

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 33

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
LaVidaVerde

Forschungsprogramm

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

Messperiode

Februar 2015 bis Januar 2017

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-12.14

im Auftrag

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

bearbeitet von

Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth, HTW - Berlin
Sebastian Dietz, M.Sc., HTW - Berlin
Dipl.-Ing. Alexander Mertes, HTW - Berlin
Franziska Mohaupt, LaVidaVerde GmbH

Forschungsinitiative „Zukunft Bau“, Modellprojekte „Plus-Energie-Haus-Standard“

Effizienzhaus Plus „LaVidaVerde“

Messperiode 02/2015 bis 01/2017

Abschlussbericht

Förderkennzeichen: Az PEH – A3-12 1001 / 12.14

Berlin, April 2017

Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth, HTW - Berlin

Sebastian Dietz, M.Sc., HTW – Berlin

Dipl.-Ing. Alexander Mertes, HTW - Berlin

Franziska Mohaupt, LaVidaVerde GmbH

Kontakt:

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin)

Fachbereich 1, Studiengang Regenerative Energien

Wilhelminenhofstr. 75A, 12459 Berlin

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	4
2	Kontext und Zielsetzung	5
3	Gebäudesteckbrief	6
3.1	Allgemeine Daten	6
3.2	Architektur.....	6
3.3	Wärmeschutz / Gebäudehülle	7
3.4	Anlagentechnik.....	9
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	14
3.6	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599	17
4	Monitoring	19
4.1	Messkonzept	19
4.2	Messstellen / verwendete Messtechnik.....	22
4.2.1	Wetterstation.....	22
4.2.2	Energiezähler.....	23
4.2.3	Betriebszustände der TGA	25
4.2.4	Raumklimatische Verhältnisse	28
4.2.5	Grauwasseraufbereitung	29
4.2.6	Datenerfassung, Aufbereitung und Analyse	30
4.3	Weiterführende Dokumentation	32
5	Meteorologische Randbedingungen	33
5.1	Solarstrahlung.....	33
5.2	Außenlufttemperaturen.....	34
5.3	Klimabereinigung.....	34
6	Messergebnisse	36
6.1	Elektrischer Energieverbrauch	36
6.1.1	Elektrischer Energieverbrauch für den Hausbetrieb	36
6.1.2	Elektrischer Energieverbrauch unterteilt in Verbrauchergruppen.....	38
6.1.3	Gegenüberstellung von elektrischer Energiegewinnung und /-verbrauch.....	42
6.1.4	Jahresübersicht elektrische Energie	43
6.2	Eigenverbrauch der elektrischen Energiegewinnung	44
6.3	Anlagenperformance	45
6.3.1	Wärmeerzeugung und -verbrauch.....	45
6.3.2	Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung	49
6.3.3	Wärmepumpe	52

6.3.4	Lüftungsanlage	54
6.4	Innenraumtemperaturen Sommer.....	59
6.5	Innenraumtemperaturen Winter	60
6.6	Behaglichkeit	61
6.7	Gegenüberstellung erzeugte und verbrauchte Endenergie nach Energieträgern.....	65
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	66
7.1	Bezugsgrößen für die Kostenermittlung	66
7.2	Baukosten	66
7.2.1	Gesamte Bauwerkskosten (KG 300 + 400)	66
7.2.2	Bauteilkosten.....	68
7.3	Energie- und Betriebskosten	70
7.4	Kosten Haushaltsgeräte.....	71
8	Bewertung	73
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	73
8.2	Verbesserungspotentiale.....	78
8.2.1	Eigenverbrauch PV	78
8.2.2	Weitere Verbesserungspotentiale.....	80
9	Literatur und Quellenangaben	81
10	Abbildungsverzeichnis.....	82
11	Tabellenverzeichnis	85
Anhang		87
A.1	Daten-CD	87
A.2	Projektbeschreibung LaVidaVerde / Leitgedanke	88
A.3	Hydraulisches Schema der Heizzentrale.....	89
A.4	Tabellarische Übersicht der installierten Wärmemengenzähler	90
A.5	Tabellarische Übersicht der installierten elektrischen Energiezähler	91
A.6	Strangschema für das 1-Wire-Netzwerk.....	93
A.7	Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse	94

1 Kurzfassung

Der Neubau eines viergeschossigen Mehrfamilienhauses mit 18 Wohneinheiten im Stadtteil Berlin-Lichtenberg wird durch das Förderprogramm „Modellprojekte im Effizienzhaus Plus-Standard“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gefördert. Fester Bestandteil der Förderung ist ein zweijähriges Intensivmonitoring, welches von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin durchgeführt wird.

Im vorliegenden Bericht werden nach einer einleitenden Zielbeschreibung die Gebäudeeigenschaften ausführlich dokumentiert. Hierzu zählen neben allgemeinen Gebäudekenndaten, architektonischen Merkmalen, bauphysikalischen Eigenschaften und Kenndaten der Anlagentechnik auch eine Zusammenfassung der Bedarfs- und damit Zielwerte nach DIN 18599 sowie eine in der Planungsphase aufgestellte Effizienzhaus Plus-Energiebilanz.

Für den messtechnischen Nachweis wurde ein Monitoringsystem aufgebaut, welches sich konzeptionell in die Bereiche Wetterstation, Energiezähler, Betriebszustände der TGA, rauklimatische Verhältnisse, Grauwasseraufbereitung, Datenerfassung, Aufbereitung und Auswertung gliedern lässt. Zu diesem System werden die Messstellen spezifiziert sowie die eingesetzte Mess- und Datentechnik ausführlich dokumentiert.

Das Messsystem ist seit Februar 2015 vollständig in Betrieb. Der in diesem Bericht betrachtete Messzeitraum beläuft sich über 2 Jahre. Die aufbereiteten Messdaten werden dargestellt und diskutiert.

Der Bericht orientiert sich am Muster für Modellprojekte im Effizienzhaus Plus-Standard. Durch die vertiefende Datenauswertung, soll das Betriebsverhalten näher analysiert und somit eine gesamtheitliche Effizienzbewertung des Gebäudes durchgeführt werden. Des Weiteren sollen dadurch Verbesserungspotentiale aufgezeigt werden.

2 Kontext und Zielsetzung

Das Förderprogramm „Modellprojekte im Effizienzhaus Plus-Standard“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB, ehemals BMVBS) zielt darauf ab, Wohnungsbauten mit einem Effizienzhaus Plus-Standard und Vorbildcharakter zu fördern. Damit sollen Praxisbeispiele geschaffen und der notwendige Markteinstieg forciert werden.

Bei dem hier geförderten Bauvorhaben handelt sich um ein viergeschossiges Mehrfamilienhaus (4 Wohngeschosse, ein Technikgeschoss) im Effizienzhaus Plus-Standard mit 18 Wohneinheiten (1-4 Zimmerwohnungen) in der Sophienstr. 35, 10317 Berlin. Die Nettowohnfläche beträgt ca. 1200m². Das Haus wurde im Auftrag der LaVidaVerde GmbH (LVV) gebaut.

Ein wichtiges Ziel der nutzergetragenen Bauherrin LaVidaVerde GmbH war, preiswerten und ressourcen- sowie klimaschonenden Mietwohnraum zu schaffen. Mit der integralen Planung eines hochgedämmten, wärmebrückenfreien Gebäudes mit einem Energieüberschuss aus Photovoltaik-Dächern, mit Wärmerückgewinnung, Trinkwasseraufbereitung und Vorrüstungen für weitere Energieerzeugung aus Wind und Sonne ist das Gemeinschaftsprojekt sowohl aus ökologischer als auch aus sozialer Sicht zukunftsweisend. Eine ausführliche Projektbeschreibung der LaVidaVerde GmbH mit eigener Darstellung der Ziele und der Leitgedanken befindet sich in Anhang A.2.

Im Rahmen der Förderung wird für den wissenschaftlichen Nachweis der energetischen Gebäudeperformance ein zweijähriges Intensivmonitoring von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW-Berlin), Fachbereich 1, Studiengang „Regenerative Energien“ durchgeführt. Dieses Vorhaben zielt konkret auf

- den Effizienzhaus Plus-Nachweis für den Bilanzierungszeitraum,
- den Vergleich der tatsächlichen Gegebenheiten mit den prognostizierten (z. B. dem EnEV-Nachweis auf Grundlage der DIN 18599) und ggf. die Analyse der Unterschiede,
- die messtechnische Quantifizierung der Eigennutzung der gewonnenen Energie,
- die Dokumentation dynamischer Vorgänge, insbesondere der zeitlichen Verläufe von elektrischer Energieerzeugung und /-verbrauch,
- ggf. die Optimierung der Lastprofile zur Steigerung des Eigenverbrauchs,
- den Funktionsnachweis bzw. die Funktionsanalyse der Komponenten des Energiekonzeptes,
- die Quantifizierung von Energiebilanzen, Temperaturen, und thermischer Komfortparameter,
- die frühzeitige Fehlererkennung und deren Behebung in der Haustechnik,
- die Analyse und Funktionsbeschreibung innovativer Elemente des Gebäudekonzeptes,
- die Aufbereitung der Ergebnisse für Projektpartner, Begleitforschung, Öffentlichkeit und in geeigneter Form für die Lehre.

In diesem Bericht werden die wichtigsten Komponenten des Gebäude- und Energiekonzeptes beschrieben, die eingesetzte Mess- und Datentechnik dokumentiert sowie die Ergebnisse des energetischen Gebäudemonitorings dargestellt.

3 Gebäudesteckbrief

Die in diesem Kapitel dargestellten Daten und Texte zur Gebäudebeschreibung basieren auf dem durch das Fraunhofer IBP erstellten Gebäudesteckbrief [1] und wurden durch die Autoren ergänzt, ggf. angepasst. Weiterführende Angaben sind dem EnEV-Nachweis in Anhang A.1 zu entnehmen.

3.1 Allgemeine Daten

Tabelle 1: Allgemeine Kenndaten des LVV-Gebäudes.

Baujahr:	2014
Bruttogrundfläche	2.121 m ²
Nettogrundfläche	1.745,9 m ²
Wohnfläche (inkl. Gemeinschaftsräume)	1.207 m ²
Beheiztes (Netto-) Gebäudevolumen	5.328,5 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,32
Breitengrad:	52,5 °N
Längengrad:	13,5 °O
Höhenlage:	37 m über NN
Mittlere Jahrestemperatur:	9,9 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April):	4,2 °C
Gradtagzahl am Standort:	3278 Kd ¹
TRY - Klimazone / Referenzstation:	Klimazone TRY 04, Potsdam

3.2 Architektur

LaVidaVerde ist ein gemeinschaftsorientiertes Mehrgenerationen-Wohnprojekt im Effizienzhaus Plus-Standard. Der viergeschossige Neubau kann dem Geschosswohnungsbau zugeordnet werden und schließt eine Baulücke an der Grundstückskante unmittelbar anschließend an die vorhandenen Nachbarhäuser in der Sophienstraße 35, 10317 Berlin-Lichtenberg. Die zur Straße orientierte Fassade ist mit einem Azimut-Winkel von 15° süd-westlich ausgerichtet (siehe Abbildung 1).

Die oberste Geschossdecke liegt 9,92 Metern über dem Straßenniveau. Der Baukörper ist als einfacher Kubus mit einem pultförmigen, südorientierten Photovoltaik-Dach ausgebildet und hat einen Dachüberstand. Im Dachgeschoss befinden sich die technische Gebäudeausrüstung (Heizung, Elektro, Wasseraufbereitung), Abstellflächen, Gemeinschaftswaschmaschinen und Trockenboden. Das Gebäude ist zur Unterbringung von Grau- und Regenwassertanks teilunterkellert.

Im Gebäude sind 18 Ein- bis Vierzimmerwohnungen mit Wohnflächen zwischen 38 und 90 m², jeweils mit großen offenen Wohn-Küchen-Bereichen, entstanden. Die Grundrisse sind unter Beteili-

¹ Langjähriges Mittel (1970-2014) für eine Innentemperatur von 20 °C und eine Heizgrenztemperatur von 12 °C [2].

gung der zukünftigen Nutzer-/innen so gestaltet, dass Wohnungen zusammengelegt, Zimmerzuschnitte verändert werden können oder bei Bedarf ein zusätzlicher Raum vom Wohnküchenbereich abgetrennt werden kann. Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Grundriss im 2.Obergeschoss.

Zwei Wohnungen im Erdgeschoss stehen zur gemeinschaftlichen Nutzung, für Gäste und für die Begegnung mit der Nachbarschaft im Kiez zur Verfügung. Dabei sind das Erdgeschoss und zwei Wohnungen im 1.Obergeschoss rollstuhlgerecht ausgebildet, die anderen Wohneinheiten sind barrierefrei. Ein Teil-Aufzug ist vorgerüstet.

Die Erschließung der Wohnungen in den Obergeschossen erfolgt über ein zentrales Treppenhaus und südorientierte Laubengangbalkone. Der Teilkeller und das Dachgeschoss sind ebenfalls über das zentrale Treppenhaus erschlossen.



Abbildung 1: Lageplan (links) und Fassadenansicht des LVV-Gebäudes.

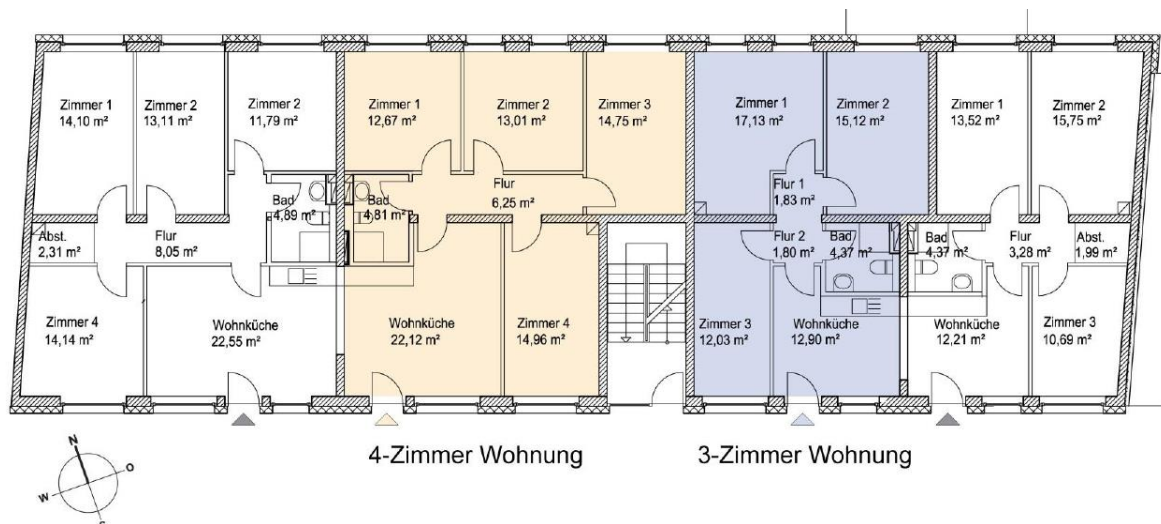


Abbildung 2: Grundriss im 2.OG des LVV-Gebäudes [1].

3.3 Wärmeschutz / Gebäudehülle

Das Gebäude ist als im Passivhausstandard hochwärmegedämmter Massivbau realisiert. Die Außenwände sind aus porosierten Ziegeln mit mineralischem Wärmedämmverbundsystem und einem kalkbasierten Innenputz ausgeführt und erreichen einen U-Wert von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Dachkonstruktion ist aus Holzstegträgern mit einer zwischenliegenden Zellousedämmung, einer inneren Gipskartonverkleidung und einer außenliegenden, hinterlüfteten Holz-Stülp Schalung ausgebildet. Der U-Wert liegt bei $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die an die beheizten Bereiche der Nachbarhäuser angrenzenden Giebelwände wurden mit porosierten Ziegeln, in den unbeheizten Bereichen mit gedämmten porosierten Hochlochziegeln ausgeführt. An die Außenluft grenzende Bereiche sind wie die Fassaden aufgebaut. Die Fenster, mit 3-fach-Wärmeschutz-Verglasung und Holzrahmen, haben einen U-Wert von 0,8 W/(m²K).

Alle Details wurden im Hinblick auf die Wärmebrückenminimierung technisch optimiert ($\Delta U_{WB} = 0,003 \text{ W/m}^2\text{K}$). So wurden z.B. die Laubengang-Kragplatten aus Stahlbeton thermisch getrennt von den Geschoßdecken eingebaut. Die Luftdichtigkeit liegt mit einer Luftwechselrate von 0,37 1/h bei 50 Pa Druckdifferenz deutlich unter Passivhausanforderung ($< 0,6 \text{ 1/h}$).

Tabelle 2: Berechnete U-Werte und Dämmstärken für Bauteile der thermischen Gebäudehülle.

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke	U-Wert
-	-	mm	W/(m²K)
Außenwand (von innen nach außen)	Kalkputz	15	0,12
	Porosierter Ziegel	300	
	Mineralwolle WLG 035	200	
	Wärmedämmputz	10	
Fenster	Holzfenster mit Dreifachverglasung (g-Wert: 0,50)	-	0,75
Dach (von außen nach innen)	PV-Modul	-	0,10
	Holzfaserplatte	16	
	Zellulosefaser WLG 040	400	
	Konstruktionsholz	400	
	Dampfsperre	-	
	OSB-Platte	16	
	Gipskartonplatte	12,5	
Decke über Keller (von oben nach unten)	Bodenbelag Eiche	15	0,13
	Zementestrich	45	
	Trittschalldämmung	25	
	Installationsebene	50	
	Decke aus Stahlbeton	180	
	Holzwolle-Mehrschichtplatte WLG 032	170	
	Holzwolle-Platte	5	

Die Gründung erfolgte mit Streifenfundamenten und einer wasserundurchlässigen Grundplatte. Die Stahlbeton-Geschossdecken wurden mit einem schwimmenden Estrich und Industriegparkett als Bodenbelag versehen. Eine Ausnahme bildet die Geschossdecke zum Keller, welche zusätzlich kellerseitig mit einer Holzwolle-Mehrschichtplatte versehen ist. Der U-Wert der Kellerdecke beträgt $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Auswahl der Bauteilkonstruktionen und -materialien erfolgt nach dem Anspruch der LaVida-Verde-Nutzer neben wirtschaftlichen vor allem auch nach Kriterien der Ressourcenschonung, Umweltentlastung und der Schaffung einer gesunden Wohnumgebung.

3.4 Anlagentechnik

Für die Wärmeerzeugung des Heiz- und Trinkwarmwassers sowie den elektrischen Energiebedarf der Haushalte wird gemäß der Bedarfsberechnung für End- und Primärenergie¹ in der Jahresbilanz mehr Energie produziert, als zur Nutzung benötigt wird. Im Folgenden werden die eingesetzten Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung und deren Funktionsprinzipien erläutert.

3.4.1.1 Lüftungssystem

Die Frischluftzufuhr erfolgt über Zuluftelemente in den Fensterrahmen („Schlitze“). Dabei wird die Öffnungsklappe in Abhängigkeit der Luftfeuchte geregelt. Die Regelung erfolgt mechanisch über ein Feuchteband, welches sich in Abhängigkeit der Luftfeuchte dehnt oder zusammenzieht. Bei geschlossenem Zustand bleibt ein „Restspalt“ erhalten, um einen minimalen Luftvolumenstrom zu gewährleisten. Zum Einsatz kommen Zuluftelemente der Firma Aereco GmbH (ZFHV40, Datenblatt in Anhang A.1 enthalten).

Die Abluftmenge wird wohnungsweise über variable Volumenstromregler dosiert und feuchtegeregelt in Küche und Bad abgesaugt. Dabei ist in Abhängigkeit der Wohnungsgröße ein konstanter Mindestvolumenstrom vorkonfiguriert, welcher die Nutzer über folgende Bedienmöglichkeiten anpassen können (siehe Abbildung 3):

- Erhöhter Luftwechsel (Grundlüftung x 3) für 30 Minuten (rechter Taster 1x kurz betätigen)
- Erhöhter Luftwechsel (Grundlüftung x 3) für 8 Stunden, z.B. für ausreichend Frischluftzufuhr während den Nachtstunden (rechter Taster lange drücken)
- Gewittermodus (linker Schalter): Lüftung wird ausgeschaltet, da hohe Luftfeuchte während eines Gewitters den Volumenstrom erhöhen würde.



Abbildung 3: Zuluftelement im Fensterrahmen (links) und Bedieneinheit für die Nutzer (rechts).

Der Abluft aus den Wohnungen wird im Dachgeschoss mit einem zentralen Abluftkühlmodul sowie einer Abluft-Wasser-Wärmepumpe Wärme entzogen und dem Heizungssystem zugeführt. Um die

¹ Die Bedarfsberechnung erfolgte gemäß Anlage 1 – Definition und Berechnungsmethode für Modellprojekte im Effizienzhaus-Plus-Standard

Quelltemperatur und damit die Effizienz der Wärmepumpe, insbesondere zur Warmwasserbereitung, zu steigern, wird der Abluft in der Übergangszeit und im Sommer warme Außenluft beigemischt.

Dabei wird die Außenluftbeimischung nach der folgenden Logik realisiert:

- Sie erfolgt nur dann, wenn die Wärmepumpe in Betrieb ist.
- Die Wohnungslüftung hat Vorrang. Demzufolge wird nur dann beigemischt, wenn die maximale Leistungsstufe des Ventilators noch nicht erreicht ist.
- Das Temperaturniveau der Außenluft muss oberhalb des Niveaus der Fortluft liegen.

Zum Einsatz kommt Lüftungs- und Regelungstechnik der Firma *Lufttechnik Schmeißer GmbH*. Die Kenndaten des Abluftkühlgerätes TSAK-1700 sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Einbausituation vor Ort zeigt Abbildung 4.

Tabelle 3: Technische Kenndaten des Abluftkühlgerätes TSAK-1700.

Eigenschaft	Wert	Einheit
Luftvolumenstrom	1000...1700	m ³ /h
Druckdifferenz (extern)	300	Pa
Kälteleistung	5,84	kW
Leistungsaufnahme Ventilator	378...409	W
Ventilatortyp	K3G250-AV-29B2	-
Filterklasse / Filtertyp	F5 / CompaPleat	-
Schallleistung saugseitig	73,3...74	dB(A)
Schallleistung druckseitig	79,6...79,9	dB(A)



Abbildung 4: Abluftkühlgerät TSAK 1700 mit Regelungseinheit (links), LTS Sole-Wasser-Wärmepumpe (Mitte) und Fröling P4 Pelletkessel (rechts) im Heizungsraum des LVV-Gebäudes.

3.4.1.2 Heizungssystem

Für die Wärmebereitung des Heiz- und Trinkwarmwassers kommen eine Wärmepumpe zur Deckung der Grundlast und ein Pelletkessel für Spitzenlasten zum Einsatz. Die hydraulische Verschaltung des Gesamtsystems zeigt das Heizungsschema in Abbildung 60 (Anhang A.3).

Die Sole-Wasser-Wärmepumpe der Firma Lufttechnik Schmeißer GmbH (Typ 4.0 kW) nutzt als Wärmequelle die zentral abgeführte Abluft mit optionaler Außenluftbeimischung sowie das in Tanks gesammelte Grauwasser (Waschmaschinen, Duschen, etc.). Dabei sind die Wärmequellen in genannter Reihenfolge seriell verschaltet.

Sekundärseitig verfügt die Wärmepumpe über einen zweiten Wärmetauscher zur Heißgasabschöpfung. Die wichtigsten Kenndaten sind in Tabelle 4 aufgeführt; detailliertere Angaben sind der technischen Dokumentation in Anhang A.1 zu entnehmen.

Tabelle 4: Kenndaten der eingesetzten Wärmepumpe (Lufttechnik Schmeißer GmbH, Typ 4.0 kW) im LVV-Gebäude.

Eigenschaft	Wert	Einheit
Leistungsdaten bei: Sole 10°C / Wasser 45°C (Abluft-Wasser)		
Heizleistung	6,69	kW
Kälteleistung	5,02	kW
Elektrische Leistungsaufnahme	1,67	kW
Leistungszahl	4,01	-
Kältemittel	R407c	-

Als Back-up System zur Sicherung der Wärmeversorgung steht ein Holz-Pellet-Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 20 kW zur Verfügung (Fröling P4/20). Dieser wird über einen übergeordneten Systemregler vom Typ SHR 83-14 bei Unterschreitung einer Solltemperatur im oberen Speicherbereich zugeschaltet. Der Pellet-Bunker befindet sich in unmittelbare Nähe des Pellet-Kessels unterhalb des Pultdaches. Die Beschickung erfolgt über eine pneumatische Ansaugung. Die wichtigsten Kenndaten sind in Tabelle 4 aufgeführt; detailliertere Angaben sind dem Prüfprotokoll in Anhang A.1 zu entnehmen.

Tabelle 5: Kenndaten des Pellet-Kessels Fröling P4 / 20 im LVV-Gebäude.

Eigenschaft	Wert	Einheit
Nennwärmeleistung	20	kW
Modulationsbereich	6-20	kW
Elektrische Leistungsaufnahme	71	W
Kesselinhalt (Wasser)	80	l
Kesselwirkungsgrad Vollast	93,5	%
Kesselwirkungsgrad Teillast	93,4	%

Beide Wärmeerzeuger speisen einen Schichten-Pufferspeicher mit einem Volumen von 1360 l (Matrix-Comfort-Speicher, PWS5M). Die Trinkwassererwärmung erfolgt hygienisch im Durchlaufverfahren. Um ein häufiges Takten der Wärmeerzeuger zu vermeiden, verfügt das System über einen Erweiterungsschichtenspeicher mit zusätzlich 2000 l Fassungsvermögen.

Überschüssige Wärme wird aus dem Führungsspeicher über ein Speicherumlademodul (SULM) in den Erweiterungsspeicher umgeladen und bei Bedarf wieder zurückgeführt. Die technischen Spezifikationen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Das zentrale Wärmeverteilnetz des Gebäudes ist als Zwei-Rohr-System ausgeführt. Die Übergabe der Heizungsleistung in den Nutzungsbereichen erfolgt durch Heizkörper, welche die Wärme sowohl radiativ als auch konvektiv an die Raumluft abgeben. Die Regelung erfolgt über Thermostatventile an den Heizkörpern.

Tabelle 6: Technische Eigenschaften der eingesetzten Wärmespeicher.

Eigenschaft	Wert	Einheit
Führungs-Pufferspeicher (Kombiniert für Trinkwarmwasser und Heizung)		
Typ	Schichtenspeicher	-
Nennvolumen	1360	L
Durchmesser / Höhe (ohne Dämmung)	950 / 2110	mm
Dämmstärke (PU-Hartschaum)	110	mm
Erweiterungs-Speicher		
Typ	Schichtenspeicher	-
Nennvolumen	2000	L
Durchmesser / Höhe (ohne Dämmung)	1100 / 2420	mm
Dämmstärke	100	mm

3.4.1.3 Grauwasseraufbereitung

Das Abwasser aus Duschen, Waschbecken, Waschmaschinen und Geschirrspülern wird in einer Grauwasseraufbereitungsanlage gereinigt und wiederverwendet. Dazu durchläuft das Grauwasser eine Vorklärung, bestehend aus drei Wassertanks zur Sedimentierung und Wärmerückgewinnung zum Heizungssystem (3x 1500 l), einen natürlichen Pflanzenfilter im Außenbereich, eine Ultra-Membrananlage und eine UV-Filtration im Dachgeschoss. Das zu Trinkwasser aufbereitete Wasser wird dem Verteilnetz den Nutzergruppen Toiletten, Waschmaschinen, Geschirrspüler und Duschen zugeführt. Eine Ausnahme sind die Zapfstellen in den Küchen: hier wird aufgrund der hygienischen Anforderungen und damit verbunden den strengen Kontrollvorschriften Wasser des öffentlichen Verteilnetzes genutzt. Regenwasser wird separat aufgefangen, in gemauerten Tanks im Untergeschoss gespeichert und zur Gartenbewässerung genutzt. Ein Schema des Wassersystems zeigt Abbildung 17 in Abschnitt 0.

Das Grauwasseraufbereitungssystem ist zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht fertiggestellt. Lediglich die Vorklärung mit Wärmerückgewinnung zum Heizungssystem ist in Betrieb.

3.4.1.4 Photovoltaikanlage

Die Photovoltaikanlage erstreckt sich über die gesamte Dachfläche und die Überdachung des obersten Laubengangs. An Teilen der Laubengangbrüstung ist optional eine Nachrüstung weiterer Flächen möglich. Installiert sind 271 Module der Firma LG Electronics (LG285N1C-G3) mit einer Nennleistung (STC) von 285 W und einer Gesamtfläche 447,4 m². Vier Wechselrichter des Herstellers Power-One erzeugen eine Gesamtnennleistung von 77,23 kWp. Detaillierte Informationen der Teilanlagen sind dem Strangschemata in Abbildung 6 zu entnehmen; die prognostizierten Werte für den Ertrag und die Performance der Anlage sind in Tabelle 7 zusammengefasst [3].



Abbildung 5: Blick auf die Photovoltaikanlage auf dem Dach des LVV-Gebäudes [Quelle: <http://la-vidaver.de/>, abgerufen am 01.06.2015].

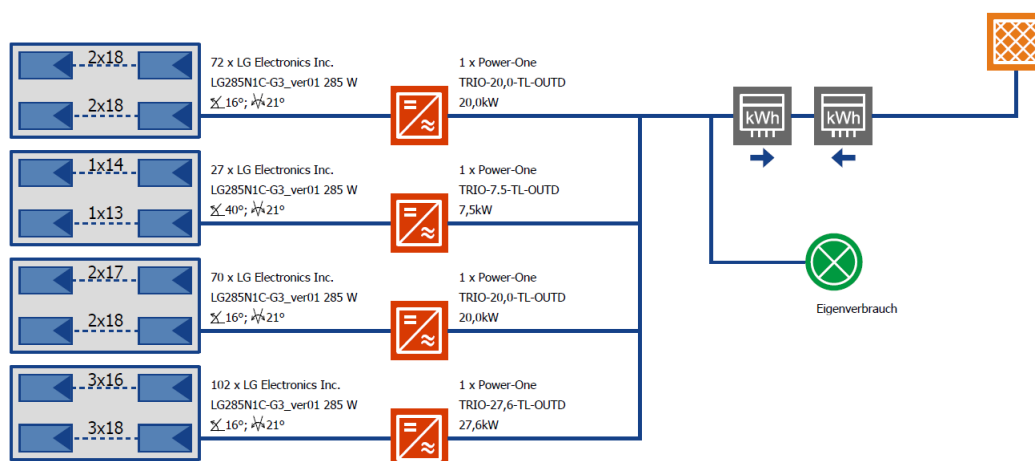


Abbildung 6: Strangschemata für die Photovoltaikanlage [3].

Tabelle 7: Prognostizierter Ertrag und Anlagenperformance der Photovoltaikanlage [3].

Eigenschaft	Wert	Einheit
PV-Leistung	77,23	kWp
PV-Brutto-/Bezugsfläche	444,4 / 447,4	m ²
Prognostizierter Ertrag	75.347	kWh
Prognostizierter Anlagennutzungsgrad (PR)	86,5	%
Prognostizierter spezifischer Jahresertrag	974,5	kWh/kWp
Prognostizierter Systemnutzungsgrad	14,9	%

3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

Das Energiekonzept des Gebäudes sieht vor, dass das Gebäude in der Jahressumme mehr Energie liefert als es für den Betrieb benötigt. Bilanziert wird der Energiefluss über die Grundstücksgrenze. Die im Folgenden dargestellten Bedarfswerte basieren auf den Berechnungsergebnissen der DIN 18599 und sind durch ingenieurmäßige Abschätzungen für innovative, nach DIN 18599 nicht abbildbarer Komponenten des Energiekonzeptes korrigiert.

Hierzu zählen

- die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser als Teil der integrierten Abluft-Grauwasser-Wärmerückgewinnungsanlage über ein Wärmepumpensystem
- und die Temperaturanhebung der Wärmequelle durch eine optionale Außenluftbeimischung bei warmen Außenlufttemperaturen.

Der rechnerische Nachweis der Plus-Energiebilanz wurde vom Architekturbüro Dr. Beetstra + Körholz erstellt und ist in [4] näher erläutert. Abweichungen gegenüber der in [4] dargestellten Energiebilanz resultieren aus einer geringeren Ertragsprognose für die realisierte Photovoltaikanlage und einer Korrektur des PE-Faktors für den ins öffentliche Stromnetz eingespeisten Anteil. Zusammen mit der Dokumentation für die Bedarfsberechnung nach DIN 18599 [5] ist der Nachweis in Anhang A.1 enthalten.

In der Berechnung wird davon ausgegangen, dass die oben genannten innovativen Komponenten den nach DIN 18599 berechneten Endenergiebedarf für den Energieträger Pellets um den Betrag der Ergänzungsberechnungen reduzieren. Die Korrektur erfolgt auf Basis der Monatswerte.

In der rechnerischen Plus-Energie-Bilanz enthalten sind alle nach DIN 18599 bilanzierten Verbrauchergruppen Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Hilfsenergie sonstiger TGA Komponenten. Der elektrische Energieverbrauch für Beleuchtung, Haushalt und Kochen wurde gemäß Anlage 1 – Definition PEH der Bekanntmachung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im „Plus-Energie-Haus-Standard“ pauschal mit 20 kWh/m²a angesetzt. Der elektrische Energiebedarf für die Aufbereitung des Grauwassers ist in der Bilanzrechnung nicht enthalten.

