszahl von 2,0 (2015) auf 2,5 (2016) geführt. Die Jahresarbeitszahlen (JAZ, nach Definition) der Wärmepumpe erreichen seit 2015 Werte von über 4,0. Durch die Anpassung der Regelung der Erdreichregeneration konnte der Strombedarf der Wärmepumpe in den Sommermonaten gesenkt werden und der Wärmepumpenbetrieb für diesen Zeitraum weitgehend vermieden werden. Die Auswertung der Systemarbeitszahlen zeigt, dass erst mit der Systemvereinfachung und Optimierung das gewünschte Performanceziel erreicht werden konnte.

## 3 Komfort-Monitoring

### 3.1 Beschreibung und Raumübersicht

Für das Komfort-Monitoring wird die Norm DIN EN 15251 herangezogen. Hierin sind Kategorien festgelegt, die den Zustand der thermischen Behaglichkeit bzw. die Qualität der Raumluft beschreiben. Diese Kategorien dienen als Grundlage zur Auswertung.

Im Folgenden ist eine Übersicht der Räume, die messtechnisch erfasst werden, zu finden.

Zone	Raum	Lage
1	Wohnen/Essen/Küche	Neubau EG
2	Gäste WC	Neubau EG
3	Technikraum	Neubau EG
4	Hauswirtschaftsraum	Neubau EG
5	Windfang	Neubau EG
6	Diele/Treppenraum	Altbau EG
7	Kinderbad	Altbau EG
8	Zimmer 1	Altbau EG
9	Zimmer 2	Altbau EG
10	Elternbad	Altbau OG
11	Ankleide	Altbau OG
12	Schlafzimmer	Altbau OG
13	Spitzboden	Altbau DG

Eine graphische Darstellung ist dem Grundriss im Anhang zu entnehmen.

Zur Übersichtlichkeit werden in diesem Bericht die Auswertungen für drei unterschiedliche Räume aus allen Bereichen des Gebäudes dargestellt. Hierbei handelt es sich um das Wohnzimmer im Neubau (Zone 1), das Schlafzimmer im sanierten Altbau (Zone 2) und den Treppenraum, der das Verbindungselement von Alt- und Neubau ist (Zone 6). Als Datenbasis dienen stündlich aufgelöste Messwerte. Folgende Datenausfälle sind vorhanden:

01.11.2013 - 30.11.2013 | 16.12.2013 - 07.01.2014 | 30.03.2014 - 30.04.2014  
30.09.2014 | 31.10.2014 | 01.03.2016 - 31.03.2016 | 01.05.2016 - 31.05.2016  
01.09.2016 - 30.09.2016 | 01.01.2017 – 28.02.2017

Jahreswerte beziehen sich immer auf die Anzahl der zur Verfügung stehenden Messwerte des Jahres.

Die Auswertung gliedert sich in zwei Teile. Im ersten werden die Raumlufttemperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten verwendet, um die thermische Behaglichkeit zu bewerten. Im zweiten Teil wird die Luftqualität bewertet.

### 3.2 Thermische Behaglichkeit

Im ersten Schritt werden die Verteilungen von Raumlufttemperatur und relativer Raumluftfeuchte auf Basis stündlicher Mittelwerte für alle Räume dargestellt. Gezeigt werden die Spannen von maximaler und minimaler Temperatur sowie das 50 %- und 90 %-Quantil. Im 50 %-Quantil liegen 50 % aller Messwerte, im 90 %-Quantil liegen 90 % aller Messwerte, 5% der Messwerte sind höher und 5 % niedriger.

#### 3.2.1 Raumtemperatur

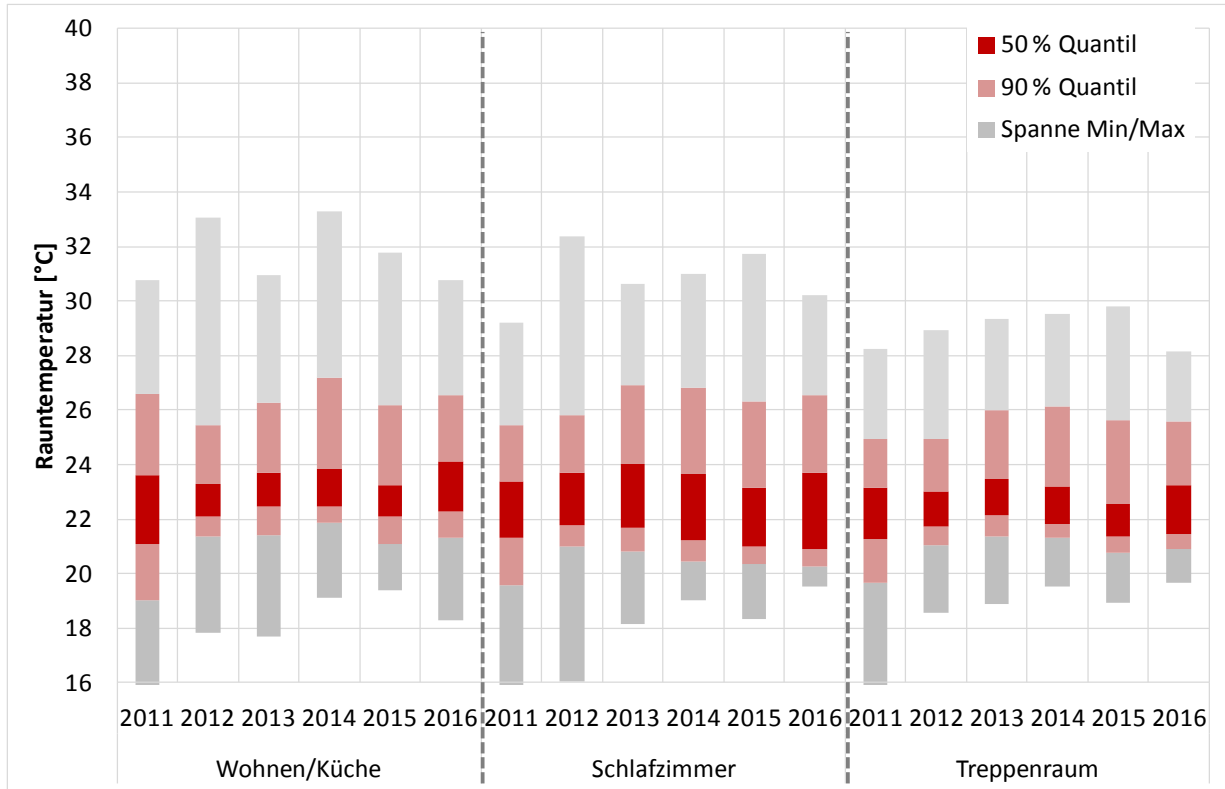


Abbildung 31: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 1, 12, 7



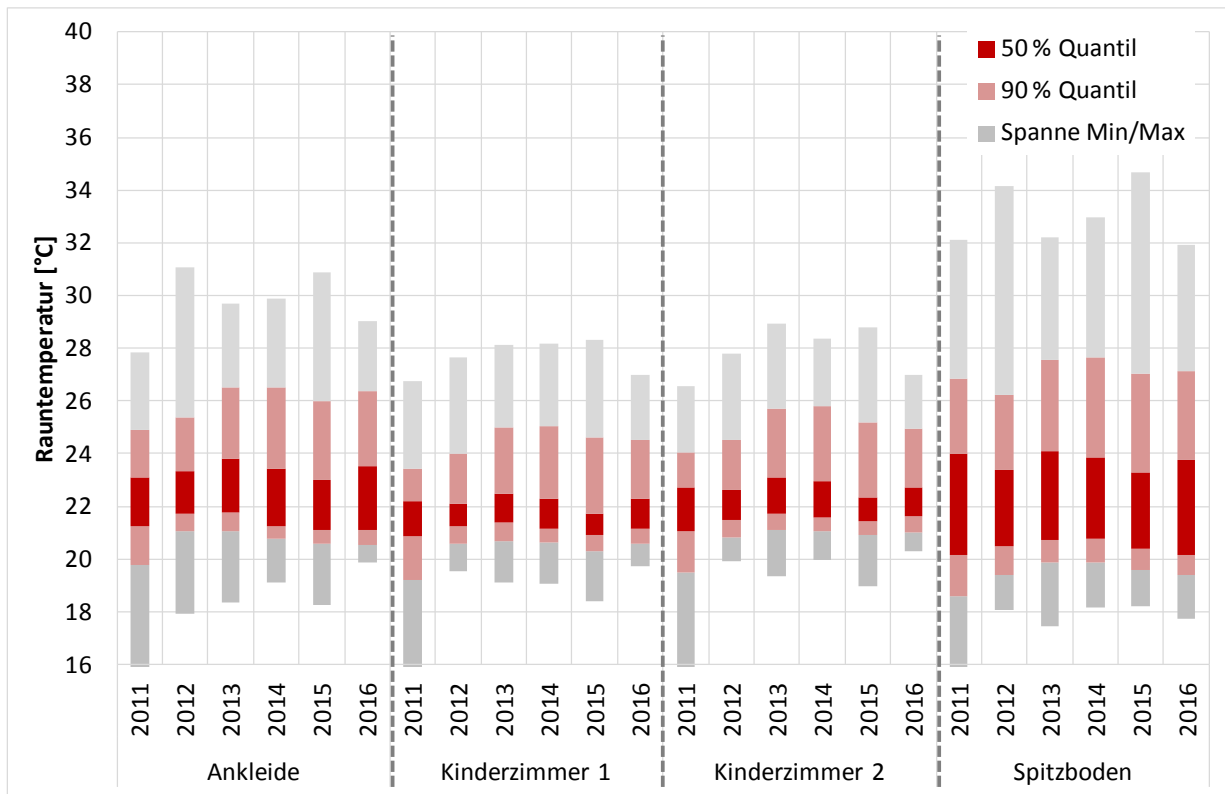


Abbildung 32: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 12, 8, 9, 13

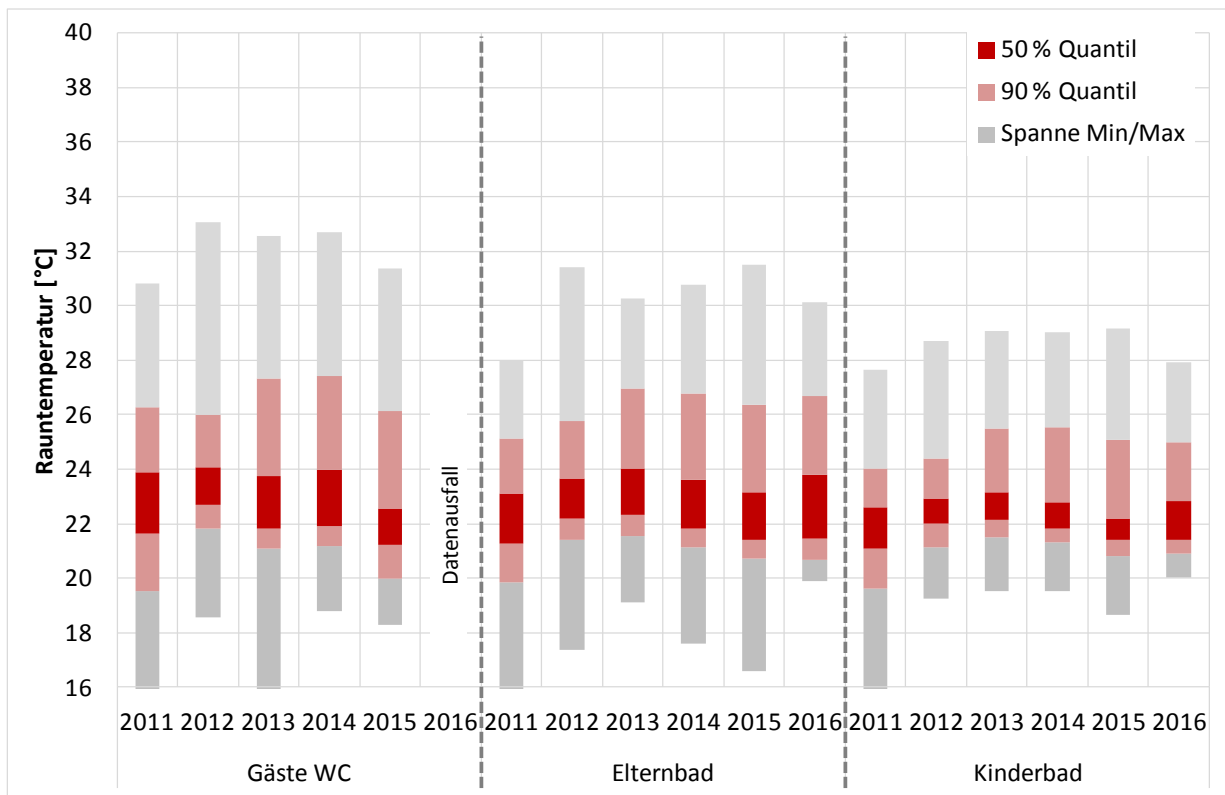


Abbildung 33: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 2, 10, 7

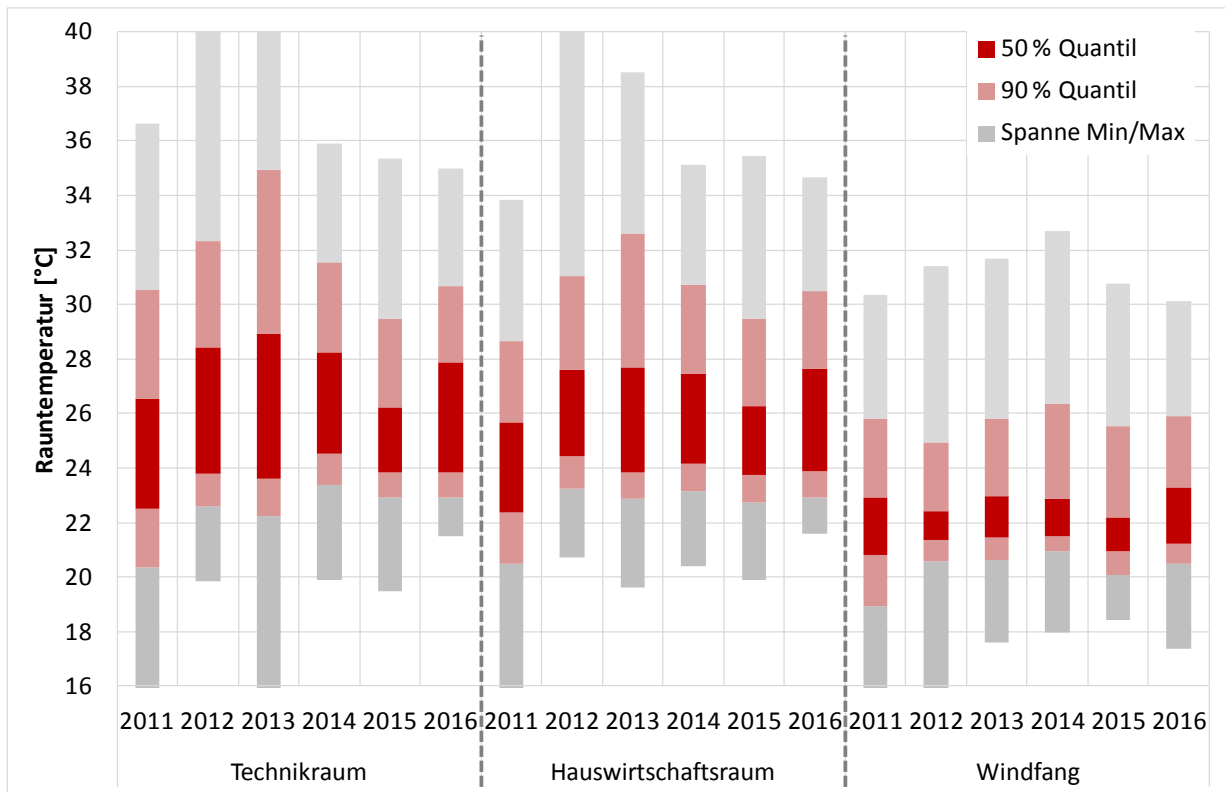


Abbildung 34: Raumtemperaturen in der Jahresverteilung, Zone 3, 4, 5

Die Raumlufttemperaturen lagen im Mittel über dem Ansatz der EnEV. Durchschnittlich lagen die Temperaturen in den meisten Räumen bei etwa 21-23°C. Dies entspricht einem normalen Nutzerverhalten. Auffällig ist das deutlich erhöhtes Temperaturniveau im Hauswirtschaftsraum und im Technikraum. Die Temperaturen liegen hier im Mittel 2-4 K über den Temperaturen in den anderen Räumen. Im Maximum werden sogar Temperaturen über 40°C erreicht, während in den Aufenthaltsbereichen 34°C nicht überschritten werden. Begründet wird dies durch nur kleine Fensteröffnungen in den Räumen und die Abwärme von Wärmepumpe und Pufferspeicher. Detaillierte Verteilungen der Raumtemperaturen für Zone 1 (Wohnen/Essen/Küche), Zone 12 (Schlafzimmer) und Zone 6 (Diele) folgen im späteren Verlauf dieses Berichts.