Die nachfolgend Tabelle 8 zeigt die jährlichen Nutz und Endenergiebedarfswerte des Gebäudes. Es ergeben sich 10.339 kWh/a Endenergie für Pellets und 60.901 kWh/a für elektrische Energie.

Tabelle 8: Nutz- und Endenergiebedarf des LVV-Gebäudes

Name	Heizung (inkl. Lüftung)	Warmwasser	Beleuchtung + Haushalt + Kochen
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Nutzenergie $Q_{x,b}$	38.525	19.314	24.142
Wärmeabgabe der Erzeugung $Q_{x,outg}$	52.949	54.765	-
Elektrischer Endenergiebedarf	21.743	15.016	24.142
	60.901		
Endenergiebedarf Pellets ¹	10.274	65	-
Endenergiebedarf gesamt	32.017	15.666	24.142
	71.825		

1) Hinweis: Die Energiebedarfswerte für Pellets gemäß DIN 18599 wurden auf Basis der Monatswerte für die Verbrauchergruppen Heizung und Warmwasser anteilig reduziert.

In der energetischen Gesamtbilanz reduziert sich der Endenergiebezug für elektrische Energie um den lokal genutzten Anteil des PV-Ertrages². Nach § 5 der EnEV kann elektrische Energie aus erneuerbaren Energien der Hilfsenergiebedarf für Warmwasser, Heizung und Lüftung berücksichtigt werden. Die Bilanzierung erfolgt auf Basis von Monatswerten und ist in [4] enthalten. In der Jahressumme ergibt sich für die Verbrauchergruppen der EnEV eine Deckung von 21.525 kWh/a. Zusätzlich sind 12.071 kWh/a für Haushaltsgeräte veranschlagt, sodass in der Summe 33.596 kWh/a lokal genutzt werden.

¹) Hinweis: Die Energiebedarfswerte für Pellets gemäß DIN 18599 wurden auf Basis der Monatswerte für die Verbrauchergruppen Heizung und Warmwasser anteilig reduziert.

² Für die in

Tabelle 9 dargestellten Energiebilanz wurden die prognostizierten Ertragswerte (siehe Abschnitt 3.4) der realisierten Photovoltaikanlage angesetzt. Dies kann von älteren Darstellungen abweichen.

Tabelle 9: Energiebedarf, Energieerzeugung und Energiedeckung.

	Endenergie		Primärenergie	
	kWh	kWh/m²	kWh	kWh/m²a
Erzeugung				
Elektrische Energieerzeugung PV	75.347	43,2	-	-
Anteil Netzeinspeisung	41.751	23,9	116.903	67,0
Lokal genutzter Anteil	33.596	19,2	0	0,0
Bedarf				
Elektrischer Energiebedarf	60.901	34,9	-	-
Elektrischer Energiebedarf ohne Eigenverbrauch der PV-Anlage	27.305	15,6	65.532	37,5
Energiebedarf Pellets	10.924	6,3	2.185	1,3
Bilanz Grundstücksgrenze				
Energiebezug	38.229	21,9	67.717	38,8
Energielieferung	41.751	23,9	116.903	67,0
Gesamtbilanz	-3.522	-2,0	-49.186	-28,2
Hinweise: - Bezugsgröße der spezifischen Energiekennwerte ist die Netto-Grundfläche mit NGF = 1.746 m². - Es wurden die Primärenergiefaktoren gemäß Anlage 1 „Definition PEH“ der Bekanntmachung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im „Plus-Energie-Haus-Standard“ nicht erneuerbarer Anteil verwendet. - Abweichungen gegenüber der in [4] dargestellten Energiebilanz resultieren aus einer geringeren Ertragsprognose für die realisierte Photovoltaikanlage und einer Korrektur des PE-Faktors für den ins öffentliche Stromnetz eingespeisten Anteil.				

In

Tabelle 9 sind die Bedarfs- und die prognostizierten Ertragswerte gegenübergestellt. Zur Berechnung der Primärenergie werden die Faktoren gemäß Anlage 1 „Definition PEH“ der Bekanntmachung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im „Plus-Energie-Haus-Standard“ nicht erneuerbarer Anteil verwendet. Die Gesamtbilanz ergibt einen Überschuss von -3.522 kWh/a Endenergie und -49.186 kWh/a Primärenergie.

3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Bedarfsberechnung nach DIN 18599 sowie die resultierende Effizienzbewertung je Teilabschnitt dargestellt. Die Berechnungsergebnisse sind der Projekt-Dokumentation für die Bedarfsberechnung entnommen. Aussteller ist das Ingenieurbüro D. Gerloff, Nerthusweg 21, 13125 Berlin [5].

Tabelle 10: Ergebnisse der Bedarfsberechnung nach DIN 18599

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie	
		kWh/a	kWh/m²a
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung und Trinkwarmwasser	57.838,8	33,1
Erzeuger-abgabe	Wärmeabgabe der Erzeuger an die Speicher für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	107.714,2	61,7
Endenergie Erzeuger	Endenergiebedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	48.012,3	27,5
Endenergie Haustechnik	Endenergiebedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	55.594,8	31,8
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	99.063,6	56,7

Tabelle 11: Effizienzbewertung für die Teilsysteme der TGA auf Grundlage der Bedarfsberechnung nach DIN 18599.

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,9
Effizienz der Wärmeerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,4
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	1,0
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,0
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	2,2
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik/ Nutzenergie)	1,7

4 Monitoring

Im Folgenden werden das Monitoringkonzept erläutert, die notwendigen Messstellen definiert, sowie die eingesetzte Messtechnik und die Struktur der Datenerfassung dokumentiert.

4.1 Messkonzept

Die aus den Zielen für das Monitoring resultierenden Messaufgaben werden nachfolgend erläutert. Dabei lässt sich das Konzept inhaltlich in die Bereiche Außenklima, Energiebilanzen, Betriebsverhalten, thermische Behaglichkeit und Grauwasseraufbereitung gliedern. Für jeden dieser Bereiche wurden bereits während der Bauphase die notwendigen Messstellen gemäß dem Leitfaden für das Monitoring [6] festgelegt. Eine detaillierte Dokumentation der Messstellen und der eingesetzten Messtechnik für alle Teilbereiche befindet sich in Abschnitt 4.2.

Durch das Monitoring werden folgende Bilanzräume differenziert betrachtet (siehe Abbildung 7):

- auf der größten Ebene das Gesamtgebäude summarisch,
- jede einzelne Wohneinheit summarisch für sich und
- hoch aufgelöst sechs ausgewählte Wohneinheiten („Nutzerverhalten“).

In einem Passivhaus haben das Nutzerverhalten und die solaren Gewinne einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch des Gebäudes. Die Wohnungen wurden so ausgewählt, dass durch die Lage und Größe der Wohnungen unterschiedliche Nutzerverhalten und solare Gewinne zu erwarten sind. Insbesondere durch die unterschiedliche Geschosslage und damit verbunden die Verschattungssituationen, sind für die weitestgehend baugleichen Wohnungen unterschiedliche Tagesverläufe für Raumtemperatur und Heizwärmebedarf zu erwarten.

Die Messdaten aus einer intensiv vermessenen Wohneinheit liefern detaillierte Informationen über das Verhalten der Bewohner. So ist es z.B. möglich anhand des Tagesverlaufes für den Stromverbrauch die An- und Abwesenheitszeiten der Nutzer zu beobachten. Aus diesem Grund wurden die Wohnungen bereits im Vorfeld mit Einverständnis der betreffenden Mietparteien ausgewählt. Die Lage der intensiv vermessenen Wohnungen zeigt Abbildung 7.

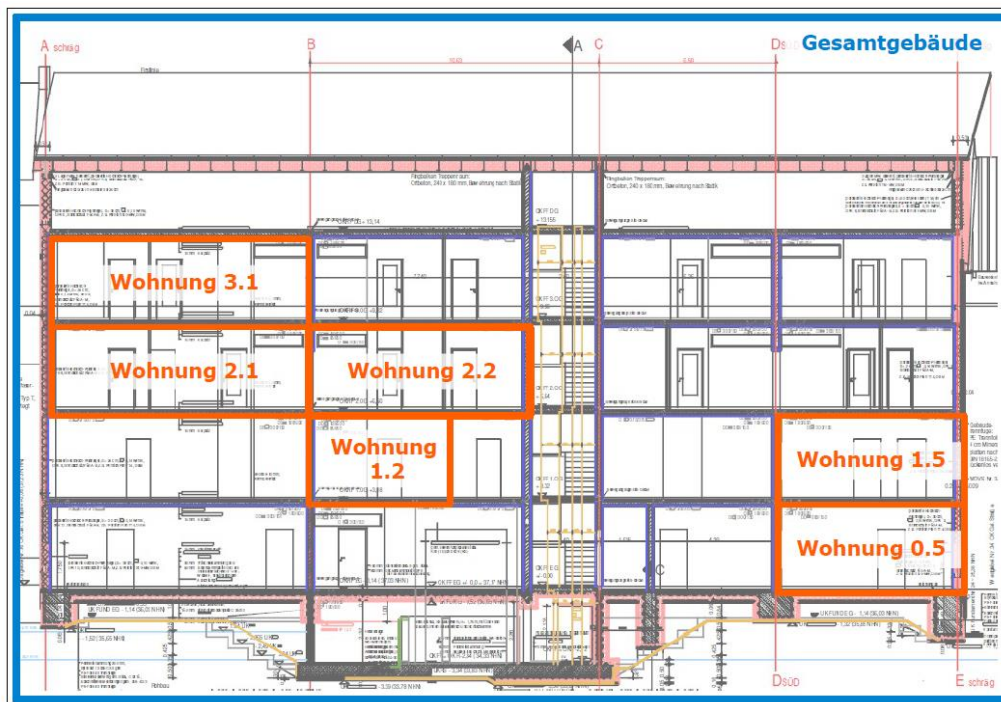


Abbildung 7: Bilanzräume für das Monitoring des LVV-Gebäudes.

Es werden spezifische Kennwerte für den Endenergieverbrauch aller Endenergiearten und analog für den Nutzenergieverbrauch, z. B. Aufwandszahlen und Nutzungsgrade (bezogen auf End- und Primärenergie) ermittelt. Hierzu ist eine differenzierte Positionierung von entsprechenden Zählern (z. B. Strom, Wärme) erforderlich. Abbildung 8 zeigt ein Schema der Energieversorgung des LVV-Gebäudes mit der Zählerpositionierung zur Erfassung der relevanten Energieströme.

Um in den intensiv vermessenen Wohnungen die Nutzenergie für künstliche Beleuchtung, Kochen, Kühlen, Waschen und sonstige Verbraucher zu bestimmen, wurden separate Stromkreise und -zähler vorgesehen. Die Energien können durch die Positionierung der Zähler in Unterverteilungen den einzelnen Bilanzräumen zugeordnet werden.

Alle Energien und Volumina werden als Summen gemessen („Integrator“). So können auch bei einem Datenausfall die Energieverbrauchswerte richtig bestimmt werden. Die schematischen Darstellungen zur Positionierung der Zähler für die Verbrauchserfassung von Strom und Wärme befinden sich in den jeweilig thematisch zugehörigen Abschnitten (siehe Abschnitt 4.2.2 „Energiezähler“).

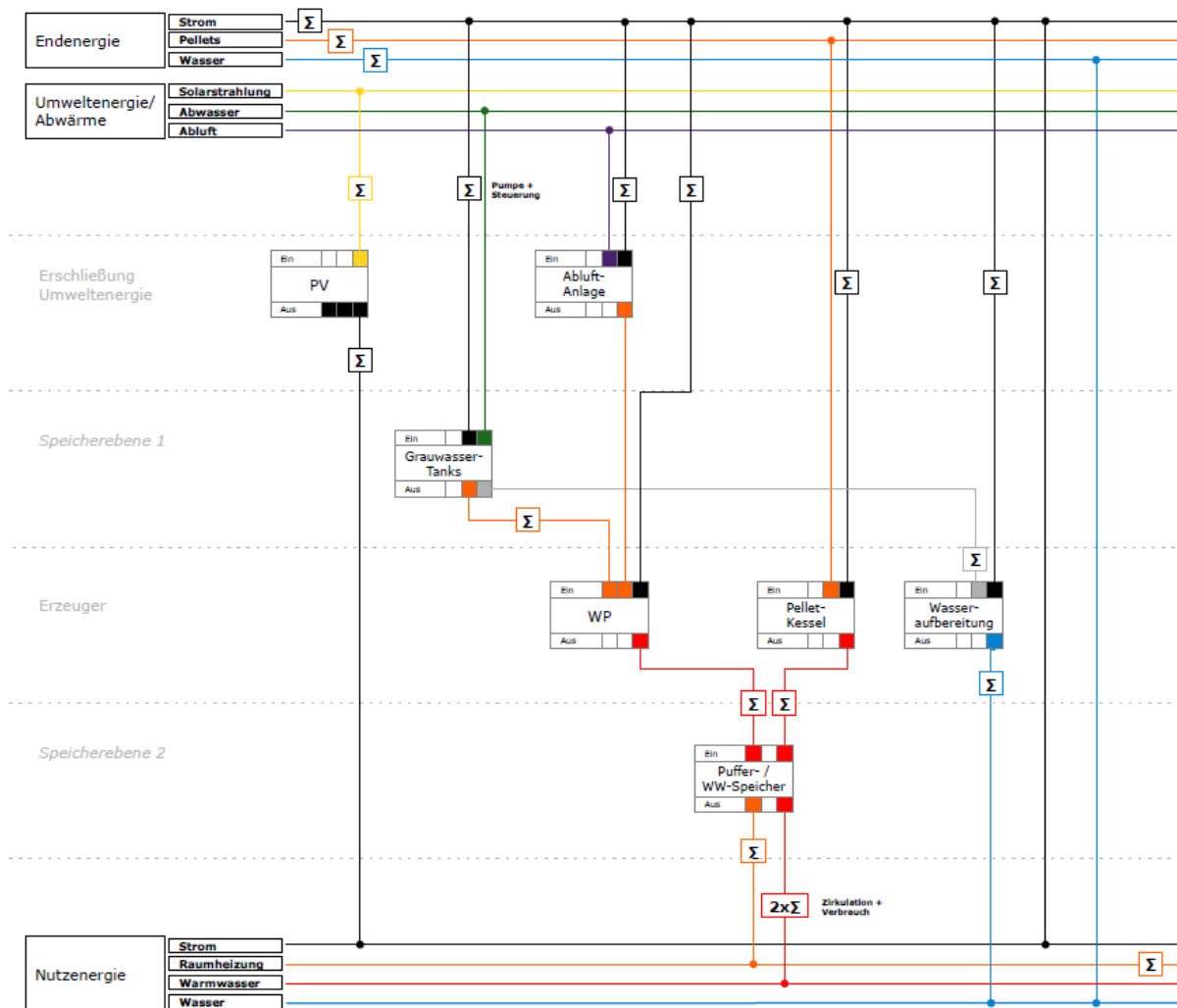


Abbildung 8: Schema für die Energiebilanzierung des LVV-Gebäudes.

4.2 Messstellen / verwendete Messtechnik

4.2.1 Wetterstation

Zur Erfassung der Klimadaten ist eine Wetterstation der Firma Adolf Thies GmbH & Co. KG installiert. Erfasst werden die Daten von einem Datenlogger des Typs DLx-MET und anschließend als gewandelte Messgrößen über eine serielle Schnittstelle (RS485) an das übergeordnete Datenerfassungssystem übergeben. Die Wetterstation bildet somit ein abgeschlossenes System mit zusätzlicher Datenredundanz zur Vermeidung von Datenlücken und Fehlerquellen.

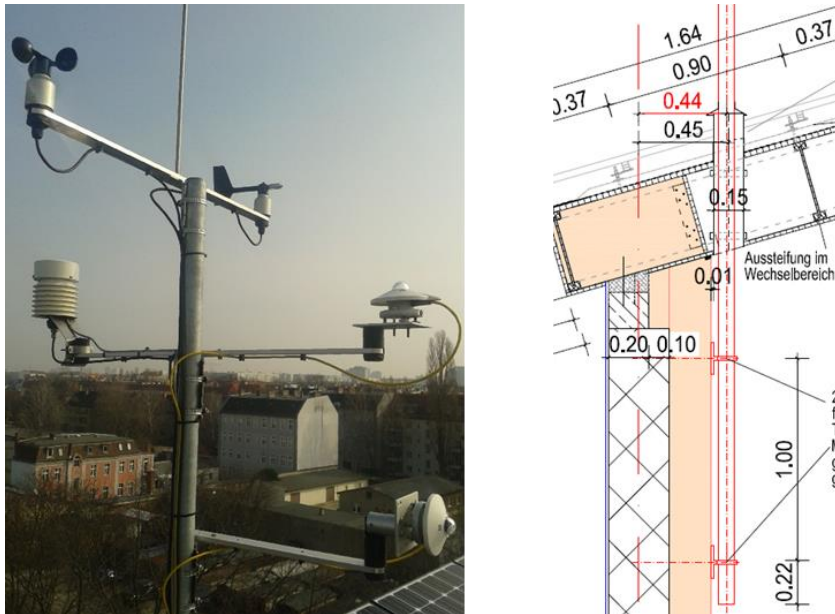


Abbildung 9: Foto der Wetterstation (links) und Detailzeichnung der Mast-Befestigung (rechts).

Tabelle 12: Messgrößen und Kenndaten der Messgeräte für die Wetterstation.

Messgröße	Sensorbezeichnung	Messprinzip	Genauigkeit	Einheit	Messbereich
Windrichtung	Windrichtungsgeber – Compact	Windfahne	+/-2%		0 – 360°
Windgeschwindigkeit	Windgeber – Compact	Schalensternanemometer	+/-0,5 m/s oder 3%	m/s	0,5 – 50 m/s
Feuchte / Temperatur	Hygro- Thermogeber – Compact mit Strahlungsschutz	Kapazitiv/ PT 100	+/- 2% rF +/-0,1°C bei 0°C	%/ °C	0 – 100%
Globalstrahlung horizontal	Pyranometer CMP 3	Thermosäule	"second class"	W/m ²	0 – 2000 W/m ²
Globalstrahlung Fassade	Pyranometer CMP 3	Thermosäule	"second class"	W/m ²	0 – 2000 W/m ²

Der Mast für die Wetterstation ist auf einer stabilisierenden Trägerplatte an der nordöstlich orientierten Fassade befestigt. Durch eine Öffnung im Dachüberstand reicht der Mast ca. 2 m über die obere Kante des Pultdaches (siehe Foto in Abbildung 9). Die Leitungen für die Stromversorgung und die Datenübertragung werden durch Lehrrohre ins Innere des Gebäudes geführt. Die Wetterstation ist mit den in Tabelle 12 aufgeführten Messgeräten ausgestattet.

4.2.2 Energiezähler

Im Gebäude der LaVidaVerde GmbH werden die Energieströme gemäß den im Leitfaden für das Monitoring definierten Anforderungen ermittelt. Dabei lässt sich zwischen thermische und elektrische Energiemessung unterscheiden.

4.2.2.1 Thermische Energieerfassung

Zur Messung der thermischen Energieflüsse kommen Ultraschall-Wärmemengenzähler vom Typ „Landis+Gyr Ultraheat T230“ mit integrierter M-Bus-Schnittstelle zum Einsatz. Eine Ausnahme bilden die Messstellen für Zirkulation und Verbrauch Warmwasser. Aufgrund der besonderen hygienischen Anforderungen sind an diesen Positionen Geräte der Diehl-Metering GmbH (Hydrus Ultraschallzähler mit F8 Rechenwerk) mit Zulassung für den Trinkwasserbereich eingebaut.

Tabelle 28 im Anhang A.4 listet die installierten Wärmemengenzähler, deren Versorgungsbereiche und Nenndurchflüsse. Neben den Wärmemengen erfassen die Wärmemengenzähler die Temperaturen der Vor- und Rückläufe sowie die Durchflüsse und ermöglichen somit eine detaillierte Analyse der Systemgrößen im hydraulischen Rohrleitungssystem der Wärmeversorgung. Folgende Energieflüsse werden erfasst:

- Erzeugte Wärmemenge des Pelletkessels
- Gesamte entzogene Energie der Wärmequelle durch die Wärmepumpe (primärseitig, Abluft + Grauwasser) und separat der Anteil aus dem Grauwasser
- Gelieferte Wärmemenge der Wärmepumpe je Sekundär-Wärmetauscher¹ (x2)
- Wärmemengen für Zirkulation und Verbrauch Warmwasser
- Gesamter Heizenergieverbrauch
- Wärmeverbrauch je Wohneinheit (x18)

Insgesamt sind 26 Wärmemengenzähler im LVV-Gebäude eingebaut.

Die folgende Abbildung 10 zeigt exemplarisch einen eingebauten Wärmemengenzähler für die Erfassung der gelieferten Wärmemenge der Wärmepumpe (links) sowie zwei Wärmemengenzähler zur Bestimmung der Energiemengen für Zirkulation und Verbrauch der Warmwasserbereitung (rechts).

¹ Hinweis: Die eingesetzte Wärmepumpe verfügt über zwei Sekundär-Wärmetauscher zur Bereitstellung unterschiedlicher Temperaturniveaus.



Abbildung 10: Landis+Gyr Wärmemengenzähler zur Ermittlung der gelieferten Wärmemenge der Wärmepumpe (links) sowie Diehl Metering Wärmemengenzähler zur Bestimmung der Energiemengen von Zirkulation und Verbrauch der Warmwasserbereitung (rechts).

4.2.2.2 Elektrische Energieerfassung

Die Hauptströme für elektrische Energie, wie Bezug und Lieferung aus dem örtlichen Verteilnetz und die erzeugte elektrische Energiemenge der PV-Anlage, werden über die Energiezähler des lokalen Verteilnetzbetreibers, der Vattenfall GmbH, erfasst. Für das Monitoring wurden Impulsausgänge freigeschaltet, welche über einen Wandler in das M-Bus Netz des Monitoringsystems eingebunden sind und in einem 5-Minuten-Intervall ausgelesen werden. Das Zählerkonzept der Energieversorgung veranschaulicht Abbildung 11.

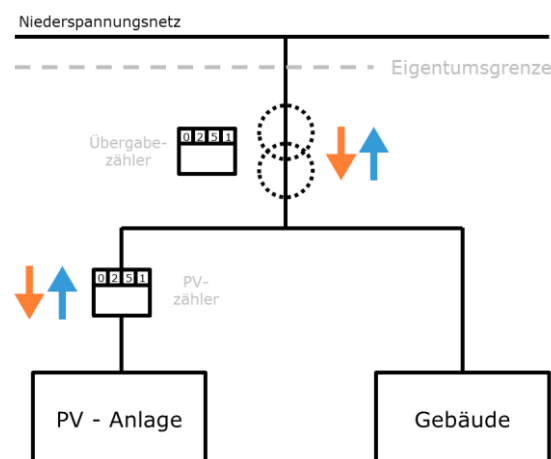


Abbildung 11: Zählerkonzept für die elektrische Energieversorgung des LVV-Gebäudes.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass ursprünglich geplante aber (noch) nicht umgesetzte Komponenten des Energiekonzeptes in der Konzeption nicht berücksichtigt sind. Hierzu zählen die geplante Windkraftanlage, E-Mobilität, Batteriespeicher und Stromlieferung an benachbarte Gebäude. Sollte das Energiekonzept um eine der genannten Komponenten ergänzt werden, müsste das Monitoring dahingehend erweitert werden.

Weiterhin werden im LVV-Gebäude folgende elektrische Verbrauchergruppen separat erfasst:

- Raumlüftung
- Energieverbrauch je Wärmeerzeuger (Wärmepumpe und Pelletkessel)
- Hilfsenergie des Heizungssystems (Pumpen, Steuerung, etc.)
- Gemeinschaftswaschmaschinen
- Gartengeräte und Werkstatt summarisch
- Hauslicht, IT und Messtechnik summarisch
- Grauwasseraufbereitung

Zusätzlich werden in 6 ausgewählten Wohnungen (Nr. 0.5, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1) die Energieverbräuche für Beleuchtung, Kochen, sonstige Küchengeräte und der dezentralen Warmwasserbereitung (Durchlauferhitzer) erfasst. Zu diesem Zweck sind in Haupt- und Unterverteilungen die Stromkreise separiert und Strommengenähler installiert. Insgesamt befinden sich 56 Strommengenähler im Gebäude, sodass eine detaillierte Zuordnung möglich ist. Das Zählerkonzept wird in Abbildung 12 schematisch veranschaulicht. Tabelle 29 in Anhang A.5 listet alle eingebaute elektrischen Energiezähler, deren Hersteller, Typ und M-Bus Sekundäradresse.

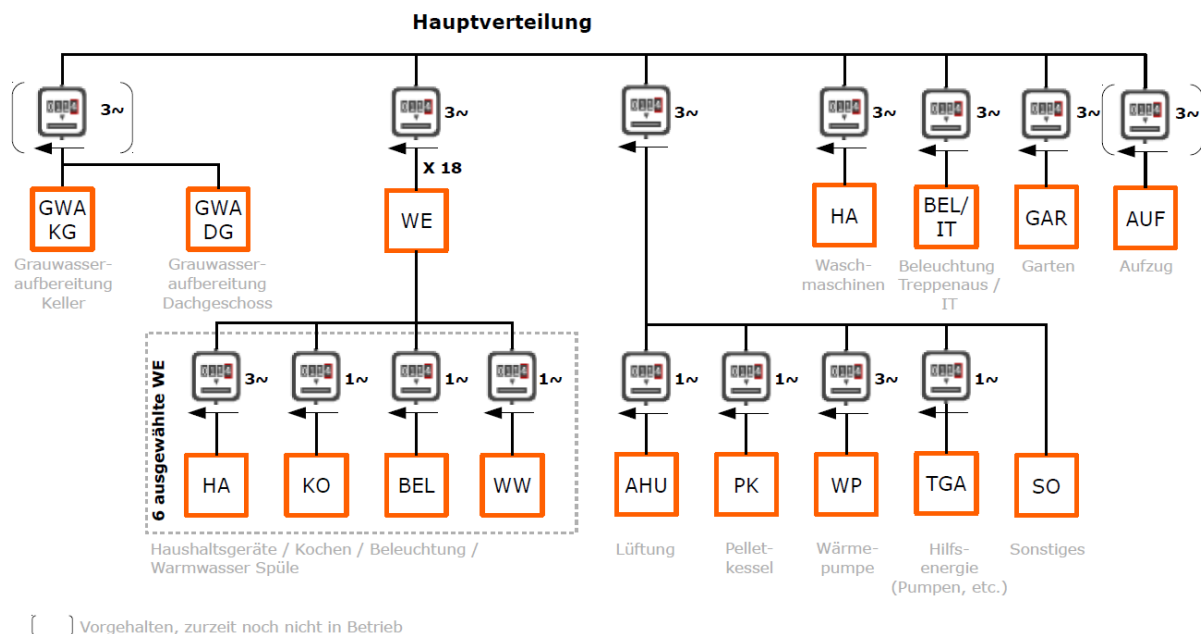


Abbildung 12: Zählerkonzept für die elektrische Verbrauchsdatenerfassung im LVV-Gebäude.

4.2.3 Betriebszustände der TGA

Durch das Monitoring-System des LVV-Gebäudes werden die Betriebszustände und die Zustandsgrößen aus verschiedenen Komponenten der TGA erfasst. Es kann zwischen den Teilsystemen Lüftung, Heizung und Photovoltaikanlage unterschieden werden.

4.2.3.1 Lüftungssystem

Das Lüftungssystem besteht im Wesentlichen aus einem autark gesteuerten, zentralen Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung zum Heizsystem mittels Wärmepumpe und dezentral positionierte variable Volumenstromregler (VVR) je Wohneinheit. Die bedarfsgerechte Regelung der VVR erfolgt über separate Regeleinheiten („Slaves“) innerhalb der Wohnungen.

Diese Regeleinheiten werden von einer zentralen Master-Einheit verwaltet, welche folgende Datenpunkte je Wohneinheit bereitstellt:

- Stellung des Sollwert-Potentiometers in %
- Sollwert für den Luftvolumenstrom
- Istwert für den Luftvolumenstrom
- Gleitendes 24-Stunden-Mittel für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsstatus

Das zentrale Abluftgerät verfügt über eine eigene Regeleinheit, die nicht über das Master-Gerät verwaltet wird. Dies macht eine separate Abfrage notwendig. Das Abluftgerät stellt folgende für das Monitoring relevante Daten bereit:

- Lüftungsstufe
- Ventilator-Ansteuerung in %
- Außenlufttemperatur
- Temperaturdifferenz Außenluft – Fortluft
- Steuersignal der Außenluftklappe
- Betriebsrückmeldung der Außenluftklappe
- Status Filter
- Fortlufttemperatur
- Grenzwert für die Fortlufttemperatur ab der eine Außenluftbeimischung erfolgen kann¹
- Freigabe Wärmepumpe
- Status Abtau-Betrieb

Beide Geräte können über ein herstellerspezifisches Protokoll der Fa. Lufttechnik Schmeisser GmbH ausgelesen werden, welches für das Gebäudemonitoring zur Verfügung gestellt wurde. Hierdurch konnten sowohl für das Lüftungs- als auch das Master-Gerät eigene Programme zum Auslesen und Speichern der Daten entwickelt werden. Diese werden auf einem stromsparenden Einplatinencomputer (RaspberryPi) ortsnah betrieben und sind über eine RS232 Schnittstelle sowie einem Pegelwandler (C-Control Programmierschnittstellen) an den Platinen der Regelungseinheiten angeschlossen (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Abluftgerät (links unten), Master für die Wohnungslüftung (links oben) und Regelungseinheit mit angeschlossener Programmierschnittstelle für das Monitoring (rechts).

¹ Hinweis: Das Gerät verfügt über eine Außenluftbeimischung zur Abluft um die Quelltemperatur für die Wärmepumpe im Sommer zu erhöhen.

4.2.3.2 Heizungssteuerung

Das Heizungssystem des LVV-Gebäudes, insbesondere die Abstimmung von Wärmepumpe und Pelletkessel, wird über einen übergeordneten Multi-Energie-Regler (SHR 83-14, KPS-Energieeffizienz GmbH) geregelt. Nach ausführlicher Rücksprache mit dem Hersteller konnte keine Möglichkeit für eine Datenübernahme gefunden werden.

Der Pelletkessel (Fröling P4) ist für das Monitoring über eine Ethernet-Schnittstelle an das Internet angeschlossen. Ein herstellerspezifisches Webportal („Fröling Connect“, siehe Abbildung 14) ermöglicht eine Online-Bedienung und zeigt die aktuellen Betriebsdaten des Gerätes. Das Webportal beinhaltet jedoch keine Funktion um historische Daten zu speichern. Nach Aussage des Herstellers soll diese Funktion zeitnah ergänzt werden, weshalb die vom Kessel geloggten Daten zurzeit in regelmäßigen Abständen manuell über einer SD-Karte kopiert werden. Folgende Datenpunkte sind über die Kesselsteuerung verfügbar:

- Speichertemperatur oben / unten
- Kesseltemperatur
- Abgastemperatur
- Sollwertvorgaben

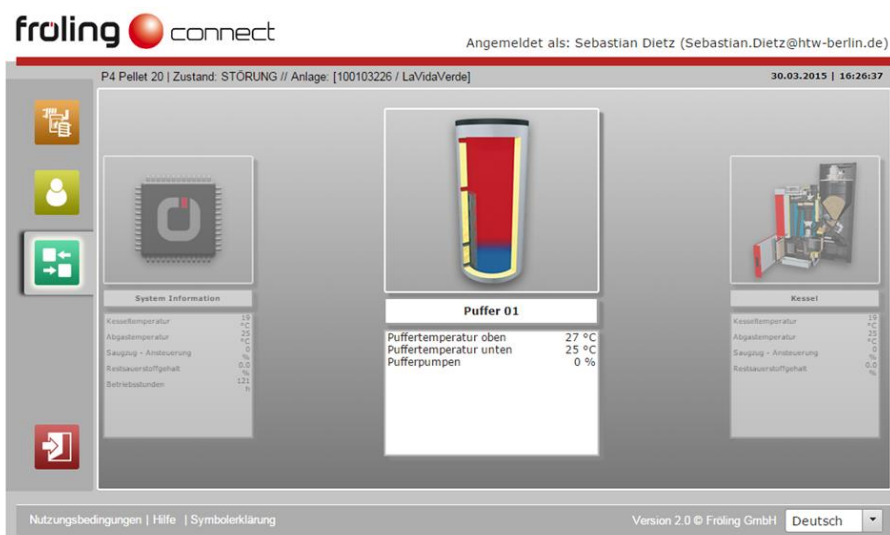


Abbildung 14: Fröling-Connect Webinterface (links) und Pelletkessel im LVV-Gebäude (rechts).

4.2.3.3 Photovoltaikanlage

Die Wechselrichter-Daten der Photovoltaikanlage werden über einen separaten PV-Datenlogger (Solarlog 1200) erfasst, visualisiert und auf einem lokalen ftp-Server gespeichert. Das Gerät erfasst folgende Messdaten:

- Spannung und Leistung DC-Seite je Wechselrichter und String
- Leistung AC-Seite je Wechselrichter
- Täglicher Ertrag je Wechselrichter
- Betriebsstatus je Wechselrichter



Abbildung 15: Wechselrichter (links) und Solar-Log-Datenlogger (rechts) der PV-Anlage [Quelle: <http://shop.wiregate.de/>, abgerufen am 30.03.2015].

4.2.4 Raumklimatische Verhältnisse

Zur Bewertung der raumklimatischen Verhältnisse werden in 6 ausgewählten Wohnungen (Nr. 0.5, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1) raumweise Temperatur- und Feuchtwerte gemessen und kontinuierlich aufgezeichnet. In einem Passivhaus haben das Nutzerverhalten und die solaren Gewinne einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch des Gebäudes. Die Wohnungen wurden daher so ausgewählt, dass durch die Lage und Größe der Wohnungen unterschiedliche Nutzerverhalten und solare Gewinne zu erwarten sind. Insbesondere durch die unterschiedlichen Verschattungssituationen der jeweiligen Etagen sind für die baugleichen Wohnungen unterschiedliche Tagesverläufe für Raumtemperatur und Heizwärmebedarf zu erwarten. Die Lage der ausgewählten Wohnungen ist Abbildung 7 in Abschnitt 4.1 zu entnehmen.

Die Fühlerpositionen wurden bereits in der Planungsphase mit den Bewohnern abgestimmt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Sensoren keinem direktem Sonnenlicht ausgesetzt werden und sich nicht unmittelbar neben den Heizkörpern befinden. Zum Einsatz kommen 1-Wire Advanced Multi-Sensoren der Firma Elaborated Networks GmbH als Bausatz für Unterputzdosen installiert in einer Raumhöhe von 1,7 m. Die Datenabfrage und Sensorverwaltung erfolgt über einen 1-Wire Busmaster desselben Herstellers (1-Wire Busmaster / Professional-Line und Wiregate Server). Insgesamt sind 24 Sensoren im LVV-Gebäude installiert.



Abbildung 16: Exemplarische Darstellung des verwendeten Sensortyps zur Temperatur- und Feuchtemessung der Raumluft [Quelle: <http://shop.wiregate.de/>, abgerufen am 08.06.2015].

4.2.5 Grauwasseraufbereitung

Um das Betriebsverhalten der Grauwasseraufbereitung und deren Effizienz, das Verhältnis von energetischem Aufwand und aufbereiteter Wassermenge, bewerten zu können, werden neben den Energieströmen (siehe hierzu Abschnitt 4.2.2) die Grauwassertemperaturen an vier verschiedenen Positionen und die Wassermengen im System erfasst. Abbildung 17 zeigt ein Funktionsschema der Grauwasseraufbereitung und die Positionierung der Sensoren. Zusätzlich zu den Wassertemperaturen an unterschiedlichen Positionen in den Grauwassertanks werden folgende Wassermengen erfasst:

- Z1: Gesamtmenge des aufbereitenden Wassers
- Z2: Nachspeisung Stadtwasser
- Z3: Gesamter Wasserverbrauch des Gebäudes (inkl. Stadtwasser)
- Z4: Gesamtverbrauch Kaltwasser
- Z5: Grauwasser Beschickung Vertikalfilter
- Z6: Regenwasser Beschickung Vertikalfilter
- Z7: Gartenbewässerung

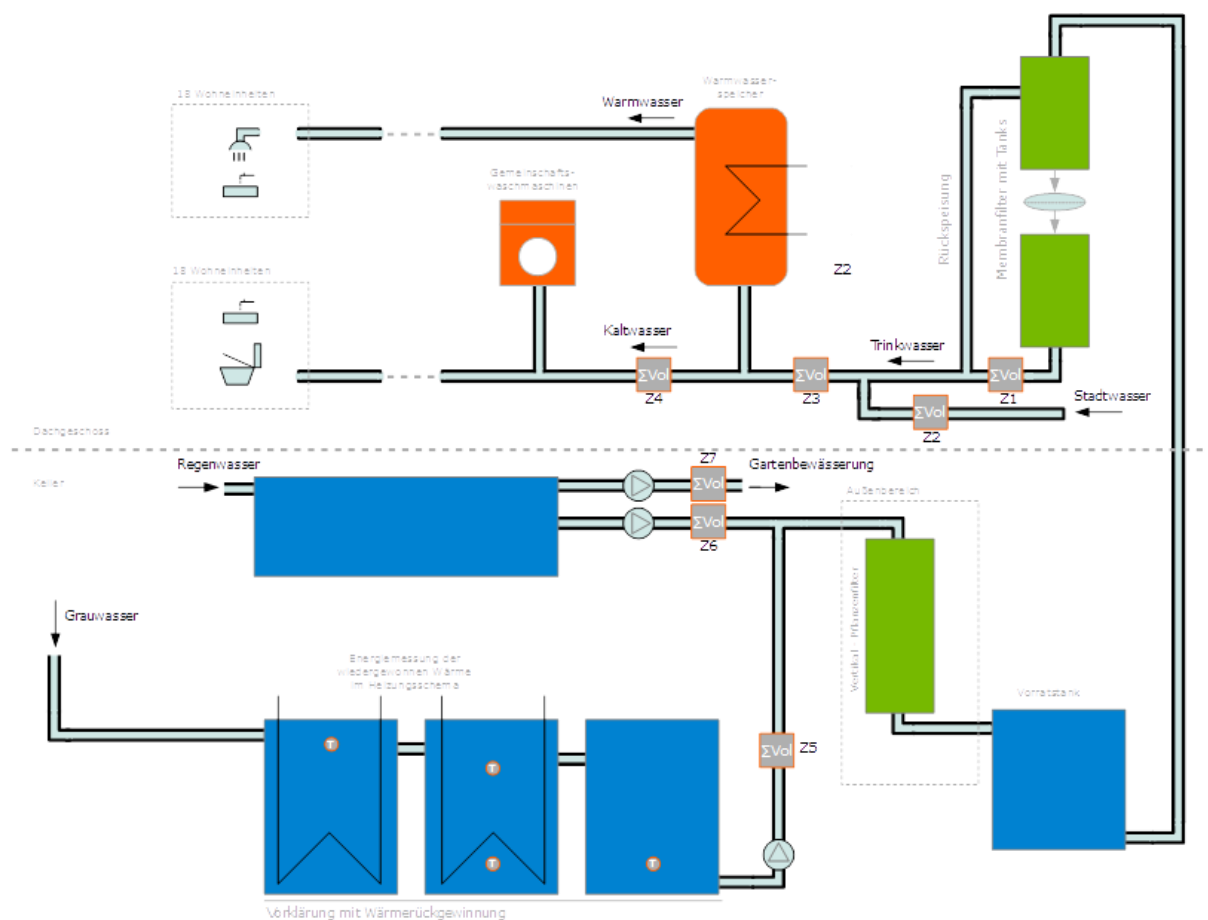


Abbildung 17: Schema für die Grauwasseraufbereitung mit Sensorpositionierung.

4.2.6 Datenerfassung, Aufbereitung und Analyse

Das Monitoringsystem erfasst die Daten aus den unterschiedlichen Teilsystemen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) und speichert die Rohdaten lokal im Gebäude auf einem Datenserver (Netzwerkspeicher). Die notwendige Datentechnik ist in einem zentralen Schaltschrank für das Monitoring untergebracht (siehe Abbildung 18). Dieser befindet sich im Dachgeschoss des LVV-Gebäudes (HV-Raum).



Abbildung 18: Schaltschrank zur zentralen Messdatenerfassung.

4.2.6.1 Sensorik und Datenerfassung

Besonders schwierig ist die Einbindung vorhandener TGA Komponenten, wie z.B. Pelletkessel, Abluftgerät und Heizungssteuerung in das Monitoringsystem. Diese Komponenten besitzen keine standardisierten Daten-Schnittstellen zur Abfrage der im System sowieso vorhandener Messdaten. Mit Ausnahme der Heizungssteuerung verfügen diese Geräte jedoch über serielle RS232 Schnittstellen. Eine Kommunikation ist jedoch nur über herstellerspezifische Protokolle ermöglicht, sodass hierzu spezielle Programme für die Datenerfassung durch das Monitoring-Team entwickelt wurden.

Die Raumlufttemperaturen und -Feuchten sowie die Grauwassertemperaturen werden über ein 1-Wire Netzwerk erfasst. Die Konfiguration und Verwaltung der Sensoren erfolgen über ein Gerät der Firma Elaborated Networks GmbH (Wiregate), welches die Messdaten über einen UDP Protokoll an den lokalen Netzwerkspeicher sendet. Ein Strangschema für das 1-Wire-Netzwerk zeigt Abbildung 61 in Anhang A.6.

Alle Wärme-, Strom- und Wassermengenzähler im Gebäude sind über ein M-Bus Datennetzwerk in das Monitoringsystem integriert. Die Lage der Zähler und Datenleitungen im Gebäude ist Abbildung 19 zu entnehmen. Ein M-Bus-Master der Firma Relay (WebLog 250) verwaltet die Geräte, fragt die verfügbaren Daten zyklisch ab und speichert diese in Tagesdateien über einen ftp-upload auf dem lokalen Netzwerkspeicher. Die Speicherung der PV-Daten (Solar-Log) erfolgt ebenfalls über einen täglichen ftp-upload.

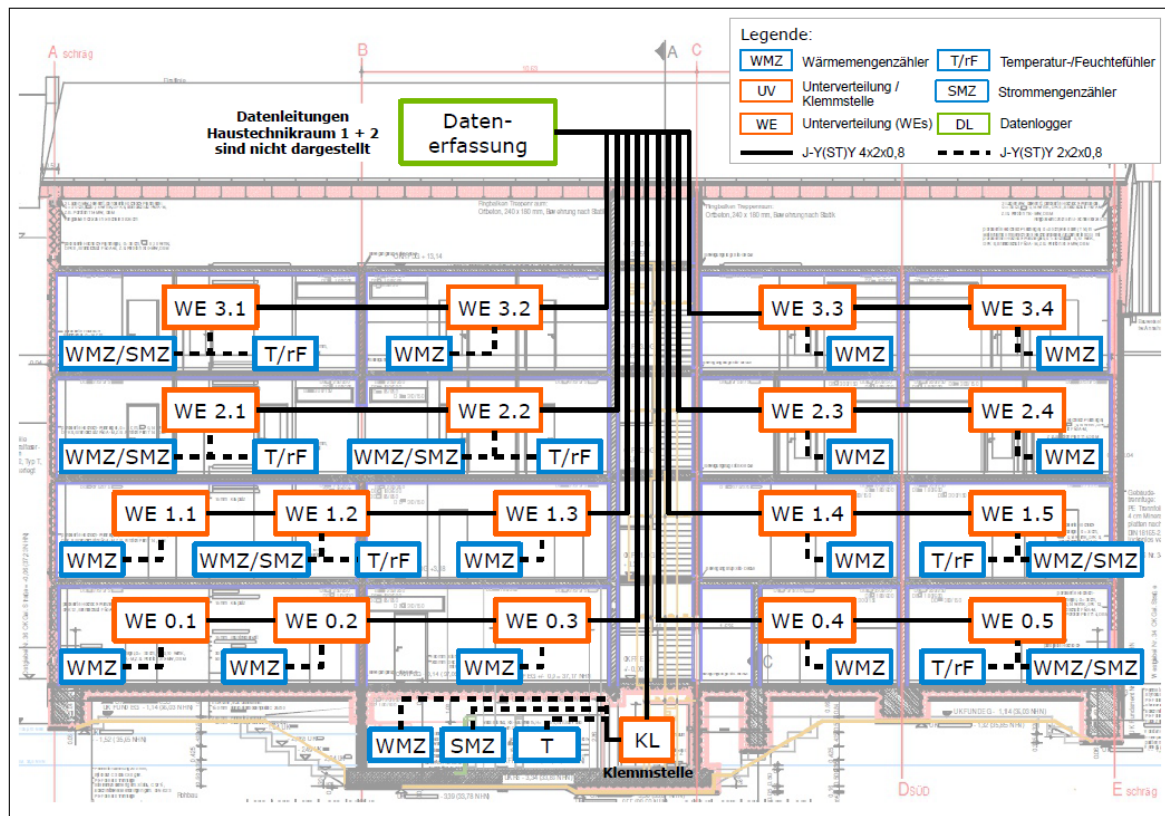


Abbildung 19: Schema für die Leitungsführung im LVV-Gebäude zur automatisierten Datenerfassung [Quelle der hinterlegten Schnitzzeichnung: Dr. Beetstra + Körholz].

4.2.6.2 Datenübertragung und Visualisierung für den Nutzer

Auf einem zentralen Datenserver (Netzwerkspeicher) sind alle Messdaten des Gebäudes in Form von ASCII-Text-Dateien gespeichert und sowohl für den Gebäudenutzer als auch das Monitoring-Team zugänglich. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgt i.d.R. in einem 5-minütigen Intervall. Ausgewählte Datenpunkte mit einem dynamischen Verhalten werden in kleineren Zeitschritten erfasst.

In bereits abgeschlossenen Monitoring-Projekten hat sich gezeigt, dass die Nutzer häufig großes Interesse an einem energetischen Gebäudemonitoring haben. Die - wenn auch nur sporadische - Kontrolle der Messdaten durch Nutzer, bietet die Chance, den energetische Performance auf einem konstanten Niveau zu halten oder durch eine Anpassung des Nutzerverhaltens zu verbessern. Zukünftig sollen zu diesem Zweck die Messdaten auf dem lokalen Datenserver kontinuierlich aufbereitet und visualisiert werden. Die Bewohner können anschließend auf die benutzerfreundlich dargestellten Messdaten über einen gängigen Webbrowser zugreifen.

4.2.6.3 Datenspeicherung und Auswertung

Um sicher zu stellen, dass nicht-autorisierte Personen keinen Zugriff auf die Datenschutztechnisch sensiblen Monitoring-Daten haben, wurde ein zum Hausnetzwerk separiertes Sub-Netz eingerichtet. Für die wissenschaftliche Auswertung im Rahmen des Intensivmonitorings sind die Daten über einen gesicherten VPN-Zugang verfügbar. Um eine ausreichenden Datenredundanz zu gewährleisten, werden die Daten einmal täglich auf einem Server der HTW-Berlin gesichert (vgl. Abbildung 20).

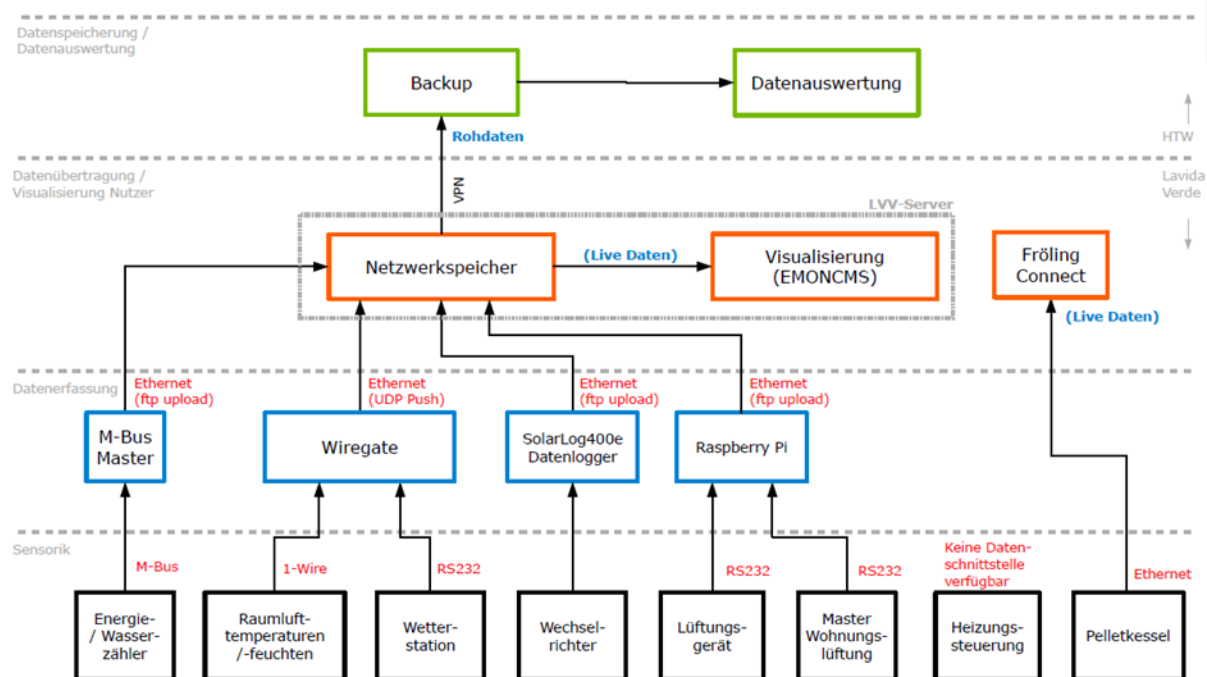


Abbildung 20: Schema für das realisierte Monitoringkonzept im LVV-Gebäude.

4.3 Weiterführende Dokumentation

Ergänzend zu den in Abschnitt 4.2 aufgeführten Beschreibungen der Mess- und Datentechnik befinden sich in Anhang A.1 (Daten CD) weiterführende Dokumentationen zum realisierten Monitoringssystem im LVV-Gebäude. Hierzu zählen:

- Datenblätter und Benutzerhandbücher der verwendeten Mess- und Datentechnik
- Klemmpläne
- M-Bus und 1-Wire-Adressenlisten
- Eine detaillierte Datenpunktliste mit Beschreibung der Messstellen

Zudem wurde ein Dokumentationsordner für den Gebäudebetreiber angelegt und vor Ort hinterlegt, sodass der Betrieb auch nach Ablauf der Intensivmonitoring-Phase sichergestellt werden kann.

5 Meteorologische Randbedingungen

Der Energiebedarf eines Gebäudes hängt größtenteils von den klimatischen bzw. meteorologischen Bedingungen (wie etwa der Solarstrahlung oder der Außenlufttemperatur) ab. Da bei der Berechnung des Energiebedarfs nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) ein mittleres Klima in Deutschland herangezogen wird, wird das, während der Messperiode, vorhandene Klima dem Referenzklima (nach DIN V 18599-10:2007) gegenübergestellt. Dazu werden zu einen die Daten der Wetterstation am Gebäude selbst sowie der nahegelegenen Wetterstation (Potsdam für die Solarstrahlung sowie Berlin-Tempelhof für die Temperatur) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen. Diese Daten werden monatlich als Mittelwert dargestellt und miteinander verglichen.

5.1 Solarstrahlung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung.

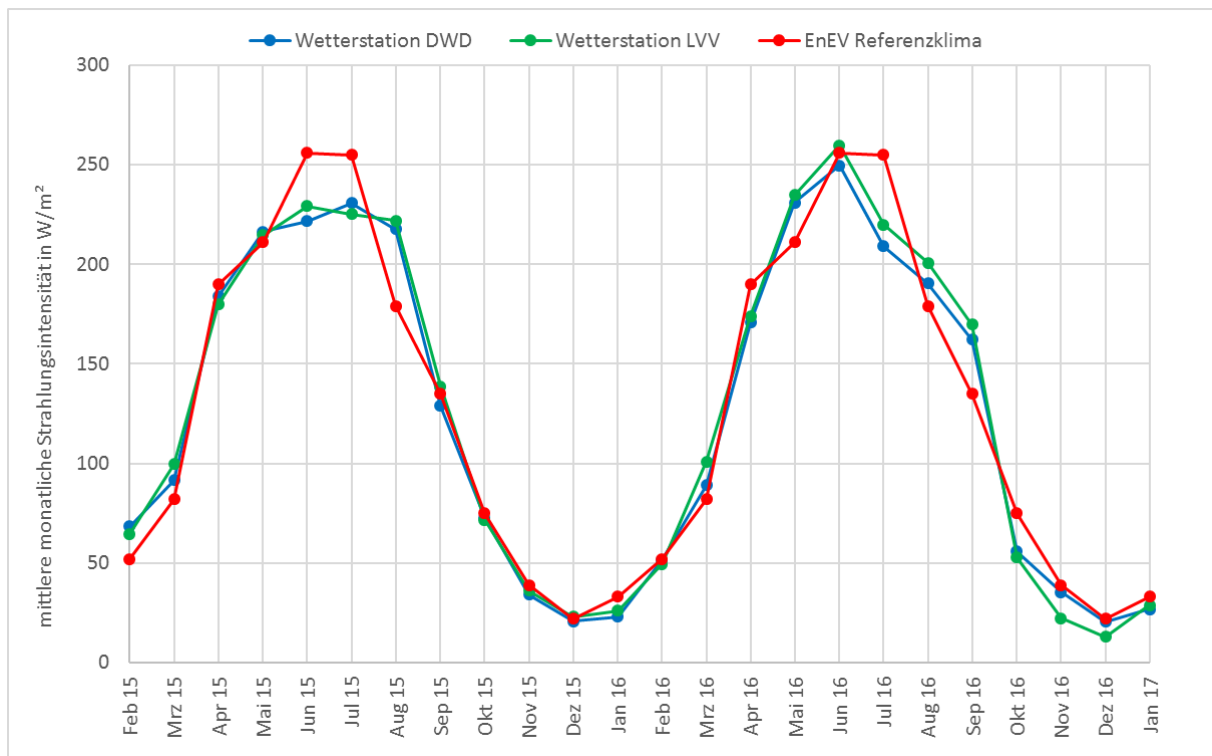


Abbildung 21: Mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im gesamten Messzeitraum

Die Messdaten der Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes decken sich im Großen und Ganzen mit den Messdaten der naheliegenden Wetterstation (Potsdam) des Deutschen Wetterdienstes (DWD). In den Monaten Juni und Juli 2015 sowie Juli 2016 fiel die tatsächliche Strahlungsintensität etwas im Vergleich zum EnEV-Referenzklima etwas geringer aus. In den Monaten August 2015 sowie Mai, August und September 2016 lag die gemessene Globalstrahlung über den Wertes des Referenzklimas.

5.2 Außenlufttemperaturen

Die nachfolgende Abbildung zeigt die mittleren monatlichen Außentemperaturen am Standort LaVidaVerde, der naheliegenden Wetterstation der DWD (Tempelhof) sowie des EnEV-Referenzklimas.

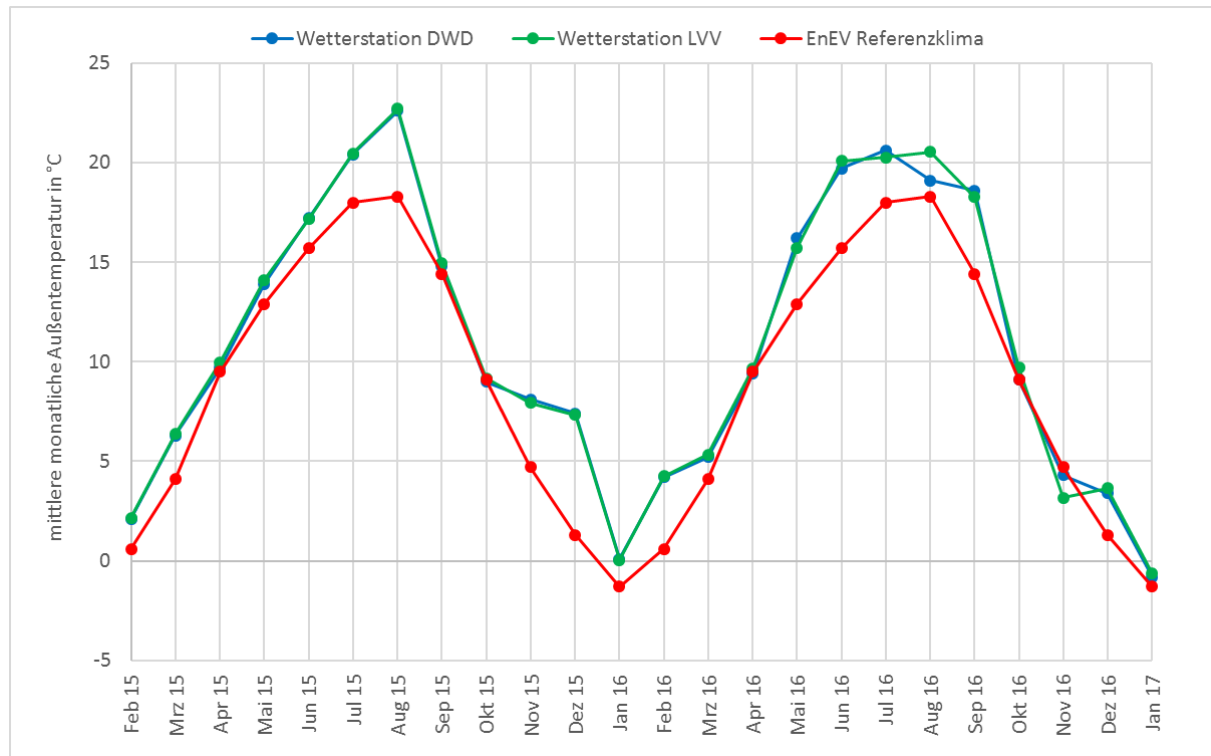


Abbildung 22: mittlerer monatliche Außentemperaturen im gesamten Messzeitraum

Die ermittelten Messwerte der Wetterstation LaVidaVerde decken sich auch hier mit den Wetterdaten der naheliegenden Wetterstation des DWD. Im Vergleich zum Referenzklima nach EnEV2009 liegen fallen die Messwerte nahezu konstant etwas höher aus.

5.3 Klimabereinigung

Messwerte sind stark vom lokalen und saisonalen Klima geprägt, das während der Messperiode vorherrschte. Daher ist zur besseren Vergleichbarkeit von messtechnisch ermittelten Verbräuchen eine Klimakorrektur vorzunehmen. Zur Klimakorrektur wird die Gradtagzahl verwendet, die das Produkt aus der Länge der Heizzeit (Tage) und der hierin aufgetretenen mittleren Temperaturdifferenz (Kelvin) zwischen beheiztem Bereich und Außenluft ist. Zur Heizzeit zählen alle Tage, an denen die mittlere Außenlufttemperatur unterhalb von 12 °C liegt. Allgemein gilt: Je größer die Gradtagzahl desto kälter das Wetter in dieser Messperiode.

Die für den Untersuchungszeitraum ermittelten Gradtagzahlen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 13: Gradtagzahlen am Standort des LVV-Gebäudes.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12
	Kd
Gradtagzahl am Standort Berlin-Lichtenberg, Sophienstr. 32. in der Messperiode 1 (02/2015 bis 01/2016)	2.930
Gradtagzahl am Standort Berlin-Lichtenberg, Sophienstr. 32. in der Messperiode 2 (02/2016 bis 01/2017)	3.198
Gradtagzahl am Standort Berlin für das langjährige Mittel (1970 bis 2014)	3.278
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Das Klima während Messperiode 2 war etwas kälter als in Messperiode 1. Beide Messperioden waren wärmer als das langjährige Mittel des Standorts (Berlin-Tempelhof) sowie das mittlere Klimaverhältnis in Deutschland. Daraus ergeben sich folgende Klimafaktoren:

Klimafaktor bezogen auf den Standort

Messperiode 1: $KF = 3.278 \text{ Kd} / 2.930 \text{ Kd} = 1,12$

Messperiode 2: $KF = 3.278 \text{ Kd} / 3.198 \text{ Kd} = 1,03$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima

Messperiode 1: $KF = 3.601 \text{ Kd} / 2.930 \text{ Kd} = 1,23$

Messperiode 2: $KF = 3.601 \text{ Kd} / 3.198 \text{ Kd} = 1,13$

Der gemessene Heizenergieverbrauch müsste somit mit dem Klimafaktor 1,12 bzw. 1,03 multipliziert werden, um den klimabereinigten Heizverbrauch für den Standort (Berlin-Tempelhof) zu erhalten. Um den Heizverbrauch auf das mittlere deutsche Referenzklima zu beziehen müssten die Klimafaktoren 1,23 bzw. 1,13 herangezogen werden.

6 Messergebnisse

6.1 Elektrischer Energieverbrauch

6.1.1 Elektrischer Energieverbrauch für den Hausbetrieb

Der elektrische Energieverbrauch für den Hausbetrieb umfasst alle Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung, die für den planmäßigen Betrieb des Gebäudes notwendig sind. Folgende Verbrauchergruppen werden differenziert dargestellt:

- Lüftung (inkl. Regelung)
- Heizkessel Pellets
- Regelungstechnik und Pumpe der Wärmeerzeugung
- Wärmepumpe
- Beleuchtung Treppenhaus (TRH), Dachgeschoss, Monitoring- und IT-Technik

Die Grauwasserbereitung ist im Untersuchungszeitraum nicht in Betrieb gegangen, sodass für diese Verbrauchergruppe keine elektrischen Verbräuche zu verzeichnen sind.

Die monatlichen Verbräuche unterteilt in die genannten Verbrauchergruppen ist in Abbildung 23 dargestellt.

- Für die Lüftungsanlage (dunkelblau) konnte in den ersten Monaten nach Beginn des Monitorings ein fehlerhafter Betrieb festgestellt werden, wodurch im Zeitraum von März 2015 bis August 2015 ein erhöhter Energieverbrauch zu verzeichnen ist. Die Ursache waren falsch eingestellte Regelparameter für das zentrale Abluftgerät. Durch eine Neujustierung konnte der Energieverbrauch um ca. 50% reduziert werden und liegt seit September 2015 auf einem einheitlichen Niveau von ca. 180 kWh/Monat.
- Die Wärmepumpe (hellblau) musste aufgrund eines Schadenfalls im November 2015 ausgeschaltet werden. Nach kurzzeitiger Inbetriebnahme im Mai 2016 erfolgte eine erneute Abschaltung. Seit November 2016 läuft die Wärmepumpe wieder.
- Durch den Ausfall der Wärmepumpe musste der Pelletkessel (orange) die Warmwasserbereitung übernehmen, wodurch auch in den Sommermonaten im Kalenderjahr 2016 elektrische Energieverbräuche auftreten. Im Sollbetrieb (vgl. 2015) wird der Wärmeverbrauch für Trinkwarmwasser in den Sommermonaten durch die Wärmepumpe gedeckt.
- Die Verbräuche für die Beleuchtung, das Dachgeschoss sowie des Monitorings und der IT-Technik (gelb) sind über den gesamten Untersuchungszeitraum nahezu gleich. Lediglich im Mai 2015 ist hier durch den Betrieb eines Ventilators zum Trocknen von Feuchteschäden ein erhöhter Verbrauch festzustellen.
- Einen geringen Anteil am monatlichen elektrischen Energieverbrauch hat die Gruppe „Steuerung und Pumpen der Wärmebereitstellung“ (grün). Durch den zunehmenden Heizenergieverbrauch steigt der Anteil in den Wintermonaten.

Eine Übersicht der Jahresverbräuche der Haustechnik für beide Messperioden und deren prozentualen Anteile sind in Tabelle 14 aufgelistet.

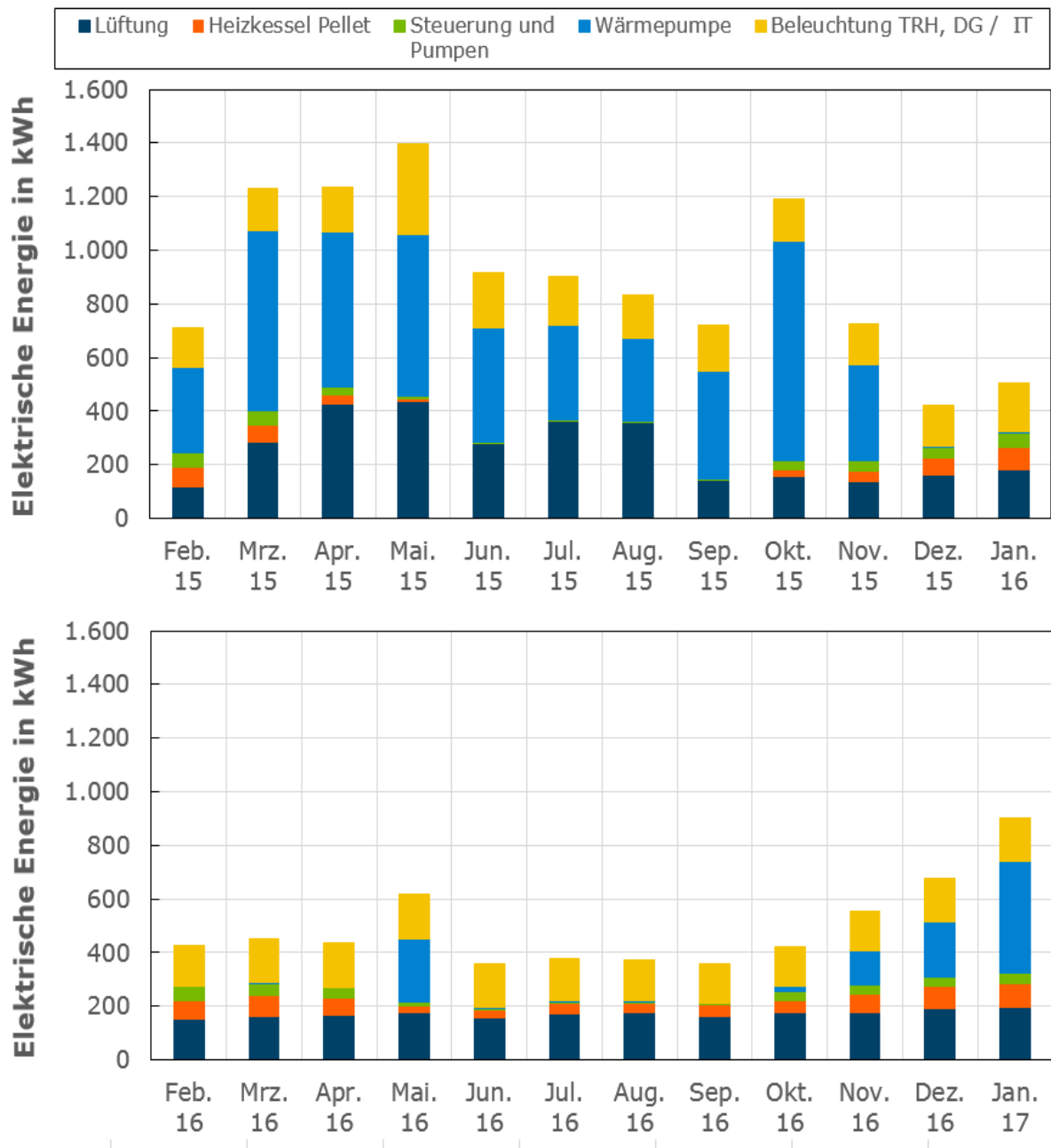


Abbildung 23: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch für die technische Gebäudeausrüstung gegliedert nach Verbraucherguppen.