### 3.2.2 Relative Luftfeuchtigkeit

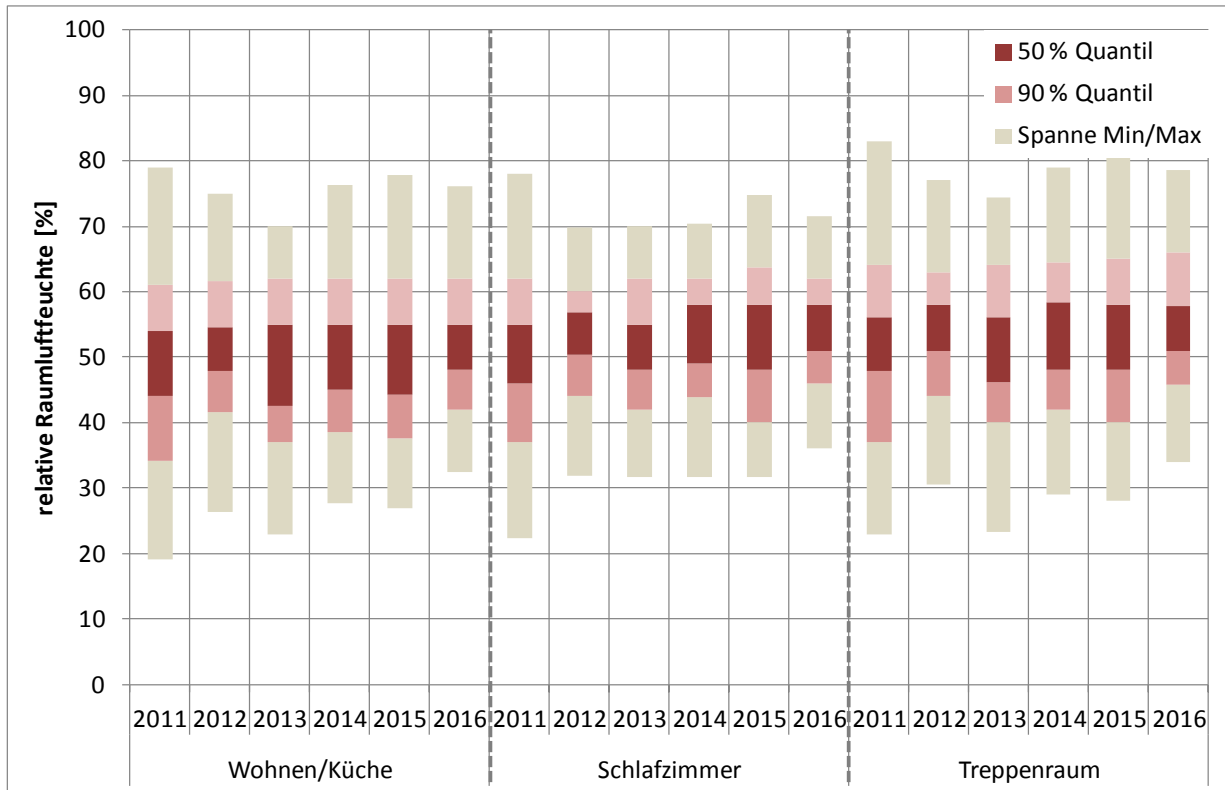


Abbildung 35: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 1, 12, 7

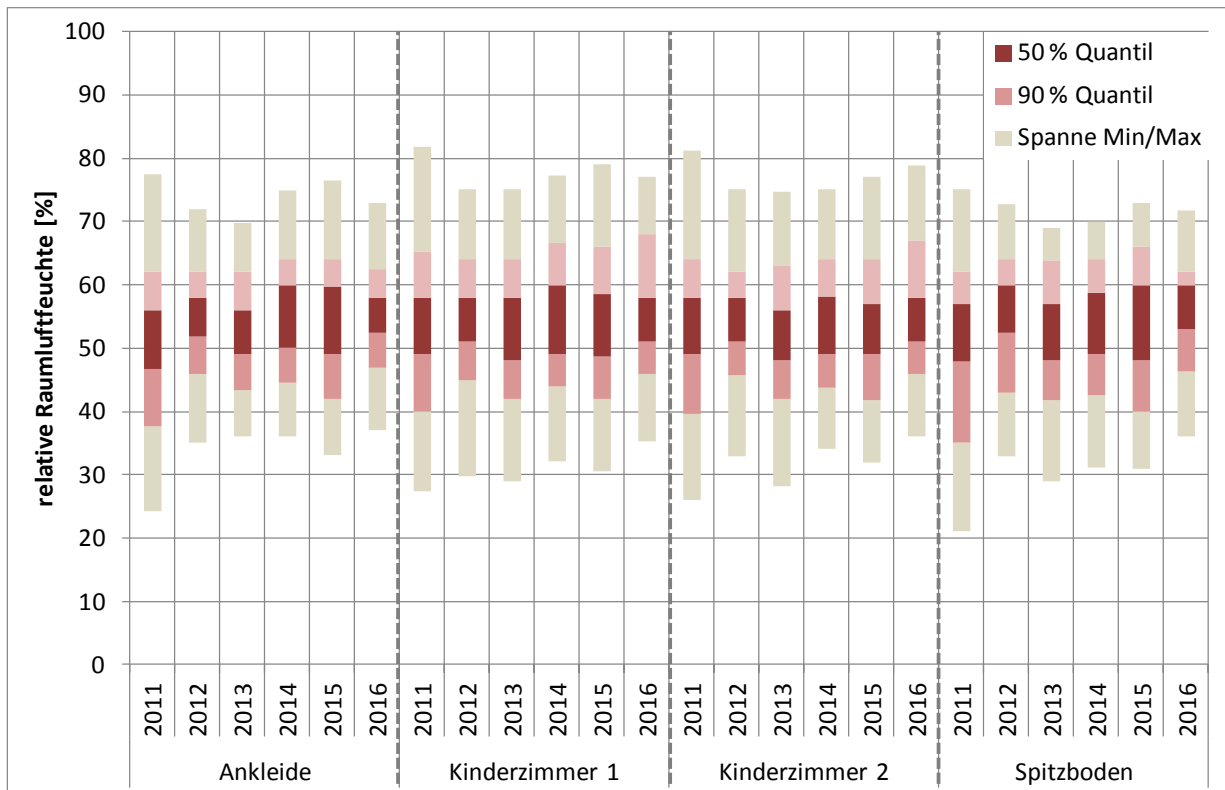


Abbildung 36: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 12, 8, 9, 13

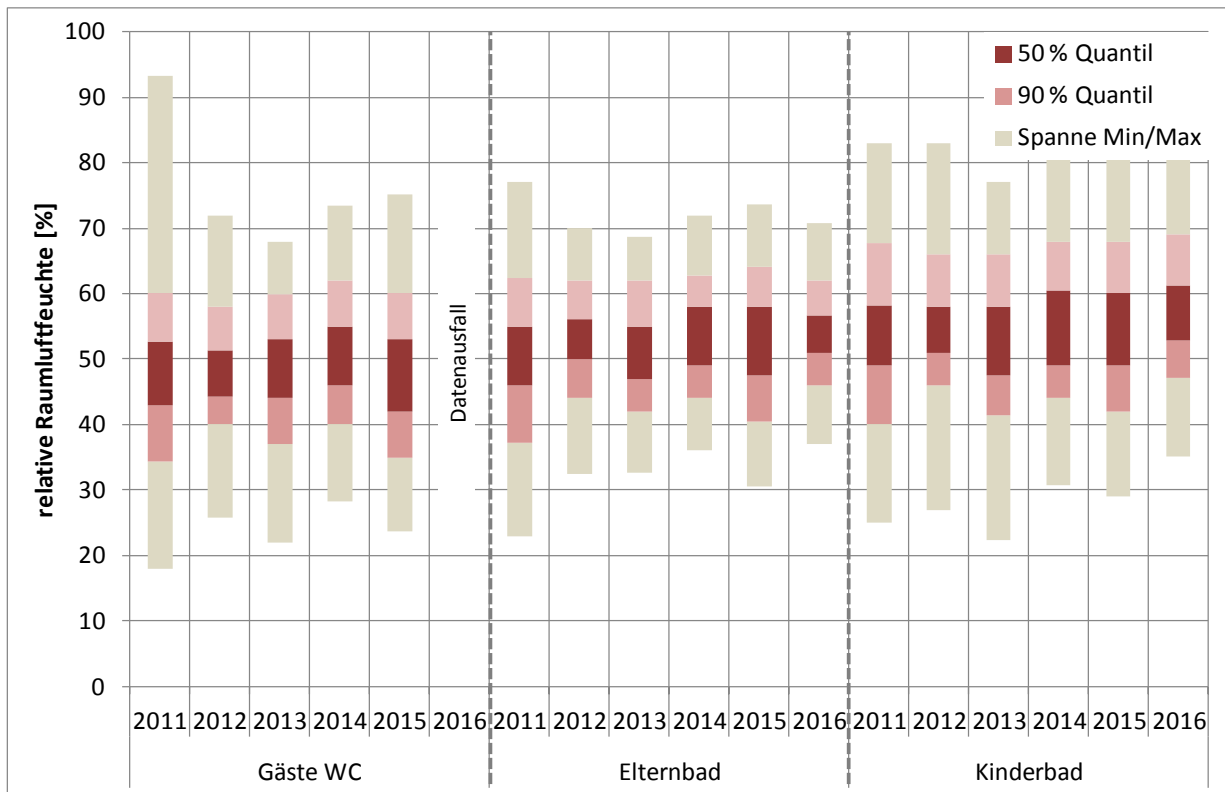


Abbildung 37: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 2, 10, 7

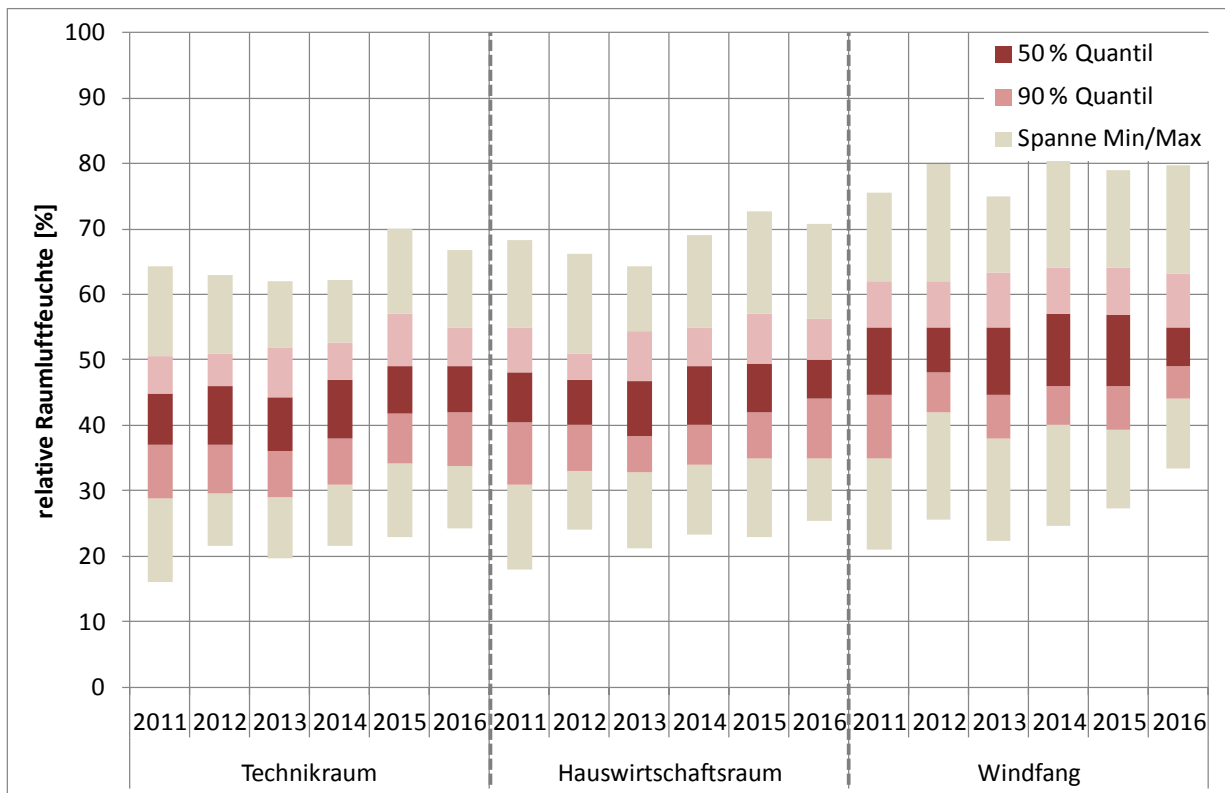


Abbildung 38: relative Feuchtigkeit im Raum in der Jahresverteilung, Zone 3, 4, 5

Die Raumluftfeuchte liegt in allen Räumen in mehr als 50 % der Zeit im Bereich von 40-55% und somit im behaglichen Bereich. In 90 % der Zeit werden relative Raumluftfeuchtigkeiten

von 65 % nicht über- und 30 % nicht unterschritten. Die Raumlufftfeuchte ist damit als unkritisch zu bezeichnen (vgl. Tabelle 5).

### 3.2.3 Thermische Behaglichkeit für ausgewählte Zonen

Im Folgenden werden für repräsentative Räume im Neubau (Wohnraum), Altbau (Schlafzimmer) und der Verbindung zwischen beiden Teilen (Treppenraum) detaillierte Auswertungen zur thermischen Behaglichkeit dargestellt.

Dargestellt werden Häufigkeitsverteilungen auf monatlicher Basis. Hierbei werden zum einen die Kategorien I-IV für Überhitzung/ Unterkühlung der Räume nach Anhang A.2 der DIN EN 15251 (Bewertung der operativen Raumtemperatur in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur) dargestellt. Bei dieser Methode wird berücksichtigt, dass bei hohen Außentemperaturen auch höhere Innenraumtemperaturen akzeptiert werden. Vereinfachend wird die Raumluffttemperatur statt der operativen Raumtemperatur betrachtet, da die Temperaturen der Raumumschließungsflächen nicht gemessen wurden. Ein Beispiel der Datenbasis zeigt Abbildung 39.

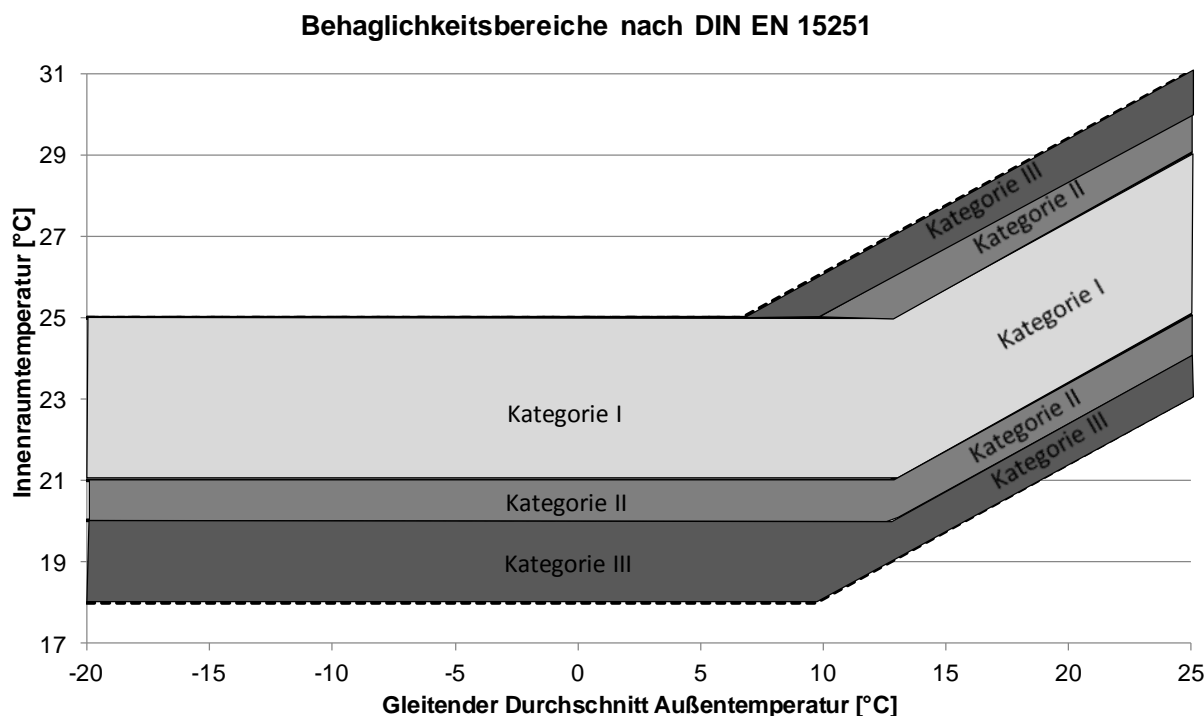


Abbildung 39: Bewertung von Überhitzung und Unterkühlung in den Räumen nach DIN EN 15251

Als zweites wird die Raumlufftfeuchte in Kombination mit der Raumluffttemperatur auf Basis von Tab B.6. und den Kategorien nach Anhang A.2 der DIN EN 15251 bewertet. Das Bewertungssystem zeigt Tabelle 5.

**Tabelle 5: Bewertung thermischer Komfort (Temperatur und relative Feuchte)**

Kategorie	relative Feuchte [%]	Temperatur	Gesamtwertung
I	30 – 50	nach Tab. A.3 DIN EN 15251	MAX (Kategorie relative Feuchte; Kategorie Temperatur)  Bsp.: Kat. Temperatur: II Kat. rel. Feuchte: I Gesamtbewertung: Kat. II
II	25-30 und 50-60		
III	20-25 und 60-70		
IV	< 20 oder >70		

Nach DIN EN 15251 haben die Kategorien kurzgefasst folgende Bedeutung:

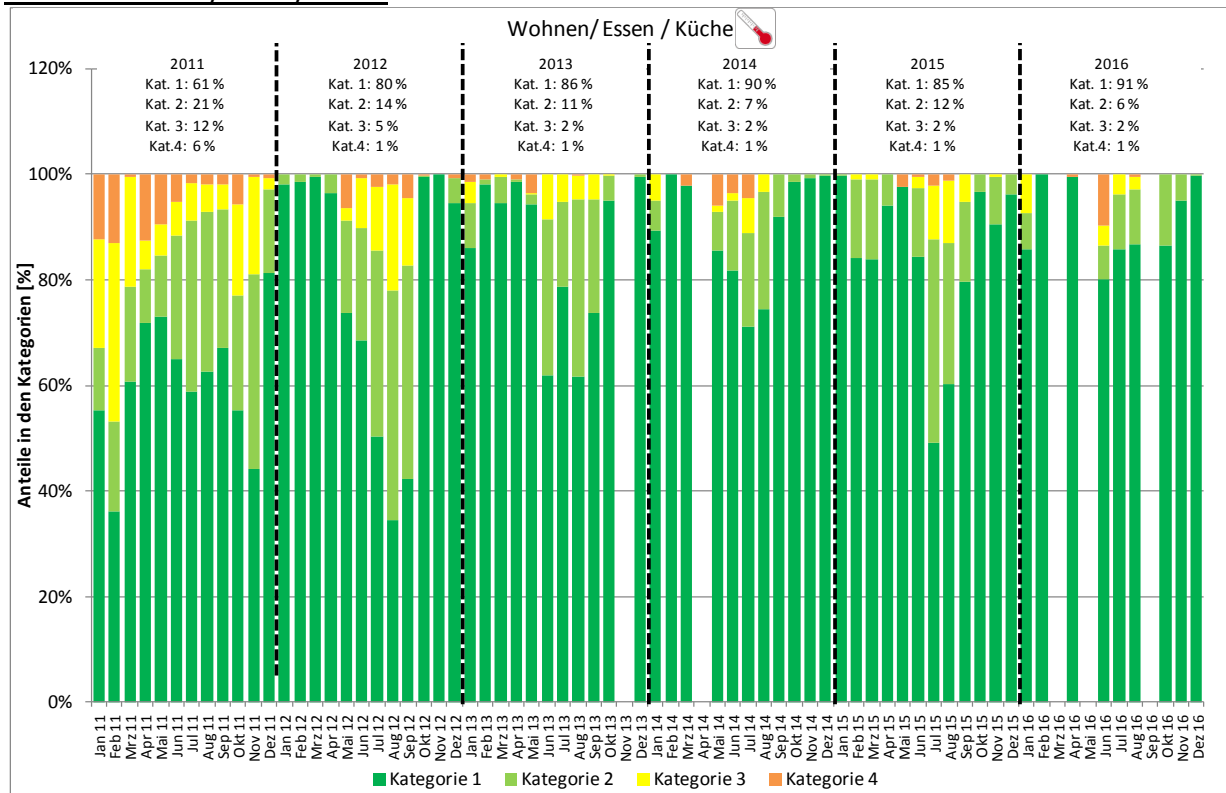
Kat. I: hohes Maß an Erwartungen (empfindliche und anfällige Personen)

Kat. II: normales Maß an Erwartungen (empfohlen für Neubauten und Sanierungen)

Kat. III: moderates Maß an Erwartungen (für bestehende Gebäude)

Kat. IV: außer der Kategorien, nur für begrenzten Teil des Jahres

**Zone 1 Wohnen/Essen/Küche**



**Abbildung 40: Überhitzung/Unterkühlung auf Monatsbasis, Zone 1**

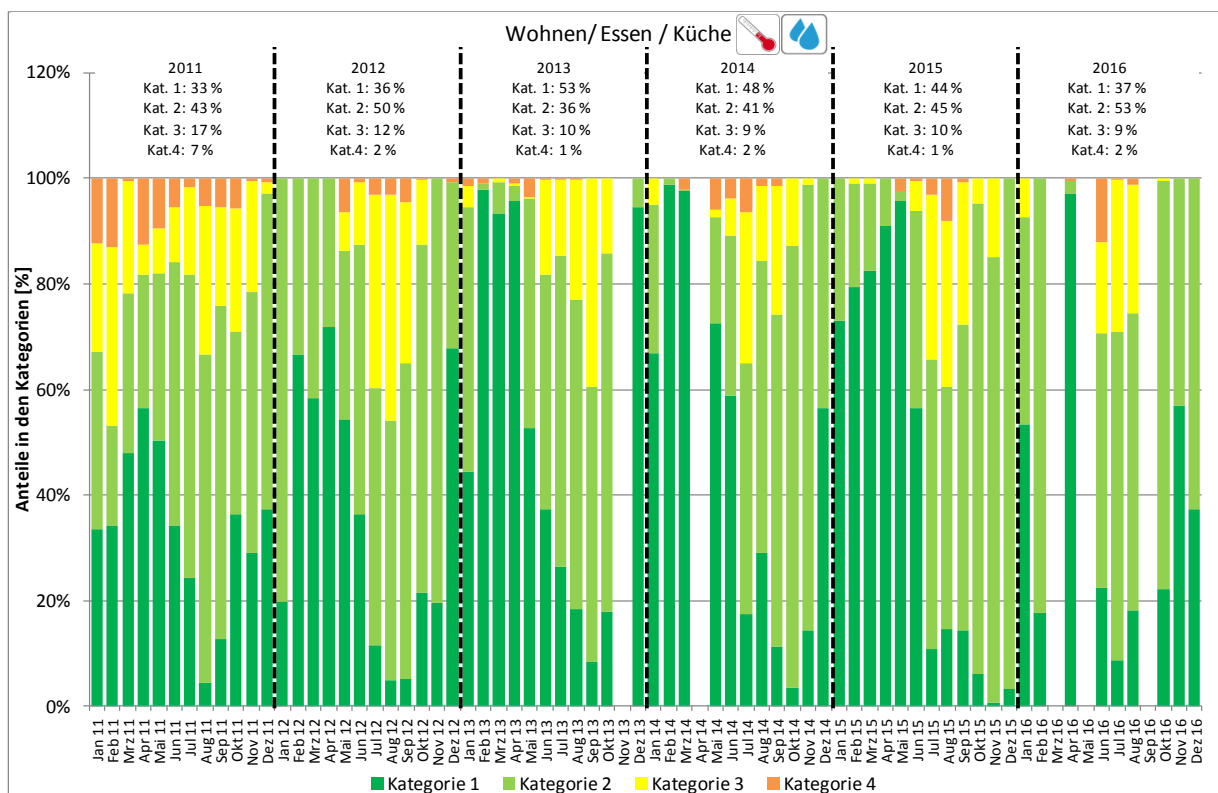


Abbildung 41: Bewertung thermischer Komfort Temperatur + Feuchte, Zone 1

Es ist zu erkennen, dass die Temperatur im Wohnbereich seit dem Bezug im Dezember 2011 fast ausschließlich im guten bis sehr guten Bereich (Kat. I und II) liegt. Lediglich an sehr warmen Tagen im Sommer kommt es zu kurzzeitigen Überhitzungen.

Ein außenliegender Sonnenschutz führt in Kombination mit großen Öffnungsflächen und damit guten Lüftungsmöglichkeiten dazu, dass eine Überhitzung nicht auftritt.

Zu kalte Temperaturen (Kat. IV) im Winter treten praktisch nicht auf. Minimale Einschränkungen waren in Zeiten zu beobachten, in denen zwei der drei Heizkreise im Wohnzimmer kurzzeitig ausfielen.

Wird die relative Raumluftfeuchte zusätzlich zur Raumlufttemperatur betrachtet, kann festgehalten werden, dass sich die relative Feuchte häufiger in Kat. II bewegt als die Raumlufttemperatur. Wie oben beschrieben, ist Kat. II für Neubauten und Sanierungen anzuwenden und somit kann festgehalten werden, dass der Komfort im Wohnzimmer dauerhaft gegeben ist. Abweichungen vom guten bis sehr guten Bereich, also von Kat. I und Kat. II, liegen im Bereich von 10 % im Jahresverlauf und treten hauptsächlich aufgrund von gemessenen Raumluftfeuchtigkeiten zwischen 60 % und 70 % im Sommer auf. Unbehaglichkeiten (Kat. IV) treten nur geringfügig (1 -2 % der Zeit) auf und kommen hauptsächlich in den Sommermonaten durch kurzzeitige Überhitzungen vor.

Ein Vergleich mit einem Wetterdatensatz (TRY2010, Zone 3, mittleres Jahr 1988-2007 mit Stadteffekt „mittleres Stadtgebiet“) des Deutschen Wetterdienstes zeigt, dass am Standort Hamburg-Fuhlsbüttel im Sommerhalbjahr die relative Feuchtigkeit der Außenluft in 77,5% der Fälle Werte über 60 % aufweist und somit auch im Innenraum Werte von 60 % auch unter Berücksichtigung der Betrachtung der absoluten Feuchte nicht auszuschließen sind.

## Zone 12 Schlafzimmer

Als zweiter Raum wird das im OG des sanierten Altbaus gelegene Schlafzimmer betrachtet.

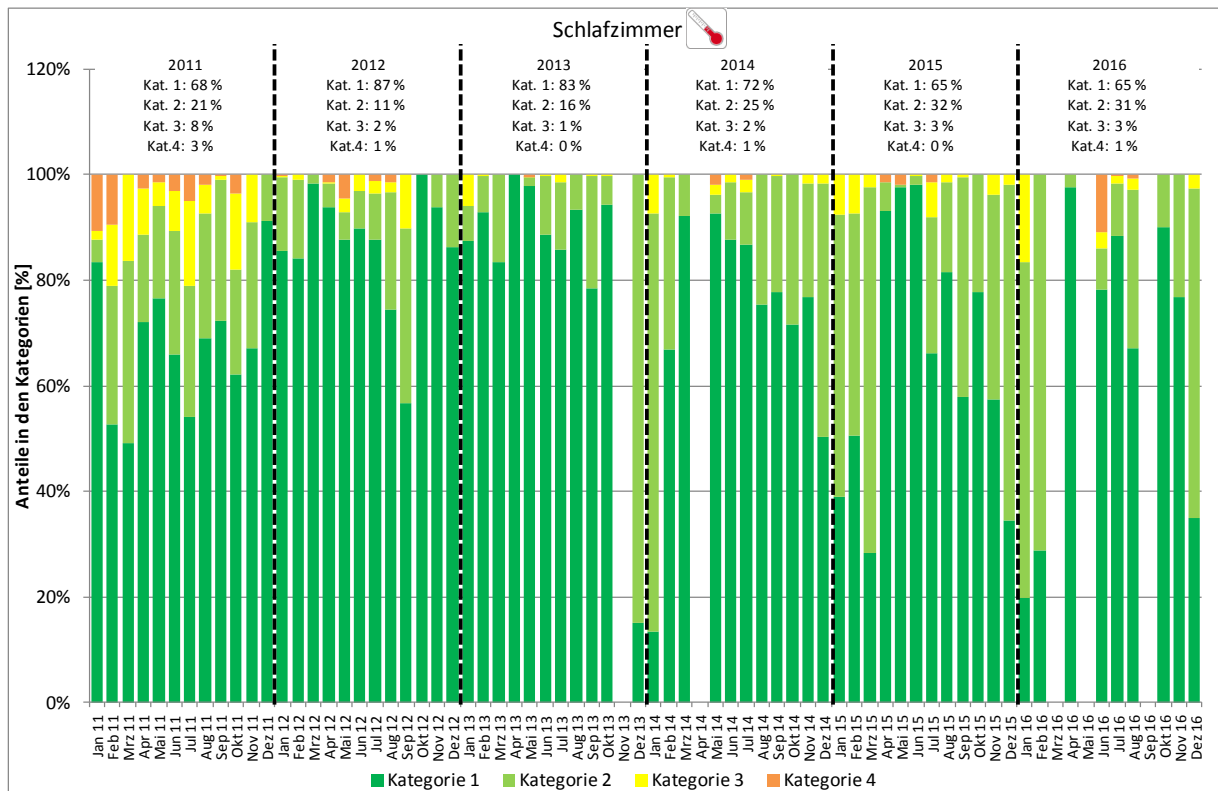


Abbildung 42: Überhitzung/Unterkühlung auf Monatsbasis, Zone 12

Auch im Schlafzimmer ist das Temperaturniveau in einem guten bis sehr guten Bereich. Durch die geringere Nutzungszeit ist das Schlafzimmer insbesondere im Winter etwas kühler als das Wohnzimmer und somit häufiger in Kat. II als das Wohnzimmer.



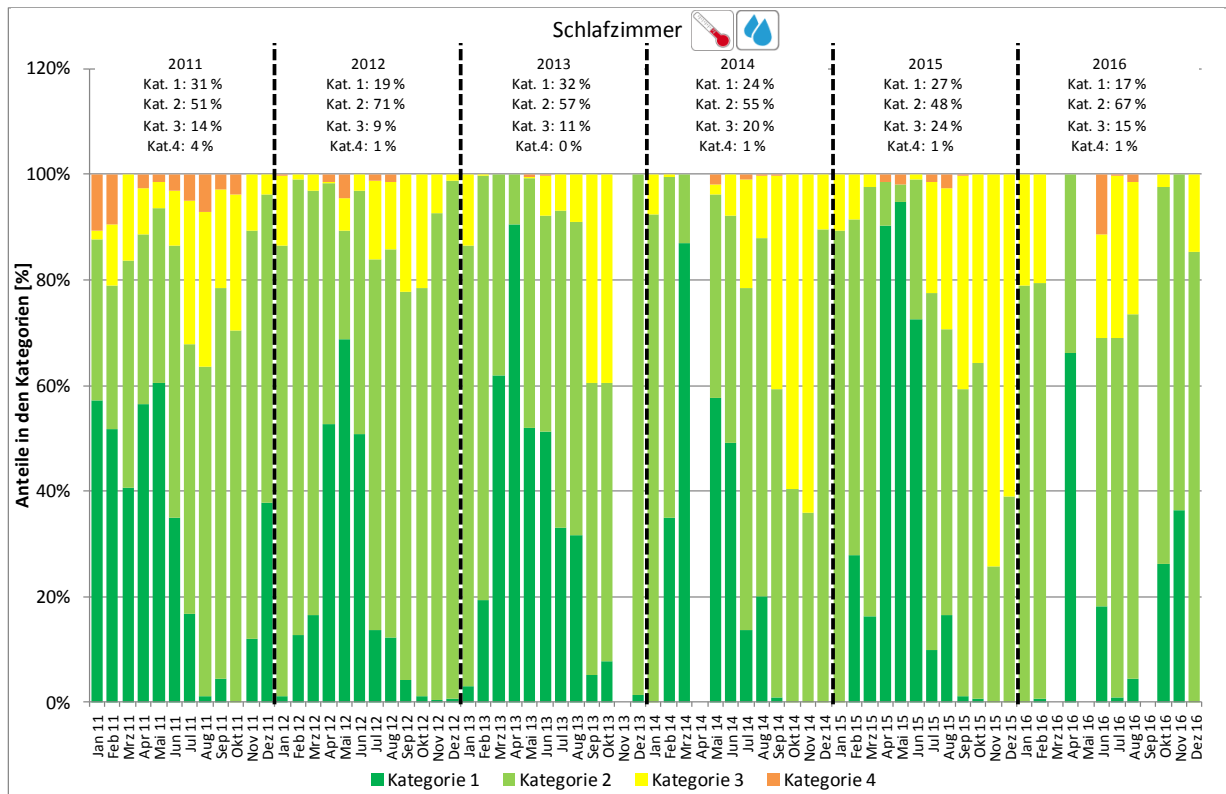


Abbildung 43: Bewertung thermischer Komfort Temperatur + Feuchte, Zone 12

Wird die relative Raumluftfeuchte zusätzlich zur Raumlufttemperatur betrachtet, kann festgehalten werden, dass die relative Feuchte häufiger in Kat. II und Kat. II bewegt als die Raumlufttemperatur. Wie oben beschrieben, ist Kat. II für Neubauten und Sanierungen anzuwenden und somit kann festgehalten werden, dass der Komfort im Schlafzimmer dauerhaft gegeben ist. Abweichungen vom guten bis sehr guten Bereich liegen im Bereich von 20-25% im Jahresverlauf (Kat. III). Kat. III tritt verstärkt in der Übergangszeit und im Winter auf. Die Begründung liegt darin, dass relative Raumluftfeuchtigkeiten zwischen 60 % und 70 % gemessen werden. Die minimal erhöhte relative Luftfeuchtigkeit lässt sich mit verminderter Fensteröffnung bei Vorhandensein einer Feuchtequelle (schlafende Personen) erklären.

## Zone 6 Treppenraum

Der Treppenraum verbindet als hoher offener Raum den Altbau mit dem Neubau und hat aufgrund seiner Höhe eine Sonderstellung, da hier der natürliche Kamineffekt besonders gut nutzbar ist.

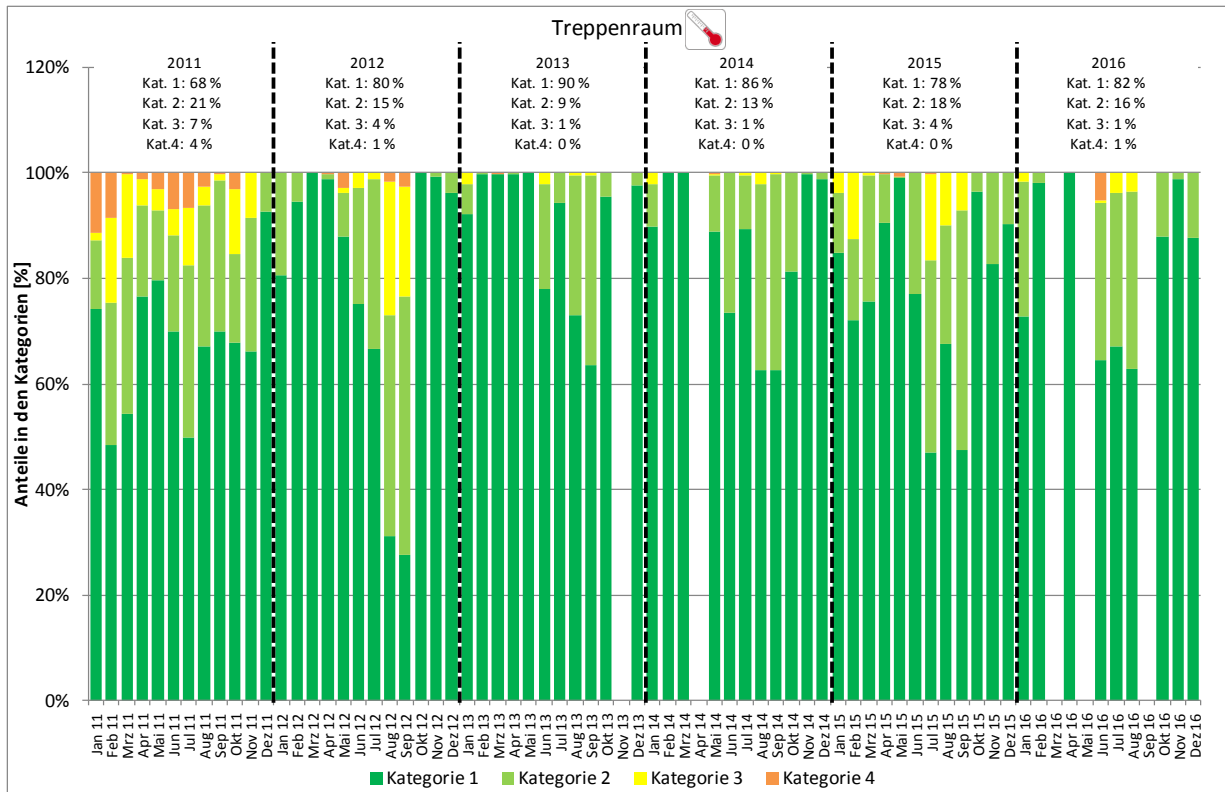


Abbildung 44: Überhitzung/Unterkühlung auf Monatsbasis, Zone 6

Es zeigt sich, dass es hauptsächlich im Sommer zu Abweichungen vom optimalen Temperaturniveau kommt. Insgesamt ist die Temperatur in mehr als 80% der Zeit auf einem optimalen Niveau.

Lediglich in den Sommermonaten gibt es kurzzeitige Überhitzungen, die jedoch weniger als 10% der Zeit ausmachen.

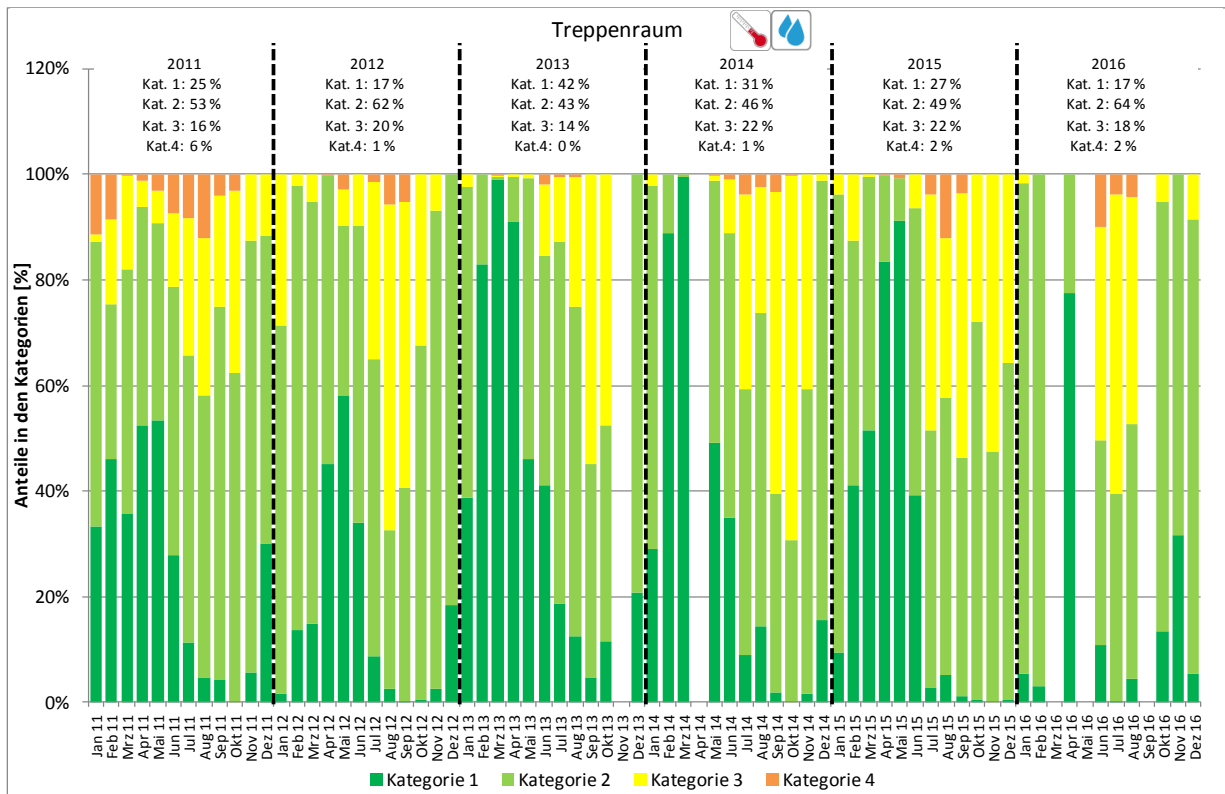


Abbildung 45: Bewertung thermischer Komfort Temperatur + Feuchte, Zone 6

Wird die relative Raumluftfeuchte zusätzlich zur Raumlufttemperatur betrachtet, kann festgehalten werden, dass die relative Feuchte häufiger in Kat. II und Kat. III bewegt als die Raumlufttemperatur. Wie oben beschrieben, ist Kat. II für Neubauten und Sanierungen anzuwenden und somit kann festgehalten werden, dass der Komfort im Treppenraum dauerhaft gegeben ist. Abweichungen vom guten bis sehr guten Bereich liegen im Bereich von 15-20% im Jahresverlauf (Kat. III).

Analog zum Wohnzimmer tritt Kategorie III vermehrt im Sommer aufgrund von relativen Luftfeuchtigkeiten zwischen 60 % und 70 % auf.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Raumtemperaturen im Gebäude zum Großteil im guten bis sehr guten Bereich liegen, der Komfort unter Berücksichtigung der relativen Raumluftfeuchte im guten bzw. für Neubauten und Sanierungen empfohlenen Bereich (Kat. II).

### 3.3 Luftqualität

Zur Bewertung der Luftqualität wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Innenräumen herangezogen. Analog zur Raumlufttemperatur und zur relativen Luftfeuchte werden zunächst die Jahresverteilungen der Messwerte in allen Zonen dargestellt und anschließend für drei Zonen detaillierte Ergebnisse dargestellt. Dargestellt werden die Spanne zwischen Minimum und Maximum, das 50 %-Quantil und in diesem Fall das 99 %-Quantil.

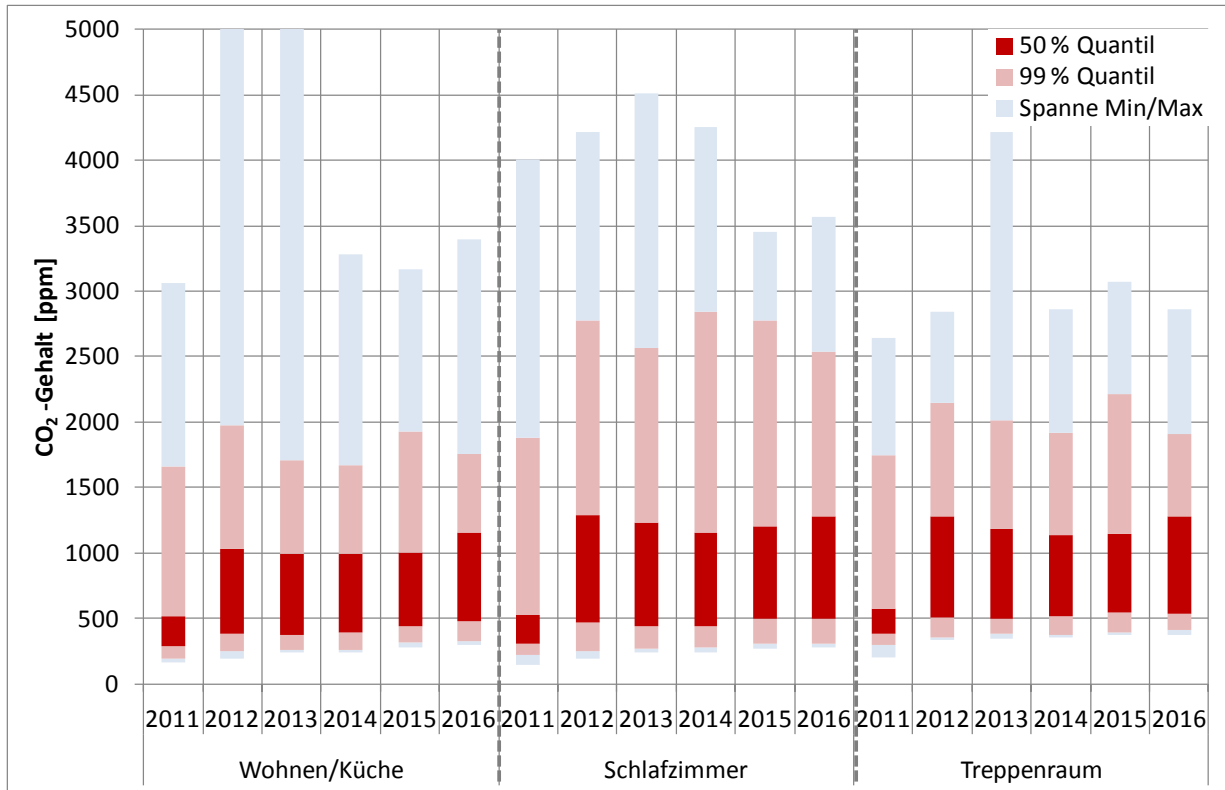


Abbildung 46: Jahresverteilung CO<sub>2</sub>-Konzentration Zone 1, 12, 7

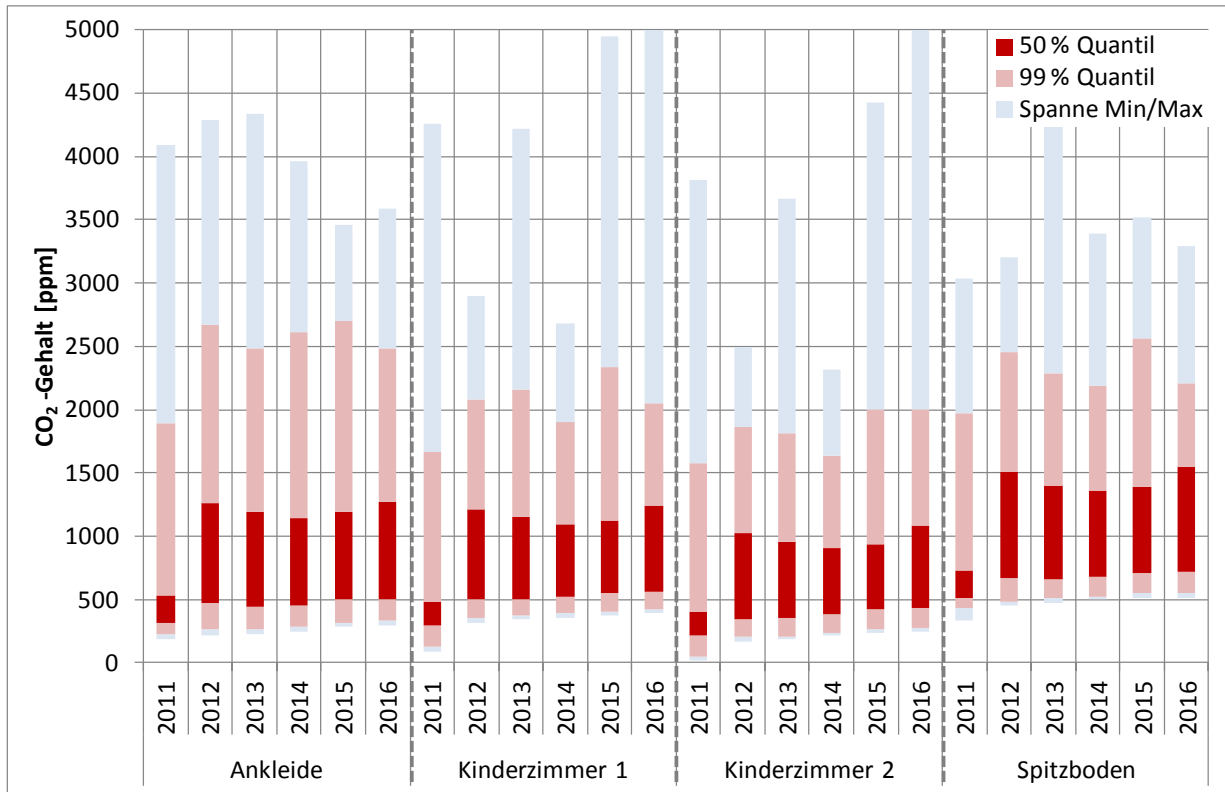


Abbildung 47: Jahresverteilung CO<sub>2</sub>-Konzentration Zone 12, 8, 9, 13

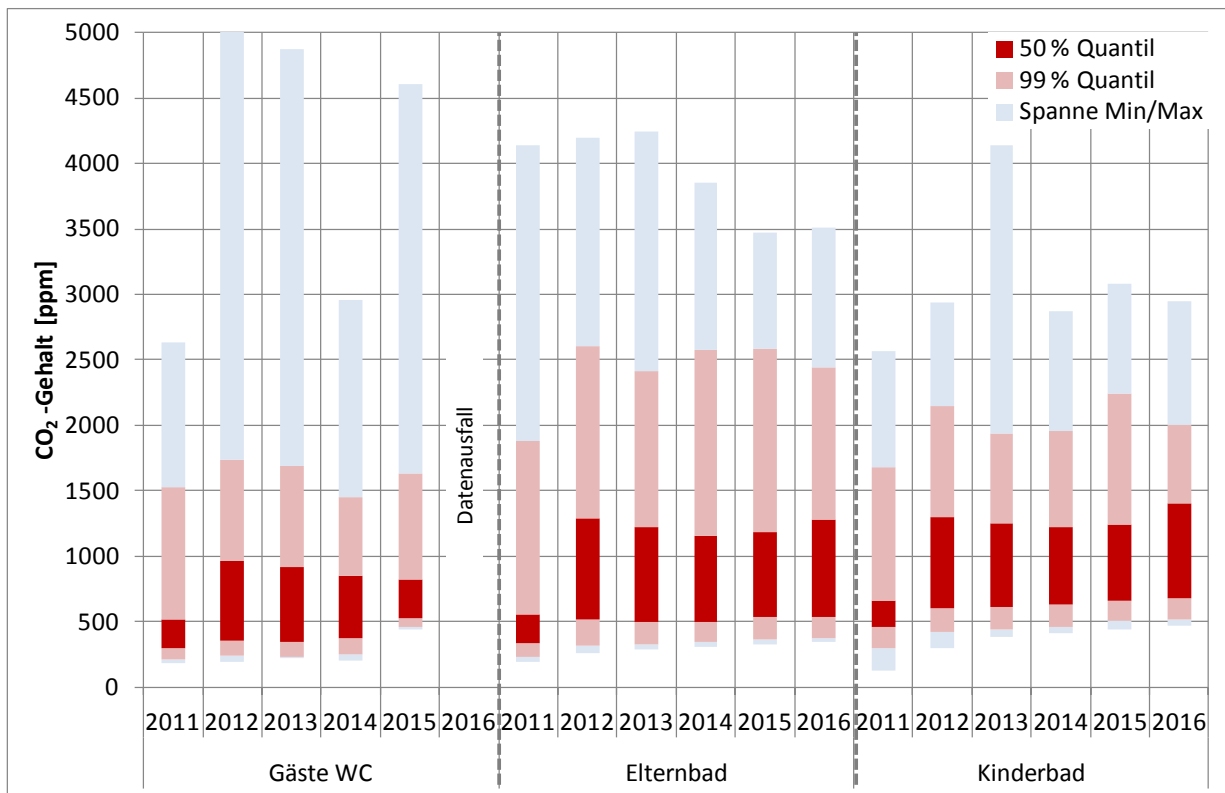


Abbildung 48: Jahresverteilung CO<sub>2</sub>-Konzentration Zone 2, 10, 7

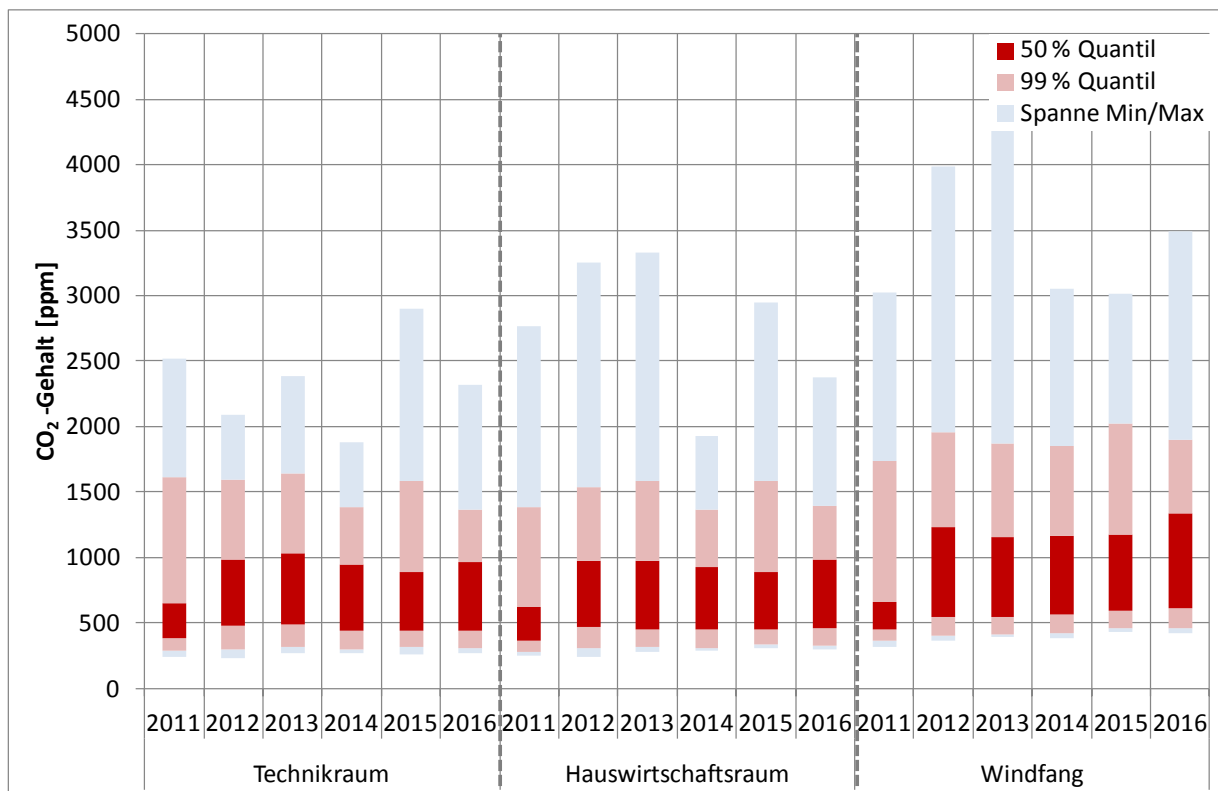


Abbildung 49: Jahresverteilung CO<sub>2</sub>-Konzentration Zone 3, 4, 5

Es ist zu erkennen, dass zu mehr als 50 % die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im unterhalb von 1.000 ppm liegen und somit insgesamt eine akzeptable bis gute Raumlufthqualität herrscht. In 99 % der Fälle wird abgesehen vom Schlafzimmer und kleineren Räumen wie den Bädern ein Wert von 2.000 ppm nicht überschritten.

Werte über 2.000 ppm treten nur in weniger als 1 % der Zeit auf. Extremwerte über 4.000 ppm treten dann auf, wenn die automatisierte Lüftung übersteuert wurde und manuell keine Lüftung erfolgte.

Zu erwähnen ist, dass die Schwankung in den Messwerten bei dem vorhandenen Sensor recht hoch ist, sodass hier teilweise Konzentrationen unter 400 ppm gemessen wurden. Einen Überblick über die Genauigkeit gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Genauigkeit CO<sub>2</sub>-Sensor

Konzentrationsbereich [ppm]	Genauigkeit [± ppm]
300 - 1000	120
1000 - 2000	250
2000 - 5000	300

Eine exaktere Bewertung der Raumlufthqualität anhand von Tab. B.4 der DIN EN 15251, bei der die Kategorien in Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Außenluft definiert werden, folgt für das Wohnzimmer (Zone 1), das Schlafzimmer (Zone 12) sowie Kinderzimmer 1 (Zone 8). Als Außenluftkonzentration wird 400 ppm angesetzt.

Die Konzentrationsbereiche zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Kategorien und CO<sub>2</sub>-Konzentrationsbereiche

Kategorie	CO <sub>2</sub> -Konzentration
Kat. I	<750 ppm (350 ppm über Außenluftkonzentration)
Kat. II	750 - <900 ppm (350 bis 500 ppm über Außenluftkonzentration)
Kat. III	900 - < 1.200 ppm (500 bis 800 ppm über Außenluftkonzentration)
Kat. IV	≥ 1.200 ppm (mehr als 800 ppm über Außenluftkonzentration)

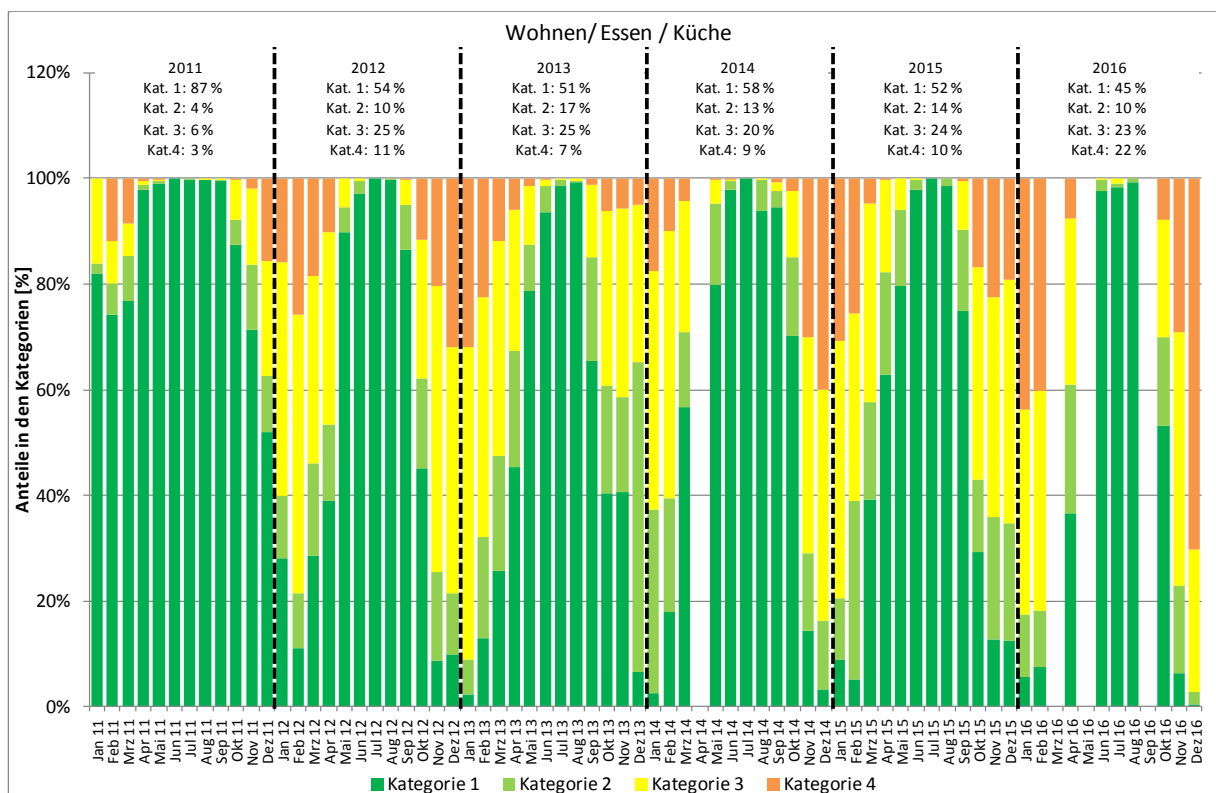


Abbildung 50: Verteilung CO<sub>2</sub>Konzentration Wohnzimmer

Die Luftqualität mit dem Indikator CO<sub>2</sub> liegt überwiegend im behaglichen Bereich (Kat. I und Kat. II), unterliegt aber aufgrund der natürlichen Lüftung jahreszeitlichen Schwankungen, da die Fenster in der kalten Jahreszeit früher geschlossen werden.