Tabelle 14: Jahressumme für den elektrischen Energieverbrauch für die Haustechnik

Verbraucher- gruppe	Messperiode 1 (2015/2016)		Messperiode 2 (2016/2017)	
	Elektr. Energie- verbrauch	Prozentualer Anteil	Elektr. Energie- verbrauch	Prozentualer Anteil
	kWh	%	kWh	%
Lüftung	3.048,69	28,26%	2.069,42	34,77%
Heizkessel Pel- lets	389,67	3,61%	662,55	11,13%
Steuerung und Pumpen	337,52	3,13%	309,33	5,20%
Wärmepumpe	4.846,00	44,92%	1.035,84	17,40%
Beleuchtung, IT und DG	2.166,18	20,08%	1.874,64	31,50%
Summe	10.788,06	100%	5.951,78	100 %

Den größten Anteil am elektrischen Energieverbrauch für die Haustechnik hat die Wärmepumpe. Sie verursacht im Zeitraum der Messperiode 1 einen Anteil von ca. 45% des gesamten Verbrauches für die Haustechnik. Im 2. Untersuchungsjahr ist dieser Anteil nicht mehr so hoch, da die Wärmepumpe hier lange Zeiträume aus war. Danach folgen die Verbrauchergruppen „Lüftung“ (28% bzw. 35%), „Beleuchtung / IT“ (20% bzw. 32%), „Heizkessel“ (4% bzw. 11%) und „Steuerung und Pumpen“ (3% bzw. 5%). Eine tabellarische Auflistung der monatlichen Verbrauchswerte befindet sich in Tabelle 25 (Anhang A.7).

6.1.2 Elektrischer Energieverbrauch unterteilt in Verbrauchergruppen

Die Zählertopologie (siehe Abschnitt 4.2.2.2) ermöglicht eine Gliederung des gesamten elektrischen Energieverbrauches in die Verbrauchergruppen „Hilfsenergie Anlagentechnik“ (siehe auch Abschnitt 6.1.1), „Garten“, „Beleuchtung / IT und Monitoringtechnik“, „Gemeinschaftswaschmaschinen“ und „Summenverbrauch der Wohnungen“. Zudem lässt sich der Gesamtverbrauch des Gebäudes auf zwei Bilanzierungswegen bestimmen:

- (1) Energiebilanz des Übergabezählers zum öffentlichen Stromnetz und der Photovoltaikanlage,
- (2) oder Summenbildung aller Einzelverbraucher.

Unter Vernachlässigung von Verlusten und Verbräuchen, die durch die Zählerstruktur nicht erfasst werden, sowie von Unsicherheiten der Messeinrichtungen führen beide Methoden zum gleichen Ergebnis. In der Praxis ergibt sich jedoch eine Differenz (hier als „Rest“ bezeichnet) die keiner Verbrauchergruppen zuzuordnen ist. Der Restbetrag macht mit ca. 5% des gesamten elektrischen Energieverbrauches einen verhältnismäßig hohen Anteil aus. Mögliche Ursachen sind:

- Unsicherheiten und Eigenverbrauch der Messeinrichtungen („Fehlerfortpflanzung“)
- Verluste auf den Leitungswegen zwischen den Messeinrichtungen. Da der Übergabezähler des EVUs im Keller und alle weiteren Zählereinrichtungen im Dachgeschoss positioniert sind ergeben sich verhältnismäßig lange Leitungswege.
- Die Ertragsdaten der Photovoltaikanlage wurden bis einschließlich Mai 2015 auf Basis der PV-Logger Daten bestimmt. Ab Juni 2015 stehen die Daten des Abrechnungszählers zur Verfügung. Dies ermöglicht es den Standby-Verbrauch in der Bilanzierung zu berücksichtigen. Zudem haben die Messeinrichtungen des EVUs höhere Messgenauigkeit, wodurch der Restbetrag der Bilanzierung ab diesem Zeitpunkt deutlich auf unter 100 kWh/Monat sinkt.

Abbildung 24 zeigt den monatlichen elektrischen Energieverbrauch unterteilt in die genannten Verbrauchergruppen.

- Die Wohneinheiten (lila) machen den größten Anteil am Gesamtverbrauch aus. Hier ist erwartungsgemäß der Verbrauch in den Wintermonaten etwas höher als in den Sommermonaten.
- Der nächstgrößte Verbrauch entfällt auf die in Kapitel 6.1.1. betrachteten Verbräuche der Haustechnik (gelb).
- Der monatliche Verbrauch der Gemeinschaftswaschmaschinen liegt in etwa gleichauf zwischen 120 und 150 kWh. Im November 2015 ist hier ein verhältnismäßig hoher Verbrauch festzustellen. In diesem Monat kam ein Ventilator zur Beseitigung der Feuchteschäden durch die defekte Wärmepumpe zum Einsatz.
- Der restliche Verbrauch (rot) ist der oben beschriebenen Zählerdifferenz zuzuschreiben.

In Tabelle 15 sind die Jahressummen der einzelnen Verbrauchergruppen sowie deren prozentualer Anteil am Gesamtverbrauch für die beiden Messperioden aufgeführt.

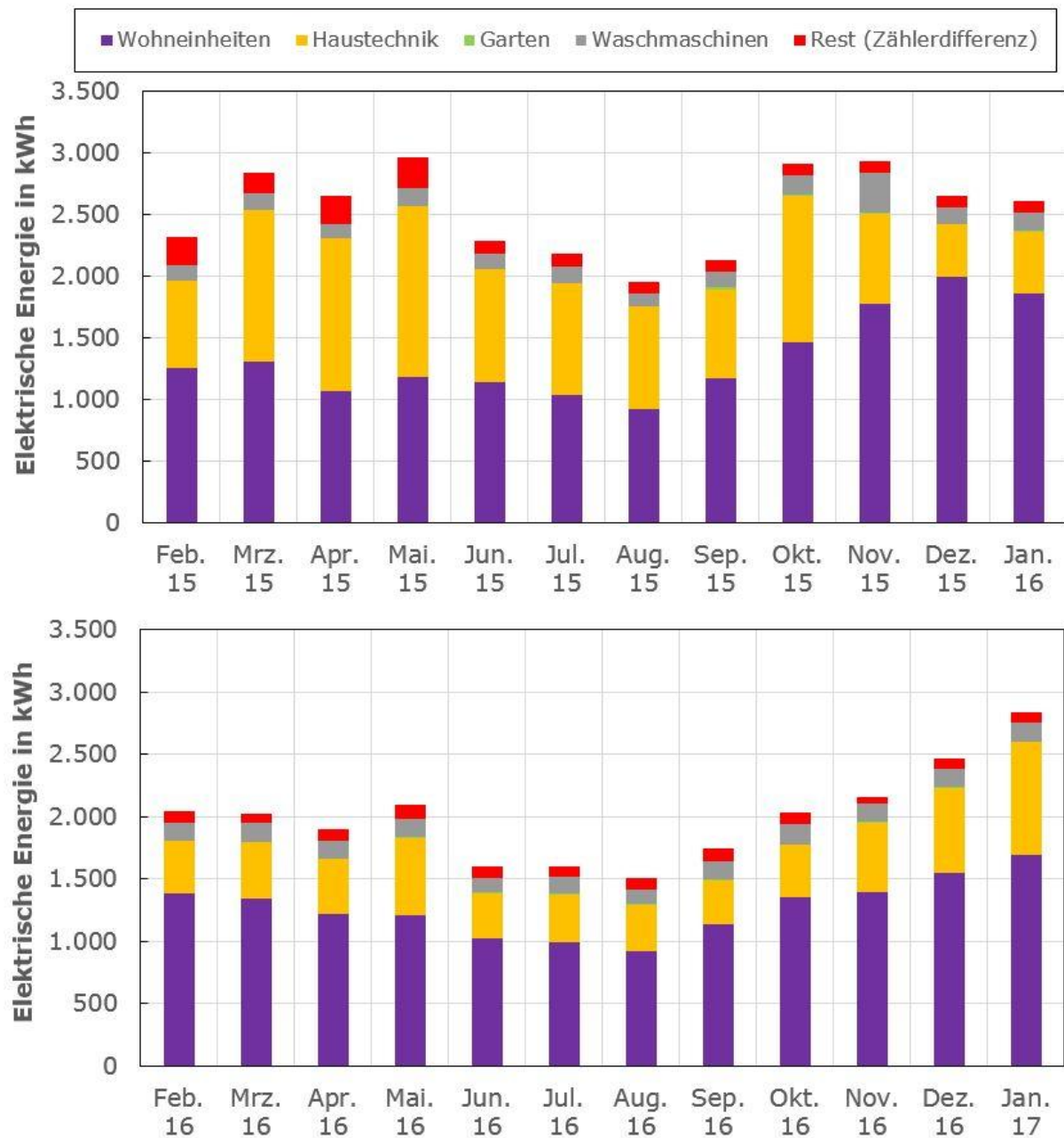


Abbildung 24: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch unterteilt in Verbraucherguppen.

Nachfolgend werden in Tabelle 15 auch hier noch einmal die Jahressummen der einzelnen Verbrauchergruppen sowie deren prozentualer Anteil am Gesamtverbrauch für die beiden Messperioden aufgeführt.

Tabelle 15: Jahressumme für den elektrischen Energieverbrauch unterteilt in Verbrauchsgruppen

Verbraucher- gruppe	Messperiode 1 (2015/2016)		Messperiode 2 (2016/2017)	
	Elektr. Energie- verbrauch	Prozentualer Anteil	Elektr. Energie- verbrauch	Prozentualer Anteil
	kWh	%	kWh	%
Wohneinheiten	16.163,13	53,13%	15.220,41	63,38%
Haustechnik	10.788,06	35,46%	5.951,78	24,78%
Garten	71,34	0,23%	102,83	0,43%
Waschmaschi- nen	1.758,84	5,78%	1.690,70	7,04%
Rest	1.643,31	5,40%	1.049,28	4,37%
Summe	30.424,68	100%	24.015,00	100 %

In Messperiode 1 nehmen die Wohneinheiten etwa die Hälfte des Gesamtverbrauchs ein. Danach folgt die Verbrauchsgruppe „Haustechnik“ mit 35 %, in der die Wärmepumpe einen großen Verbraucher darstellt. Da diese in der Messperiode 2 lange Zeit außer Betrieb war liegt hier der Anteil der Wohneinheiten am Gesamtverbrauch etwas höher, obwohl hier im Vergleich zu Messperiode 2 etwa 1000 kWh eingespart wurden. Auf die Gemeinschaftswaschmaschinen fallen ca. 6 bzw. 7% des Gesamtverbrauchs. Der Rest aufgrund der Zählerdifferenz liegt bei ca. 5%.

6.1.3 Gegenüberstellung von elektrischer Energiegewinnung und /-verbrauch

Eine Gegenüberstellung der elektrischen Energiegewinnung und /-verbrauch zeigt Abbildung 25 auf Basis von Monatswerten. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um eine Monatsbilanzierung handelt. Der Bezug von elektrischer Energie aus dem Netz ist hier nicht aufgeführt. Dieser wird in Kapitel 6.2. berücksichtigt.

Bereits im Februar 2015, mit klimabedingt geringem Solarstrahlungsangebot, konnte in der Monatsbilanz ein Überschuss von ca. 1.400 kWh generiert werden. Dieser Anteil steigt im Laufe des Sommers weiter an. Lediglich den Wintermonaten November bis Januar wird jeweils mehr Energie verbraucht als erzeugt wird.

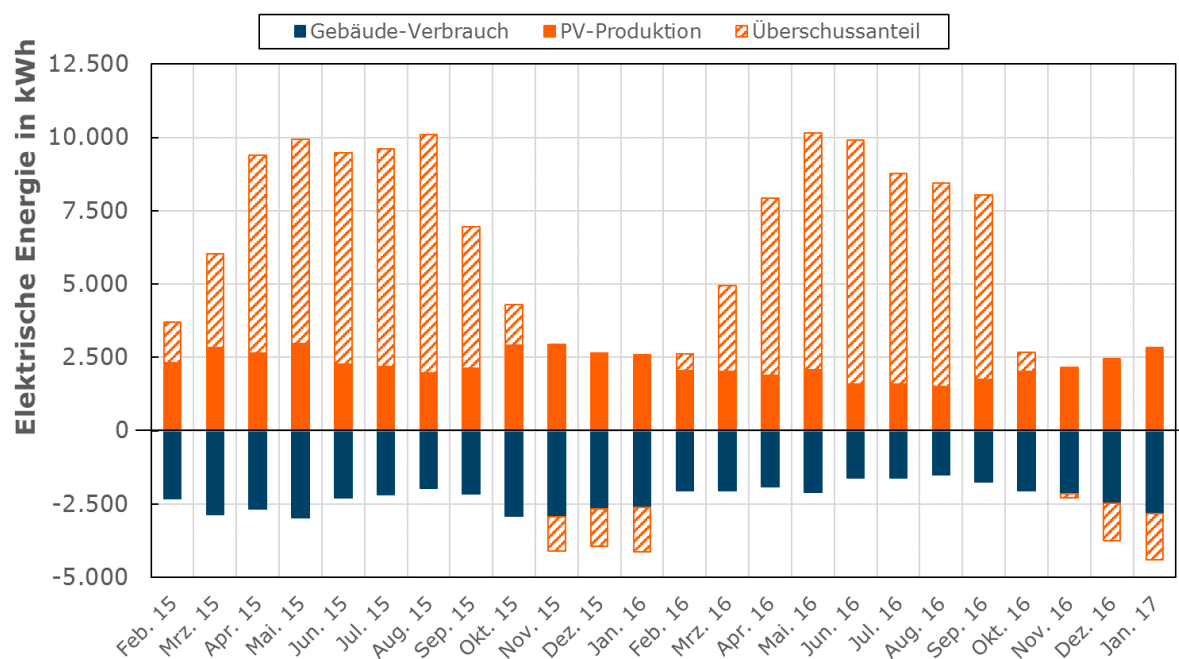


Abbildung 25: Gegenüberstellung von elektrischer Energiegewinnung und /-verbrauch auf Basis von Monatswerten.

6.1.4 Jahresübersicht elektrische Energie

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Jahressummen in kWh aller erzeugten und verbrauchten elektrischen Energien für beide Messperioden dargestellt. Die einzelnen Verbraucher der Haustechnik sind hierbei einzeln dargestellt.

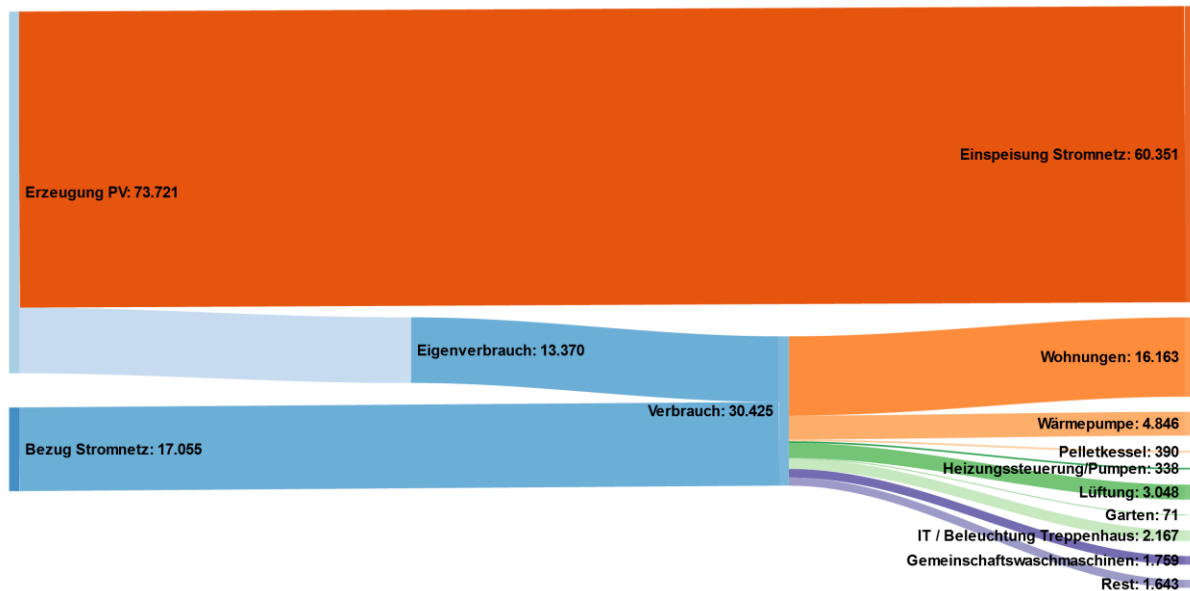


Abbildung 26: Jahresübersicht elektrische Energie in kWh für Messperiode 1

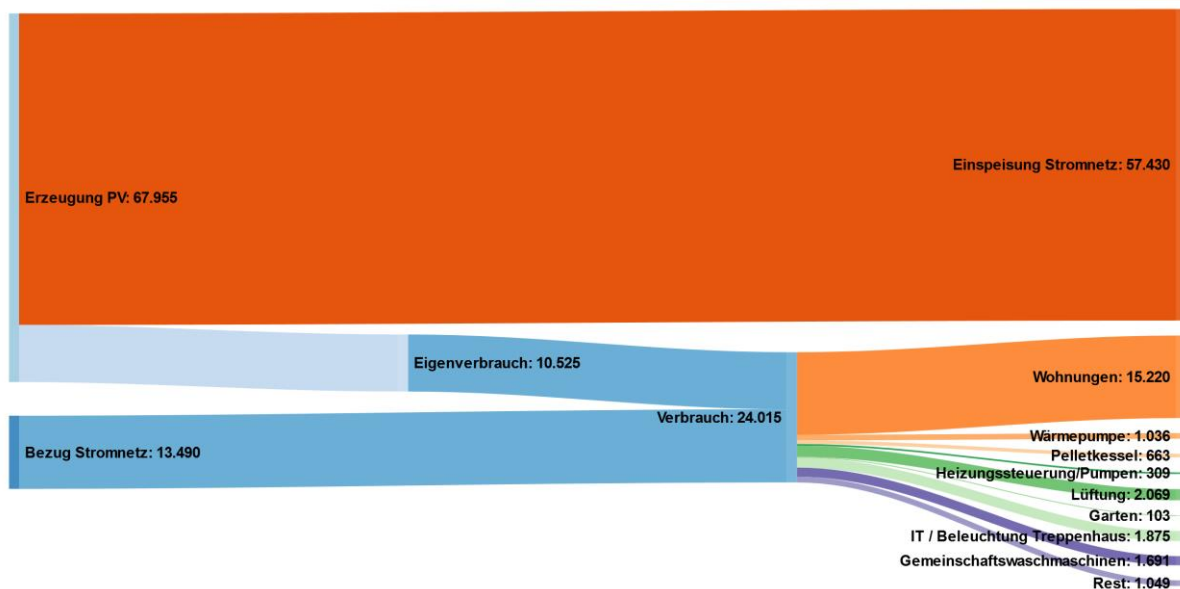


Abbildung 27: Jahresübersicht elektrische Energie in kWh für Messperiode 2

Ein Großteil der erzeugten Energie der Photovoltaikanlage wird in das Stromnetz eingespeist. In Messperiode 1 (Abbildung 26) wurden ca. 13.400 kWh dieser erzeugten Energie selbst verbraucht. Ca. 17.000 kWh wurden aus dem Netz bezogen. In Messperiode 2 (Abbildung 27) fällt der Gesamtverbrauch etwas geringer aus, was vor allem am Ausfall der Wärmepumpe liegt.

6.2 Eigenverbrauch der elektrischen Energiegewinnung

Der Eigenverbrauch der elektrischen Energiegewinnung zeigt Abbildung 28. Dargestellt sind neben dem Eigenverbrauch auch die Anteile Netzbezug und Netzeinspeisung sowie Autonomiegrad und Eigenverbrauchsquote auf Basis von Monatswerten. Es lässt sich feststellen, dass die Menge erzeugte PV-Energie deutlich größer als der Gebäudeverbrauch ist und ein großer Überschuss ins Netz eingespeist wird. Daher ist auch die Eigenverbrauchsquote sehr gering. Diese liegt im Mittel bei 23%. Die Autonomiequote liegt im Sommer bei circa 60% und in den Wintermonaten bei etwa 20%. Das Jahresmittel beträgt hier 45%

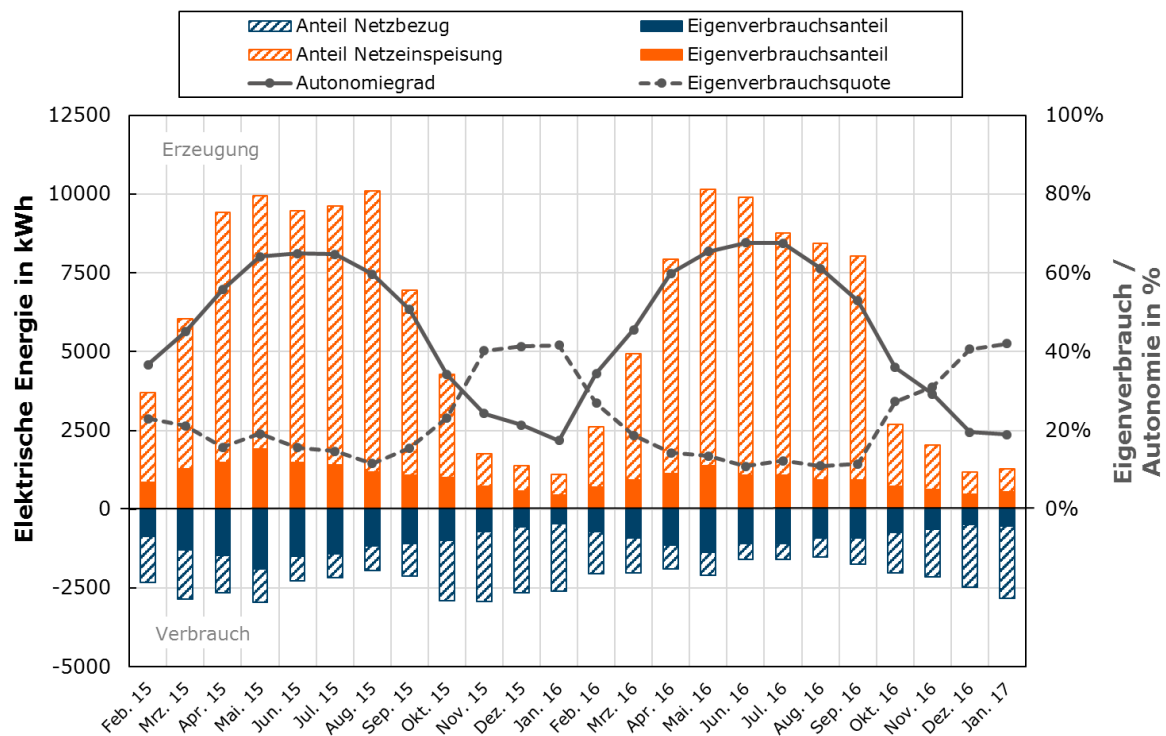


Abbildung 28: Eigenverbrauch und Autonomiequote der elektrischen Energiegewinnung

6.3 Anlagenperformance

6.3.1 Wärmeerzeugung und -verbrauch

In diesem Abschnitt werden die im Wärmeversorgungssystem des LVV-Gebäudes gemessenen Energieströme analysiert. Bei den dargestellten Werten handelt es sich um die gelieferten Wärmemengen je Erzeuger und lastseitig um die Verbräuche je Energiedienstleistung (Heizung und Trinkwarmwasser). Es handelt sich also um hausinterne Energieflüsse. Die Endenergiebezüge über die Grundstücksgrenze für die Wärmebereitstellung werden in Abschnitt 6.3.2 analysiert.

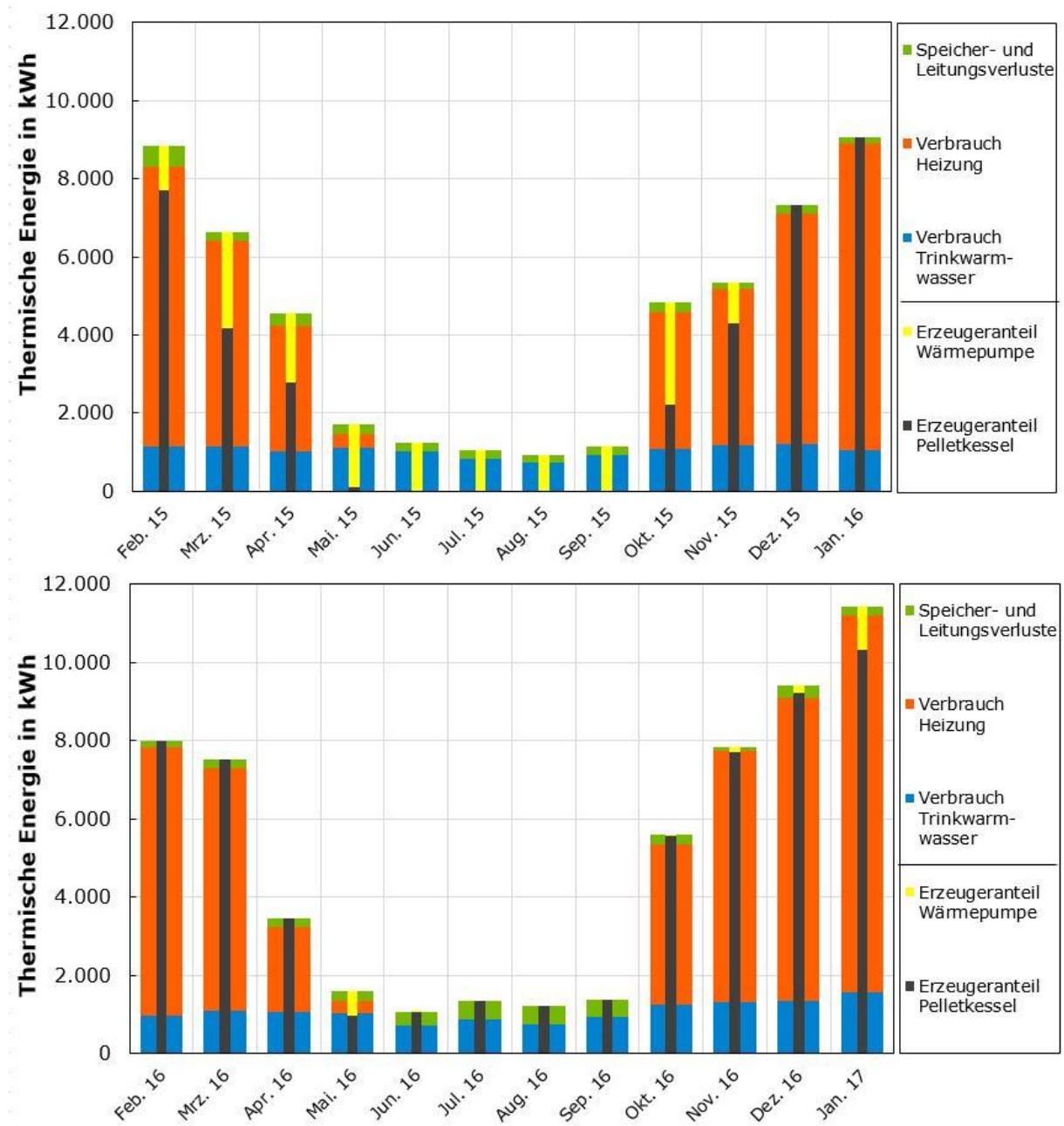


Abbildung 29: Monatlicher Wärmeverbrauch unterteilt in Verbrauchergruppen und Erzeugeranteil für die beiden Messperioden zwischen Februar 2015 und Januar 2017

Der monatliche gesamte Wärmeverbrauch des LVV-Gebäudes unterteilt in Verbrauchergruppen und Erzeugeranteil ist in Abbildung 29 dargestellt. Der jahreszeitliche Verlauf zeigt eine für den Standort und die Gebäudenutzung typische Charakteristik: Der Verbrauch für Trinkwarmwasser bleibt ganzjährig auf einem nahezu konstanten Niveau von ca. 1100 kWh/Monat und der Heizenergieverbrauch steigt innerhalb der Heizperiode von Oktober bis Anfang Mai in den kälteren Wintermonaten stark an.

In der Messperiode 1 (oben) ist der Anteil der Wärmepumpe an der Wärmeerzeugung (gelber Balken) gut zu erkennen. Diese wird im Mai bis September 2015 nahezu ohne die Unterstützung des Pelletkessels gewährleistet. In der Messperiode 2 (unten) war die Wärmepumpe, wie in Abschnitt 6.1 näher erläutert, außer Betrieb, weshalb der Pelletkessel in diesem Zeitraum auch in den Sommermonaten die Trinkwarmwasserversorgung übernommen hat.

Tabelle 16 führt die Jahressummen aller relevanten Wärmeverbraucher sowie deren prozentualen Anteile am Gesamtverbrauch auf. Der größte Anteil hat mit ca. 70% der Heizenergieverbrauch, darauf folgen die Brauchwassernutzwärme (ca. 20%), die Zirkulationswärmeverluste der Warmwasserbereitung sowie die Speicher- und Leitungsverluste.

Ein Vergleich der beiden Messperioden zeigt, dass der gesamte Wärmeenergieverbrauch in Messperiode 2 um ca. 7100 kWh (13%) steigt. Dies lässt sich im Wesentlichen auf niedrigere Außenlufttemperaturen in der Heizperiode 2016/2017 und damit höherem Heizenergieverbrauch zurückführen (vgl. Abschnitt 5.3). Zudem wurden in Messperiode 2 anfängliche Probleme mit der Wärmeversorgung behoben, wodurch in diesem Zeitraum tendenziell höhere System- und Raumtemperaturen erreicht und damit eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit erzielt wurden. Infolgedessen sind jedoch auch die Speicher- und Leitungsverluste gestiegen. In der ersten Messperiode beträgt die spezifische Nutzenergie für Heizung 21,3 kWh/(m²*Jahr), in der zweiten Messperiode 24,9 kWh/(m²*Jahr).

Tabelle 16: Jahressummen und prozentuale Anteile der Wärmeverbraucher (vom Pufferspeicher bezogene Wärmemengen sowie Speicher- und Leitungsverluste)

Verbraucher- gruppe	Messperiode 1 (2015/2016)		Messperiode 2 (2016/2017)	
	Therm. Energie- verbrauch	Prozentualer Anteil	Therm. Energie- verbrauch	Prozentualer Anteil
	kWh	%	kWh	%
Heizung	37.239	71 %	43.485	73 %
Brauchwasser- nutzwärme	11.860	23 %	11.726	20 %
Zirkulationsver- luste TWW	587	1 %	1.122	2 %
Speicher- und Leitungsverluste	2.986	6 %	3.468	6 %
Summe	52.671	100%	59.801	100 %

Die Jahressummen der gelieferten Wärmemengen je Erzeuger sowie deren prozentualen Anteile der Wärmeerzeugung im Gebäude zeigt Tabelle 17. In Messperiode 1 kamen beide Wärmeerzeuger in einer Kaskadenschaltung zum Einsatz. Entgegen der Planung, Grundlasten durch die Wärmepumpe und Spitzenlasten durch den Pelletkessel zu decken, erreicht die Wärmepumpe jedoch nur einen Anteil von ca. 30% an der Wärmeversorgung. Detaillierte Analysen haben gezeigt, dass die Steuerung der Heizungstechnik nicht optimal abgestimmt ist. So wird beispielsweise die Wärmepumpe deaktiviert, wenn der Pelletkessel in Betrieb geht. Diesbezüglich konnten verbessernde Maßnahmen im Projektverlauf umgesetzt werden, die sich jedoch erst auf die Heizperiode 2017/18 auswirken werden. In Messperiode 2 war die Wärmepumpe auf Grund eines Schadenfalls fast die ganze Zeit außer Betrieb (vgl. Abschnitt 6.1.1), wodurch die Wärmeversorgung vorrangig durch den Pelletkessel erfolgte.