Im Winter wurden durch die Nutzer im Wohnzimmer Zugerscheinungen beschrieben, da zur Lüftung durch die automatisierte Steuerung eine große Anzahl von Fenstern gleichzeitig geöffnet wird. Zur Vermeidung der Zugerscheinungen wird die Regelung vom Nutzer übersteuert, wodurch sich die Luftqualität weniger stark verbessert bzw. der CO<sub>2</sub>-Gehalt höher ausfällt als regelungstechnisch eingestellt.

Insgesamt wurde die Regelung zweimal detaillierter auf die Nutzerbedürfnisse angepasst. Hierbei wurden die Parameter Raumtemperatur und CO<sub>2</sub>-Konzentration, nach der die Öffnung der Fenster geregelt wird, angepasst, sodass die Zugerscheinungen im Winter geringer wurden und der manuelle Eingriff in die Regelung seltener notwendig wurde. Durch die Anpassung der Setpoints konnte im Winter keine Verbesserung der Luftqualität erreicht werden.

Dies war aber auch nicht das Ziel der Anpassung, da die Vermeidung von Zegerscheinungen im Vordergrund stand.

Die Bewohner haben bewusst im Winter eine etwas geringere Luftqualität in Kauf genommen.

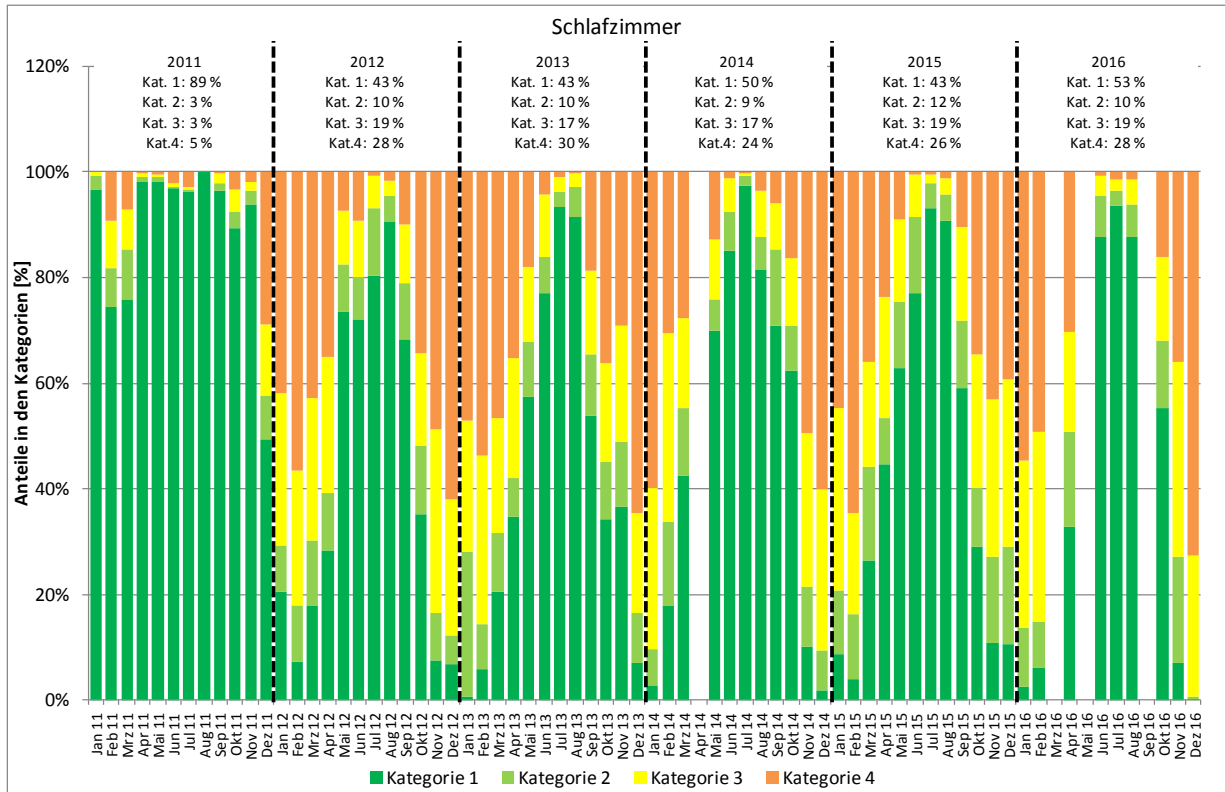


Abbildung 51: Verteilung CO<sub>2</sub>-Konzentration Schlafzimmer

Im Schlafzimmer zeigen sich die jahreszeitlichen Schwankungen ebenfalls. Im Sommer treten in weniger als 20 % der Zeit Konzentration über 900 ppm auf, während in den Wintermonaten regelmäßig Werte über 1.200 ppm (Kat. IV) auftreten.

Dies lässt sich auch durch den Nutzereingriff erklären. Zur Vermeidung von Öffnungsgeräuschen in der Nacht wird die Regelung manuell übersteuert und besonders im Winter bei geschlossenem Fenster geschlafen.



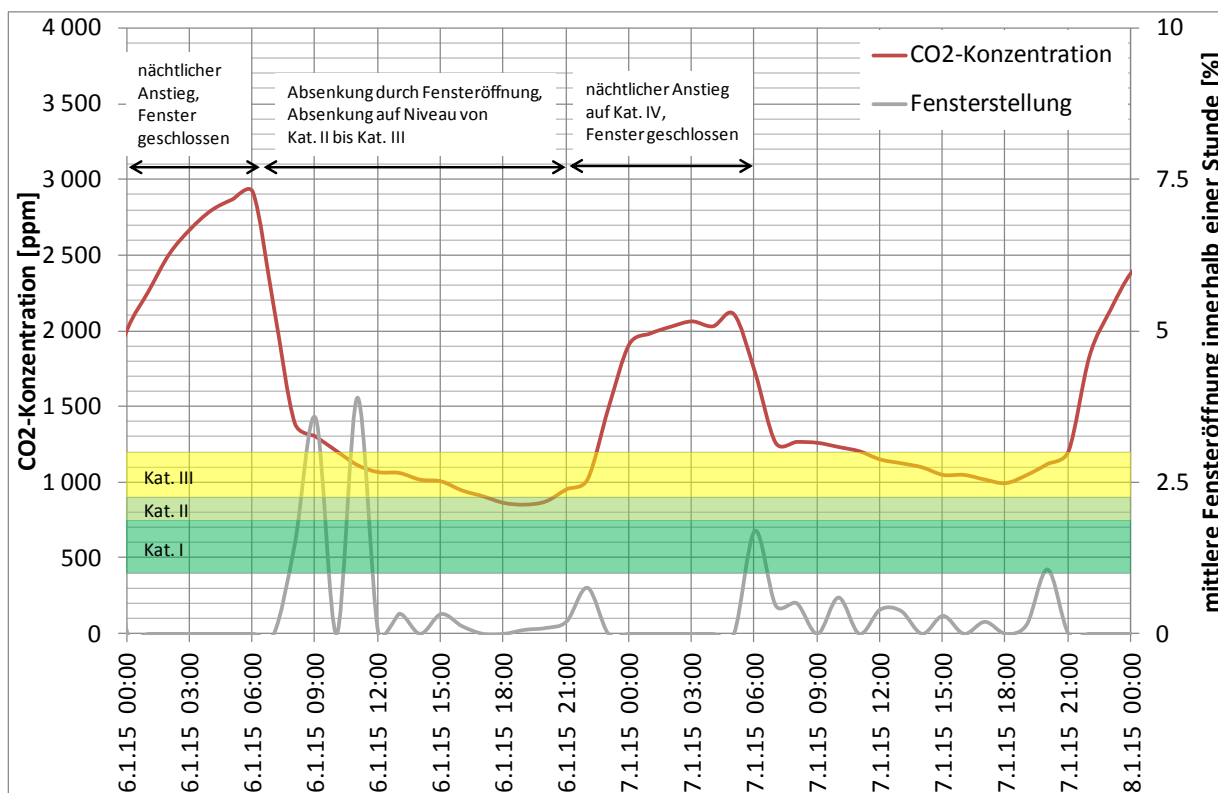


Abbildung 52: Verlauf CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schlafzimmer für zwei Wintertage

Somit ist der Luftaustausch gering und die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt. Dadurch, dass auch die Raumtemperatur in der Fenstersteuerung eine Regelgröße ist, und verglichen mit dem Wohnbereich der Luftwechsel geringer ist, sinkt die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf eines Wintertages nicht auf das Niveau von Kat. I und somit werden am Abend bei Belegung nach kurzer Zeit wieder CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 1.200 ppm erreicht. Beispielhaft zeigt Abbildung 52 dieses Verhalten für zwei Tage im Januar 2015.

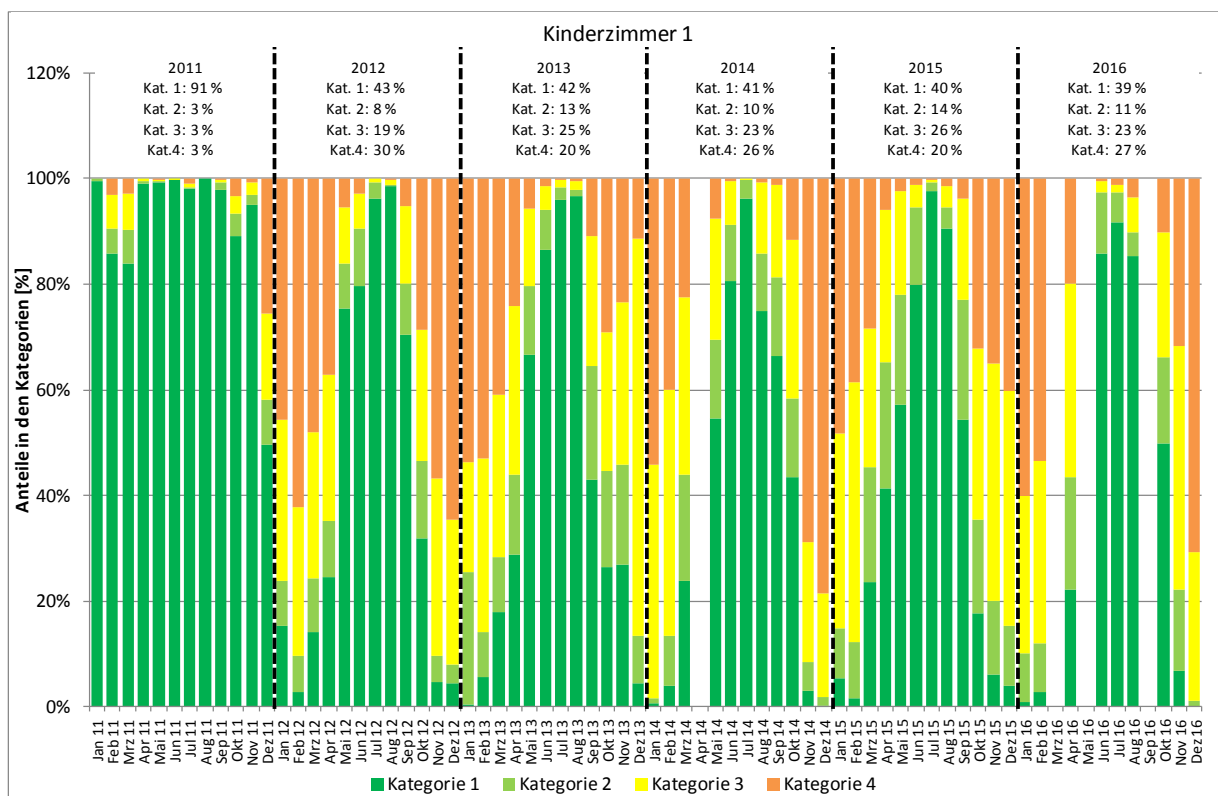


Abbildung 53: Verteilung CO<sub>2</sub>-Konzentration Kinderzimmer 1

Im Sommer ist die Luftqualität ohne Einschränkungen durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Erhöhte Messwerte treten auf, wenn die Familie aufgrund von Sicherheitsbedenken die automatisierte natürliche Lüftung abschaltet, da sich die Kinderzimmer zur Straße hin befinden und eine „unkontrollierte“ Öffnung der Fenster in der Nacht und bei Abwesenheit nicht einstellen soll.

Analog zum Schlafzimmer sind auch im Kinderzimmer die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Winter durch nächtliche Einträge und zu geringe Abfuhr am Tag teilweise bis zu 50 % der Zeit auf einem Niveau der Kat. IV nach DIN EN 15251, ohne jedoch einen Wert von 2.000 ppm in mehr als 1 % der Zeit zu überschreiten (vgl. Abbildung 47).

Einen Eindruck über den Jahresverlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie der Anzahl der geöffneten Fenster für das Wohnzimmer und Schlafzimmer ist im Folgenden für das Jahr 2015 als Carpet Plot abgebildet. Es ist deutlich die Abhängigkeit der Luftqualität von der Fensteröffnung zu erkennen. Es wird auch deutlich, dass die Luftqualität im Wohnzimmer im Winter schlechter ist als im Sommer (weniger Fensteröffnung) und im Schlafzimmer ist ein hoher Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration nachts, insbesondere wenn die Fenster geschlossen sind, zu sehen.

### CO<sub>2</sub>-Gehalt Wohnzimmer

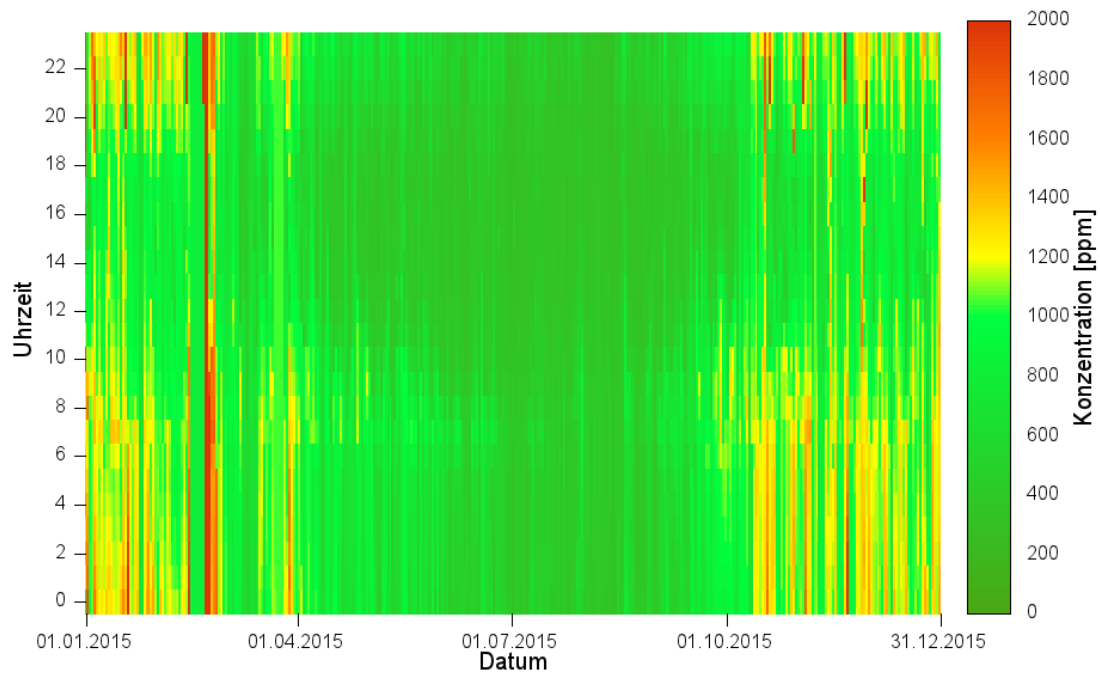


Abbildung 54: CO<sub>2</sub>-Gehalt Wohnzimmer, Carpetplot

### Fensterstellung Wohnen

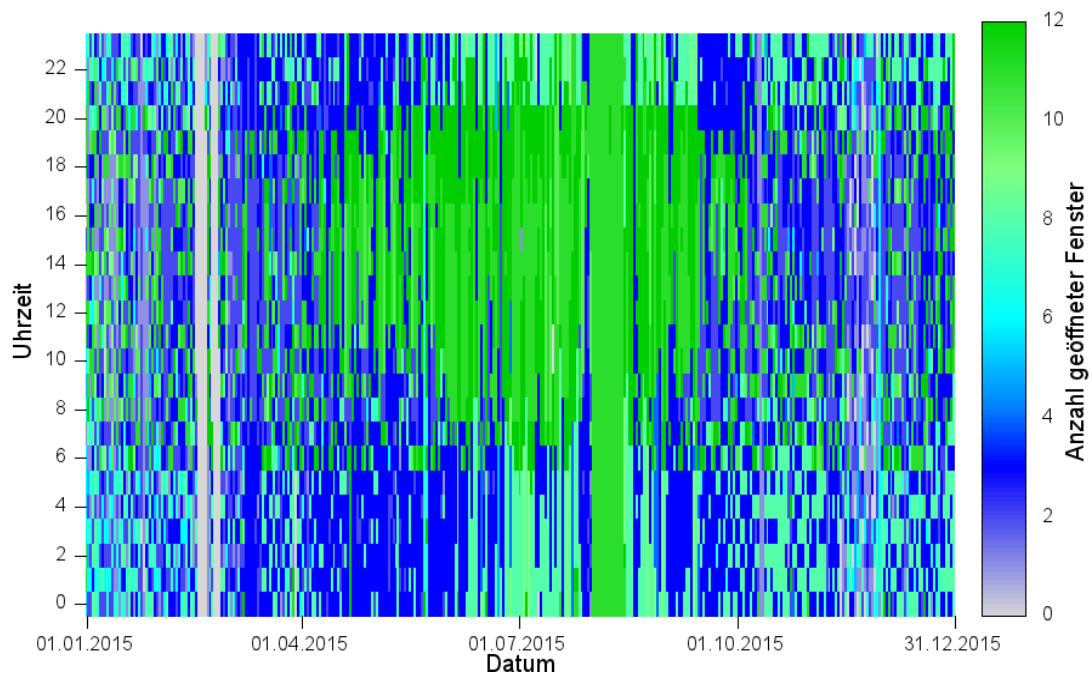


Abbildung 55: Fensterstellung Wohnzimmer, Carpetplot

### CO<sub>2</sub>-Gehalt Schlafzimmer

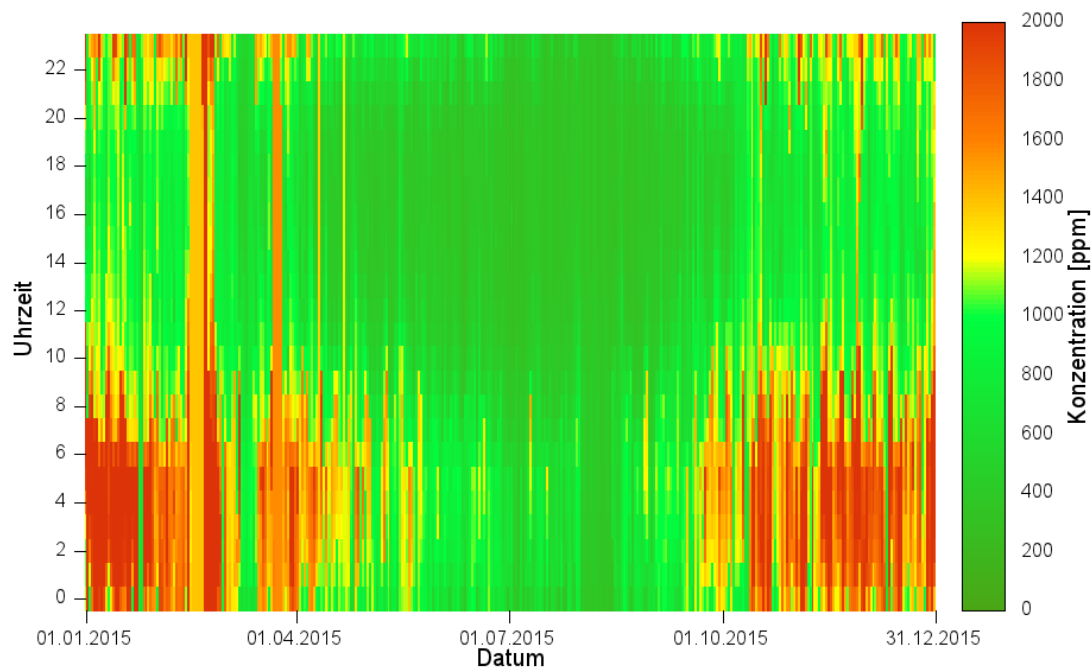


Abbildung 56: CO<sub>2</sub>-Gehalt Schlafzimmer, Carpetplot

### Fensterstellung Schlafen

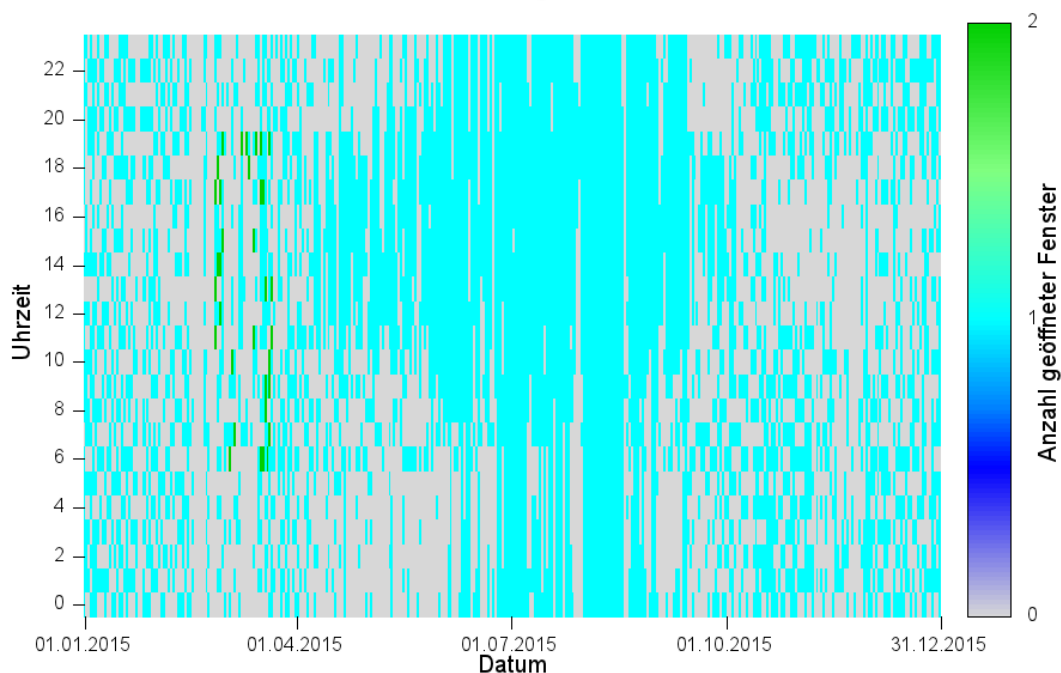


Abbildung 57: Fensterstellung Schlafzimmer, Carpetplot

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die automatisierte natürliche Lüftung funktioniert. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Bedürfnisse des Nutzers berücksichtigt werden und der Nutzer in der Lage ist, eine manuelle Fensteröffnung durchzuführen, um das Gefühl der Selbstbestimmung zu haben.

## 4 Wasserverbrauch

Abbildung 58 zeigt den Frischwasserverbrauch im Gebäude von 2012 -2016. Es zeigt sich, dass die vorhandene Regenwassernutzung und ein sparsames Verhalten zu sehr geringen Frischwasserverbräuchen führen. Im Vergleich zum Bundesdurchschnitt von etwa 120 L pro Person und Tag werden im LichtAktiv Haus nur 40-50 L Frischwasser pro Person und Tag verwendet.

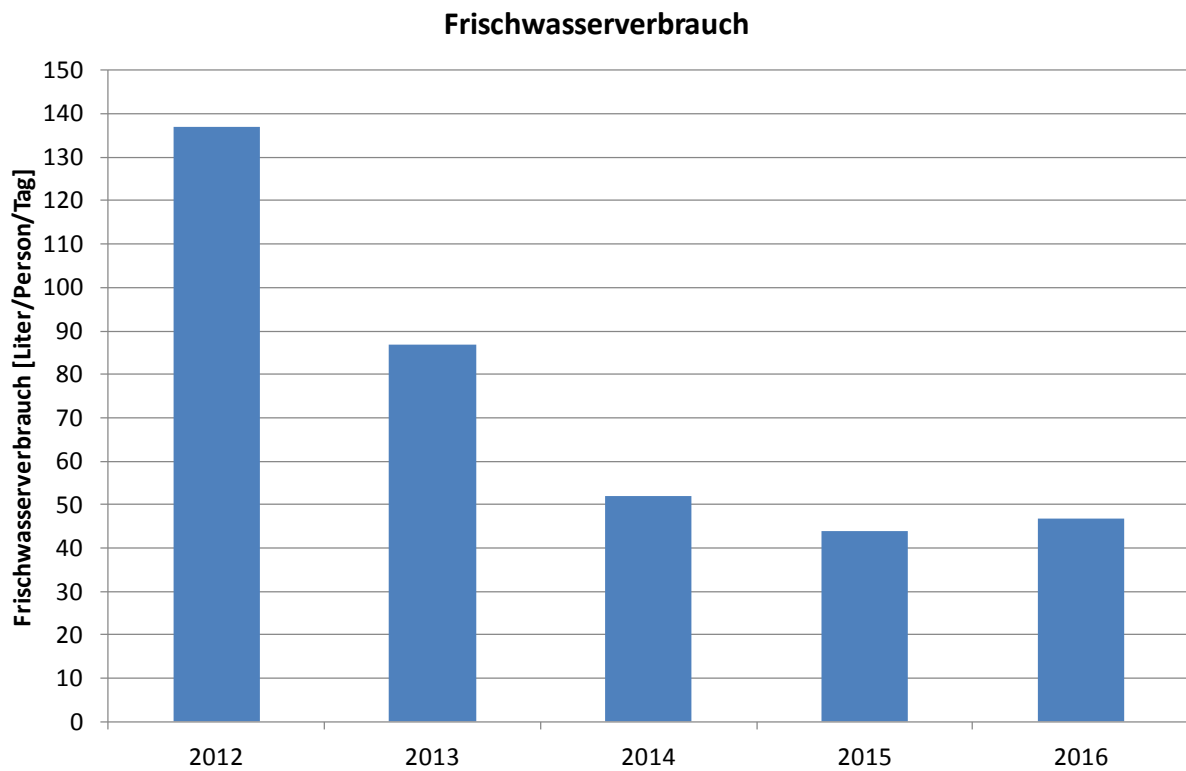


Abbildung 58: Frischwasserverbrauch im Gebäude

## 5 Wirtschaftlichkeit

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Investitionskosten des Gebäudes. Es muss hier ganz klar festgehalten werden, dass diese Kosten zum großen Teil dadurch bedingt sind, dass es sich um ein Demonstrationsprojekt handelt, bei dem höhere Kosten aufgrund vom Architekturkonzept (große Zahl an Fensterflächen, Einbau zusätzlicher Technik, usw.) und dem Umbau des Altbaus zustande kommen. Die Mehrkosten, die zur Erfüllung des Effizienzhaus Plus Standards nötig sind, werden im späteren Verlauf dieses Kapitels dargestellt.

**Tabelle 8: Übersicht Investitionskosten**

Bauteil / Anlage	Brutto-Kosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]	
Außenwand	Kostengruppe 300	543.000 €
Dach	inkl. Abbruch,	
Wand gegen Erdreich	Inkl. Altbausanierung und Anbau,	
Bodenplatte	inkl. Lieferung der VELFAC + VELUX-Produkte	
Fenster	Anteil Fenster und Montage	
Heizung und Sanitärinstallation	inkl. Lieferung Wärmepumpe (Fa. Sonnenkraft)	80.000 €
Solarthermie	Kosten in KG 300 enthalten Lieferung von Velux	
Lüftungsanlage	anteilig in Pos. Fenster enthalten (kontrollierte Fensterlüftung)	
Photovoltaik	Kosten inkl. Montage in KG 300 enthalten	
Elektroinstallation und Automation	Gebäudeautomation inkl. Window-Master-System	107.000 €
Beleuchtungsaustattung	(zzgl. Anteil-Sponsoring)	11.000 €
Summe der Posten		<b>741.000 €</b>

Zum jetzigen Projektstand ist es nicht möglich, die Kosten detaillierter den einzelnen Anlagen zuzuordnen. Dies ist eine Folge der speziellen Projektkonstellation (z.B. Velux als Bauherr, Produkthersteller und Lieferant).

## 5.1 Ermittlung der Mehrinvestitionen für den Effizienzhaus Plus Standard

Zur Ermittlung der Mehrinvestitionskosten für den Effizienzhaus Plus Standard wird das Referenzgebäude der EnEV 2009 mit einem Gasbrennwert- statt Ölbrennwertkessel herangezogen. Für diese Gebäude sind Referenz-U-Werte der einzelnen Bauteile definiert. Aus diesen lässt sich eine Dämmdicke bei Standardbauteilkonstruktionen ableiten. Anschließend wird ermittelt, wie viel zusätzliche Dämmung bei dieser Konstruktion benötigt wird, um die U-Werte zu erreichen, die die Bauteile des LichtAktiv Hauses aufweisen. Mit Hilfe von spezifischen, energiebedingten Mehrkosten nach [7, Tabelle 7] lassen sich Mehrkosten für die Investition in die Gebäudehülle ermitteln.

Weiterhin werden Investitionskosten der technischen Anlagen, für die keine separaten Abrechnungen vorliegen, auf Basis spezifischer Investitionskosten nach [8] ermittelt.

Für den Vergleich der Betriebskosten werden die Endenergiebedarfe Gas und Strom für die Anlagentechnik des Referenzgebäudes hinterlegt. Für das LAH werden die Stromverbräuche der Anlagentechnik im Jahr 2016 als Grundlage verwendet.

**Tabelle 9: Übersicht Mehrkosten der Gebäudehülle**

Bauteil	U-Wert EnEV 2009	U-Wert LAH	$\Delta$ U-Wert	Wärmeleitfähigkeit Dämmung	zusätzliche Dämmschichtdicke	Fläche	Mehrkosten (brutto) nach [7]
	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/(mK)	cm	m <sup>2</sup>	€
Dach Neubau	0.20	0.14	0.06	0.035	8	77	1 283 €
Dach Altbau	0.28	0.15	0.13	0.035	11	81	1 934 €
Bodenplatte Neubau	0.35	0.12	0.23	0.035	19	87	4 045 €
Bodenplatte Altbau	0.35	0.31	0.04	0.035	1	63	1 748 €
Außenwand Neubau	0.28	0.14	0.14	0.035	13	105	4 749 €
Außenwand Altbau	0.28	0.17	0.11	0.035	8	67	2 307 €
Dachfenster Neubau	1.40	1.40	0.00	-	-	12	-
Dachfenster Altbau	1.40	1.00	0.40	-	"+1 Scheibe"	27	1 356 €
Fassadenfenster Neubau	1.30	1.11	0.19	-	"+1 Scheibe"	47	2 338 €
Fassadenfenster Altbau	1.30	1.11	0.19	-	"+1 Scheibe"	11	562 €
Summe							<b>20 321 €</b>

Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die Mehrkosten der Gebäudehülle im Vergleich mit dem EnEV 2009 Referenzgebäude. Die zusätzlichen Investitionskosten liegen demnach bei etwa 20.000 € (ca. 140 €/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>) brutto. Typische Kosten für die Kostengruppe 300 liegen im Bereich von 1.200 bis 1.800 €/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>. Das Zusatzinvest in die Gebäudehülle liegt damit ca. zwischen 7,5 und 12 %.

In Tabelle 10 sind die Mehrinvestitionskosten für die Anlagentechnik dargestellt. Diese liegen bei etwa 33.000 € (230 €/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>) für das LAH. Anzumerken ist, dass die Solarthermie zur Erreichung des Effizienzhaus Plus-Standards auch kleiner ausgelegt werden kann und so Investitionskosten gespart werden könnten.

Das Lüftungssystem wird nicht berücksichtigt, da es rechnerisch als natürliche Lüftung angesetzt wird und damit die Auslegung und somit die Investitionskosten der Wärmeerzeuger nicht beeinflusst. Ein Vergleich von Abluftanlage und der automatisierten Fensterlüftung erfolgt in Kap. 5.3.

**Tabelle 10: Mehrinvestitionskosten für die Anlagentechnik**

EnEV 2009 Ref.-Geb.			
Komponente	spez.Kosten (netto)	Größe	Gesamtkosten (brutto)
Gaskessel inkl. Regelung, Zubehör, Abgassystem, Hydraulische Einbindung	380 €/kW	15 kW	6 783 €
Gasanschluss	2500		2 975 €
Solarthermie inkl. Speicher	745 €/m <sup>2</sup>	4.8 m <sup>2</sup>	4 255 €
			14 013 €
LAH ab 2015			
Komponente	spez.Kosten (netto)	Größe	Gesamtkosten (brutto)
Wärmepumpe inkl. Speicher+Montage	14706 €	Aus Rechnung	17 500 €
Erdsonden	50 €/m	100 m	5 950 €
Solarthermie ohne Speicher	300 €/m <sup>2</sup>	13.2 m <sup>2</sup>	4 712 €
		Summe HLS	28 163 €
PV-Anlage	1800 €/kWp	8.8 kWp	18 850 €
Differenzkosten zum Referenzgebäude (Ref.-Geb. ohne PV)			33 000 €

Die Mehrinvestitionen belaufen sich also auf etwa 53.000 € (370 €/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>).

## 5.2 Ermittlung der Betriebskosteneinsparung für den Effizienzhaus Plus Standard

Im Folgenden erfolgt der Vergleich der Betriebskosten vom EnEV 2009 Referenzgebäude und dem LAH. Hierbei wird der Haushaltsstrom in die Betrachtung einbezogen. Als Basis werden Standardstromtarife und -gastarife, Stand 2017 für den Standort Hamburg, genutzt.

Die Stromkosten für das Lüftungssystem (kontrollierte Fensterlüftung) werden in diesem Fall mit einbezogen, da diese in den Verbrauchsdaten enthalten sind und zu einer Komfortverbesserung, verglichen mit manueller Fensterlüftung, führen.

Tabelle 11 zeigt den Vergleich der jährlichen Betriebskosten. Die Einsparung im LAH beträgt etwa 2.200 €/a verglichen mit dem Referenzgebäude.

Es ergibt sich somit eine statische Amortisationszeit von 24 Jahren.

Mit optimierter Auslegung der Komponenten (hier die Solarthermiefläche) und weiterer Effizienzsteigerung im Betrieb ist davon auszugehen, dass auch Amortisationszeiten von 20 Jahren oder weniger erreicht werden können.



**Tabelle 11: Vergleich Betriebskosten**

EnEV 2009 Ref.-Geb.			
	spez.Kosten (netto)	Größe	Gesamtkosten (brutto)
<b>Kosten Gas</b>			
Grundpreis (Standardtarif)	150 €/a		179 €
Arbeitspreis (Standardtarif)	0.0553 €/kWh	19250 kWh	1 267 €
Wartung	180 €/a		214 €
Instandsetzung	1%/a ST, 1.5 %/a GK		144 €
<b>Kosten Strom</b>			
Grundpreis (Standardtarif)	125 €/a		
Arbeitspreis Hilfsenergie	0.222 €/kWh	352 kWh	93 €
Arbeitspreis Haushaltsstrom	0.222 €/a	2973 kWh	785 €
		Summe	2 682 €
LAH			
	spez.Kosten (netto)	Größe	Gesamtkosten (brutto)
<b>Kosten Strom</b>			
Grundpreis (Standardtarif)	125 €/a		
Arbeitspreis Haushaltsstrom (Standardtarif)	0.222 €/a	2973 kWh	785 €
Arbeitspreis Wärmepumpe (WP-Tarif)	0.188 €/a	4197 kWh	938 €
Wartung	150 €/a		179 €
Instandsetzung	1%/a ST, 1.5 %/a GK; 1%/a PV		470 €
Arbeitspreis Lüftung	0.222 €/a	650 kWh	172 €
Einspeisevergütung	0.242 €/a	7432 kWh	-2 136 €
		Summe	408 €

### 5.3 Vergleich automatische Fensterlüftung und Abluftanlage

Im Folgenden erfolgt ein Vergleich vom verbauten Lüftungssystem mit einer Abluftanlage, da beide Systeme mit dem Nachströmen unkonditionierter Außenluft in den Innenraum arbeiten und beide Systeme anhand von Raumkomfortparametern gesteuert werden können. Da keine abgerechneten Kosten vorliegen, die nur die Komponenten des Lüftungssystems umfassen, wird wie vorher ein Kostenvergleich auf Basis von spezifischen Investitionskosten durchgeführt.

Für das LAH wird ermittelt, wie viele Fenster mit einer Größe von 1,8 m<sup>2</sup> (1,14 m x 1,60 m) und einer Öffnungsweite von maximal 20 cm nötig sind, um den Normluftwechsel von 0,5 h<sup>-1</sup> im Winter in den Wohnräumen sicherzustellen. Die Ermittlung des Luftwechsels erfolgt auf Basis der VDI 6040, Blatt 2 mit Parametern für Wohnräume. Betrachtet werden nur die Wohnräume (Schlaf-, Kinder- und Wohnzimmer). In den Kinderzimmern und im Schlafzimmer wird jeweils ein Fenster, im Wohnzimmer werden zwei Fenster benötigt.

Mit Hilfe der von Velux gegebenen Listenpreise für die geeigneten Fenster zur automatisierten Lüftung kann der Mehrpreis gegenüber Standardfenstern auf Basis von [7] ermittelt werden und so Kosten für das System der automatisierten Fensterlüftung abgeschätzt werden.

Tabelle 12 zeigt die Investitionskosten der beiden Systeme im Vergleich.

**Tabelle 12: Vergleich Investitionskosten Lüftungssystem**

<b>Investitionskosten</b>			<b>Menge</b>	<b>Einzelpreis</b>	<b>Gesamtpreis</b>
<b>kontrollierte Wohnraumlüftung über Abluftanlage</b>				<b>netto</b>	<b>brutto</b>
KG 430	Raumlufttechnik	Abluftanlage	240 m <sup>3</sup>	20 €/m <sup>3</sup>	5 711 €
KG 440	Starkstromanlagen	Stromanschluss	1 Stk.	100 €/Stk.	119 €
KG 480	Gebäudeautomation				€
KG 330	Außenwände	ALD fensterintegriert	5 Stk.	100 €/Stk.	595 €
KG 340	Innenwände	Überströmung Tür		pauschal	300 €
KG 350	Decken	Außenwanddurchbruch	1 Stk.	200 €/Stk.	238 €
Zuschlag Baunebenkosten				0%	€
Unvorhergesehenes				10%	696 €
Planung				10%	766 €
<b>Summe</b>					<b>8 426 €</b>

<b>Investitionskosten</b>			<b>Menge</b>	<b>Einzelpreis</b>	<b>Gesamtpreis</b>
<b>automatisierte Fensterlüftung</b>				<b>netto</b>	<b>brutto</b>
Kosten für Fenster inkl. Stellmotoren und Sensorik und Rahmen			5 Stk.	1 387 €/Stk.	8 250 €
Mittelwert Fensterpreis nach [7] ohne Sensorik, Stellmotoren			9.12 m <sup>2</sup>	307 €/m <sup>2</sup>	3 329 €
Mehrkosten Fenster					4 921 €
KG 440	Starkstromanlagen	Stromanschluss	5 Stk.	100 €/Stk.	595 €
KG 480	Gebäudeautomation	Steuerung		pauschal	1 500 €
Zuschlag Baunebenkosten				0%	€
Unvorhergesehenes				10%	702 €
Planung				10%	772 €
<b>Summe</b>					<b>8 490 €</b>

Es wird deutlich, dass die Kostenunterschiede in der Investition gering sind. Das System der automatisierten Lüftung ist etwa 1 % teurer.

Die Wartungskosten können als ähnlich angesehen werden.

Unter der Annahme eines durchschnittlichen Verbrauchs von 1 Watt pro Fenster (Stand-By Verluste und Betrieb, gemittelt) und 5 Watt für die Regelung (Gebäudeautomation) über das gesamte Jahr sind die Energiekosten etwas geringer als die einer Abluftanlage mit SFP-Klasse 2 und einer Betriebszeit von 12 h/d (Tabelle 13).

Die Gesamtsystemkosten der beiden betrachteten Systeme sind folglich unter Berücksichtigung von Unsicherheiten in den angenommenen Kosten nahezu gleich.

**Tabelle 13: Jahresgesamtkosten Lüftung**

		<b>Menge</b>	<b>Bezugspreis</b>	<b>Gesamtpreis</b>
			<b>brutto</b>	<b>brutto</b>
				[€/a]
<b>Abluftanlage</b>	Kapitalkosten	6.7%	8 426 €	566
	Wartung/Instandsetzung	1%	8 426 €	84
	Energie (25 W, 4400 h/a)	111 kWh/a	0.26 €/kWh	35
	<b>Summe</b>			<b>685</b>
<b>autom. Fensterlüftung</b>	Kapitalkosten	6.7%	8 490 €	571
	Wartung/Instandsetzung	1%	8 490 €	85
	Energie (5*1 W/Fenster + 5 W, 8760 h/a)	88 kWh/a	0.26 €/kWh	28
	<b>Summe</b>			<b>683</b>

## 6 Erkenntnisse

Dem Bericht liegen die Daten der Jahre 2011 bis 2016 zugrunde, die Aufschluss über die Gebäudeperformance, sowie die Energieeffizienz und den Nutzerkomfort geben.

### Energieperformance

Das energetische Ziel Effizienzhaus Plus wird unter Berücksichtigung des Haushaltsstromverbrauchs und Stromverbrauch für die Anlagentechnik ab 2014 erreicht.

Aus der Betrachtung exkludiert werden die Verbräuche für E-Mobilität, da dieser in der Planung nicht berücksichtigt wurde, und der Zähler Technik, da dieser projektspezifische bzw. monitoringbezogene Verbräuche sowie Verbräuche für die inzwischen veränderten Standby-Verluste der elektrischen Dachflächenfenster erfasst. Durch eine Optimierung der Produkte konnte der Werte um 85% verringert werden. Die große Anzahl der im LichtAktiv Haus vorhanden Dachflächenfenster führt allerdings noch zu einem nicht übertragbaren Wert.

Unabhängig davon lässt sich eine automatisierte Fensterlüftung erreichen, die die Zielwerte beim Komfort signifikant unterstützt. Fensterlüftung und eine hoher energetischer Standard wie das Effizienzhaus-Plus schließen sich nachweislich nicht aus.

Der Verbrauch der Anlagentechnik liegt im Bereich von 23,2(2016) bis 44,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) (2011) und immer über den Planungswerten von 25,94 kWh/(m<sup>2</sup>a) für die alte Anlagentechnik bis 2015 bzw. 18,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) für die neue Anlagentechnik. Durch das Monitoring und die damit einhergehende Betriebsoptimierung und insbesondere durch den Anlagenumbau konnte dennoch der Stromverbrauch der Anlagentechnik deutlich gesenkt werden. Es zeigte sich, dass eine Vereinfachung der Anlagentechnik und -regelung, besonders im kleinen Einfamilienhausbau, als sinnvoll erachtet werden kann. Es werden auf diese Weise nicht alle Potenziale optimal genutzt, allerdings ist die Implementierung deutlich leichter und weniger fehleranfällig, je einfacher und robuster das System geregelt ist.

Der Haushaltsstromverbrauch ist insgesamt höher als der anzunehmende Wert nach Definition des Effizienzhaus Plus (20 kWh/(m<sup>2</sup>a), maximal 2.500 kWh/a pro Wohneinheit [4])

Der gemessene Verbrauch liegt bei etwa 3.000 kWh/a und bietet Optimierungspotenzial.

Am Zähler Technik wurden durchschnittlich 2.000 kWh/a registriert. Hierin ist zum einen die Monitoringtechnik, also der projektspezifische Verbrauch, aber auch der Strom für die Steuerung und Stellmotoren enthalten. Der Standby-Stromverbrauch für die automatisierte Lüftung allein liegt bei etwa 650 kWh/a. Dieser wurde produktseitig deutlich optimiert.

Der regenerative Deckungsanteil am Gesamtstromverbrauch (ohne E-Mobilität, ohne Zähler Technik) durch die PV-Anlage liegt im Bereich von 71 % (2011) bis 106 % (2016) in endenergetischer Sicht bzw. im Bereich von 83 % (2011) bis 124 % (2016) in primärenergetischer Sicht.

### Innenraumklima

Die Raumtemperaturen betragen im Mittel 21-23°C. Dadurch ist die Behaglichkeit gewährleistet. Lediglich der Hauswirtschafts- und Technikraum sind im Schnitt wärmer. Dies ist auf die Abwärme der Geräte sowie die nicht optimale Lüftungssituation zurückzuführen. Überhitzungen in den anderen Räumen treten in weniger als 5 % der Jahresstunden auf, im Treppenraum 2013 gar nicht.

Die relative Raumluftfeuchte ist insbesondere in der Heizperiode im guten Bereich (Kat. I bis Kat. II nach DIN EN 15251). In weniger als 5% der Zeit werden in den Aufenthaltsbereichen Werte von 35 % unterschritten. Im Sommer übersteigt die relative Luftfeuchtigkeit den Wert

von 60 % und ist nach den Kriterien der DIN EN 15251 etwas zu feucht, was zu einer leichten Einschränkung der Behaglichkeit führen kann (Kat. III). Relative Luftfeuchtigkeiten unter 20 % oder über 70 % (Kat. IV) treten in weniger als 1 % der Jahresstunden auf.

Die Luftqualität (CO<sub>2</sub>-Gehalt) unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen. Im Sommer ist die Luftqualität in den Aufenthaltsbereichen in über 85 % der Zeit im guten Bereich (Kat. I und Kat. II nach DIN EN 15251). Durch verminderte Lüftungszeiten und damit verbundenem geringeren Luftaustausch ist die Luftqualität im Winter schlechter. In einzelnen Monaten ist die Luftqualität in 50 % der Fälle Kat. IV zuzuordnen.

Im Gesamtjahresverlauf liegen im Schlafzimmer und Kinderzimmer etwa 70-80 % der Stunden im guten bis akzeptablen Bereich (Kat. I bis Kat. III nach DIN EN 15251), im Wohnzimmer sind es 80 – 93 %.

Die jahreszeitliche Schwankung ist mit der Regelung der automatisierten Lüftung sowie dem Sicherheitsbedürfnis der Bewohner zu begründen.

Die Bewohner schalten die automatisierte Lüftung in der Nacht ab, außerdem findet im Winter bei Bedarf eine manuelle Übersteuerung statt, was zu erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen führt.

### Solarthermie

Die solaren Erträge liegen bezogen auf die Kollektorfläche im Bereich von 220 bis 270 kWh/(m<sup>2</sup>a). In 2015 liegt der Ertrag mit 454 kWh/(m<sup>2</sup>a) aufgrund der Einspeisung in das Erdreich deutlich darüber. Die Auswirkung auf die Gesamteffizienz der Anlage wurde beschrieben. Durch die Anpassung der Regelung konnte eine Optimierung erreicht werden.

Die Verkleinerung der Anlage von 19,6 auf 13,2 m<sup>2</sup> Absorberfläche hat nicht zu einer Erhöhung der spezifischen Erträge geführt, da die Solaranlage gleichzeitig nicht mehr als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt wird.

Der spezifische Ertrag liegt mit 220 kWh/(m<sup>2</sup>a), bei der Anlagendimension im erwarteten Bereich.

### Trinkwarmwasserbereitung

Der Anteil der Trinkwarmwasserbereitung am Gesamtwärmeverbrauch ist sehr gering. Insgesamt liegt der Verbrauch deutlich unter der Kalkulation und zeigt, dass die Bewohner sparsam mit Warmwasser umgehen. Der Warmwasserverbrauch liegt zwischen 12 und 20 Litern pro Person und Tag bei einer angenommenen Spreizung von 35 K.

### Wasserverbrauch

Der Verbrauch an Frischwasser ist mit etwa 40 bis 50 Litern pro Person und Tag sehr gering. Durch die Regenwassernutzung lassen sich ca. 60% der Frischwassermenge einsparen (Vergleich Bundesdurchschnitt: ca. 120 Liter pro Person und Tag). Im Licht Aktivhaus ist eine Anlage installiert, die die Toilettenspülung, die Waschmaschine und die Außenanlagen bedient.

### Geothermie

Im Laufe des Jahres 2013 sind die Erdsonden in das Energiekonzept eingebunden worden. Es handelt sich hierbei um zwei Doppel-U-Sonden mit einer standortbedingt begrenzten Tiefe von jeweils 50 m Länge. Ziel war es sowohl die Quellenseite für die Wärmepumpe zu optimieren und zusätzlich die überschüssigen solaren Erträge der Solarthermie in das Erdreich einzukoppeln. Die spezifische Ertragssteigerung der solarthermischen Anlage zeigt die Berück-

sichtigung. Mit dem vorhandenen Solar Compleet System konnte jedoch aufgrund der Komplexität der Regelung keine weitere Steigerung der Effizienz erreicht werden.

Mit dem Umbau der Anlage in 2015 auf die monovalente Quelle Erdreich, ist die Integration der oberflächennahen Geothermie positiv für die Gesamtenergieeffizienz. In Verbindung mit der weiterhin verbundenen Regeneration des Erdreichs durch überschüssige solarthermische Erträge konnte die Jahresarbeitszahl von 1,4 (2012) über 1,8(2013) und 2,0 (2015) bis zu 2,5 (2016) gesteigert werden.

Die im Verhältnis zur Heizleistung knapp ausgelegte Quelle mit insgesamt 100 Meter Länge wurde im Rahmen einer dynamischen Simulation für einen Zeitraum von 20 a überprüft. Eine signifikante Abkühlung der Erdreichtemperatur ist unter Berücksichtigung der Randbedingungen nicht zu erwarten.

Die Ergebnisse der Simulation finden sich im Anhang.

### E-Mobilität

Der Einsatz eines Elektrofahrzeugs erfolgt seit Ende 2012. Die gemessenen Daten zeigen eine regelmäßige Nutzung des Fahrzeugs.

Der Stromverbrauch des Elektroautos lag im Bereich von 1.800 bis 2.600 kWh/a. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 17 kWh/100 km ergeben sich etwa 10.000 bis 15.000 km Fahrtstrecke pro Jahr.

Betrachtet wird hier nur die Energiemenge, die am Haus geladen wurde. Eine Aussage zur Energiemenge, die an externen Ladestationen bezogen wurde, konnte nicht erfolgen.

Seit Ende 2016 ist kein E-Auto mehr vorhanden.