Tabelle 17: Jahressummen und prozentuale Anteile der Wärmeerzeugung (zum Pufferspeicher gelieferte Wärmemengen)

Erzeugung	Messperiode 1 (2015/2016)		Messperiode 2 (2016/2017)	
	Therm. Energie	Prozentualer Anteil	Therm. Energie	Prozentualer Anteil
	kWh	%	kWh	%
Pelletkessel	37.651	71 %	57.732	97 %
Wärmepumpe	15.020	29 %	2.069	3 %
Summe	52.671	100%	59.801	100 %

Ergänzend sind die Jahressummen der Energieflüsse im Gebäude in Abbildung 30 und Abbildung 31 als Flussdiagramm dargestellt.

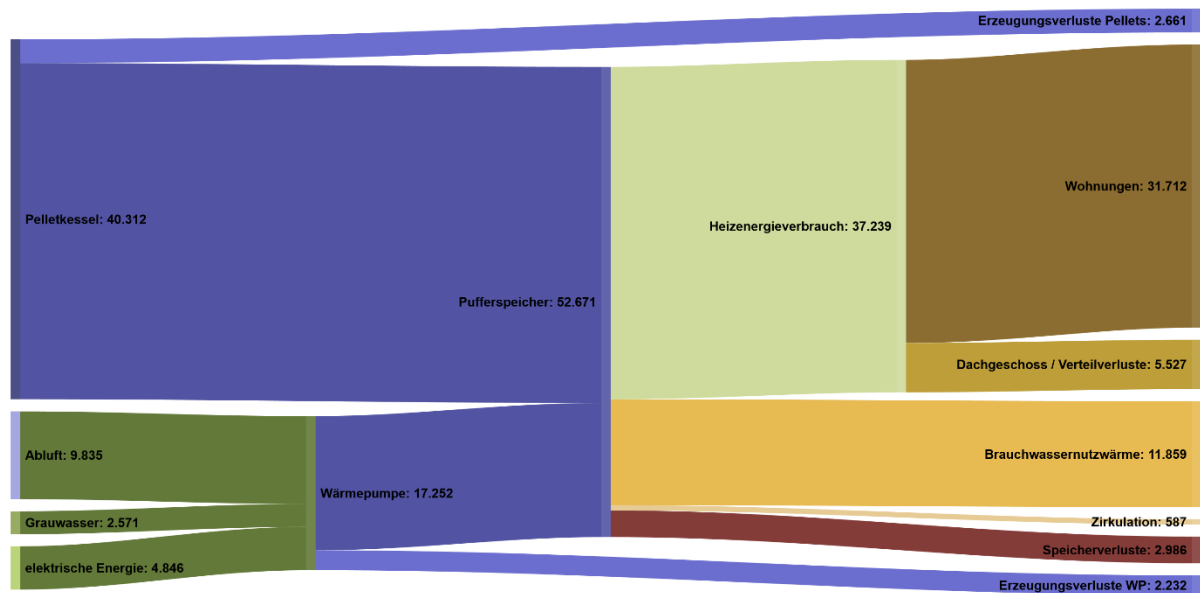


Abbildung 30: Übersicht der Wärmeverteilung für Messperiode 1 (alle Werte in kWh).
Hinweis: Die Endenergie für Pellets wurde näherungsweise über den thermischen Kesselwirkungsgrad (0,934) aus der Messung für die gelieferte Wärmemenge des Pelletkessels rechnerisch ermittelt.

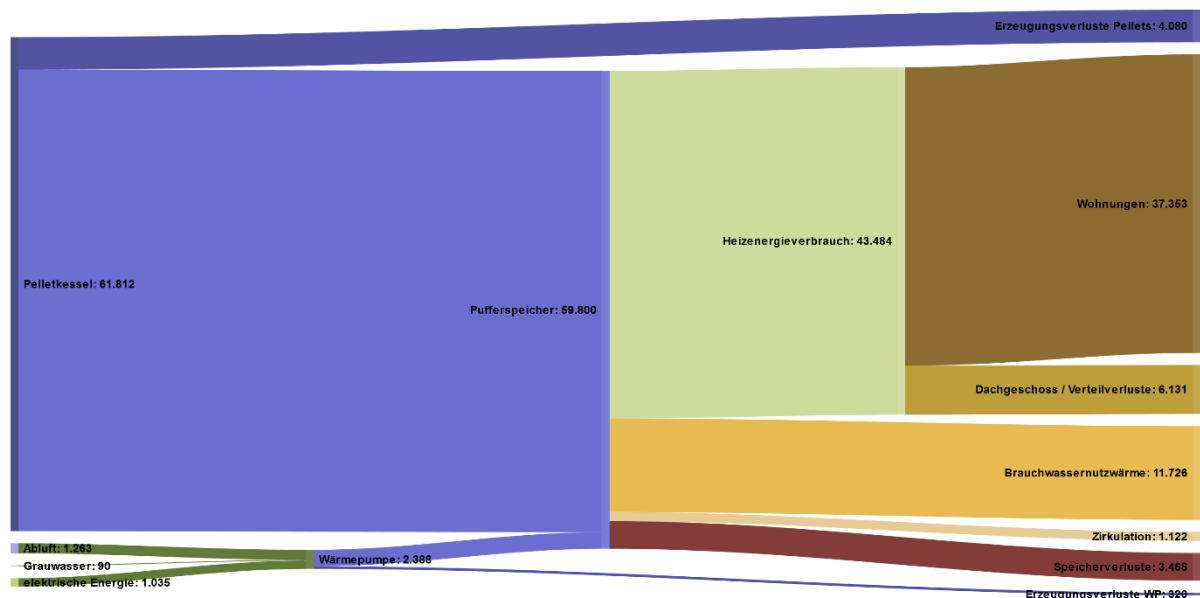


Abbildung 31: Übersicht der Wärmeverteilung für Messperiode 2 (alle Werte in kWh)
Hinweis: Die Endenergie für Pellets wurde näherungsweise über den thermischen Kesselwirkungsgrad (0,934) aus der Messung für die gelieferte Wärmemenge des Pelletkessels rechnerisch ermittelt.

6.3.2 Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung

Der Wärmebedarf des LaVidaVerde-Gebäudes wird über einen Pelletkessel sowie einem Wärmepumpensystem mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft bereitgestellt. Bei Systemen mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft wird, gemäß DIN 18599, auch die Hilfsenergie für das Lüftungssystem in der Bilanzierung der Wärmeversorgung berücksichtigt. Demnach setzt sich der gesamte Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung aus den folgenden Teilverbräuchen zusammen:

- gelieferte Pelletmenge
- elektrischer Energieverbrauch des Pelletkessels
- elektrischer Energieverbrauch der Wärmepumpe
- elektrische Hilfsenergie für Pumpen und Steuerung
- elektrischer Energieverbrauch der Lüftungsanlage

Die gelieferte Pelletmenge lässt sich im untersuchten Objekt nicht exakt bestimmen, da das Pelletlager häufig auch manuell durch die Bewohner befüllt wurde und hierüber keine ausreichende Dokumentation vorliegt. Daher werden die Pelletmenge und deren Endenergiegehalt näherungsweise über folgende Gleichungen rechnerisch ermittelt:

$$Q_{\text{Pellets}} = \frac{Q_{PK}}{\eta_{PK}}$$

$$m_{\text{Pellets}} = \frac{Q_{PK}}{(4,8 \text{ kWh/kg} * \eta_{PK})}$$

mit:

Q_{Pellets} : Endenergieverbrauch Pellets in kWh

Q_{PK} : Erzeugte Wärmeenergie des Pelletkessels in kWh

η_{PK} : Thermischer Wirkungsgrad des Pelletkessels (0,934)

m_{Pellets} : Masse der Pellets in kg

Die Eingangsgrößen für die Berechnung sind die erzeugte Wärmemenge des Pelletkessels Q_{Pellets} , der thermische Kesselwirkungsgrad η_{PK} gemäß Prüfbericht [13] und ein mittlerer Heizwert von 4,8 kWh/kg für Pellets [14]. Für den Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung ergeben sich damit die in Tabelle 18 aufgeführten Kennwerte.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten 6.1.1 und 6.3.1 beschrieben, ist der Anteil der Wärmepumpe an der Wärmeerzeugung während der gesamten Messphase deutlich geringer als geplant. Insbesondere in Messperiode 2 wurde nahezu der gesamte Wärmeverbrauch über den Pelletkessel bereitgestellt, wodurch sich im Vergleich zur 1. Periode der gesamte Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung deutlich von 48.933 kWh auf 65.889 kWh (ca. +35%) erhöht. Der Grund ist eine bessere endenergetische Effizienz der Wärmepumpe. Zwar steigt im gleichen Zeitraum auch der lastseitige Wärmeverbrauch, jedoch deutlich geringer, nämlich um ca. 13% (vgl. Abschnitt 6.3.1).

Um den Endenergieverbrauch der beiden Messperioden miteinander und mit dem prognostizierten Bedarfswert der Berechnung nach DIN 18599 vergleichen zu können, muss eine Klimabereinigung durchgeführt werden. Hierzu muss der Energieverbrauch in einen außentemperaturabhängigen und einen außentemperaturunabhängigen Anteil aufgeteilt werden [15]. In Wohngebäuden ist der Heizenergieverbrauch wesentlich von der Außentemperatur abhängig und ist daher in Tabelle 18 für jeden Wärmeerzeuger gesondert aufgeführt („Anteil Heizenergie“). Die Berechnung erfolgt über die Nutzenergieanteile von Trinkwarmwasser und Heizung. Für die Messperiode 1 beträgt der Anteil der Heizenergie 75%, in der Messperiode 2 77%. Die Klimabereinigung erfolgt mit den in Abschnitt 5.3 berechneten Faktoren für den Standort des Gebäudes.

Die Ergebnisse sowie die in Abschnitt 3.6 aufgeführten Bedarfswerte gemäß DIN 18599 (ohne Korrekturen für den Nachweis des Effizienzhaus-Plus-Standards) sind in Abbildung 32 dargestellt. In der ersten Messperiode wird der jährliche gesamte Endenergieverbrauch aus der Bedarfsberechnung um ca. 5% unterschritten, während in der zweiten Messperiode – ohne Wärmepumpenbetrieb – der Bedarfswert deutlich um ca. 20% überschritten wird. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Wärmepumpe eine wichtige Komponente für einen endenergetisch effizienten Betrieb des Wärmeversorgungssystems im LaVidaVerde-Gebäude ist.

Tabelle 18: Verbrauchte Pelletmenge und Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung für die Messperioden 1 und 2.

	Messperiode 1 (2015/2016)	Messperiode 2 (2016/2017)
Pelletverbrauch in kg/Jahr		
Pellets	8.398	12.877
Anteil thermische Endenergie in kWh/Jahr		
Pellets (Anteil Heizenergie)	40.312 (30.213)	61.812 (47.713)
Anteile elektrische Endenergie in kWh/Jahr		
Wärmepumpe (Anteil Heizenergie)	4.846 (3.632)	1.036 (776)
Hilfsenergie Pelletkessel	390	663
Hilfsenergie Pumpen und Steuerung	338	309
Hilfsenergie Lüftung	3.049	2.069
Endenergieverbrauch in kWh/Jahr		
Teilsumme Pellets und elektr. Energie Wärmepumpe (Anteil Heizenergie)	45.158 (33.845)	62.847 (48.490)
Gesamtsumme	48.933	65.889
Spezifischer Endenergieverbrauch in kWh/(Jahr*m² NGF)		
Teilsumme Pellets und elektr. Energie Wärmepumpe (Anteil Heizenergie)	25,9 (19,4)	36,0 (27,8)
Gesamtsumme	28,0	37,7

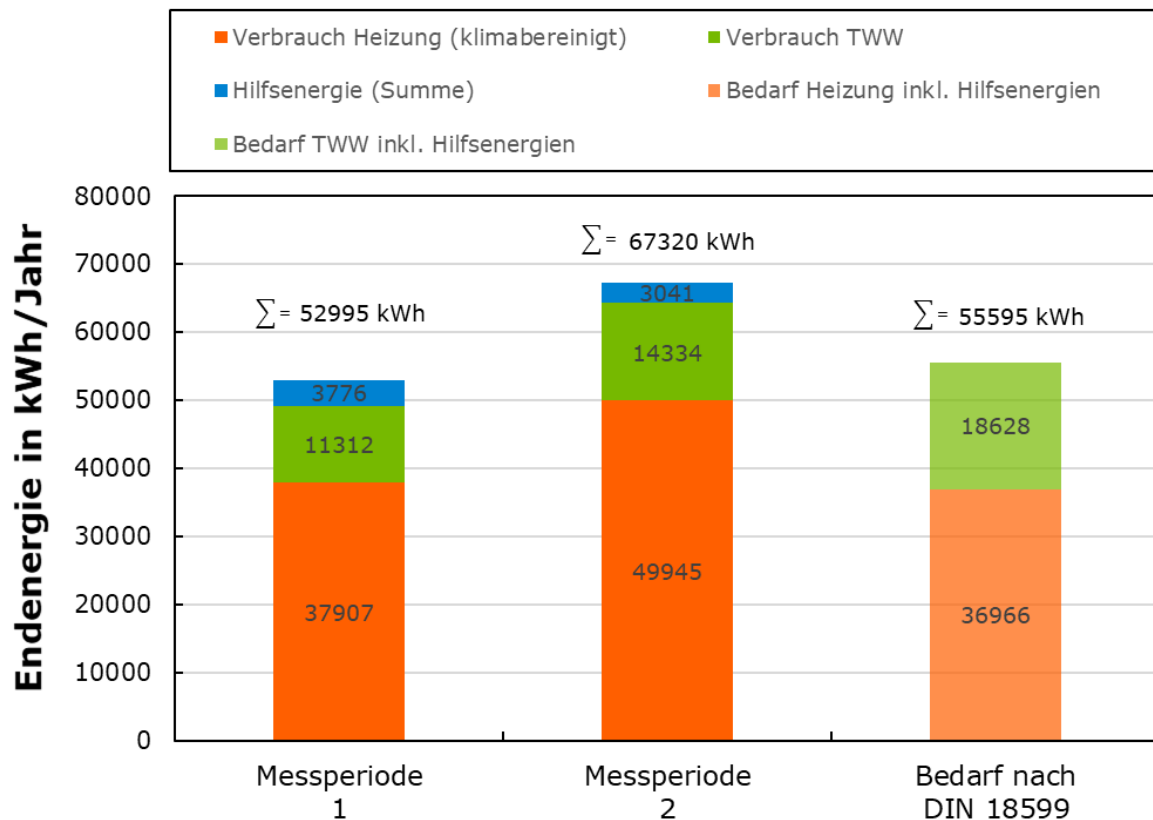


Abbildung 32: Klimabereinigter Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung unterteilt in die Verbrauchergruppen Heizung, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie. Die dargestellten Bedarfswerte nach DIN 18599 für Heizung und Trinkwarmwasser enthalten den Hilfsenergiebedarf anteilig.

6.3.3 Wärmepumpe

In der nachfolgenden Abbildung werden detailliert die Wärmeerzeugung der Wärmepumpe sowie die daraus resultierende Leistungszahl dargestellt. Hierbei ist nur der Zeitraum der Messperiode 1 dargestellt, da die Wärmepumpe in Messperiode 2 größtenteils nicht in Betrieb war.

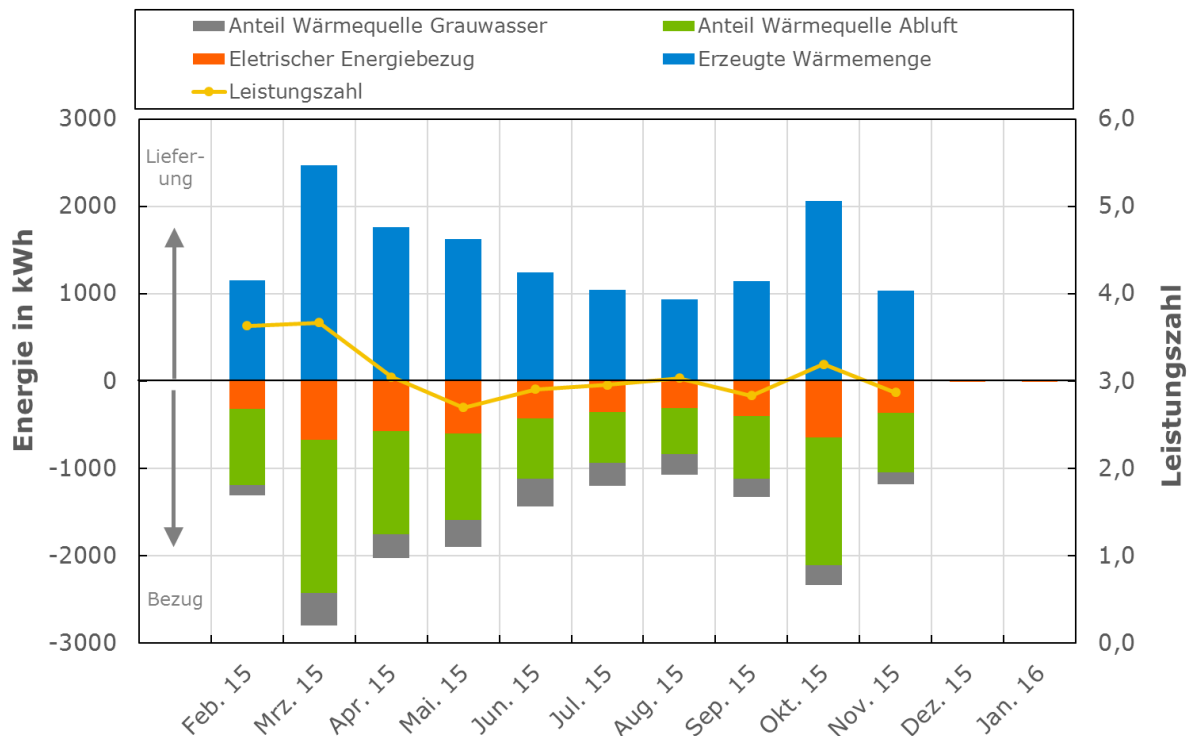


Abbildung 33: Wärmepumpe und Leistungszahl der Wärmepumpe

Die Abbildung zeigt auch die Anteile der Wärmebezüge. So wird ein großer Anteil der Wärme aus der Abluft der Lüftungsanlage gewonnen (grüner Balken). Ein kleiner Anteil kommt aus den Grauwassertanks (grauer Balken). Dieser könnte erhöht werden, wenn die Grauwasseranlage wie geplant in Betrieb geht. Der orange Balken zeigt den Stromeinsatz der Wärmepumpe an. Die Leistungszahl der Wärmepumpe liegt im Bereich von 3,0.

Die Nutzung der Grauwassertemperatur funktioniert im Untersuchungszeitraum nur über zwei Wärmetauscher in den drei Grauwassertanks (vgl. Kapitel 4.2.5). Die folgende Abbildung zeigt zur Übersicht das Schema und die Anordnung der Temperatursensoren.

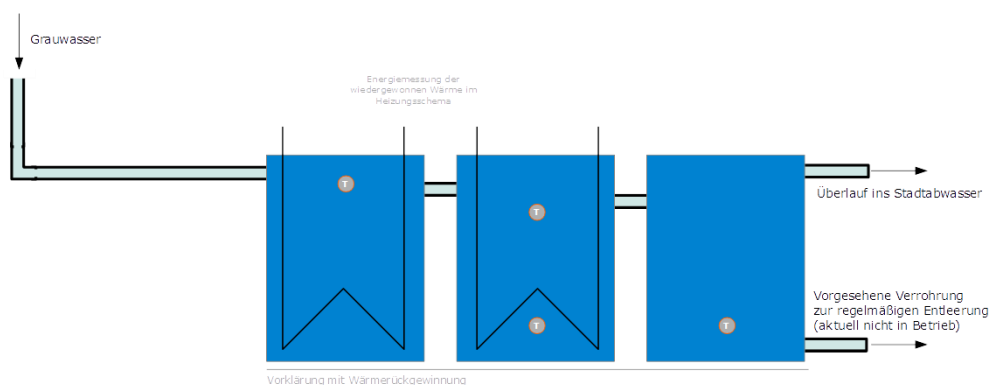


Abbildung 34: Schema Grauwassertanks und Wärmetauscher

In Abbildung 35 sind nun die einzelnen Temperaturen in den Grauwassertanks im Zeitraum von März bis August 2016 dargestellt.

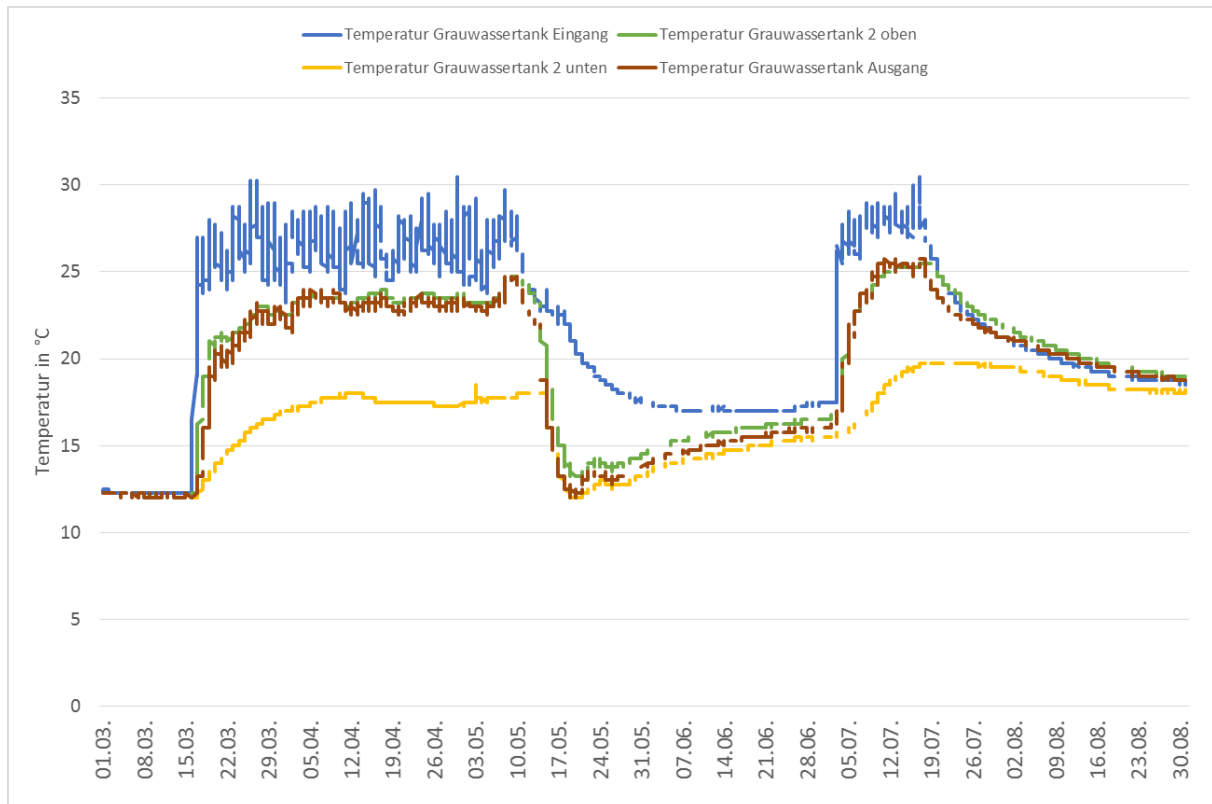


Abbildung 35: Temperaturen im Grauwassertank

Anfang März waren die Grauwassertanks noch nicht in Betrieb. Ab Mitte März beträgt die Grauwassertemperatur am Eingang der Tanks zwischen 25 und 30°C. Am Ausfluss beträgt diese etwa 22 °C. Es fällt auf, dass die Temperatur im Grauwassertank unten (gelbe Linie) deutlich geringer ist am Ausfluss. Somit findet keine komplette Durchmischung des Grauwassers in den Tanks statt. Mitte Mai nimmt die Temperatur am Eingang der Tanks kontinuierlich ab. Hier konnte bei der Reinigung Anfang Juli eine Verstopfung des Einflusses festgestellt werden, weshalb das wärmere Grauwasser nicht durch die Tanks floss, sondern über den Überlauf direkt in die Kanalisation. Nach der Reinigung kann wieder eine höhere Temperatur festgestellt werden, welche aber kurze Zeit später abermals abnimmt. Hier kam es ebenfalls wieder zu einer Verstopfung des Einlasses.

6.3.4 Lüftungsanlage

6.3.4.1 Effizienz der Luftförderung

Im ersten Jahr der Monitoringphase konnte für das Lüftungsgerät im LVV-Gebäude wiederholt eine erhöhte Leistungsaufnahmen festgestellt werden (siehe auch Abbildung 23 in Abschnitt 6.1.1). Die Ursache hierfür waren falsch eingestellte Regler-Parameter, wodurch eine unnötig hohe Druckdifferenz aufgebaut wurde. Der Fehler wurde durch die ausführende Fachfirma behoben.

Abbildung 36 zeigt den Tagesverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme (inkl. Regelung) und den Luftvolumenstrom der Lüftungsanlage am 15.06.2015. Zwischen 00:00 und 11:00 Uhr fördert die Lüftungsanlage einen Volumenstrom von 600-800 m³/h bei einer nahezu konstanten Leistungsaufnahme von ca. 600 W. Nach einer Wartung und Anpassung der Regler-Parameter reduziert sich der Luftvolumenstrom leicht auf 500 m³/h während die Leistungsaufnahme deutlich um 1/3 auf 200 W sinkt. Durch diese Maßnahme verbesserte sich die Effizienz von ca. 3500 Ws/m³ signifikant auf ca. 1500 Ws/m³. Dieser Wert wird seither im laufenden Betrieb mit leichten Schwankungen in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms und Verschmutzungsgrad des Luftfilters eingehalten.

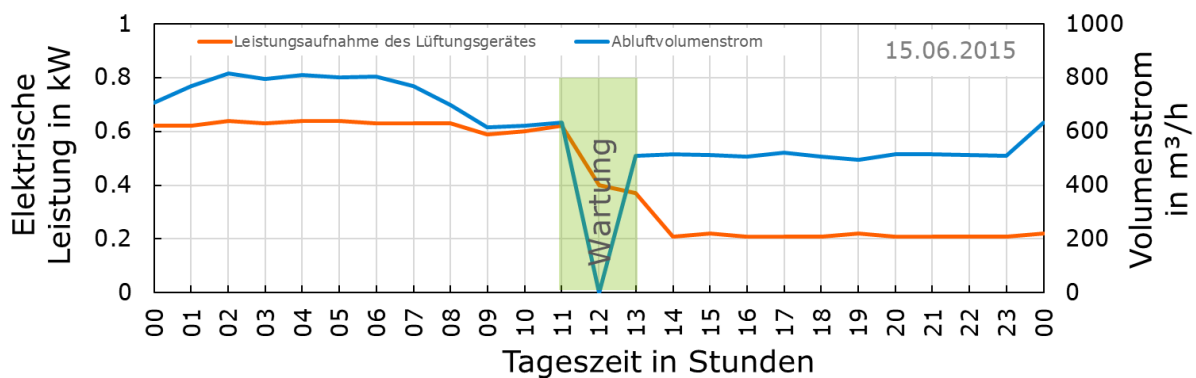


Abbildung 36: Zeitreihendiagramm für die elektrische Leistungsaufnahme und den Luftvolumenstrom der Lüftungsanlage. Dargestellt ist der Tagesverlauf am 15.06.2015 in stündlicher Auflösung.

6.3.4.2 Feuchteabhängige Volumenstromregelung

Im folgenden Abschnitt wird die Funktionsweise der feuchteabhängigen Volumenstromregelung der Lüftungsanlage untersucht. Dazu werden zunächst exemplarisch in einer Wohnung die relativen Luftfeuchten sowie der jeweilige Sollvolumenstrom der Lüftung in dieser Wohnung betrachtet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Verhältnis der Raumluftfeuchte in Bad und Küche und des Sollvolumenstroms der Lüftung.

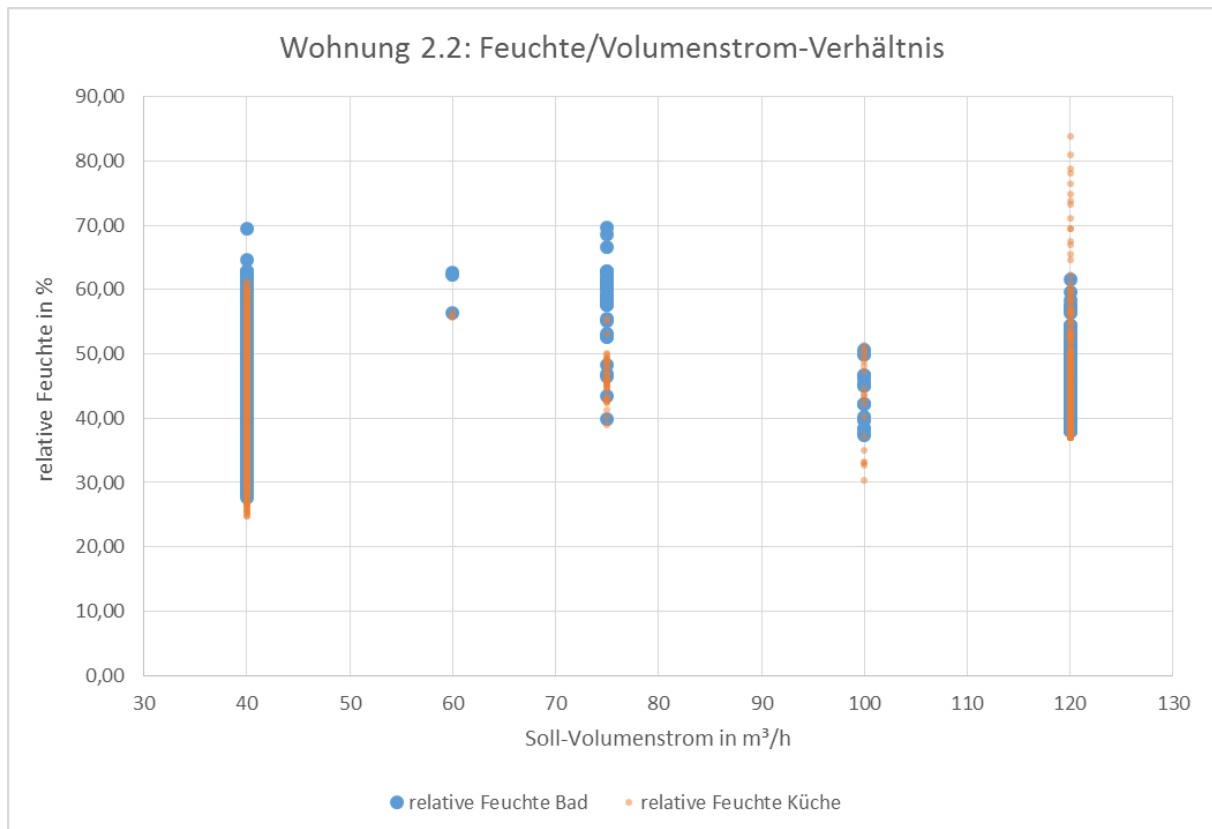


Abbildung 37: Luftfeuchte/Volumenstrom Verhältnis [11]

Ein direkter Zusammenhang zwischen den beiden Größen ist bei dieser Darstellungsweise nicht erkennbar. Weiterhin ist auch selten eine hohe Luftfeuchtigkeit zu verzeichnen. Eine Luftfeuchtigkeit von über 70 % ist richtigerweise nur beim höchsten Soll-Volumenstrom sichtbar. Dennoch wird bei den Soll-Volumenströmen von 40 und 75 m³/h eine relative Feuchte von bis zu 70 % erreicht. Zudem zeigt sich bei diesen Soll-Volumenströmen als auch beim größten Soll-Volumenstrom von 120 m³/h die ganze Bandbreite der Luftfeuchtigkeit. Damit wird deutlich, dass hohe Volumenströme zwangsweise keine hohe Luftfeuchtigkeit aufweisen müssen. Gleichmaßen gilt, dass auch bei geringen Volumenströmen durchaus hohe Luftfeuchtigkeit auftreten kann.

Als Ursache hierfür können folgende Gründe genannt werden:

- 1.) Hohe Volumenströme treten auch bei geringer relativer Feuchte auf, wenn durch den Nutzer die Stoßlüftung über den Taster aktiviert wird.
- 2.) Eine geringe relative Feuchte kann einem hohen Volumenstrom zugeordnet werden, da die relative Feuchte unmittelbar nach einer verstärkten Entlüftung sinkt, während die erhöhte Lüftungsstufe erst nach einer gewissen Betriebszeit reduziert wird.
- 3.) Der Umschaltpunkt des Hygrostats ist bei einer relativen Feuchte zwischen 65 bis 70 % eingestellt. Zudem sind diese Zweipunktregler in der Regel mit einer Hysterese ausgestattet, um häufige Schaltvorgänge in kurzer Zeit am Ausgang zu vermeiden. Luftfeuchtigkeit bis zum Grenzwert des Umschaltpunktes können somit auch der geringsten Lüftungsstufe zugeordnet werden, wie es hier der Fall ist.