## 7 Anhang

### 7.1 Grundrisse

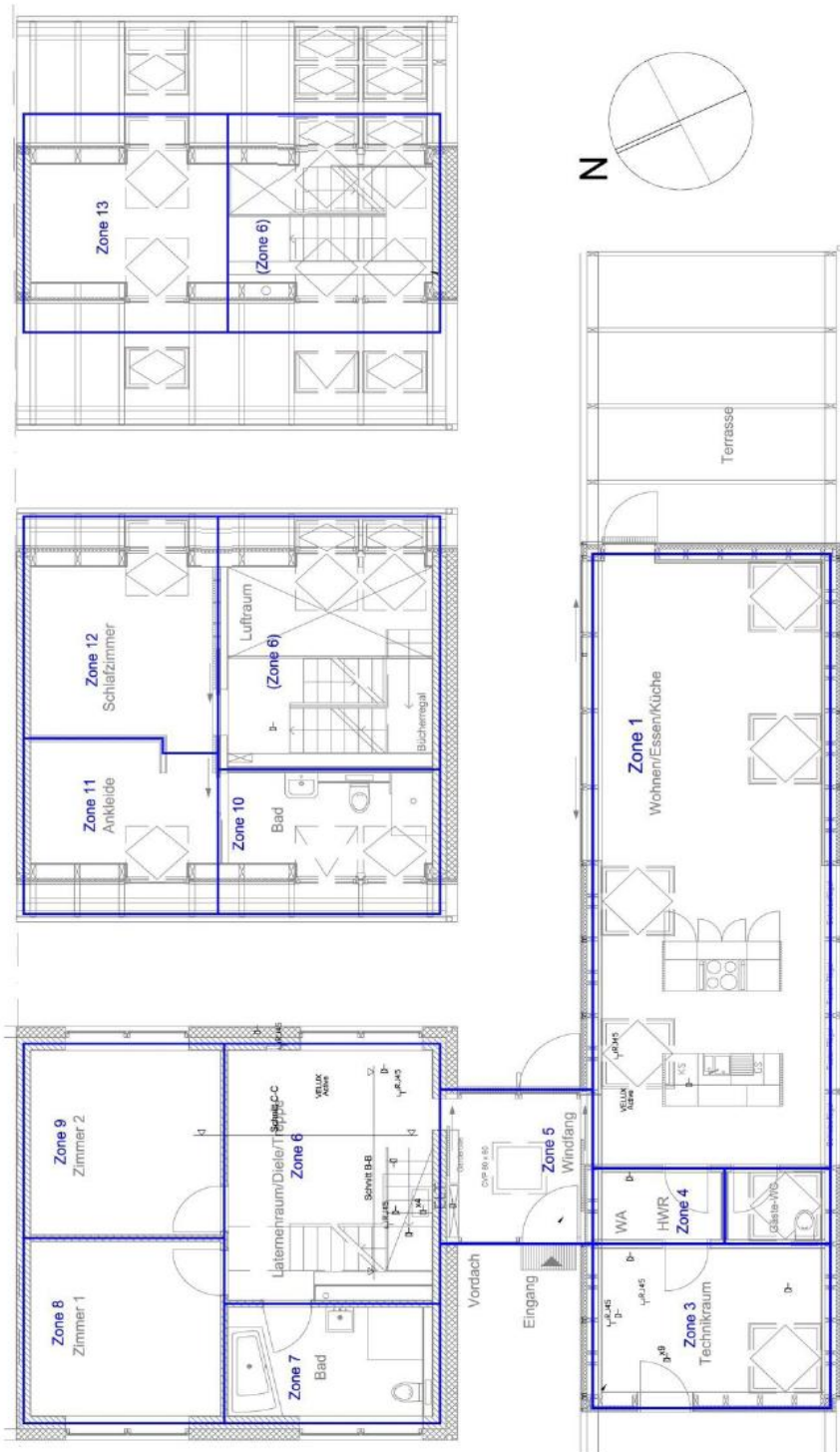


Abbildung 59: Grundrisse und Zoneneinteilung, nicht maßstabsgetreu (Quelle Velux)

## 7.2 Schnitt Gebäude

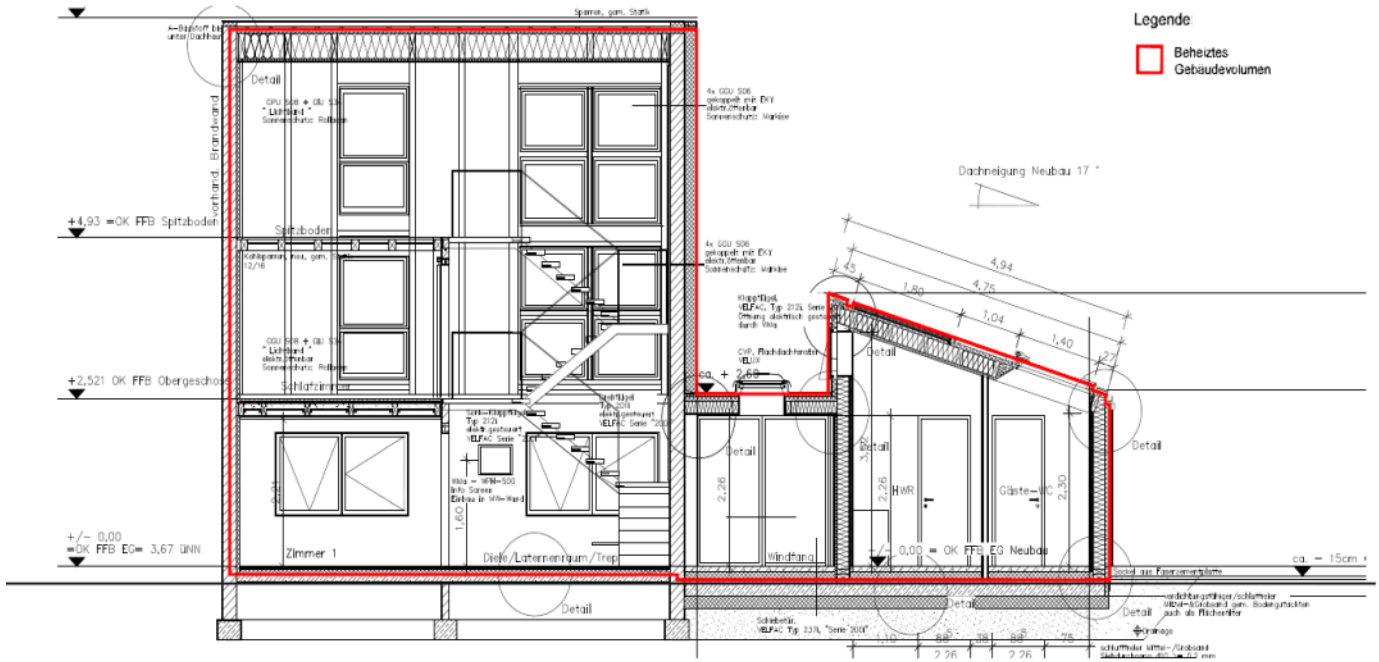


Abbildung 60: Schnitt durch das Gebäude (Quelle HL-Technik)

### 7.3 Wetterdaten 2011-2016

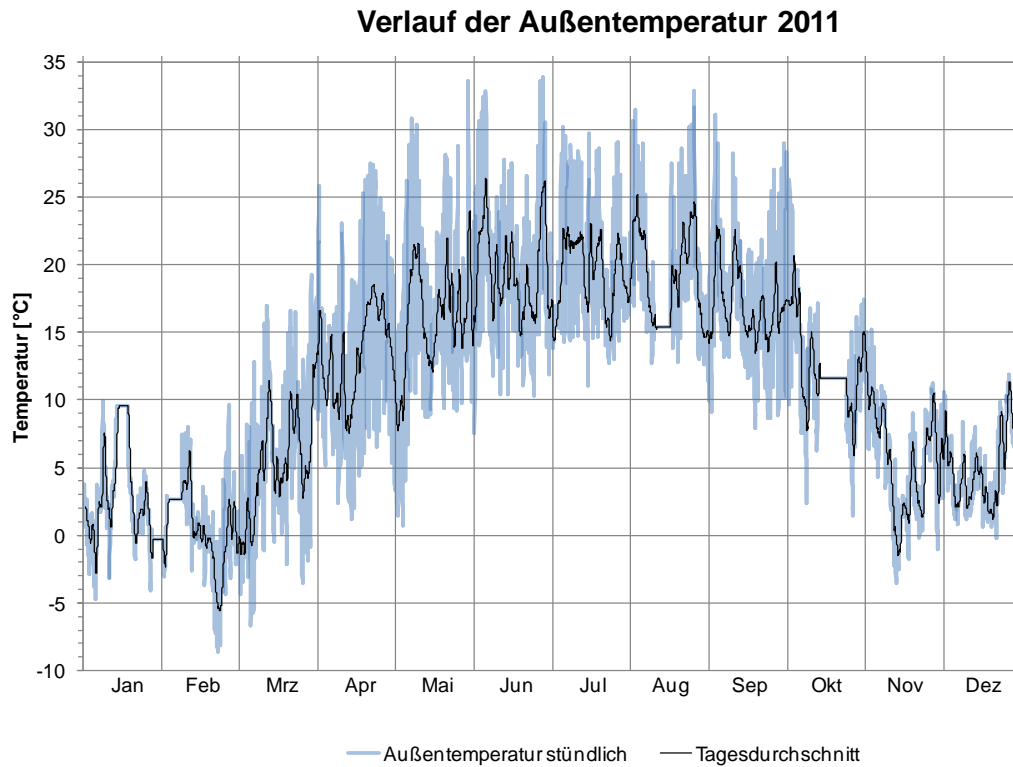


Abbildung 61: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2011

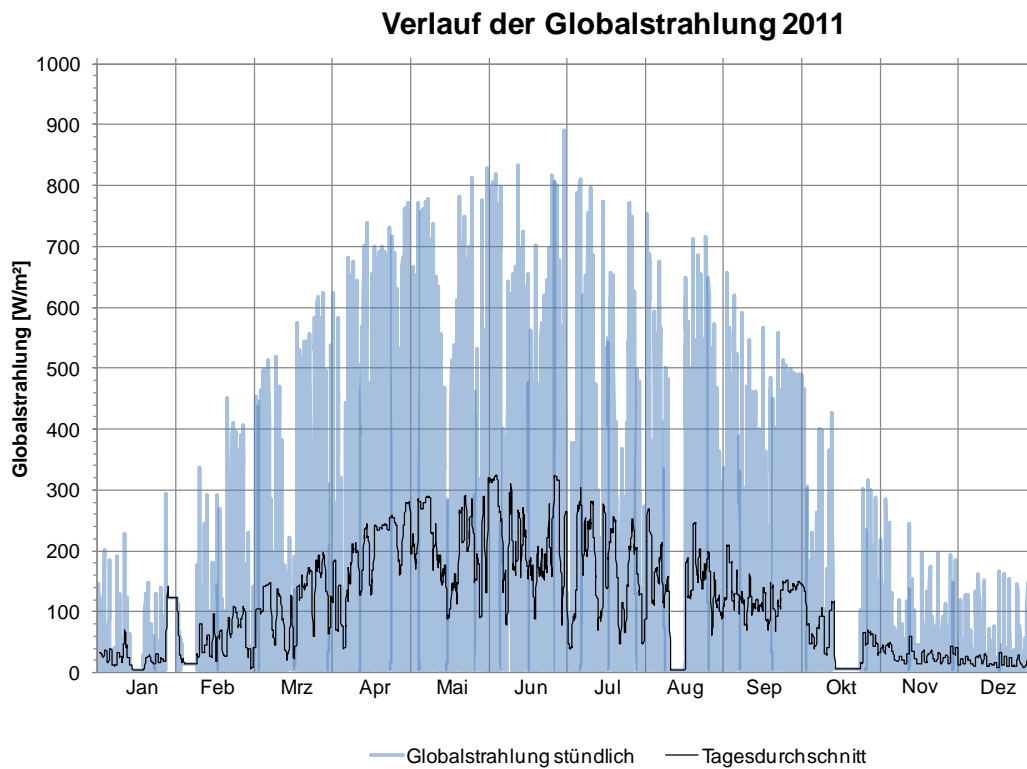


Abbildung 62: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2011

Anmerkungen: Ausfall im März, Mai und September



### Verlauf der Außentemperatur 2012

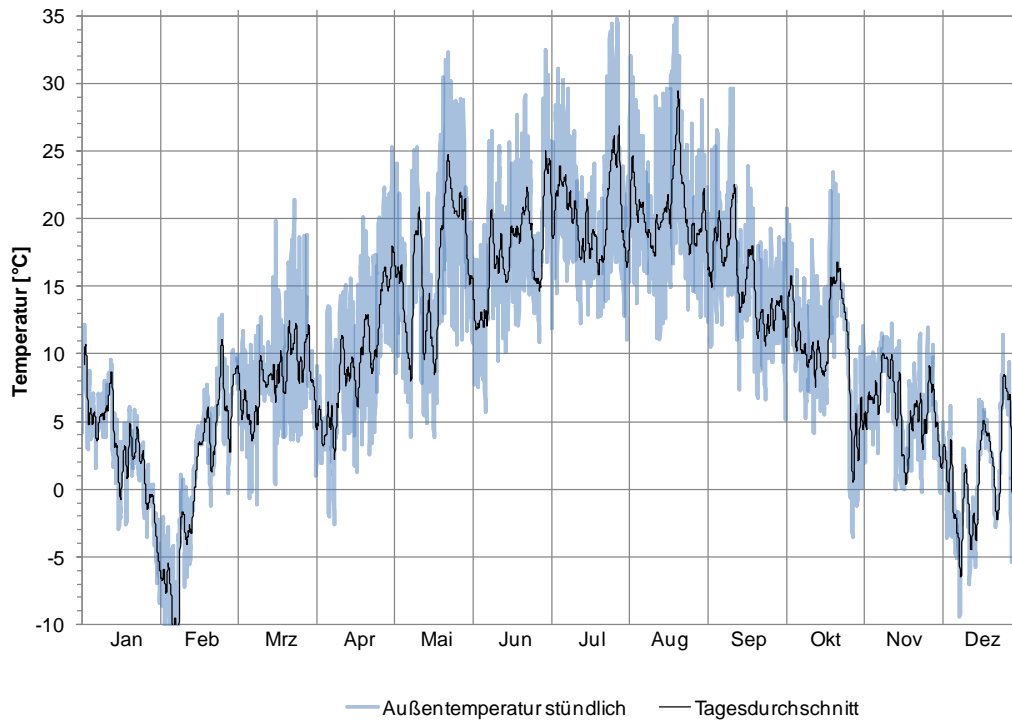


Abbildung 63: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2012

### Verlauf der Globalstrahlung 2012

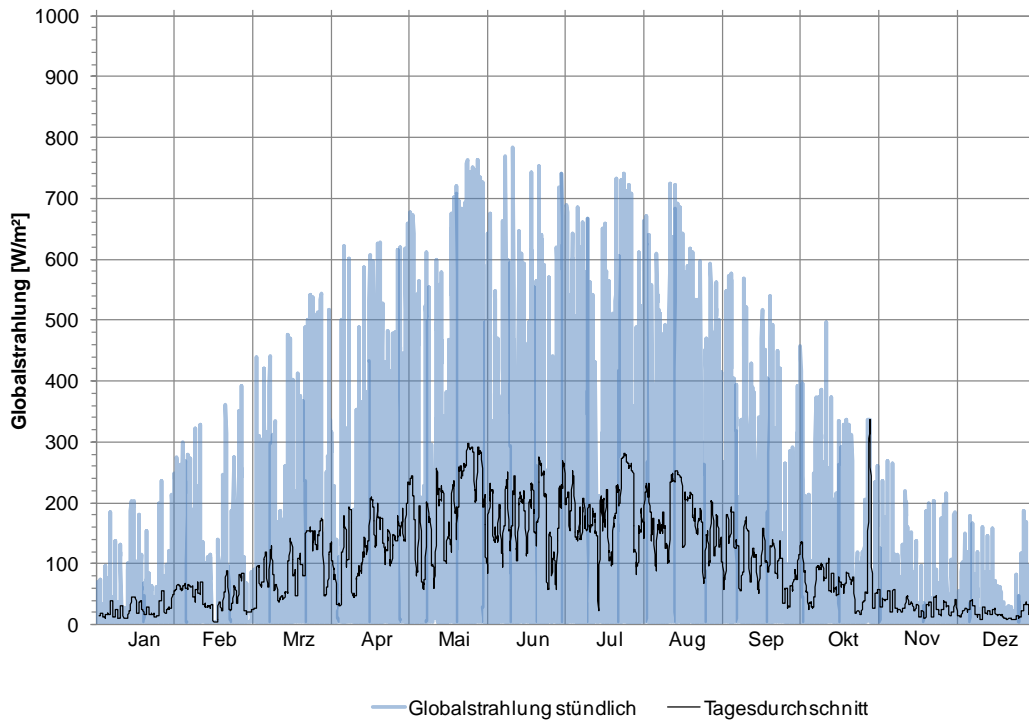


Abbildung 64: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2012

### Verlauf der Außentemperatur 2013

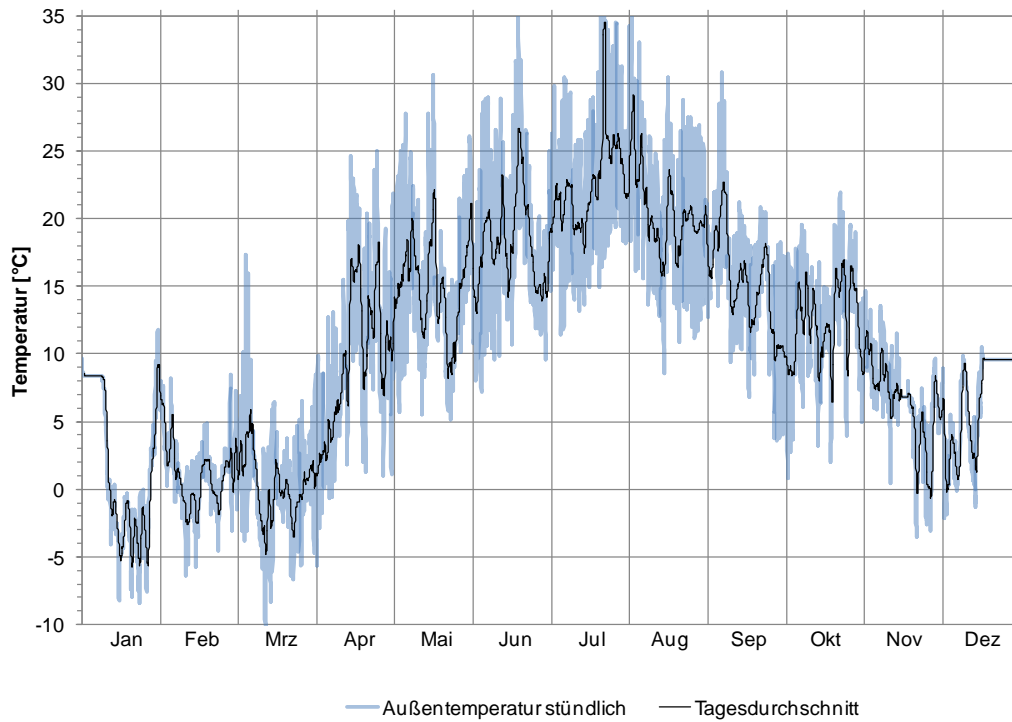


Abbildung 65: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2013

### Verlauf der Globalstrahlung 2013

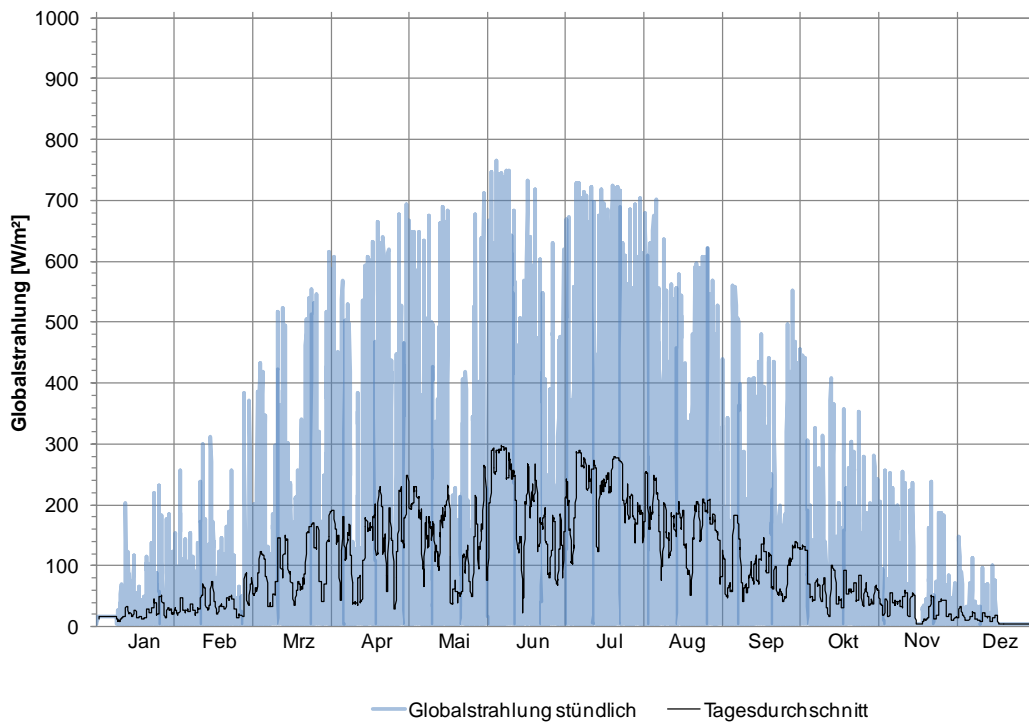


Abbildung 66: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2013

### Verlauf der Außentemperatur 2014

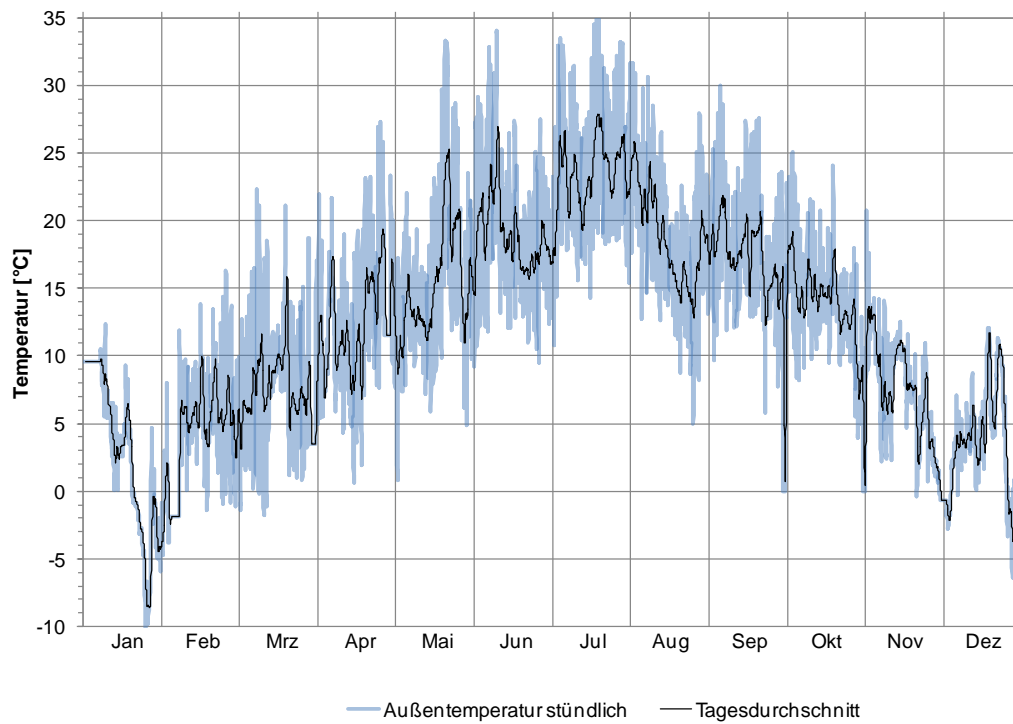


Abbildung 67: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2014

### Verlauf der Globalstrahlung 2014

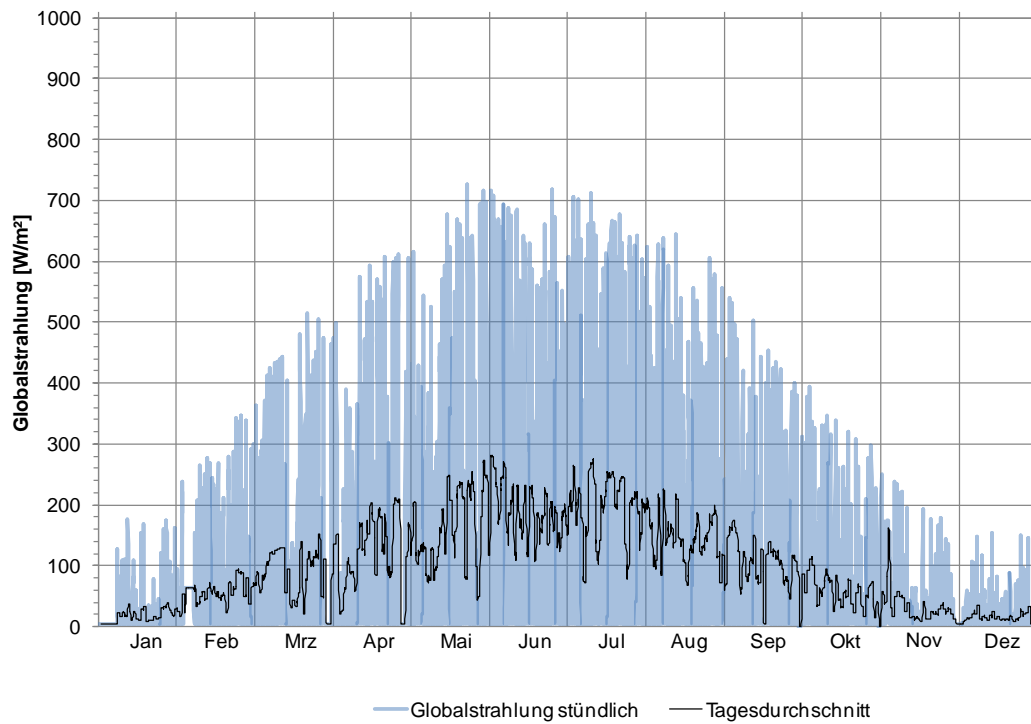


Abbildung 68: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2014

### Verlauf der Außentemperatur 2015

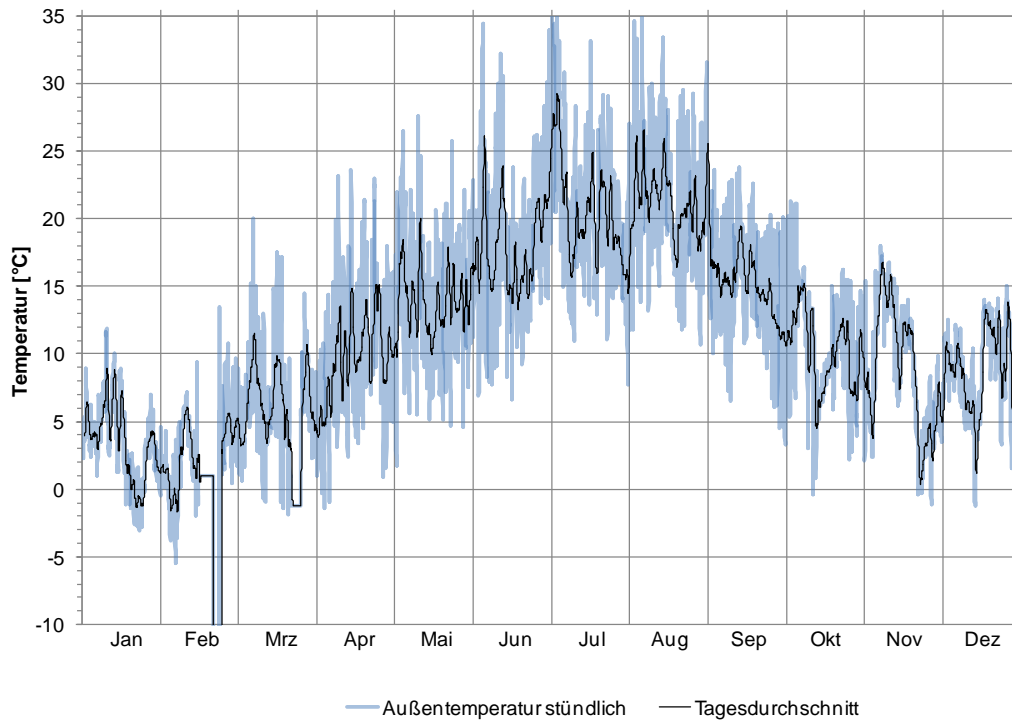


Abbildung 69: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2015

### Verlauf der Globalstrahlung 2015

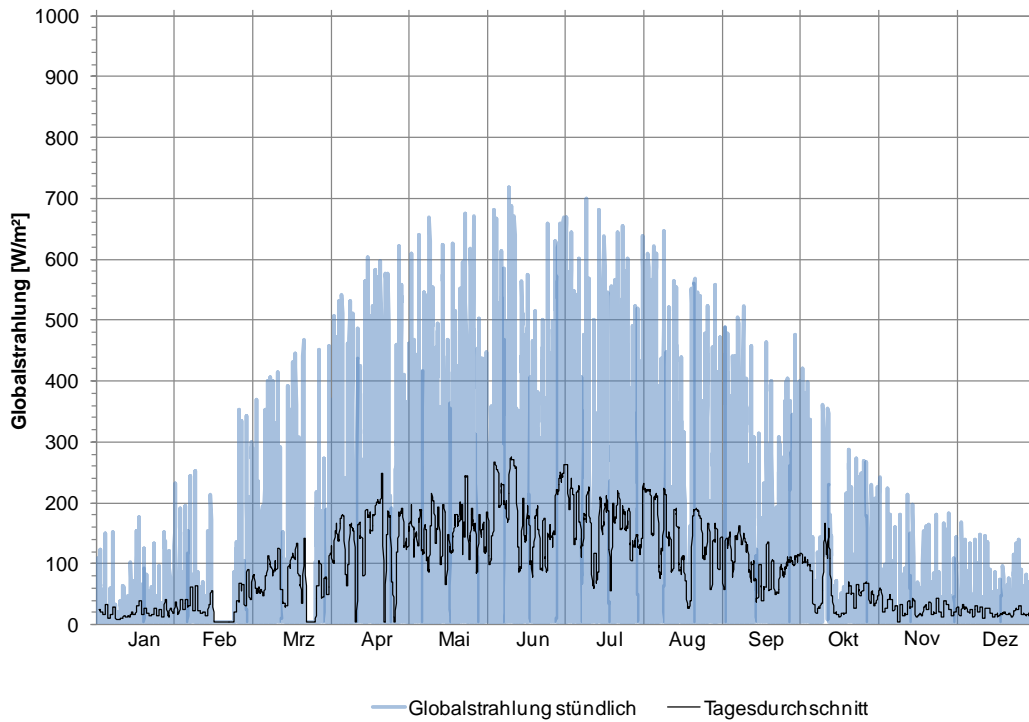


Abbildung 70: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2015

### Verlauf der Außentemperatur 2016

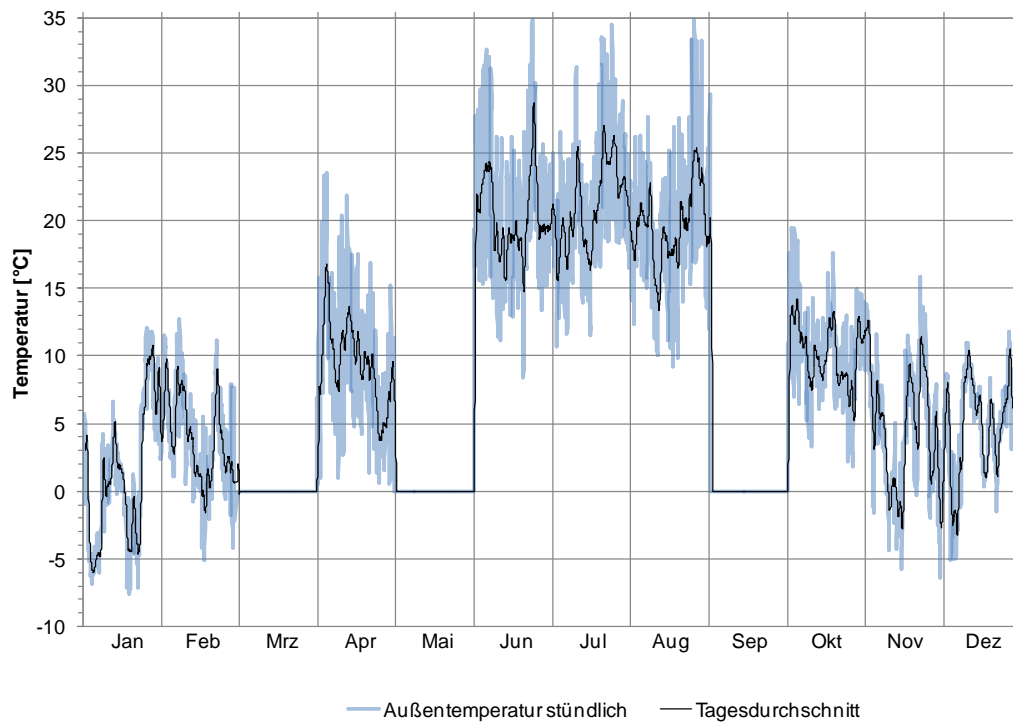


Abbildung 71: zeitlicher Verlauf der Außentemperatur 2016

### Verlauf der Globalstrahlung 2016

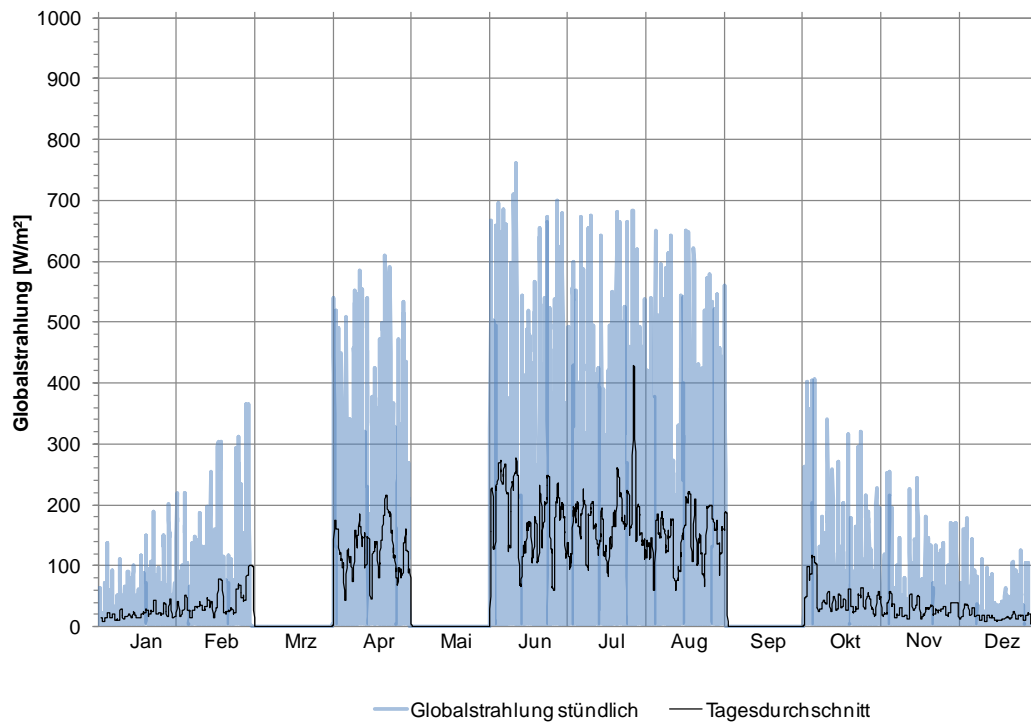


Abbildung 72: zeitlicher Verlauf der Globalstrahlung 2016

## 7.4 Übersicht monatlicher Stromverbräuche

Anmerkung: Stromverbrauch zur Wärmeversorgung ergibt sich aus dem gemessenen Stromverbrauch des Zählers „Anlagentechnik“ (vgl. Abbildung 10) und einem pauschalen Anteil von 16,7 kWh/Monat für die Fußbodenheizungssteuerung (Kap. 2.1.4).

Tabelle 14 Übersicht Strom 2011 in kWh/Monat

2011	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 11	1 957	0	0	1708 (0)	17	62	33	1 820	137
Feb 11	1 975	100	100	1728 (0)	39	64	20	1 852	124
Mrz 11	848	787	787	554 (0)	55	54	44	707	141
Apr 11	421	1 162	1 162	197 (0)	41	36	16	290	131
Mai 11	532	1 207	1 207	253 (0)	59	51	26	390	142
Jun 11	595	963	963	331 (0)	44	42	29	446	150
Jul 11	581	695	695	321 (0)	45	41	17	424	158
Aug 11	618	652	652	330 (0)	43	81	7	461	157
Sep 11	565	586	586	235 (0)	58	106	12	410	155
Okt 11	606	386	386	210 (0)	61	115	43	430	177
Nov 11	1 292	147	147	1005 (0)	33	47	36	1 121	170
Dez 11	1 506	78	78	1021 (0)	61	63	188	1 333	172
Jahr	11 497	6 763	6 763	7893 (0)	557	762	471	9 683	1 815

Tabelle 15 Übersicht Strom 2012 in kWh/Monat

2012	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 12	1 741	115	115	1326 (0)	94	74	76	1 570	171
Feb 12	2 049	311	311	1658 (0)	128	53	71	1 910	139
Mrz 12	944	686	686	483 (0)	171	51	87	792	151
Apr 12	724	829	829	323 (0)	153	36	76	588	136
Mai 12	558	1 224	1 224	185 (0)	109	31	92	417	141
Jun 12	451	1 007	1 007	81 (0)	127	24	82	314	136
Jul 12	498	1 114	1 114	124 (0)	129	29	77	358	140
Aug 12	474	1 071	1 071	106 (0)	121	30	78	334	140
Sep 12	476	663	663	114 (0)	105	40	76	335	142
Okt 12	896	451	451	464 (6)	142	57	85	747	149
Nov 12	1 230	168	168	796 (20)	144	70	77	1 087	144
Dez 12	1 950	49	49	1482 (299)	143	65	98	1 789	161
Jahr	11 991	7 690	7 690	7142 (325)	1 565	561	975	10 243	1 749

**Tabelle 16 Übersicht Strom 2013 in kWh/Monat**

2013	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 13	2 120	54	54	1637 (661)	144	73	102	1 956	164
Feb 13	1 872	203	203	1463 (436)	114	60	93	1 729	142
Mrz 13	2 000	576	576	1576 (688)	126	47	92	1 841	158
Apr 13	992	922	922	578 (61)	113	38	111	839	152
Mai 13	663	931	931	265 (0)	100	28	117	510	155
Jun 13	618	1 175	1 175	50 (0)	102	27	115	293	325
Jul 13	482	1 370	1 370	33 (0)	78	19	92	223	259
Aug 13	742	1 072	1 072	33 (0)	124	48	136	341	401
Sep 13	769	651	651	71 (0)	130	44	93	338	431
Okt 13	1 108	468	468	376 (4)	115	60	101	652	455
Nov 13	1 482	199	199	726 (2)	114	72	99	1 011	471
Dez 13	1 502	72	72	754 (0)	142	60	119	1 075	428
Jahr	14 348	7 692	7 692	7562 (1852)	1 401	576	1 269	10 809	3 542



**Tabelle 17 Übersicht Strom 2014 in kWh/Monat**

	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 14	1 863	95	95	1042 (106)	148	71	158	1 418	445
Feb 14	1 405	369	369	694 (17)	117	59	147	1 017	387
Mrz 14	1 071	676	676	462 (0)	116	46	176	800	271
Apr 14	825	960	960	214 (0)	106	30	242	592	234
Mai 14	494	1 065	1 065	108 (0)	115	24	88	335	158
Jun 14	414	1 181	1 181	34 (0)	111	22	87	255	159
Jul 14	408	1 268	1 268	34 (0)	93	23	92	243	163
Aug 14	529	989	989	35 (0)	111	31	142	320	211
Sep 14	752	774	774	43 (0)	117	35	129	324	428
Okt 14	822	425	425	234 (0)	100	44	106	484	338
Nov 14	1 365	192	192	656 (0)	126	65	121	969	397
Dez 14	1 757	73	73	958 (1)	142	78	109	1 287	471
Jahr	11 704	8 066	8 066	4514 (124)	1 403	527	1 599	8 043	3 663

**Tabelle 18 Übersicht Strom 2015 in kWh/Monat**

	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 15	1 690	100	100	957 (3)	118	62	96	1 233	457
Feb 15	1 344	294	294	704 (11)	136	51	189	1 080	264
Mrz 15	1 084	650	650	648 (0)	115	31	96	890	194
Apr 15	1 157	1 115	1 115	524 (0)	117	24	103	767	390
Mai 15	1 083	1 060	1 060	425 (0)	115	20	110	671	412
Jun 15	841	1 134	1 134	251 (0)	106	19	84	461	364
Jul 15	686	1 124	1 124	129 (0)	93	24	76	323	364
Aug 15	582	1 009	1 009	111 (0)	81	25	68	285	297
Sep 15	747	718	718	92 (0)	116	35	77	320	426
Okt 15	1 039	441	441	298 (0)	116	49	98	561	477
Nov 15	1 141	159	159	419 (0)	108	62	88	677	474
Dez 15	1 300	90	90	507 (0)	141	65	129	842	459
Jahr	12 694	7 893	7 893	5065 (14)	1 361	468	1 215	8 109	4 579

**Tabelle 19 Übersicht Strom 2016 in kWh/Monat**

2016	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 16	1 637	95	95	874 (0)	126	70	102	1 172	465
Feb 16	1 330	257	257	636 (0)	101	48	79	864	466
Mrz 16	1 165	555	555	566 (0)	113	40	91	810	355
Apr 16	953	870	870	237 (0)	127	29	91	484	468
Mai 16	794	1 183	1 183	83 (0)	118	25	90	316	478
Jun 16	706	1 097	1 097	51 (0)	97	24	82	254	453
Jul 16	697	1 034	1 034	52 (0)	96	25	88	261	437
Aug 16	626	966	966	52 (0)	112	28	97	289	338
Sep 16	741	838	838	51 (0)	100	37	90	278	464
Okt 16	867	311	311	308 (0)	112	40	100	559	307
Nov 16	1 097	150	150	635 (0)	113	60	111	919	178
Dez 16	1 138	77	77	651 (0)	129	59	124	964	174
Jahr	11 754	7 432	7 432	4196 (0)	1 344	485	1 144	7 169	4 584

**Tabelle 20 Übersicht Strom 2017 in kWh/Monat**

2017	Bezug	PV	Hausverbrauch				Hausverbrauch	Zusatz	
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	Haushaltsgeräte	Beleuchtung	Steckdosen	gesamt	E-Mobil + objektspezifisch + projektspezifisch
Jan 17	1 336	115	115	867 (0)	130	53	106	1 156	180
Feb 17	1 052	224	224	657 (0)	101	44	92	894	154

**Tabelle 21 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2011 in kWh/Monat**

	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	E- Mobilität	objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)	projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)
<b>2011</b>				
Jan 11	1708 (0)	0	54	83
Feb 11	1728 (0)	0	54	70
Mrz 11	554 (0)	0	54	86
Apr 11	197 (0)	0	54	77
Mai 11	253 (0)	0	54	88
Jun 11	331 (0)	0	54	96
Jul 11	321 (0)	0	54	104
Aug 11	330 (0)	0	54	102
Sep 11	235 (0)	0	54	101
Okt 11	210 (0)	0	54	123
Nov 11	1005 (0)	0	54	116
Dez 11	1021 (0)	0	54	118
Jahr	7893 (0)	0	650	1 165

**Tabelle 22 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2012 in kWh/Monat**

	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	E- Mobilität	objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)	projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)
<b>2012</b>				
Jan 12	1326 (0)	0	54	117
Feb 12	1658 (0)	0	54	85
Mrz 12	483 (0)	0	54	97
Apr 12	323 (0)	0	54	82
Mai 12	185 (0)	0	54	87
Jun 12	81 (0)	0	54	82
Jul 12	124 (0)	0	54	86
Aug 12	106 (0)	0	54	86
Sep 12	114 (0)	0	54	87
Okt 12	464 (6)	0	54	95
Nov 12	796 (20)	0	54	89
Dez 12	1482 (299)	0	54	107
Jahr	7142 (325)	0	650	1 099

**Tabelle 23 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2013 in kWh/Monat**

	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	E- Mobilität	objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)	projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)
<b>2013</b>				
Jan 13	1637 (661)	0	54	110
Feb 13	1463 (436)	0	54	88
Mrz 13	1576 (688)	0	54	104
Apr 13	578 (61)	0	54	98
Mai 13	265 (0)	0	54	100
Jun 13	50 (0)	169	54	102
Jul 13	33 (0)	93	54	112
Aug 13	33 (0)	241	54	106
Sep 13	71 (0)	268	54	109
Okt 13	376 (4)	291	54	110
Nov 13	726 (2)	313	54	104
Dez 13	754 (0)	263	54	111
Jahr	7562 (1852)	1 638	650	1 255

**Tabelle 24 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2014 in kWh/Monat**

	Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)	E- Mobilität	objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)	projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)
<b>2014</b>				
Jan 14	1042 (106)	270	54	120
Feb 14	694 (17)	243	54	90
Mrz 14	462 (0)	120	54	97
Apr 14	214 (0)	72	54	108
Mai 14	108 (0)	0	54	104
Jun 14	34 (0)	0	54	105
Jul 14	34 (0)	0	54	109
Aug 14	35 (0)	49	54	108
Sep 14	43 (0)	276	54	98
Okt 14	234 (0)	186	54	98
Nov 14	656 (0)	237	54	106
Dez 14	958 (1)	297	54	120
Jahr	4514 (124)	1 750	650	1 262

**Tabelle 25 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2015 in kWh/Monat**

	<b>Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)</b>	<b>E- Mobilität</b>	<b>objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)</b>	<b>projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)</b>
<b>2015</b>				
Jan 15	957 (3)	285	54	118
Feb 15	704 (11)	111	54	99
Mrz 15	648 (0)	26	54	113
Apr 15	524 (0)	233	54	104
Mai 15	425 (0)	253	54	105
Jun 15	251 (0)	210	54	100
Jul 15	129 (0)	207	54	103
Aug 15	111 (0)	138	54	104
Sep 15	92 (0)	272	54	100
Okt 15	298 (0)	308	54	115
Nov 15	419 (0)	308	54	112
Dez 15	507 (0)	289	54	116
Jahr	5065 (14)	2 640	650	1 289

**Tabelle 26 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2016 in kWh/Monat**

	<b>Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)</b>	<b>E- Mobilität</b>	<b>objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)</b>	<b>projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)</b>
<b>2016</b>				
Jan 16	874 (0)	296	54	115
Feb 16	636 (0)	318	54	94
Mrz 16	566 (0)	186	54	115
Apr 16	237 (0)	309	54	105
Mai 16	83 (0)	313	54	111
Jun 16	51 (0)	275	54	124
Jul 16	52 (0)	250	54	133
Aug 16	52 (0)	151	54	133
Sep 16	51 (0)	288	54	121
Okt 16	308 (0)	126	54	127
Nov 16	635 (0)	12	54	112
Dez 16	651 (0)	5	54	115
Jahr	4196 (0)	2 528	650	1 406

**Tabelle 27 Strom Wärmeversorgung, E-Mobil, objektsp., projektsp. 2017 in kWh/Monat**

<b>2017</b>	<b>Strom für Wärmeversorgung inkl. Heizstab (davon Heizstab)</b>	<b>E- Mobilität</b>	<b>objektspezifisch (Stromverbrauch für Stellmotoren der Fenster, pauschal)</b>	<b>projektspezifisch (Messdatenaufnahme und -visualisierung)</b>
Jan 17	867 (0)	5	54	121
Feb 17	657 (0)	4	54	96

Anmerkung: objektspezifischer Verbrauch (650 kWh/a) pauschal auf Monate verteilt (vgl. Kap. 2.1.4)

## 7.5 Übersicht durchschnittlicher monatlicher Raumtemperaturmittelwerte in °C

**Tabelle 28 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2011**

EG									
2011	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 11	20.1	20.6	20.8	20.6	20.8	19.8	20.1	20.5	20.4
Feb 11	20.4	20.9	21.2	21.1	21.0	20.4	21.6	21.6	21.7
Mrz 11	21.3	20.4	20.7	21.1	20.7	20.8	22.9	22.8	22.4
Apr 11	23.2	21.2	21.7	22.1	21.5	22.1	24.7	24.2	22.7
Mai 11	23.6	21.8	22.4	22.9	22.3	22.7	26.1	25.7	23.5
Jun 11	24.2	22.7	23.3	23.7	23.1	23.7	26.9	26.4	23.6
Jul 11	24.4	22.3	22.8	23.2	22.9	23.6	27.2	26.5	23.8
Aug 11	23.8	22.5	23.1	23.6	23.1	23.4	26.9	26.2	23.6
Sep 11	23.2	21.9	22.4	23.0	22.4	22.5	27.5	25.6	23.2
Okt 11	22.2	20.7	21.2	21.8	21.1	21.3	24.9	24.1	22.5
Nov 11	20.8	20.9	21.0	21.2	21.2	20.7	22.7	22.3	21.5
Dez 11	21.7	21.2	21.3	21.6	21.5	21.1	23.0	22.9	22.9

**Tabelle 29 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2012**

EG									
2012	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 12	22.1	21.0	21.1	21.4	21.7	21.2	23.0	23.7	23.6
Feb 12	22.4	21.3	21.4	21.5	22.2	21.5	23.7	24.9	23.8
Mrz 12	22.7	21.5	21.8	22.0	22.3	21.7	25.5	26.2	23.6
Apr 12	22.2	21.5	21.8	22.1	22.2	21.4	26.5	26.0	22.8
Mai 12	23.4	22.6	23.0	23.3	23.1	22.6	29.2	27.9	23.8
Jun 12	23.0	22.2	22.7	23.0	22.6	22.3	29.2	28.1	23.4
Jul 12	24.6	23.6	24.0	24.4	24.0	23.9	31.0	29.7	24.9
Aug 12	23.8	22.6	23.2	23.4	23.1	23.1	29.6	28.4	23.9
Sep 12	22.3	21.1	21.6	21.9	21.7	21.3	26.3	26.0	22.4
Okt 12	22.7	21.7	22.0	22.4	23.2	22.0	24.6	24.5	23.1
Nov 12	22.4	21.5	21.6	22.0	22.5	21.9	24.1	24.9	23.5
Dez 12	22.7	21.4	21.7	22.3	22.6	21.8	23.1	24.9	23.3