Wird anstatt der oben durchgeführten Darstellungsweise die relative Feuchte und der Volumenstrom über die Zeit aufgetragen, können die ersten zwei genannten Gründe besser nachvollzogen werden.

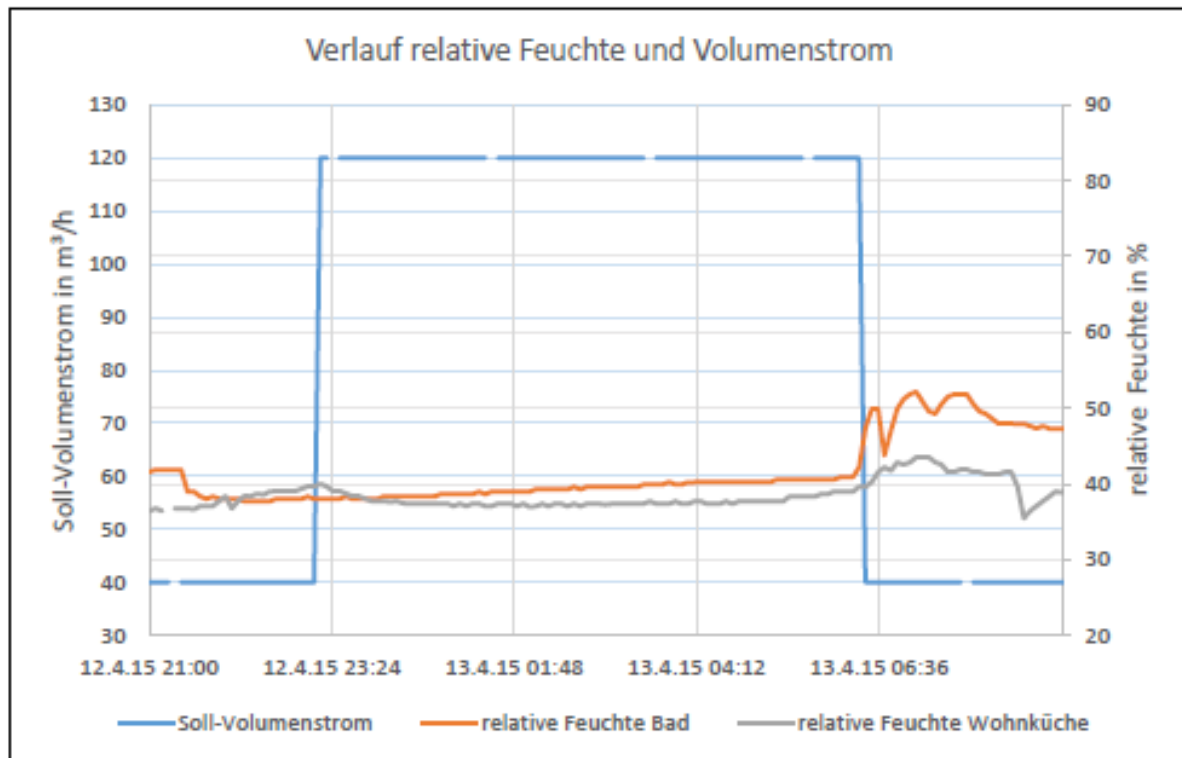


Abbildung 38: Zeitverlauf Volumenstrom und rel. Feuchte: Stoßlüftung in den Nachtstunden [11]

Die Abbildung 38 zeigt, dass die Stoßlüftung über den Taster in der Nacht auf eine Dauer von 8 Stunden aktiviert wurde. In dieser Zeit ist eine Außenluftbeimischung unwahrscheinlich, da zum einen die Lufttemperatur nachts kühler ist und zum anderen die Wärmenachfrage in der Regel geringer ausfällt.

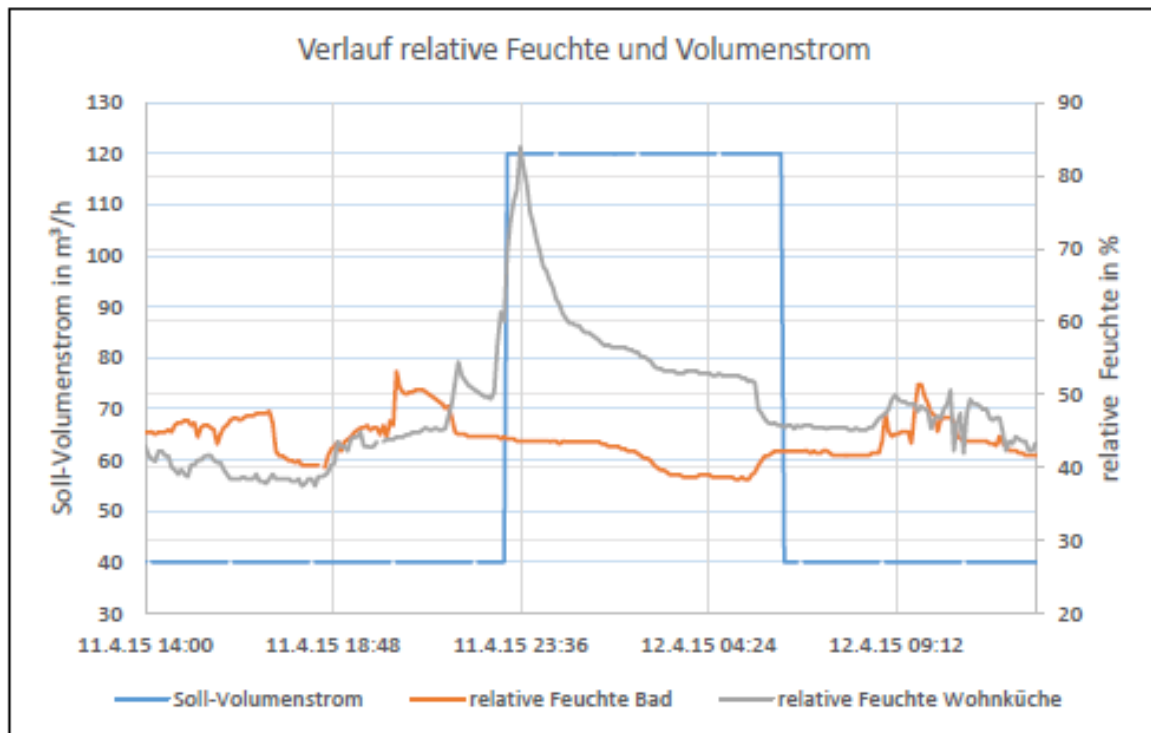


Abbildung 39: Zeitverlauf von Volumenstrom und relativer Feuchte: Feuchtigkeitsanstieg [11]

In der Abbildung 39 ist der Feuchtigkeitsanstieg in der Küche deutlich zu sehen. Zur gleichen Zeit beginnt eine verstärkte Entlüftung über einen längeren Zeitraum, während die relative Feuchte unmittelbar anfängt abzunehmen. Durch die detaillierte Betrachtung im Zeitverlauf ist sehr wohl ein Zusammenhang zwischen der relativen Feuchte und dem Abluftvolumenstrom sichtbar. Die Lüftungsregelung nach der relativen Feuchte funktioniert, ist jedoch aufgrund der selten hohen auftretenden Luftfeuchtigkeit schwer zu erkennen. Da die Luftfeuchtigkeit in den Wohnungen nur vereinzelt über 70 % steigt, weist die Luftfeuchtigkeit des Gesamtabluftvolumenstromes, der eine Mischung der Abluftvolumenströme aus den Wohnungen darstellt, ebenfalls gelegentlich hohe Werte (bis zu 64 %) auf. [11]

6.3.4.3 Außenluftbeimischung zur Steigerung der Quelltemperatur für den Wärmepumpenbetrieb

Der Abluft aus den Wohnungen wird mit einem zentralen Abluftkühlmodul sowie einer Abluft-Wasser-Wärmepumpe Wärme entzogen und dem Heizungssystem zugeführt. Um die Quelltemperatur und damit die Effizienz der Wärmepumpe, insbesondere zur Warmwasserbereitung, zu steigern, wird der Abluft in der Übergangszeit und im Sommer warme Außenluft beigemischt (techn. Daten in Abschnitt 3.4.1.1).

Eine Beimischung ist nur dann sinnvoll, wenn die Wärmepumpe auch eingeschaltet ist. Des Weiteren müssen zwei weitere Bedingungen für eine Beimischung von Außenluft erfüllt sein. Zum einen hat die Entlüftung des Wohngebäudes Vorrang. Demzufolge findet eine Beimischung nur bis zum Erreichen einer maximalen Leistungsstufe des Ventilators statt. Die maximale Leistungsstufe ist so einzustellen, dass eine gewisse Reserve vorhanden bleibt, um eine kurzfristig erhöhte Abluftvolumenstromanforderung ohne Verzögerung bedienen zu können. Aus diesem Grund ist der Anteil der Mischluft auf 90 % des Nennvolumenstromes begrenzt (entspricht 1530 m³/h). Die andere Bedingung sieht vor, dass aus energetischen Gründen eine Außenluftbeimischung nur dann zulässig ist, wenn das Temperaturniveau der Außenluft um 5 K oberhalb des Niveaus der Fortluft liegt.

Damit die Außenluftbeimischung auch tatsächlich eine Effizienzsteigerung des Gesamtsystems bewirkt, ist eine korrekte Messung der Fort- und Außenlufttemperatur unabdingbar. Anhand der Monitoringdaten konnte jedoch festgestellt werden, dass die Messung der Außenlufttemperatur des Lüftungsgerätes deutlich zu hohe Temperaturen aufweisen, wodurch auch bei ungünstigen Bedingungen, also tatsächlich niedrigeren Außenlufttemperaturen, eine Beimischung erfolgt (siehe Abbildung 40). Eine Begehung vor Ort hat gezeigt, dass der Temperaturfühler zwar im Frischluftkanal installiert ist, jedoch in einem Bereich innerhalb der thermischen Gebäudehülle. Die Bauherrngemeinschaft ist darüber informiert und es wird angestrebt den Sensor in den Außenbereich zu versetzen.

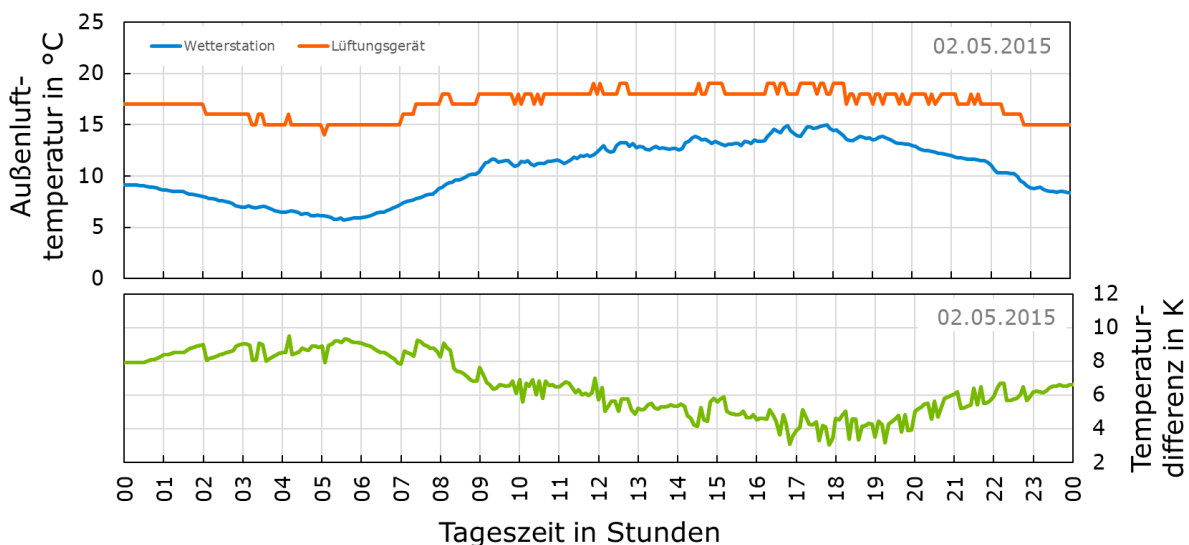


Abbildung 40: Tagesverlauf der Außenlufttemperatur am 02.05.2015 gemessen durch die Wetterstation und durch das Lüftungsgerät (oben) sowie deren Differenz (unten).

In der Praxis gibt es bisher keine Erfahrungen mit Abluftkühlmodulen, die auch eine optionale Außenluftbeimischung zur Steigerung der Quelltemperatur für den Wärmepumpenbetrieb ermöglichen. Eine wesentliche Fragestellung im Projekt ist daher, ob die festgelegte Einschaltbedingung, also eine Temperaturdifferenz zwischen Fort- und Außenluft größer 5 Kelvin, eine sinnvolle Regelstrategie darstellt.

Eine fundierte Bewertung der energetischen Auswirkungen der Außenluftbeimischung ist aufgrund der fehlerhaften Temperaturmessung und der langen Ausfallzeiten der Wärmepumpe anhand der Monitoringdaten nicht möglich. Aus diesem Grund werden in [11] unterschiedliche Einschaltbedingungen für die Außenluftbeimischung simulationstechnisch untersucht. Für die Bewertung der Gesamteffizienz der untersuchten Varianten, wird die geringere elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe, aufgrund der höheren Quelltemperaturen, der zusätzlichen Leistungsaufnahme des Ventilators, für den höheren Luftvolumenstrom, gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamteffizienz bei einer Temperaturdifferenz von 7-9 K als Einschaltbedingung am größten ist. Um eine Außenluftbeimischung bei energetisch ungünstigen Situationen zu vermeiden, sollten die Reglereinstellungen dahingehend angepasst werden. Neben einer reinen Temperaturregelung werden in [11] auch Varianten mit einer Enthalpieregulung untersucht. Hierbei ergeben sich jedoch nur geringe Verbesserungen in der Effizienz des Gesamtsystems. Diese Regelstrategie erfordert jedoch zusätzliche Feuchtesensoren, wodurch die Komplexität der Regelung gesteigert und zusätzliche mögliche Fehlerquellen im System vorhanden sind. Aus technisch-ökonomischer Sicht ist eine Enthalpieregulung daher nicht zu empfehlen.

6.4 Innenraumtemperaturen Sommer

In ausgewählten Wohneinheiten wurden im Rahmen des Monitorings die Lufttemperaturen und Raumluftfeuchten gemessen. Für einen Überblick über die sommerliche Temperaturentwicklung in den Räumen wurden exemplarisch die Wohnküchen der Wohnungen 0.5, 1.2, 1.5, 2.2 sowie 3.1 ausgewählt. Als Untersuchungszeitraum wurde der Monat Juli 2016 ausgewählt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Raumtemperaturen der fünf Wohnungen sowie die Außentemperatur, welche mit einer Wetterstation auf dem Dach des Gebäudes gemessen werden.

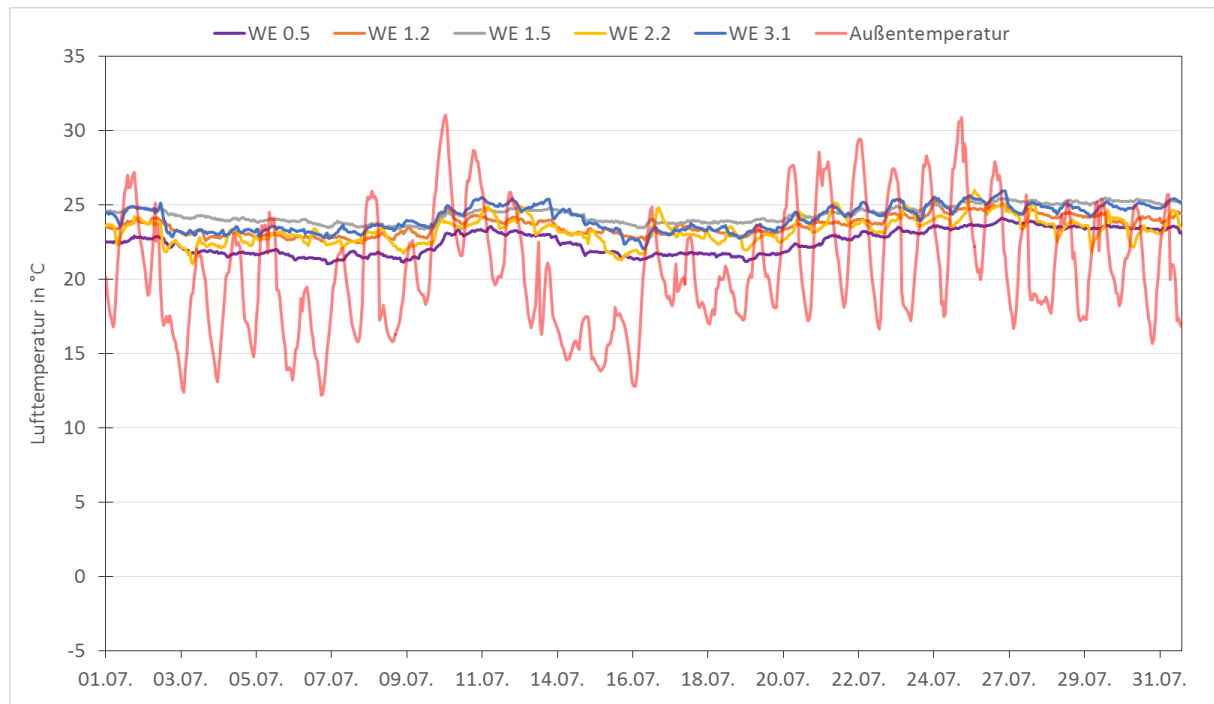


Abbildung 41: Innenraumtemperaturen Sommer

Die Temperaturen der Räume liegen in etwa Bereich zwischen 22 und 25°C. Die Wohnung im Erdgeschoss (WE 0.5) weist dabei das geringste Temperaturniveau auf. Die Außentemperatur liegt zwischen 13 und 32 °C. An sehr warmen Tagen (z.B. 09 und 10.07.) steigen auch die Temperaturen in den Innenräumen leicht an, welche an kühlen Tagen dann auch wieder geringfügig abnehmen. Die Temperaturunterschiede Tag/Nacht sind auch geringfügig an den Raumlufttemperaturen zu erkennen.

6.5 Innenraumtemperaturen Winter

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Innenraumtemperaturen der oben genannten Räume für den Winter. Hier wurde der Monat Februar 2016 herangezogen. Zusätzlich wird auch hier die Außentemperatur der Wetterstation am Haus dargestellt.

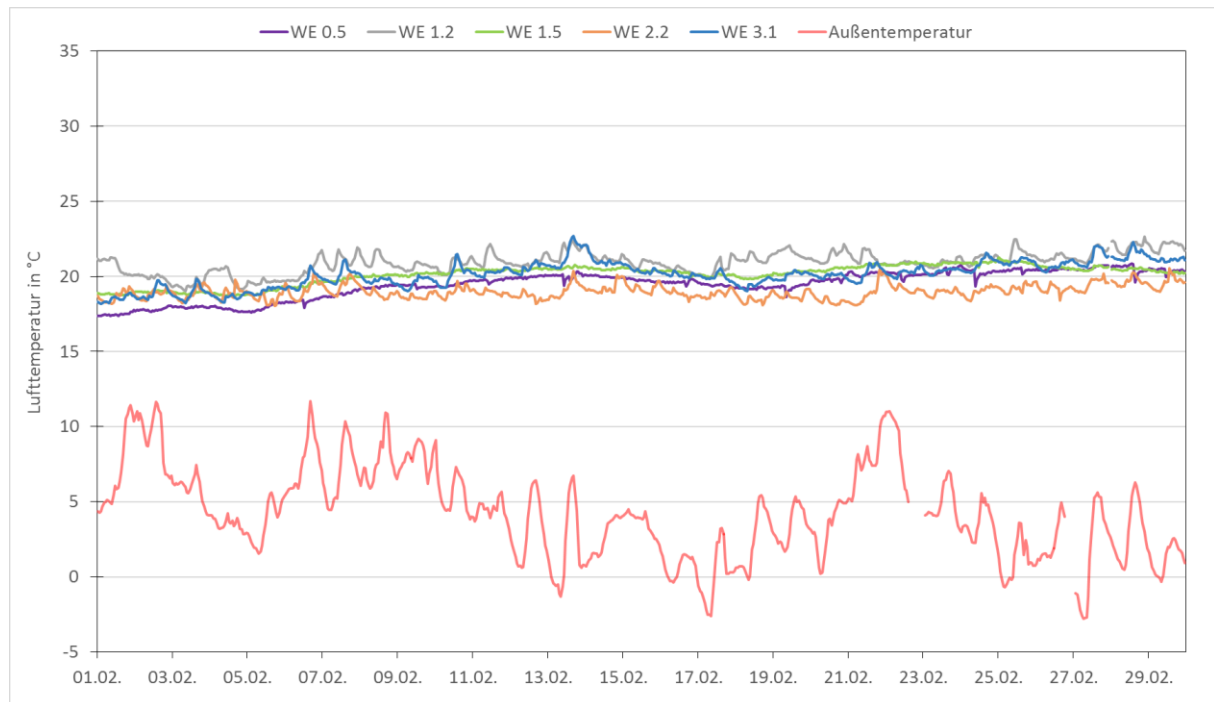


Abbildung 42: Innenraumtemperaturen Winter

Die Innenraumtemperaturen im Winter liegen im Mittel in etwa Temperaturbereich 20°C und damit im Bereich der Auslegung nach EnEV-Bedarf. Eine Abhängigkeit der Innentemperaturen zur Außentemperatur ist hier richtigerweise nicht zu erkennen.

6.6 Behaglichkeit

Die Behaglichkeit wird in einem sogenannten „Behaglichkeitsdiagramm“ nach Leusden und Freymark [12] graphisch dargestellt. Auch hier werden (wie bei den Innenraumtemperaturen) die Wohnküchen der Wohnungen 0.5, 1.2, 1.5, 2.2 sowie 3.1 betrachtet. Dabei werden die Stundenmittelwerte der relativen Raumluftfeuchten über den Raumlufttemperaturen aufgetragen. Durch die Darstellung der Behaglichkeitsfelder „noch behaglich“ und „behaglich“, lassen sich die Messwerte beurteilen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen dieses Behaglichkeitsdiagramm für die einzelnen Wohneinheiten mit den jeweiligen Messwerten im Winter (Februar 16) und Sommer (Juli 16).