**Tabelle 30 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2013**

EG									
2013	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 13	22.5	21.3	21.6	22.2	22.5	21.5	22.3	23.6	21.3
Feb 13	23.0	21.5	21.7	22.3	22.6	21.6	22.9	23.7	21.8
Mrz 13	22.5	21.5	21.9	22.3	22.6	21.5	23.8	24.2	22.3
Apr 13	23.1	21.9	22.3	22.7	22.7	22.2	26.3	25.3	22.8
Mai 13	23.3	22.1	22.5	22.9	22.8	22.5	27.5	26.0	23.3
Jun 13	23.5	22.6	23.2	23.5	23.2	23.0	29.0	27.7	23.7
Jul 13	25.6	24.5	25.2	25.5	25.0	25.2	34.4	31.0	26.7
Aug 13	24.4	23.4	24.1	24.4	24.0	23.9	30.6	29.4	24.8
Sep 13	22.8	21.6	22.3	22.6	22.2	21.9	26.7	26.2	22.7
Okt 13	22.3	21.2	21.8	22.0	21.9	21.4	24.6	24.4	22.0
Nov 13	Datenausfall								
Dez 13	22.2	20.7	21.1	21.4	21.8	21.3	23.6	23.6	21.5

**Tabelle 31 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2014**

EG									
2014	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 14	21.9	20.9	21.2	21.5	21.7	21.2	23.5	23.5	21.5
Feb 14	22.5	21.2	21.7	22.0	22.1	21.6	24.8	24.6	22.0
Mrz 14	22.8	21.4	21.9	22.0	22.1	21.8	26.2	25.6	22.5
Apr 14	Datenausfall								
Mai 14	23.8	22.2	22.8	23.0	22.6	22.8	27.4	26.4	23.8
Jun 14	24.5	22.7	23.3	23.6	23.2	23.5	28.7	27.9	24.7
Jul 14	26.7	24.8	25.5	25.8	25.3	25.8	30.9	30.0	26.9
Aug 14	24.2	22.7	23.5	23.7	23.2	23.3	28.1	27.1	24.3
Sep 14	23.7	22.1	22.8	23.0	22.4	22.5	27.2	26.8	23.4
Okt 14	22.9	21.2	21.9	22.0	21.6	21.6	25.2	24.8	22.3
Nov 14	22.6	20.8	21.4	21.7	21.7	21.5	24.9	24.6	22.1
Dez 14	22.3	21.1	21.5	21.7	21.7	21.5	24.0	23.7	21.4



**Tabelle 32 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2015**

EG									
2015	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 15	22.4	20.9	21.4	21.4	21.6	21.3	23.7	23.4	20.2
Feb 15	21.9	20.5	21.0	21.0	21.3	20.9	23.1	22.9	20.8
Mrz 15	21.9	20.7	21.3	21.3	21.2	20.7	24.7	25.0	21.5
Apr 15	22.5	21.1	21.8	21.9	21.6	21.3	25.2	25.3	21.9
Mai 15	23.0	21.5	22.1	22.3	22.0	21.8	25.0	24.9	22.0
Jun 15	23.6	22.2	22.8	23.0	22.6	22.8	26.6	26.4	23.1
Jul 15	24.5	23.1	23.8	24.1	23.6	23.8	27.5	27.5	24.0
Aug 15	25.2	23.8	24.5	24.8	24.3	24.4	28.2	28.3	24.9
Sep 15	22.9	21.4	22.1	22.2	21.8	21.8	26.5	26.3	22.1
Okt 15	22.4	21.1	21.6	21.6	21.5	21.2	24.9	24.9	22.0
Nov 15	22.2	20.9	21.4	21.4	21.4	21.0	23.8	24.0	21.6
Dez 15	22.2	21.1	21.6	21.4	21.5	21.0	23.7	24.0	21.6

**Tabelle 33 Mittlere monatliche Raumtemperaturen EG 2016**

EG									
2016	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 16	22.0	21.1	21.5	21.2	21.4	21.1	24.0	24.1	21.8
Feb 16	22.5	21.3	21.8	21.6	21.6	21.4	24.7	24.5	22.4
Mrz 16	Datenausfall								
Apr 16	23.2	21.7	22.0	22.2	21.8	22.1	27.3	27.0	22.4
Mai 16	Datenausfall								
Jun 16	24.9	23.1	23.5	24.1	23.6	24.2	28.9	28.6	22.4
Jul 16	25.4	23.2	23.7	24.3	23.8	24.7	28.7	28.5	22.4
Aug 16	24.6	22.6	23.1	23.8	23.2	23.9	28.2	27.9	22.4
Sep 16	Datenausfall								
Okt 16	22.0	21.5	21.9	21.9	21.8	21.3	24.1	24.2	22.4
Nov 16	22.2	21.7	22.1	22.0	22.1	21.3	23.9	23.9	22.4
Dez 16	22.3	20.9	21.4	21.3	21.2	21.1	23.5	23.6	22.4

**Tabelle 34: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2011**

OG				
2011	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 11	20.8	21.1	21.2	19.4
Feb 11	22.0	21.5	21.5	19.8
Mrz 11	21.0	21.0	21.1	20.7
Apr 11	21.7	21.7	22.0	23.0
Mai 11	22.9	22.9	23.2	24.0
Jun 11	23.5	23.7	24.2	25.2
Jul 11	23.3	23.3	23.6	24.3
Aug 11	23.6	23.5	23.7	24.2
Sep 11	23.0	23.0	23.1	23.6
Okt 11	21.7	21.6	21.8	22.0
Nov 11	21.5	21.2	21.2	20.0
Dez 11	21.7	21.4	21.6	19.9

**Tabelle 35: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2012**

OG				
2012	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 12	21.8	21.3	21.5	19.7
Feb 12	22.1	21.3	21.5	19.7
Mrz 12	22.4	21.9	22.2	21.4
Apr 12	22.4	22.0	22.4	22.0
Mai 12	23.9	23.5	23.9	23.8
Jun 12	23.7	23.4	23.7	23.5
Jul 12	25.1	24.7	25.1	25.2
Aug 12	24.7	24.4	24.7	24.6
Sep 12	22.7	22.4	22.6	22.2
Okt 12	23.0	22.3	22.5	21.8
Nov 12	22.9	22.0	21.9	20.8
Dez 12	22.7	21.9	21.7	20.7

**Tabelle 36: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2013**

OG				
2013	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 13	22.6	21.5	21.5	20.4
Feb 13	22.6	21.7	21.5	20.5
Mrz 13	22.4	21.6	21.6	20.9
Apr 13	22.9	22.5	22.6	22.1
Mai 13	23.3	23.2	23.3	23.1
Jun 13	24.3	24.2	24.3	24.4
Jul 13	26.3	25.9	26.2	26.7
Aug 13	25.1	24.9	25.1	25.4
Sep 13	22.9	22.7	22.8	22.8
Okt 13	22.2	21.8	21.9	21.5
Nov 13	Datenausfall			
Dez 13	21.7	21.1	20.8	20.1

**Tabelle 37: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2014**

OG				
2014	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 14	21.5	20.9	20.5	19.9
Feb 14	21.7	21.1	21.1	20.8
Mrz 14	21.9	21.5	21.6	21.2
Apr 14	Datenausfall			
Mai 14	23.2	23.0	23.3	23.4
Jun 14	24.1	23.9	24.2	24.5
Jul 14	26.5	26.2	26.5	27.2
Aug 14	24.0	23.8	24.1	24.3
Sep 14	23.3	23.2	23.4	23.4
Okt 14	22.0	21.8	21.9	21.9
Nov 14	21.8	21.3	21.3	20.9
Dez 14	21.7	21.1	21.0	20.5

**Tabelle 38: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2015**

OG				
2015	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 15	21.6	21.0	20.8	20.2
Feb 15	21.7	21.1	20.8	19.8
Mrz 15	21.1	21.0	20.8	20.5
Apr 15	22.1	21.9	22.1	22.1
Mai 15	22.7	22.7	22.8	23.0
Jun 15	23.8	23.6	23.8	24.0
Jul 15	24.9	24.7	24.8	25.3
Aug 15	25.6	25.2	25.5	25.9
Sep 15	22.4	22.2	22.4	22.3
Okt 15	21.5	21.3	21.3	21.0
Nov 15	21.4	21.1	21.0	20.5
Dez 15	21.3	21.0	20.8	20.4

**Tabelle 39: Mittlere monatliche Raumtemperaturen OG 2016**

OG				
2016	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 16	21.2	20.8	20.6	19.7
Feb 16	21.3	21.0	20.8	20.2
Mrz 16	Datenausfall			
Apr 16	21.8	21.7	21.8	21.6
Mai 16	Datenausfall			
Jun 16	24.9	24.7	24.8	25.3
Jul 16	25.1	24.9	25.0	25.4
Aug 16	24.3	24.0	24.2	24.6
Sep 16	Datenausfall			
Okt 16	22.4	22.2	22.2	21.4
Nov 16	22.3	22.0	21.9	20.8
Dez 16	21.3	21.0	20.8	19.9

## 7.6 Übersicht durchschnittlicher monatlicher relativer Raumluftfechtigkeiten in %

Tabelle 40 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2011

EG									
2011	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 11	46.9	53.2	52.9	49.2	52.3	47.8	40.3	43.5	45.8
Feb 11	45.6	52.4	52.9	46.8	51.4	44.7	35.6	39.8	42.9
Mrz 11	46.7	51.2	51.0	49.3	52.1	46.6	39.9	42.5	43.0
Apr 11	39.5	45.2	44.3	42.4	45.3	40.6	35.1	37.3	39.4
Mai 11	39.8	45.4	44.5	43.0	45.4	41.3	33.2	35.6	39.9
Jun 11	48.9	54.2	53.3	52.2	54.3	49.5	40.6	43.8	49.6
Jul 11	51.4	57.9	57.4	56.5	58.6	52.6	42.7	46.1	52.4
Aug 11	57.5	62.7	61.3	60.3	61.8	58.0	47.0	50.5	57.1
Sep 11	55.2	60.1	59.1	57.7	60.0	56.1	42.9	48.8	53.8
Okt 11	51.9	56.5	56.3	55.4	57.5	53.2	43.1	46.9	49.7
Nov 11	51.4	54.5	54.6	53.9	55.3	50.4	44.0	47.0	48.6
Dez 11	50.2	52.3	52.7	52.6	53.6	50.5	40.7	43.6	46.2

Tabelle 41 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2012

EG									
2012	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirtschaftsraum	Gäste WC
Jan 12	51.9	56.8	57.7	57.5	58.0	53.9	43.2	45.9	47.2
Feb 12	47.6	52.0	52.2	53.3	52.3	49.0	39.5	43.3	43.6
Mrz 12	48.5	53.0	53.2	53.4	53.3	50.0	40.9	42.8	45.4
Apr 12	46.4	49.7	49.8	49.6	51.2	47.2	36.0	39.4	44.3
Mai 12	45.8	48.5	48.3	48.0	49.7	46.7	34.6	38.1	44.5
Jun 12	48.9	51.9	50.9	51.0	54.0	49.8	34.9	38.5	47.3
Jul 12	54.7	58.0	56.9	56.8	59.0	55.6	38.6	43.1	52.9
Aug 12	56.7	60.3	59.5	59.6	61.9	58.0	41.5	45.8	54.8
Sep 12	55.1	59.4	58.4	58.2	59.9	57.0	43.0	45.4	53.1
Okt 12	53.7	58.0	57.7	57.4	55.4	54.6	46.2	47.9	51.0
Nov 12	51.6	55.5	56.2	55.5	54.5	52.1	49.3	46.7	48.1
Dez 12	48.6	53.5	53.8	52.1	51.9	49.9	45.5	43.0	46.6

**Tabelle 42 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2013**

EG									
2013	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirt- schaftsraum	Gäste WC
Jan 13	49.2	53.7	53.7	51.3	51.6	50.3	45.1	45.6	52.4
Feb 13	43.1	49.8	50.0	47.8	47.8	46.1	38.8	41.2	47.1
Mrz 13	40.5	46.1	45.6	44.4	44.5	42.4	36.7	38.7	41.8
Apr 13	39.7	43.9	43.6	42.5	43.9	40.8	32.7	35.3	40.1
Mai 13	46.5	49.7	49.4	48.6	49.9	47.5	37.6	41.4	45.3
Jun 13	51.1	53.9	53.0	52.2	54.4	51.6	39.0	42.5	49.4
Jul 13	52.2	55.5	54.4	53.9	56.0	52.6	35.4	41.9	49.0
Aug 13	54.2	57.4	56.3	55.7	58.1	54.8	40.6	43.8	52.0
Sep 13	57.1	61.1	59.2	59.3	61.6	58.9	46.7	48.7	55.6
Okt 13	54.3	58.9	57.3	57.4	58.9	56.1	47.4	48.8	53.5
Nov 13	Datenausfall								
Dez 13	47.3	50.9	51.2	50.2	50.1	48.3	40.2	41.4	47.8

**Tabelle 43 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2014**

EG									
2014	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirt- schaftsraum	Gäste WC
Jan 14	48.4	51.5	51.7	51.0	51.0	49.2	42.1	44.1	48.9
Feb 14	44.8	48.3	48.1	47.3	48.6	46.2	37.8	39.9	46.2
Mrz 14	40.4	44.8	44.3	44.0	44.8	41.9	33.6	35.3	40.9
Apr 14	Datenausfall								
Mai 14	45.1	49.5	48.6	48.2	50.9	46.6	37.7	40.4	44.7
Jun 14	47.8	53.4	52.5	51.6	54.2	49.7	39.1	41.9	46.9
Jul 14	54.5	59.8	58.7	58.2	60.5	56.1	43.8	47.2	53.2
Aug 14	53.0	57.5	56.5	56.1	58.2	54.6	43.1	46.4	51.9
Sep 14	56.1	61.8	60.0	60.4	63.1	59.0	47.3	49.8	55.8
Okt 14	55.6	61.4	59.7	60.3	62.2	58.4	48.4	50.6	55.8
Nov 14	53.5	59.9	58.6	58.0	58.8	55.7	47.8	49.8	54.2
Dez 14	49.3	53.2	52.8	52.6	53.5	50.2	44.0	46.1	54.5

**Tabelle 44 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2015**

EG									
2015	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirt- schaftsraum	Gäste WC
Jan 15	48.4	53.0	52.4	52.7	52.9	50.0	44.7	46.6	48.7
Feb 15	46.5	50.5	50.3	50.4	50.4	48.1	43.8	45.0	44.7
Mrz 15	44.8	48.7	47.6	48.1	48.9	47.0	42.1	40.9	41.7
Apr 15	39.2	43.2	42.2	41.9	43.8	40.8	36.0	35.9	36.8
Mai 15	41.6	46.0	45.0	44.2	46.4	43.3	38.7	39.4	39.4
Jun 15	46.5	50.9	49.8	49.3	51.6	47.8	42.0	42.9	43.7
Jul 15	54.9	58.9	57.7	57.5	59.4	56.1	48.2	49.1	52.5
Aug 15	57.3	61.4	59.8	59.4	61.6	58.4	50.0	50.8	54.7
Sep 15	55.4	60.8	59.2	59.3	61.8	57.7	47.6	48.8	54.4
Okt 15	53.5	57.9	57.0	57.8	59.0	55.9	47.9	48.6	51.3
Nov 15	55.5	59.5	58.6	60.0	60.5	58.0	51.1	51.5	53.6
Dez 15	53.9	57.6	56.8	58.2	58.6	55.9	49.9	50.0	52.3

**Tabelle 45 Mittlere monatliche relative Luftfeuchte EG 2016**

EG									
2016	Wohnen	Zimmer 1	Zimmer 2	Laternenraum /Treppe	Kinderbad	Windfang	Technikraum	Hauswirt- schaftsraum	Gäste WC
Jan 16	49.4	52.4	51.8	53.3	53.7	50.7	45.3	46.3	48.6
Feb 16	51.4	54.7	53.8	55.1	56.0	53.2	47.6	48.6	49.0
Mrz 16	Datenausfall								
Apr 16	43.4	48.0	48.0	47.1	49.6	44.9	34.8	35.7	49.0
Mai 16	Datenausfall								
Jun 16	54.7	60.1	59.6	58.2	61.3	55.7	45.7	47.4	49.0
Jul 16	56.4	63.0	62.6	60.9	63.6	57.4	48.2	49.9	49.0
Aug 16	55.1	61.5	60.9	58.6	62.7	55.9	46.4	48.1	49.0
Sep 16	Datenausfall								
Okt 16	51.9	53.5	52.8	53.4	54.5	52.8	46.5	47.3	49.0
Nov 16	49.4	50.0	49.9	50.7	51.6	50.2	44.7	45.9	49.0
Dez 16	50.7	53.9	53.5	54.7	56.2	52.8	49.8	50.7	49.0

**Tabelle 46: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2011**

OG				
2011	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 11	48.4	47.5	47.0	53.5
Feb 11	44.1	45.1	45.2	51.6
Mrz 11	48.7	49.0	48.2	51.3
Apr 11	42.5	42.8	41.7	40.4
Mai 11	41.5	42.2	41.0	40.1
Jun 11	52.0	51.2	49.6	47.3
Jul 11	55.0	55.3	54.0	52.1
Aug 11	59.1	59.8	58.9	57.5
Sep 11	57.4	57.4	56.5	55.9
Okt 11	55.9	56.0	54.9	54.5
Nov 11	52.7	53.5	53.2	58.0
Dez 11	52.2	52.8	51.8	58.0

**Tabelle 47: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2012**

OG				
2012	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 12	56.7	57.8	56.5	63.3
Feb 12	51.6	53.5	53.5	59.3
Mrz 12	53.9	54.8	53.2	56.2
Apr 12	50.1	51.0	49.4	51.1
Mai 12	46.9	48.0	46.3	47.0
Jun 12	49.8	50.7	48.9	49.8
Jul 12	54.8	55.7	54.0	54.1
Aug 12	55.8	56.3	54.9	55.2
Sep 12	56.6	57.0	55.4	57.2
Okt 12	56.9	59.0	57.2	59.3
Nov 12	53.8	56.4	56.2	59.7
Dez 12	52.7	55.3	55.7	57.3

**Tabelle 48: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2013**

OG				
2013	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 13	51.6	54.0	54.5	57.2
Feb 13	49.2	51.7	51.9	53.2
Mrz 13	46.6	48.9	48.1	48.6
Apr 13	45.5	46.2	44.4	44.7
Mai 13	49.6	49.8	48.4	48.6
Jun 13	50.9	51.4	49.9	50.0
Jul 13	51.1	52.8	50.9	50.3
Aug 13	53.1	53.9	52.5	52.4
Sep 13	58.4	59.1	57.7	58.8
Okt 13	57.2	58.8	57.2	59.0
Nov 13	Datenausfall			
Dez 13	49.3	51.1	52.2	54.8

**Tabelle 49: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2014**

OG				
2014	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 14	51.7	53.7	54.4	55.8
Feb 14	48.8	51.1	49.9	51.0
Mrz 14	45.9	47.1	45.9	46.6
Apr 14	Datenausfall			
Mai 14	48.3	49.3	47.5	47.6
Jun 14	50.0	51.0	49.4	49.1
Jul 14	54.9	56.1	54.7	53.7
Aug 14	54.2	54.9	53.6	53.6
Sep 14	59.1	59.5	58.0	58.5
Okt 14	60.1	61.1	59.7	60.6
Nov 14	58.6	60.5	59.7	60.8
Dez 14	53.6	56.3	56.2	56.6

**Tabelle 50: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2015**

OG				
2015	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 15	52.6	55.0	55.3	56.6
Feb 15	49.3	51.3	52.0	54.8
Mrz 15	49.4	50.1	49.7	50.8
Apr 15	43.0	43.5	42.2	42.3
Mai 15	43.9	44.1	43.0	43.1
Jun 15	47.2	47.9	46.7	47.0
Jul 15	54.6	55.3	54.1	53.3
Aug 15	56.2	57.7	56.0	55.9
Sep 15	58.6	59.2	57.9	59.0
Okt 15	58.5	59.1	58.2	59.8
Nov 15	60.7	61.8	61.2	63.0
Dez 15	58.2	59.7	59.6	61.5

**Tabelle 51: Mittlere monatliche relative Luftfeuchte OG 2016**

OG				
2016	Elternbad	Ankleide	Schlaf- zimmer	Spitz- boden
Jan 16	54.0	55.2	55.8	58.2
Feb 16	56.3	57.5	57.6	59.8
Mrz 16	Datenausfall			
Apr 16	48.9	49.3	48.1	48.9
Mai 16	Datenausfall			
Jun 16	55.2	56.1	55.0	54.7
Jul 16	57.5	58.6	57.4	57.2
Aug 16	56.5	57.9	56.6	56.1
Sep 16	Datenausfall			
Okt 16	52.4	52.9	52.0	55.2
Nov 16	50.6	51.1	50.7	54.8
Dez 16	54.9	55.7	56.2	59.2



### 7.7 Anmerkung

\*: Die Messwerte Heizung mussten ab November 2014 aufgrund einer Umstellung in der Datenübertragung und der Kalibrierung der Wärmemengenzähler mit dem Faktor 1,8 multipliziert werden. Dies war bei den bisher gelieferten Daten noch nicht berücksichtigt.

### 7.8 Ergebnisse der Erdreichsimulation

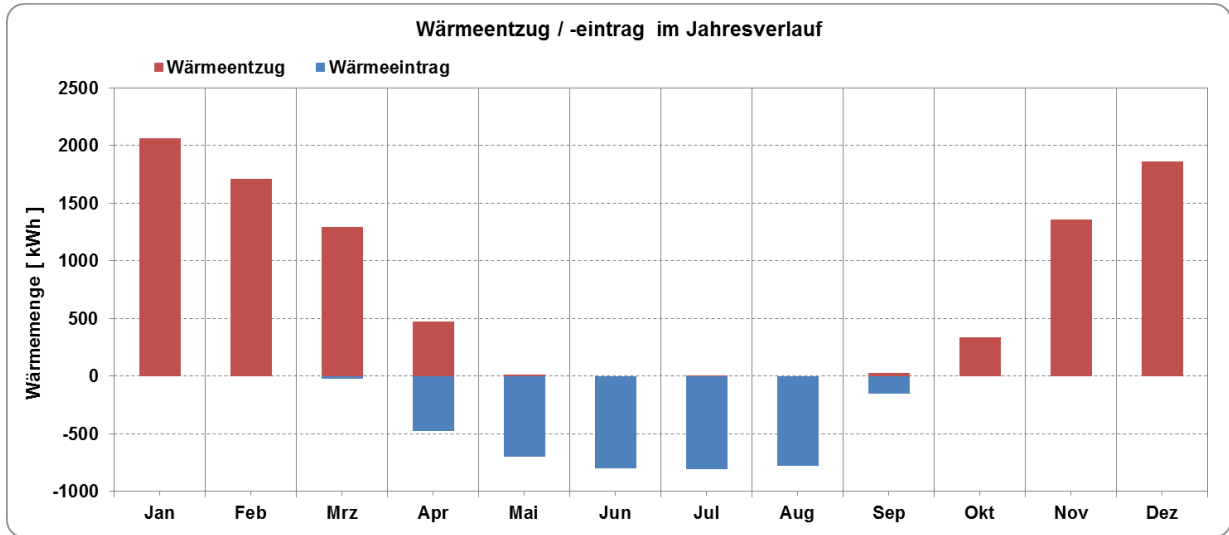


Abbildung 73: Simulationsergebnisse Wärmeentzug aus dem bzw. Wärmeeintrag in das Erdreich für eine Umschaltung auf Regenerationsbetrieb bei einer Speichertemperatur von 75 °C

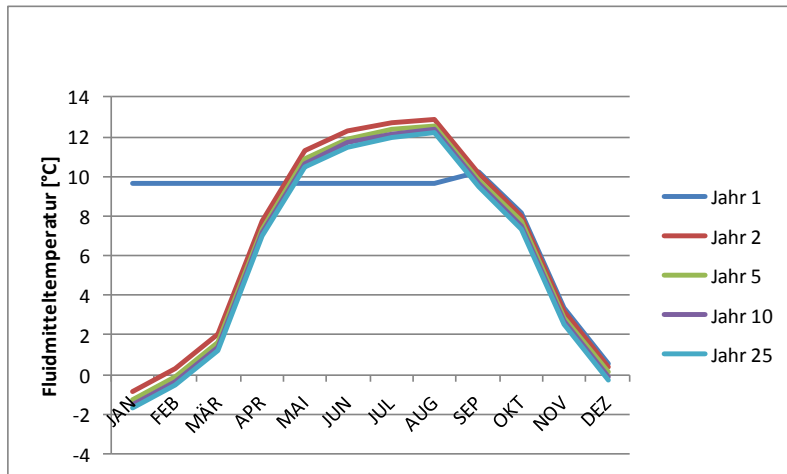


Abbildung 74: Simulierte monatliche Solemitteltemperatur für unterschiedliche Anzahl an Betriebsjahren

## 8 Literatur

- [1] Goletz, H.: EnEV Nachweis LichtAktiv Haus, 02.07.2012
- [2] Velux Factsheet, April 2011, unveröffentlicht
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Wege zum Effizienzhaus Plus – Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude, Stand November 2016 ([http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus\\_plus\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_bf.pdf))
- [4] Berechnungstool zur Bestimmung von Gradtagszahlen, Heizgradtagen und Klimafaktoren vom Institut für Wohnen und Umwelt ([http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen\\_Deutschland.xls](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls))
- [5] DIN EN 15251:2012-12, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden –Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007, Dezember 2012
- [6] co2online gemeinnützige GmbH Stromspiegel für Deutschland 2017 ([http://www.die-stromsparinitiative.de/fileadmin/bilder/Stromspiegel/broschuere/Stromspiegel\\_2017\\_web.pdf](http://www.die-stromsparinitiative.de/fileadmin/bilder/Stromspiegel/broschuere/Stromspiegel_2017_web.pdf))
- [7] BMVBS (Hrsg.): Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden. BMVBS-Online-Publikation 07/2012.
- [8] Fisch, M.N. et al.:Forschungsbericht future:solar -Systemanalyse zur solaren Energieversorgung, Juni 2015