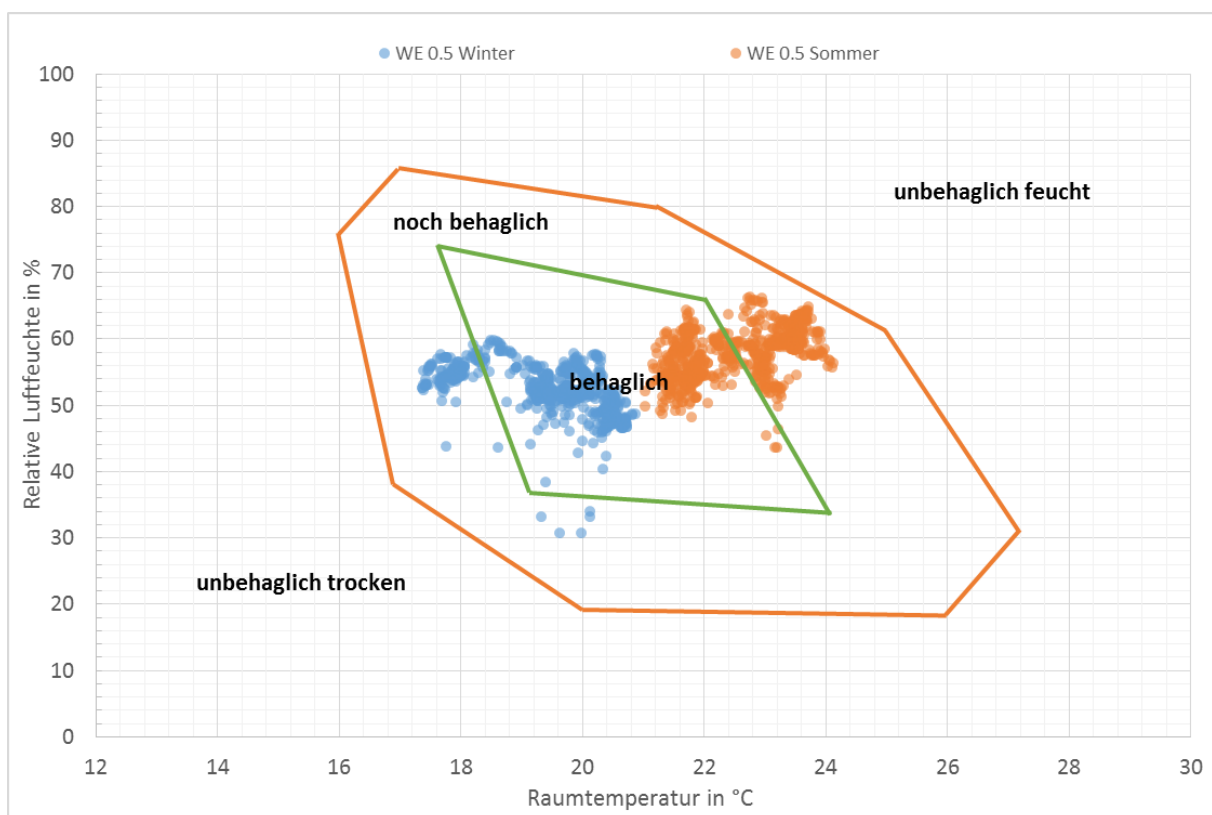


Abbildung: Behaglichkeitsdiagramm WE 0.5

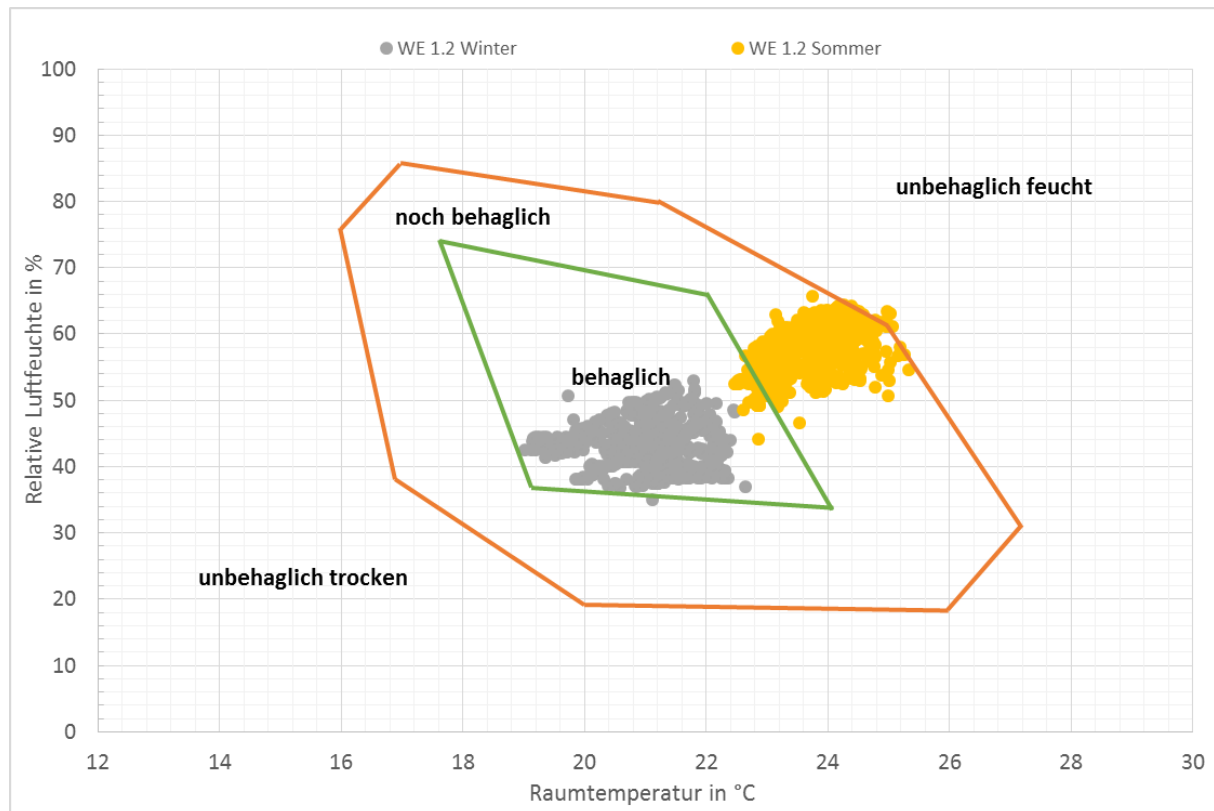


Abbildung 43: Behaglichkeitsdiagramm WE 1.2

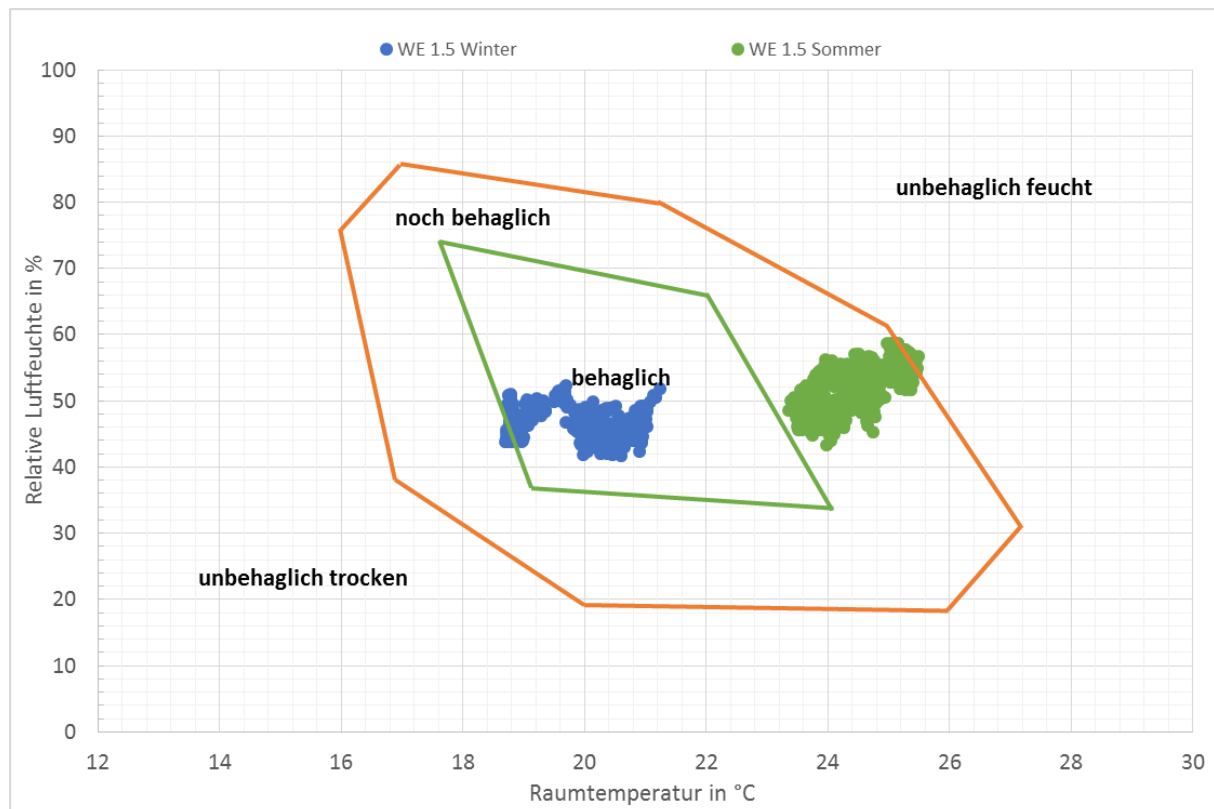


Abbildung 44: Behaglichkeitsdiagramm WE 1.5

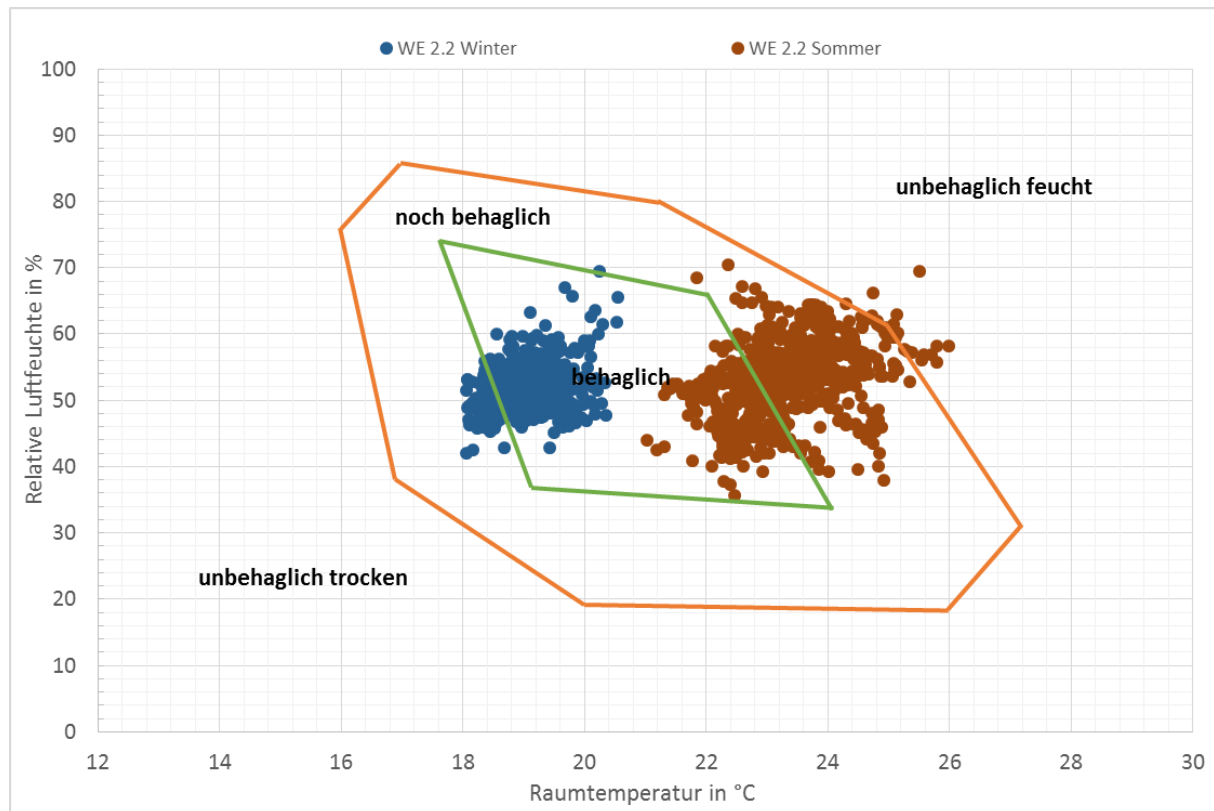


Abbildung 45: Behaglichkeitsdiagramm WE 2.2

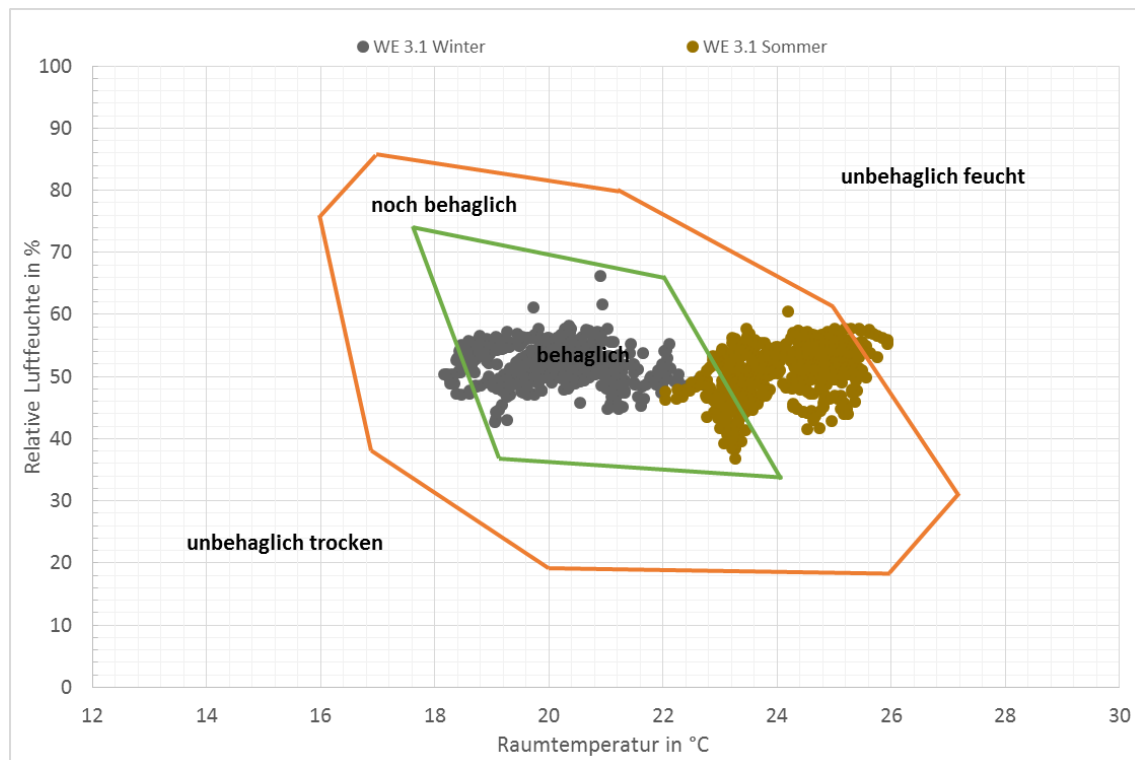


Abbildung 46: Behaglichkeitsdiagramm WE 3.1

Es ist bei allen Wohneinheiten zu erkennen, dass das Raumklima im Winter größtenteils im „behaglichen“ Bereich liegt. Im Sommer werden allerdings aufgrund der etwas zu hohen Temperatur auch Werte im nur „noch behaglichen“ Bereich erreicht. Außerdem sind die Luftfeuchten im Sommer teilweise etwas höher und erreichen Werte bis circa 70 %. Ab da schaltet die Lüftungsanlage eine Stufe höher, weshalb keine höheren Raumluftfeuchten erreicht werden. Unterschiede zwischen den einzelnen Wohneinheiten sind nicht zu erkennen, wie auch auf den beiden nachfolgenden Abbildungen zu erkennen.

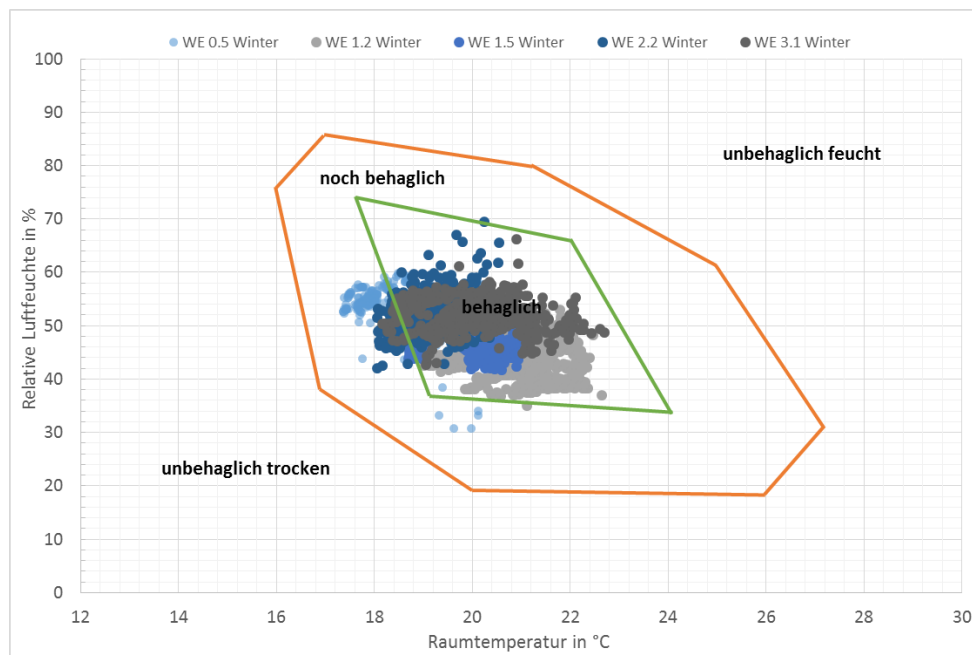


Abbildung 47: Behaglichkeitsdiagramm Winter

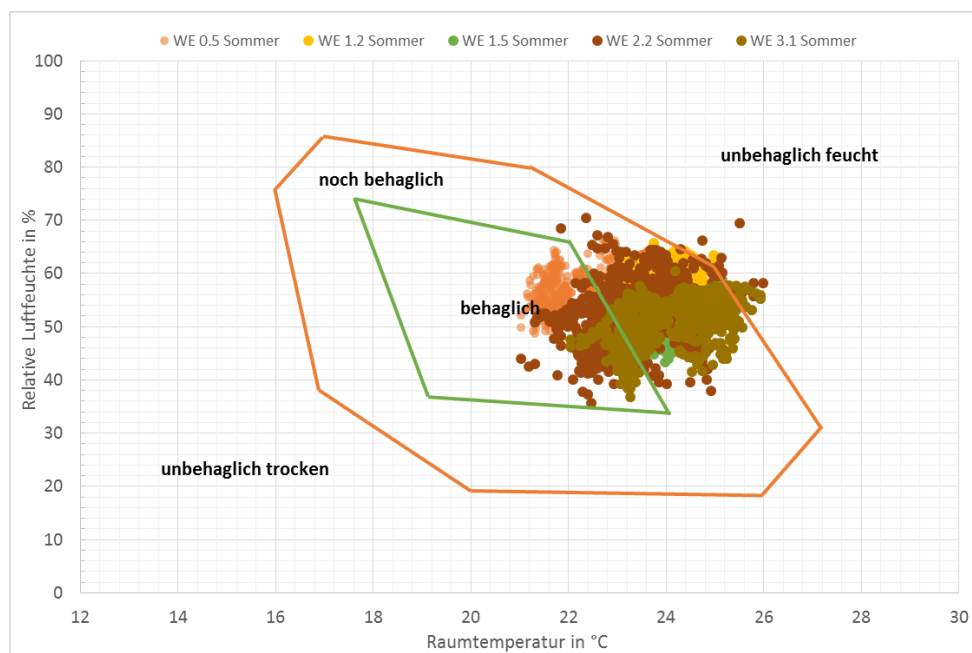


Abbildung 48: Behaglichkeitsdiagramm Sommer

6.7 Gegenüberstellung erzeugte und verbrauchte Endenergie nach Energieträgern

In der folgenden Abbildung werden die elektrischen sowie thermischen Endenergien nach Energieträger sowie die jeweilige Über- bzw. Unterdeckung an Endenergie dargestellt.

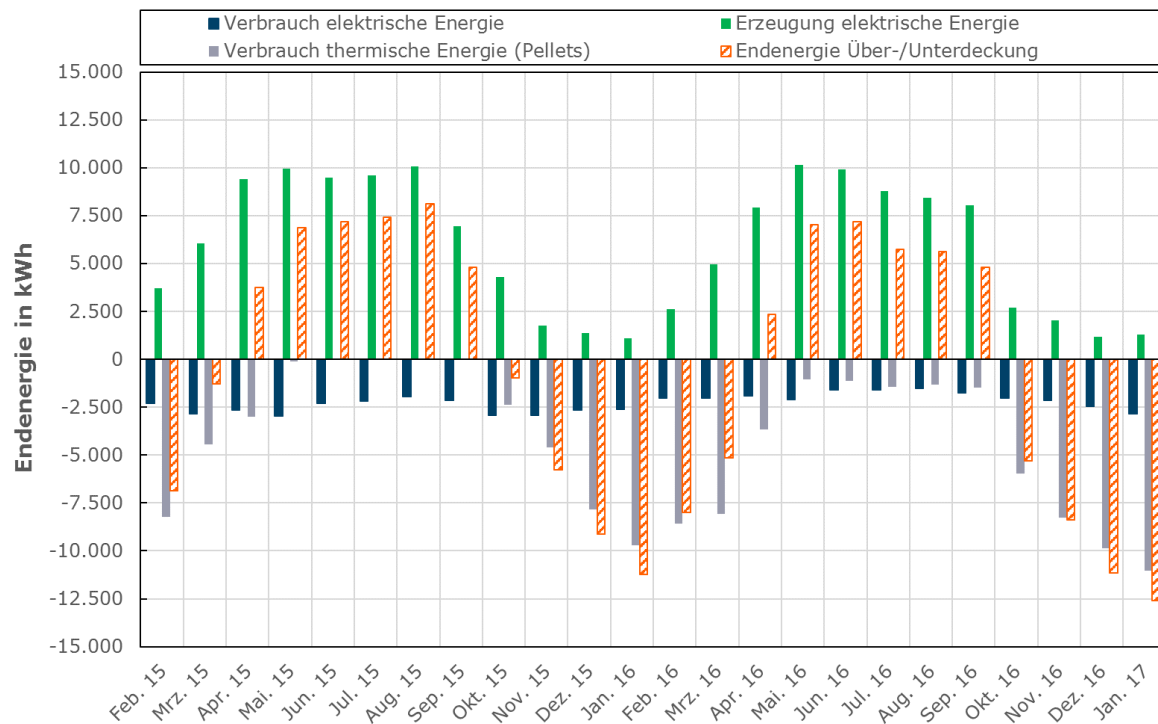


Abbildung 49: Erzeugte und verbrauchte Endenergie nach Energieträgern

Die grünen Balken stellen die monatliche Erzeugung der elektrischen Energie durch die PV-Anlage dar. Die monatlichen Verbräuche an elektrischer Energie (blaue Balken) und thermischer Energie in Form von Pellets (graue Balken) dar. Die gestrichelten orangen Balken zeigen die jeweilige monatliche Über- bzw. Unterdeckung der aufgeführten Endenergien an. Man erkennt, dass in den Monaten von April bis Oktober eine Überdeckung an Endenergie zu verzeichnen ist. In den Wintermonaten November bis März kommt es aufgrund der geringen PV-Produktion sowie des höheren Heizverbrauchs (thermische Energie) zu einer Unterdeckung an Endenergie (d.h. es wird mehr Energie verbraucht als erzeugt wird).

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Ein wichtiges energetisches Ziel von Effizienz Plus Häusern ist die Minimierung von Energieverbräuchen. Hieraus können sich unmittelbar Einsparungen bei den Energiekosten ergeben, denen der jeweilige finanzielle Aufwand zu ihrer Realisierung gegenüberzustellen ist. Im Folgenden werden die Bau- und Betriebskosten des LVV-Gebäudes dokumentiert und analysiert.

7.1 Bezugsgrößen für die Kostenermittlung

Für die Bewertung der Bau- und Betriebskosten sowie den Kostenvergleich mit anderen Neubausprojekten ist es notwendig spezifische Kostenkennzahlen zu bestimmen. In der Wohnungswirtschaft werden hierzu häufig unterschiedliche Bezugsflächen angewendet. Hierzu zählen die Brutto-Grundfläche (BGF), die Netto-Grundfläche, die Nutzfläche sowie die Wohnfläche (WF) und für bauteilbezogenen Kosten der Gebäudehülle die Außenwand- sowie Dachflächen. Die Flächenermittlung erfolgt gemäß DIN 277 Teil 1 [7] oder DIN EN 15221 Teil 6 [8]. Ausgenommen hiervon ist die Wohnfläche. Da in den genannten Regelwerken nur der allgemein gehaltene Begriff der Nutzfläche beschrieben ist und keine Definition der Wohnfläche existiert, wird diese nach der Wohnflächenverordnung (WoFlV) bestimmt. In Tabelle 19 werden die für das LVV-Gebäude ermittelten Bezugsgrößen mit Anmerkungen zur Flächenermittlung gelistet.

Nach § 2 Abs. 2 WoFlV umfasst die Wohnfläche die inneren Grundflächen der Räume, die ausschließlich zu den Wohnungen gehören. D.h. gemeinschaftlich genutzte Flächen gehören nicht zur Wohnfläche. Das LaVidaVerde-Projekt stellt jedoch mit einem hohen Anteil an Gemeinschaftsflächen das gemeinschaftliche Wohnen in den Vordergrund. In der Folge ergeben sich deutlich höheren wohnflächenbezogenen Kostenkennzahlen.

Tabelle 19: Bezugsgrößen für die Kostenermittlung.

Bezugsgröße	Wert	Anmerkung
Brutto-Grundfläche (BGF)	2.121 m ²	Gesamtfläche aller Grundrissebenen des Bauwerks
Netto-Grundfläche (NGF)	1.746 m ²	sämtliche Grundflächen der nutzbaren Räume (in aktueller DIN 277 als Netto-Raumfläche (NRF) bezeichnet)
Nutzfläche (NF)	1453 m ²	Wohnfläche + Gemeinschaftsfläche + Lagerräume (Dachgeschoss)
Wohnfläche (WF)	1072 m ²	Wohnfläche ohne Gemeinschaftsflächen (nach Wohnflächenverordnung)

7.2 Baukosten

Die Baukosten werden auf der Grundlage des Finanzplanes (Stand 29.01.2015) und der durch die beauftragten Firmen ausgestellten Rechnungen analysiert. Alle dargestellten Kosten beinhalten die gesetzlich geltende Mehrwertsteuer von 19%. Die gesamten Projektkosten belaufen sich auf 2.941.000 € und überschreiten damit die Vorgaben des Finanzplanes um ca. 15%.

7.2.1 Gesamte Bauwerkskosten (KG 300 + 400)

Die Baukosten für Kostengruppen 300 (Bauwerk – Baukonstruktionen) und 400 (Bauwerk – Technische Anlagen) sind in Tabelle 20 dargestellt. Zusätzlich sind die Kosten über den BKI-Regionalkostenfaktor ($f=0.975$, Standort Berlin, 2015 [9]) auf den deutschen Bundesdurchschnitt normiert.

Tabelle 20: Brutto - Baukosten für das LVV-Gebäude. Neben den absoluten Brutto-Kosten sind die spezifischen Werte bezogen auf Wohnfläche, Nutzfläche, Netto- und Brutto-Grundfläche angegeben.

	€ (Brutto)	€/m ² WF	€/m ² NF	€/m ² NGF	€/m ² BGF
KG 300	1.597.462	1.490	1.099	915	753
KG 400	544.046	508	374	312	257
KG 300 + 400	2.141.508	1.998	1.474	1.227	1.010
Normiert auf den Bundesdurchschnitt	2.196.418	2.049	1.512	1.258	1.036

Für einen Kosten-Vergleich werden die normierten, nutzflächenspezifische Kostenkennzahlen des LVV-Gebäudes mit Referenzbauten aus der BKI Objektdatenbank für energieeffizientes Bauen [10] in Abbildung 50 und Tabelle 21 gegenübergestellt. Die dargestellten Benchmark-Werte sind der Mittelwert aus den Baukosten von insgesamt 11 Referenzgebäuden. Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind Referenzgebäude so ausgewählt, dass ähnliche Größen (Fläche, Nutzungseinheiten, etc.) und Baustandards (Energieeffizienz, Ausstattung) gegeben sind. Der Vergleich zeigt, dass die summierten Baukosten der KG 300 und 400 trotz der erhöhten Anforderungen des Effizienzhaus Plus Standards ca. 9% unter dem Durchschnittswert liegen. Dies begründet sich im Wesentlichen durch die um 14% deutlich geringen Kosten für die Baukonstruktion (KG 300), wohingegen die Kosten für die technischen Anlagen (KG 400) aufgrund der komplexeren Anlagentechnik 11% über dem Vergleichswert liegen. Da die KG 400 einen kleineren Anteil (25%) an den Gesamtkosten verursachen, ergeben sich für das LVV-Gebäude in der Summe niedrigere Baukosten im Vergleich zum Benchmark-Wert, was positiv zu bewerten ist.

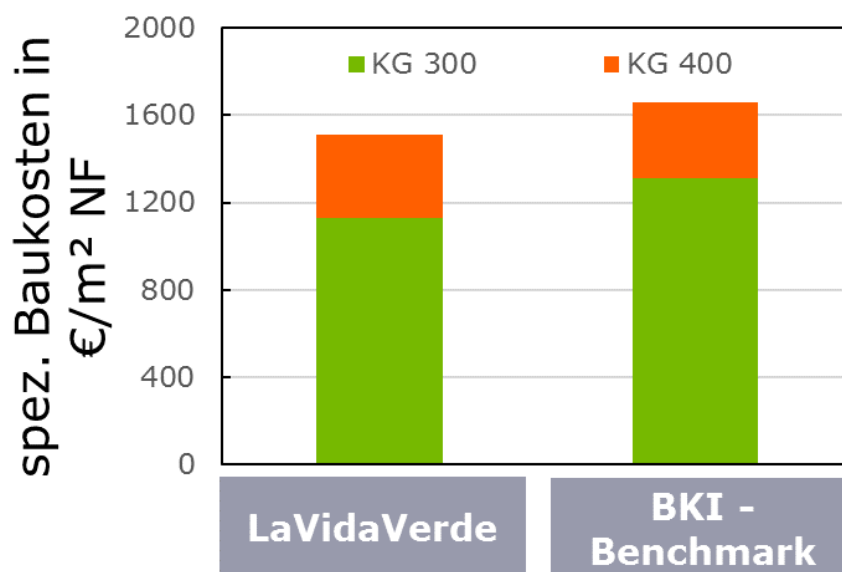


Abbildung 50: Benchmark für nutzflächenspezifische Kostenkennzahlen des LVV-Gebäudes mit Referenzbauten der BKI Objektdatenbank.

Tabelle 21: Benchmark für nutzflächenspezifische Kostenkennzahlen des LVV-Gebäudes mit Referenzbauten der BKI Objektdatenbank.

	LaVidaVerde in €/m² NF	BKI Benchmark in €/m² NF	Differenz in %
KG 300	1.128	1.309	-14%
KG 400	384	347	11%
KG 300 + 400	1.512	1.656	-9%

7.2.2 Bauteilkosten

In diesem Abschnitt werden die Kosten der einzelnen Bauteile dargestellt. Des Weiteren werden die Mehrkosten für den „Plus-Energie-Haus-Standard“ (also den tatsächlichen Baukosten) den Kosten für eine Ausführung nach EnEV 2009 gegenübergestellt. Die Kosten für die Ausführung nach EnEV 2009 wurden erneut anhand der Mittelwerte der 11 Referenzbauten ermittelt (vgl. 7.2.1).

In der nachfolgenden Tabelle werden die Bauteilkosten der einzelnen Bauteile sowie die dadurch entstandenen Mehrkosten im Vergleich zu den zu erwartenden Kosten für eine Durchführung der Maßnahmen nach EnEV 2009-Standard aufgeführt.

Tabelle 22: Kostenvergleich Gebäudehülle

Bauteil / Anlage	Mehrkosten nach Effizienzhaus Plus Standard inkl. MwSt. in €/m²	Mehr-/Minderkosten gesamt inkl. MwSt. in €
Außenwand	+31,65	27.511,44
Dach	+18,13	7.253,76
Kellerdecke	+10,34	3.153,70
Fenster	+31,65	7.966,70
Summe		45.885,60

Durch den höheren Dämmstandard im Vergleich zum EnEV2009 Standard ergeben sich Einsparungen in der Heizenergie. Diese werden in der nachfolgenden Tabelle 23 aufgeführt.

Tabelle 23: Energieeinsparung durch Gebäudehülle

	Mehrkosten LVV zu EnEV in €/a	Mehrkosten LVV zu EnEV in €/20a	Einsparung LVV zu EnEV in kWh/a	Einsparung LVV zu EnEV in kWh/20a
Passivhausstandard	45.885,60	45.885,60		
Heizenergie	-1.539,38	-30.787,69	24.828,78	496.575,67
Differenz	44.346,21	15.097,91		

Betrachtet man einen Betriebszeitraum von 20 Jahren, ergeben sich durch den höheren Dämmstandard sichtbare Energieeinsparungen. Rein wirtschaftlich betrachtet amortisieren sich die Mehrkosten der effizienteren thermischen Hülle durch die Einsparung der Heizenergie im Zeitraum von 20 Jahren allerdings nicht komplett.

Tabelle 24 listet die Mehrkosten der Anlagentechnik auf.

Tabelle 24: Kostenvergleich Anlagentechnik

Bauteil / Anlage	Gesamtkosten in € nach EnEV 2009	IST-Gesamtkosten in €	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt. in €
Heizungsanlage inkl. Speicher	8.000,00	98.660,35	90.660,35
Lüftungsanlage	17.303,28	17.303,28	-
Photovoltaik	keine	139.230,00	139.230,00
Batterie	keine	keine	-
Beleuchtung	Standard	Standard	-
Geräte	Standard	Standard	-
Mehrinvestitionskosten	-		229.890,35

Die Mehrkosten für die Heizungsanlage mit Pelletkessel und Wärmepumpe fallen im Vergleich zu einer Gasbrennwerttherme sehr hoch aus. Zusammen mit der Photovoltaikanlage ergeben sich so Mehrkosten von fast 230.000 € im Vergleich zu einer Anlagentechnik nach EnEV2009-Standard.

7.3 Energie- und Betriebskosten

Die nachfolgende Tabelle 25 zeigt die Energie- und Betriebskosten für ein Jahr.

Tabelle 25: Jährliche Energie- und Betriebskosten

Bauteil / Anlage	Kosten nach EnEV 2009 mit EEWär- meG in €	IST-Kosten La- VidaVerde in €	Mehr-/Minderkos- ten inkl. MwSt. Ef- fizienzhaus Plus Standard in €
Wärme	2.703,36	2.585,90	-117,47
Strom	16.138,77	2.016,95	-14.121,82
Netzeinspeisevergütung	-	-5.218,88	-5.218,88
Laufende Kosten pro Jahr	18.842,13	-616,03	-19.458,17

Der Kostenvergleich für den Heizbetrieb im Betrachtungszeitraum schließt die Nutzung von Gasbrennwerttechnik für den EnEV2009 Standard ein. Hier wurden die Kosten für Heizung unter Berücksichtigung des Einsparpotentials durch höheren Dämmstandart im Projekt, für eine Nutzungsdauer verglichen. Die Einspeisevergütung für den erzeugten PV-Strom geht mit 12,5 ct/kWh in die Bilanz ein, der Eigenverbrauch mit 0 €. Der Gesamtverbrauch wird in beiden Fällen als gleich angenommen.

Tabelle 26 vergleicht abschließend alle Investitionskosten mit den Einsparungen an Energiekosten für einen Betriebszeitraum von 20 Jahren.

Tabelle 26: Investitionskosten und Einsparungen der Energiekosten für 20 Jahre

Bauteil / Anlage	Mehr-/Minderkosten im Vergleich zum EnEV2009 Standard in €	Daraus resultierende jährliche Einsparung in €	Daraus resultierende Einsparung in 20 Jahren in €	Differenz
Bauteile	45.885,60	1.539,35	30.787,69	-15.097,91
Wärme	90.660,35	117,47	2.349,40	-88.310,95
Strom inkl. Netzeinspeisung	139.230,000	19.250,70	385.014,00	+245.784,00
Summe	275.775,95	20.907,52	418.159,40	142.383,45

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die PV-Anlage relativ schnell amortisiert. Durch den Eigenverbrauch kann der Netzbezug und damit die höheren Stromkosten gesenkt werden, über die Einspeisevergütung wird der Energieüberschuss kompensiert. Die hohen Investitionskosten der Energie und Anlagentechnik des Heizsystems tragen dazu bei, dass im Vergleich zur Gasbrennwerttechnik ein deutliches Minus entsteht, unter anderem auch deswegen, weil die Energiebezugspreise für Gas mit 0,06 €/kWh gering sind. Einzeln und rein wirtschaftlich betrachtet, lohnen sich die Mehrkosten für die Gebäudehülle und Heiztechnik im Vergleich zum EnEV2009-Standard nicht.

7.4 Kosten Haushaltsgeräte

Die Anschaffung der Haushaltsgeräte liegt im Verantwortungsbereich der einzelnen Mietparteien, sodass eine detaillierte Kostenaufstellung der eingesetzten Haushaltsgeräte nicht möglich ist. Zudem wurden bei Bezug nicht alle Geräte neu beschafft. In der Wohngemeinschaft besteht jedoch ein allgemeiner Konsens nur Geräte mit höchsten Energieeffizienzklassen (A+++) einzusetzen. Dies verdeutlicht die in Tabelle 27 aufgeführte Kostenzusammenstellung der Neu-Geräte und deren Energieeffizienzklassen. Aus Datenschutzgründen wurde, mit Ausnahme der intensiv vermessenen Wohnungen, auf eine Wohnungszuordnung verzichtet.

Tabelle 27: Kostenzusammenstellung der bei Bezug des LVV-Gebäudes neu erworbenen Haushaltsgeräte.

Gerät	Typ	Energieeffizienzklasse	Kosten (inkl. MWSt.) in €
Kühlschrank	Liebherr TP 1764	A+++	343.99
Standherd	AEG Competence 40095 VD-WN	A	386.99
Kühlschrank	Blomberg TSM 1541	A+++	264.99
Kochfeld	AEG HK 654070 X-B	-	247.99
Kühl-Gefrierkombination	Blomberg DSM 9630 X	A+++	362.99
Kochfeld	AEG HK 854080 X-B	-	301.99
Backofen	Beko OIM 25500 XL	A	325.99
Spülmaschine	Siemens SN 45 N 532 EU	A+++	448.99
Standherd mit Gas-Kochfeld	Beko CSM62320DX	A	348.99
Kühlschrank	Siemens KS 29 VVW 40	A+++	468.99
Backofen	Neff BM 1542 N	A	353.99
Spülmaschine	Siemens SN 45 N 532 EU	A+++	448.99

Kühl-Gefrierkombination	Gorenje RK 6193 EW	A+++	351.99
Standherd	Gorenje EC 55101 AW	A	277.99
Spülmaschine	Siemens SN 45 N 532 EU	A+++	448.99
Wohneinheit 0.5			
Kühlschrank	Liebherr TP 1760	A+++	366.99
Backofen	Beko OIM 25500 XL	A	325.99
Kochfeld	AEG HK 654070 X-B	-	247.99
Spülmaschine	Siemens SN 45 N 532 EU	A+++	448.99
Wohneinheit 1.2			
Kühlschrank	Liebherr TP 1760	A+++	366.99
Backofen	Neff CE 1742 N	A	447.99
Kochfeld	Neff ND 1430 N	-	287.99
Wohneinheit 2.2			
Kühlschrank	Bosch KSV 36 VL 40	A+++	567.9
Backofen	Küppersbusch EEB 6260.0 JX 1	A	463.99
Spülmaschine	Siemens SN 45 N 532 EU	A+++	448.99
Gemeinschaftsgeräte			
Waschmaschine	Miele WKF 130 WPS (3 Stück)	A+++	953.99
Gefrierschrank	Liebherr GNP 4166-20	A+++	883.99

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

Zunächst erfolgt die Gegenüberstellung des Endenergiebezugs und der -lieferung von elektrischer und thermischer Energie ohne Witterungsbereinigung. Hier sind die tatsächlich gemessenen Werte der einzelnen Monate für beide Messperioden gegenübergestellt. Der Endenergiebezug setzt sich dabei aus dem Verbrauch der elektrischen Endenergie und dem Verbrauch der thermischen Endenergie aus den Pellets zusammen. Die Endenergielieferung stellt die durch die PV-Anlage erzeugte elektrische Energie dar.

Die Abbildung 51 zeigt den Endenergiebezug und die -lieferung in Messperiode 1. In den ersten Monaten (Februar bis Mai) wird mehr Endenergie bezogen als erzeugt, da in diesen „kalten“ Monaten sowohl der Pelletverbrauch höher liegt als auch die Energieerzeugung durch die PV-Anlage geringer ausfällt. Dieses Verhältnis kehrt sich in den Sommermonaten um. Betrachtet man das komplette Jahr, ergibt sich ein Endenergieüberschuss von 2.986 kWh.

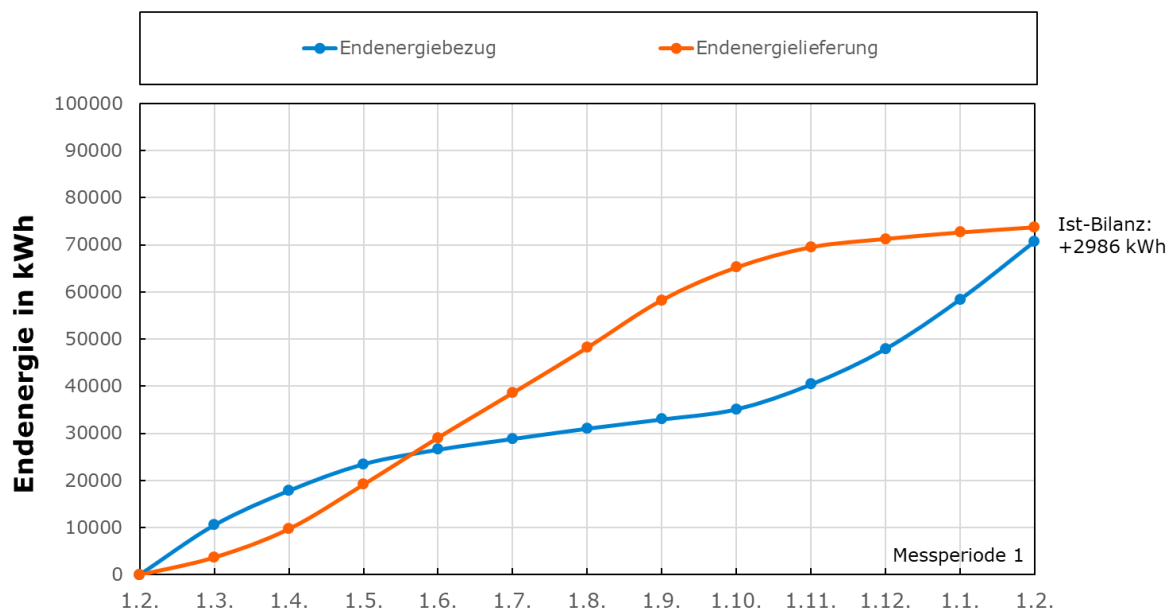


Abbildung 51: Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1

Die nachfolgende Abbildung 52 stellt die Ergebnisse in Messperiode 2 dar. Aufgrund der bereits beschriebenen kontinuierlichen Nutzung des Pelletkessels über die gesamte Messperiode fallen hier die Messwerte etwas ungünstiger aus. So kehrt sich das Verhältnis zwischen Endenergiebezug und -lieferung erst etwa einen Monat (ungefähr Mitte Juni) später um. Insgesamt fällt der Endenergiebezug im Vergleich zur Messperiode 1 deutlich höher aus, was bei der Betrachtung der kompletten Messperiode zu einem Endenergiedefizit von 17.872 kWh führt.

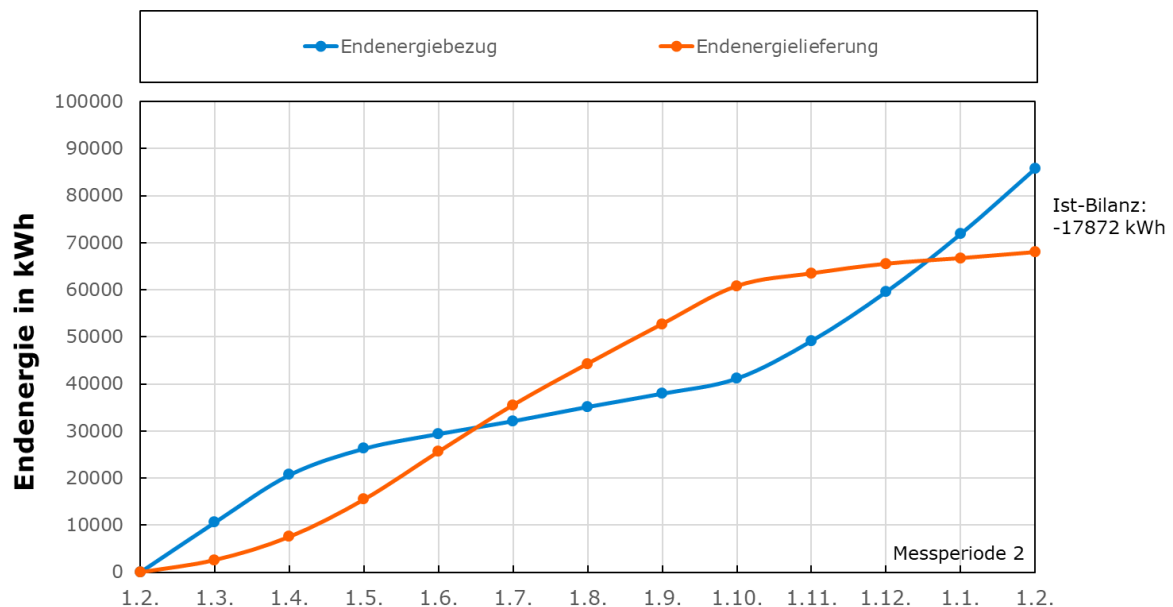


Abbildung 52: Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2

Um die witterungsbedingten Unterschiede der einzelnen Messperioden zu berücksichtigen und diese miteinander vergleichen zu können, wurde eine Witterungsbereinigung mithilfe der ermittelten Klimafaktoren (vgl. Kapitel 5.3) durchgeführt. Diese Gegenüberstellung beider Messperioden sind in Abbildung 53 und Abbildung 54 aufgeführt. Zum Vergleich ist zusätzlich die Prognose nach der EnEV-Bedarfsberechnung als gepunktete Linie aufgeführt.

In der folgenden Abbildung 53 ist der Zeitraum der Messperiode 1 dargestellt. Hier fällt auf, dass in den ersten Monaten der Endenergiebezug etwas höher ausfällt als nach EnEV2009 geplant. Zum Oktober nähert sich der Verbrauch wieder dem kalkulierten Bedarf an. In den Folgemonaten allerdings steigt er wieder etwas an. Für die Erzeugung der Endenergie fällt die Prognose ebenfalls etwas höher als die tatsächlich erzeugte Energie aus. Insgesamt wird am Ende des Untersuchungs-jahres ein Defizit von 1.312 kWh erzielt.

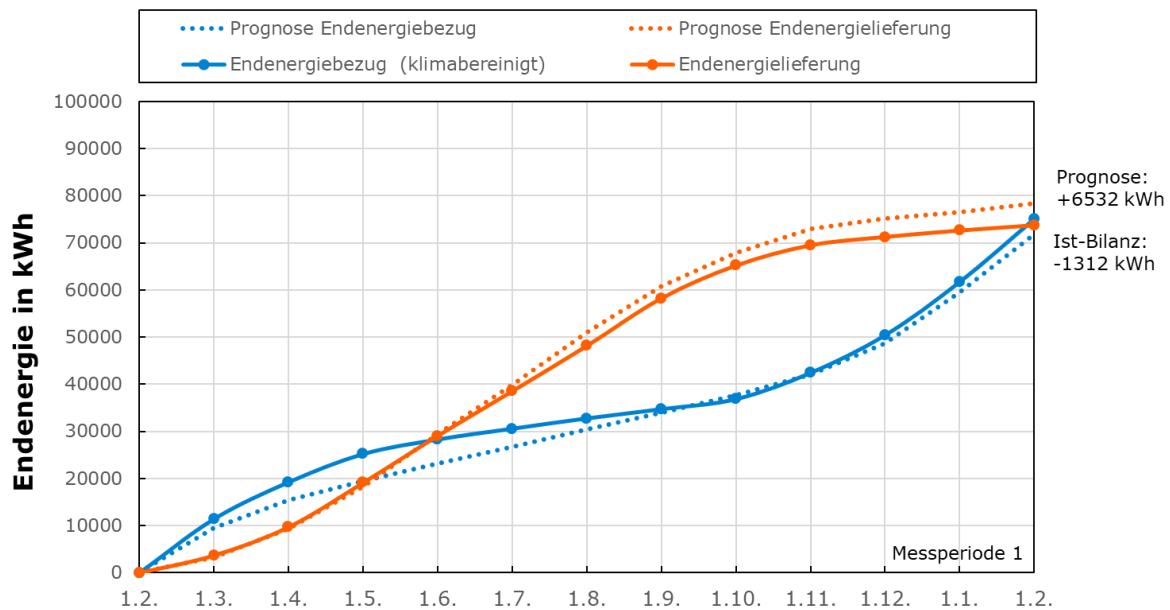


Abbildung 53: Kumulierter und klimabereinigter Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1

Abbildung 54 zeigt die Werte der Messperiode 2. Hier liegt der witterungsbereinigte Verbrauch (blaue Linie) deutlich über den prognostizierten Verbrauch. Grund hierfür ist der Ausfall der Wärmepumpe, weshalb für die gesamte Wärmeversorgung - auch in den Sommermonaten - Endenergie in Form von Pellets genutzt wird. Zudem können anhand der Monitoring-Daten in der Messperiode 2 mit einer Wärmeversorgung über den Pelletkessel systembedingt höhere Temperaturen und damit Verluste im hydraulischen System (Speicher, Vorlauftemperatur Heizkreis, Trinkwarmwasser, etc.) beobachtet werden. Des Weiteren ist in diesem Untersuchungszeitraum die Erzeugung der PV-Anlage deutlich geringer als prognostiziert. Auch dies trägt am Ende dazu bei, dass es zu einem sehr hohen Endenergiedefizit von 19.286 kWh kommt.

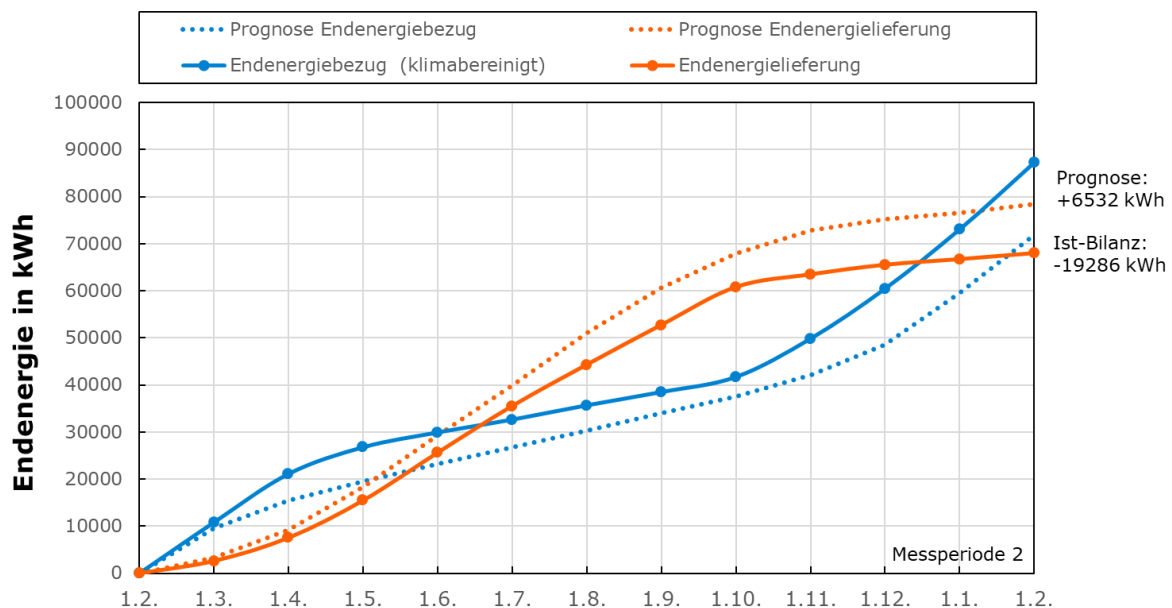


Abbildung 54: Kumulierter und klimabereinigter Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2

Abschließend werden dazu nochmals die Primärenergien betrachtet. Der Übersicht halber werden zunächst die Ergebnisse beider Messperioden ohne Klimabereinigung dargestellt.

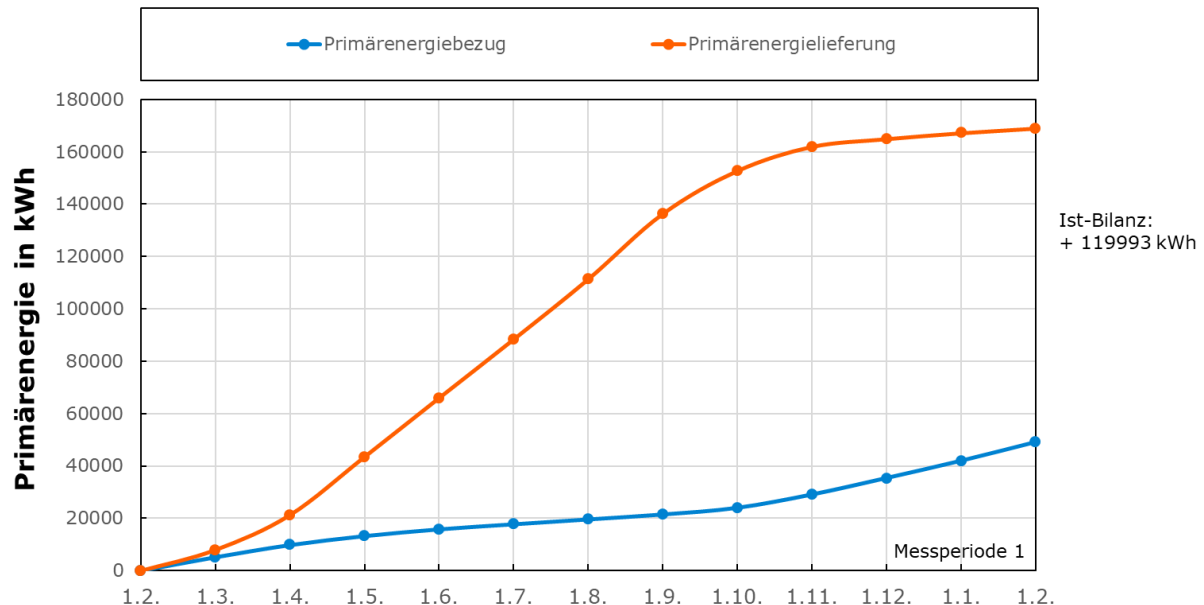


Abbildung 55: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1

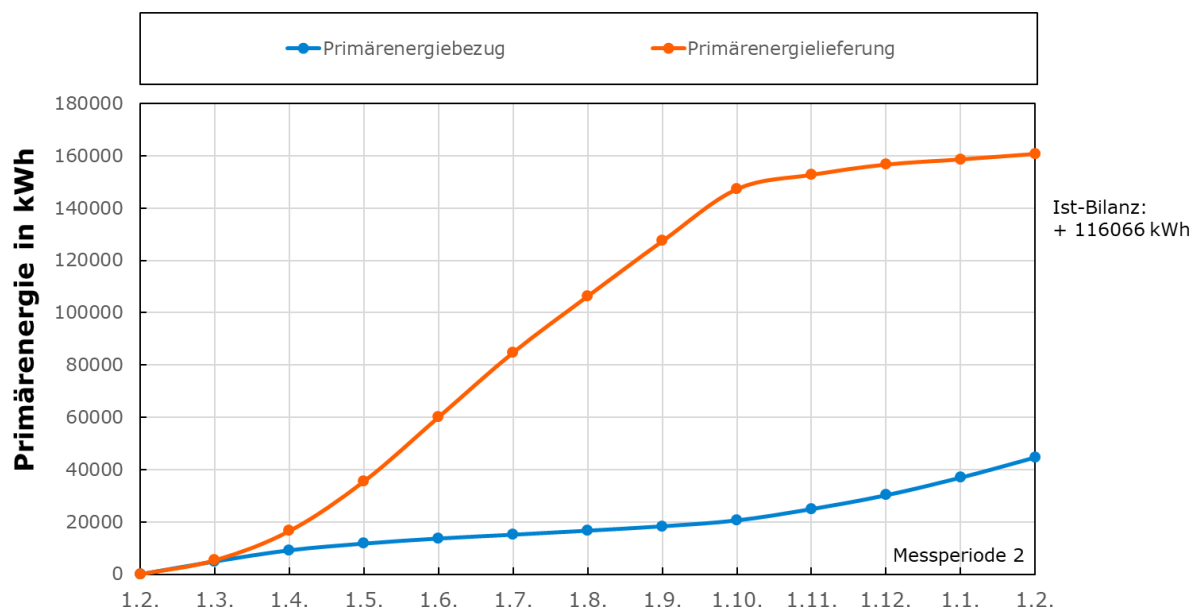


Abbildung 56: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2

In Bezug auf die Primärenergie unterscheiden sich die beiden Messperioden nicht mehr so sehr wie bei der Betrachtung der Endenergie, da hier der ganzjährige Einsatz des Pelletkessels (in Messperiode 2) aufgrund des guten Primärenergiefaktors der Pellets nicht negativ einhergeht.

In den nachfolgenden Abbildungen werden nun die Primärenergien klimabereinigt dargestellt. Des Weiteren sind die prognostizierten Werte aus der EnEV-Berechnung aufgeführt.

Die Abbildung 57 zeigt den Primärenergiebezug sowie die -lieferung für Messperiode 1. Hier ist zu beobachten, dass die Primärenergief Lieferung deutlich höher als die Prognose ausfällt. Grund dafür ist eine im Vergleich zur Prognose höhere Einspeisung von PV-Strom ins öffentliche Stromnetz (vgl. Abschnitt 3.5). Daher ergibt sich in Bezug auf die Primärenergie eine Gutschrift. Der Verbrauch liegt zunächst im Bereich der kalkulierten Werte, fällt dann aber in den letzten Monaten geringer aus als prognostiziert. Insgesamt ist am Ende des Untersuchungsjahres eine Primärenergieüberschuss von 118.521 kWh zu verzeichnen.

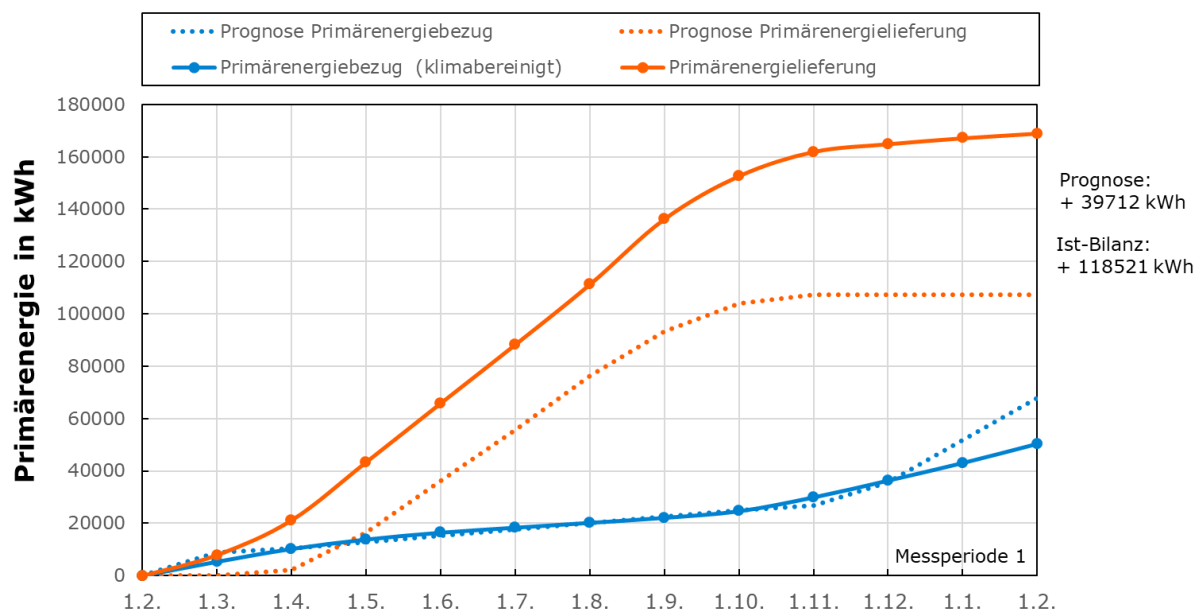


Abbildung 57: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1 mit Klimabereinigung und Vergleich mit den prognostizierten Werten

Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt die Primärenergiekurven der Messperiode 2. Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Messperiode 1. Der Primärenergiebezug fällt hier etwas geringer aus, was am Ausfall der Wärmepumpe liegt und dem damit geringeren Bezug elektrischer Energie aus dem öffentlichen Netz. Bezogen auf das gesamte Untersuchungsjahr ist ein Primärenergieüberschuss von 115.735 kWh zu verzeichnen.

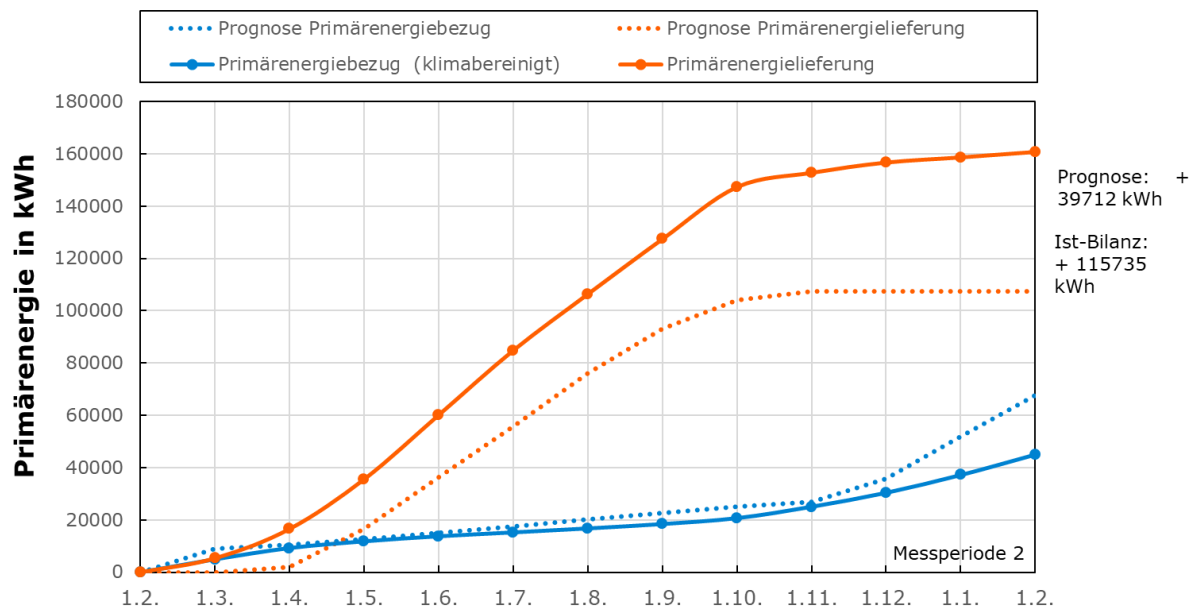


Abbildung 58: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2 mit Klimabereinigung und Vergleich mit den prognostizierten Werten.

8.2 Verbesserungspotentiale

In diesem Kapitel werden – auch als Fazit der Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Monitoring – mögliche Verbesserungspotentiale erörtert.

8.2.1 Eigenverbrauch PV

Durch den Einsatz von Batteriespeichern lässt sich der Eigenverbrauch und Autonomiegrad der PV-Anlage verbessern. In diesem Kapitel wird untersucht, ob sich das Einbinden eines Speichers technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Dieses Thema wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit untersucht. [16]

Zuerst wurde in der Arbeit die optimale Speichergröße mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse ermittelt. Dabei erwiesen sich Speicher im Bereich zwischen 30 und 40 kWh Nutzkapazität als ökonomisch sinnvoll. Im Weiteren wird ein Speichersystem mit 35,2 kWh Nutzkapazität (4x LG RESU 10) genauer betrachtet. Dadurch verbessert sich die Eigenverbrauchsquote von 17 % auf 31,3 % und die Autarkiequote von 43,17 % auf 79,51 %. Diese Steigerung führt zu einer größeren Unabhängigkeit von Strompreisänderungen. [16]

Nun wurden die Gewinne der Varianten berechnet. Hierbei wurden eine jährliche Strompreissteigerung von 2,94 % und ein jährlicher Minderertrag der PV-Anlage von 0,8 % einbezogen. Für die Investitionskosten des Speichersystems wurde der durchschnittliche Marktpreis angesetzt zuzüglich 2.200 € Montagekosten. Die Kosten der PV-Anlage sind deren Realkosten (brutto 139.230,00 € ohne bzw. 167.819,65 € mit Batteriespeicher). Daraus ergab sich, dass sich die Amortisationszeit der Anlage durch den zusätzlichen Speicher nicht wesentlich verkürzen lässt (siehe Abbildung 59).

In den letzten Jahren ist ein Preisrückgang von einem Prozent pro Jahr für Batteriespeichersysteme zu beobachten. Somit ist auch weiterhin über eine Einbindung nachzudenken. Es ist damit zu rechnen, dass die PV-Anlage auch nach den 20 Jahren Vergütungszeit noch Strom produziert. Ab diesem Zeitpunkt wird die erhöhte Eigennutzung des Stroms wesentlich rentabler.

Allgemein werden Batteriespeicher immer interessanter, da die Vergütung des Solarstroms immer weiter sinkt und der Strompreis steigt. Zudem können bestimmte Batteriesysteme das Haus bei etwaigen Stromausfällen weiter mit Strom versorgen.

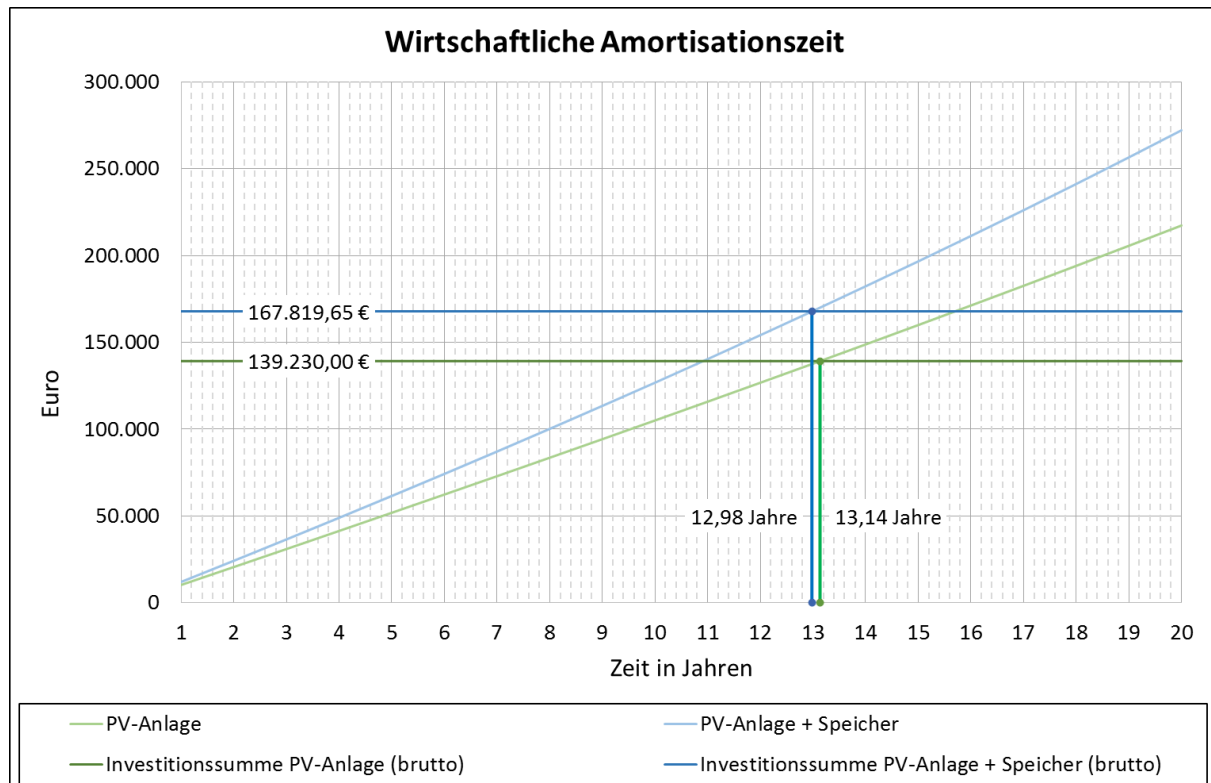


Abbildung 59: Amortisationszeiten der PV-Anlage und der PV-Anlage in Verbindung mit einem Batteriespeicher

In Abbildung 59 sind die kumulierten Gewinne der Solaranlage durch die Einspeisevergütung (hellgrün) und der PV-Anlage plus Speicher durch Einspeisevergütung und Stromkostenersparnis (hellblau) zu sehen. Des Weiteren sind die Investitionssummen der beiden Varianten dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die PV-Anlage nach voraussichtlich 13,14 Jahren (Schnittpunkt der grünen Linien), die PV-Anlage zusammen mit dem Speicher schon nach 12,98 Jahren (Schnittpunkt der blauen Linien) die Investitionskosten erwirtschaftet haben.

Die Anschaffung eines Speichers ist aus wirtschaftlicher Sicht nicht rentabel. Jedoch kann durch die Batterie der Eigenverbrauch deutlich angehoben werden, was vor allem nach Ablauf der Einspeisevergütung für den Betreiber durchaus sinnvoll sein kann. Zu diesem Zeitpunkt werden die Speicher günstiger sein, weshalb spätestens zu diesem Zeitpunkt die Anschaffung eines Batteriespeichers anzuraten ist.

8.2.2 Weitere Verbesserungspotentiale

- Im Rahmen des Untersuchungszeitraums gab es vor allem große Probleme mit der Wärmepumpe, was sich auch an den Messergebnissen erkennen lässt. Für einen effizienten Betrieb ist die Wärmepumpe unabdingbar. Es stellte sich heraus, dass die Steuerung der Heizungstechnik nicht optimal abgestimmt ist. So wird beispielsweise die Wärmepumpe deaktiviert, wenn der Pelletkessel in Betrieb geht. Hier muss dringend steuerungstechnisch eingegriffen werden, damit die Wärmepumpe durchläuft und der Pelletkessel nur bei Bedarf zuschaltet. Des Weiteren ist Komplexität des Heizungssystems vom Nutzer nicht überschaubar. Dies liegt auch an den unterschiedlichen Herstellern. Ein Produkt aus einer Hand wäre hier sinnvoller.
- Bei der Auswertung der Temperaturen im Grauwassertank zeigt sich, dass sich die Flüssigkeit in den Tanks nicht optimal durchmischt. So geht die Flüssigkeit wärmer aus dem Tank als sie es an den Wärmetauschern im Boden der Tanks ist. Hier wäre eine Änderung der Ein- bzw. Einlauföffnungen sinnvoll, um eine bessere Durchmischung zu erreichen. Des Weiteren wurde festgestellt, dass der Einlauf des Öfteren verstopfte und damit das warme Wasser über den Überlauf direkt in den Abfluss lief. Hier sollten regelmäßige Kontrollen Abhilfe schaffen.
- Die optionale Außenluftbeimischung zur Steigerung der Quelltemperatur im Abluftkühlmodul der Wärmepumpe konnte aufgrund der langen Ausfallzeiten der Wärmepumpe nicht evaluiert werden. Eine detaillierte simulationstechnische Untersuchung hat jedoch gezeigt, dass die Gesamteffizienz bei einer Temperaturdifferenz von 7-9 Kelvin als Einschaltbedingung am größten ist. Die Einstellung sollte von derzeit 5 Kelvin dahingehend angepasst werden. Zudem konnte festgestellt werden, dass der Sensor für die Außenlufttemperatur im innenliegenden Frischluftkanal positioniert ist. Die Folge sind deutlich zu hohe Messwerte und ein Fehlverhalten der Regelung. Ein Anpassen der Messposition ist zwingend erforderlich.

9 Literatur und Quellenangaben

- [1] Bergmann, A; Erhorn, H; Geiger, M.; Haug, I; Fraunhofer-Institut für Bauphysik: *Begleitforschungsprojekt Effizienzhaus Plus, Steckbrief 27, LaVidaVerde*, Projektportrait, 2015
- [2] Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (Hrsg.): *Werkzeug zur Berechnung von Gradtagszahlen und Heizgradtagen*, Excel-Datei, unter: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls (abgerufen am 25.05.2015)
- [3] Kintlein & Ose GmbH & Co. KG: *Dokumentation der Anlagensimulation zum Projekt PVA Berlin-Lichtenberg LaVidaVerde*, Bericht, 2014
- [4] Beetstra, Ferdinand; Dr. Beetstra + Körholz: *Rechnerischer Nachweis Energieplus, LaVidaVerde, Sophienstr. 35, 10317 Berlin*, Bericht, 2014
- [5] Gerloff, Dora; Ingenieurbüro D. Gerloff: *Projekt- und Ergebnis-Dokumentation für die Bedarfsberechnung nach DIN 18599, LaVidaVerde, Sophienstr. 35, 10317 Berlin*, Bericht, 2014
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): *Leitfaden für das Monitoring*, Anlage 2 der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte „Plus-Energie-Haus-Standard“, 2011
- [7] DIN 277-1: *Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau*; Deutsche Fassung DIN 277-1:2016-01
- [8] DIN EN 15221-6: *Facility Management - Teil 6: Flächenbemessung im Facility Management*; Deutsche Fassung EN 15221-6:2011
- [9] Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI): *Kostenplaner 17 und BKI Baukostendatenbank 2014/2015*, Software, 2015
- [10] Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI): *BKI Objektdaten Energieeffizientes Bauen E6*, Buch, 2015, ISBN 978-3-941679-95-5
- [11] Ergün, Johnny; Masterarbeit: „Optimierung einer Regelstrategie für eine Abluftanlage mit optionaler Außenluftbeimischung zur Steigerung der Quelltemperatur zum effizienten Betrieb einer Wärmepumpe“ an der HTW-Berlin; 13.07.2016
- [12] Leusden und Freymark: *Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch*, Gesundheitsingenieur (Heft 16, 1951)
- [13] TÜV SÜD SZA Österreich: *Prüfbericht für Fröling P4 Pellet 30 (Zeichen K44302)*, Prüfbericht; 03.05.2007
- [14] Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.), *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, Buch, 74. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, 2010, ISBN 978-3-8356-3134-2
- [15] VDI 3807: *Verbrauchskennwerte für Gebäude - Teil 1: Grundlagen*; Deutsche Fassung VDI 3807:2013-06
- [16] Ristok, Valeri; Bachelorarbeit: „Optimierung des Eigenverbrauchs von photovoltaisch erzeugtem Strom am Beispiel des Energie-Plus-Hauses LaVidaVerde“ an der HTW Berlin; 16.03.2017

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan (links) und Fassadenansicht des LVV-Gebäudes.	7
Abbildung 2: Grundriss im 2.OG des LVV-Gebäudes [1].	7
Abbildung 3: Zuluftelement im Fensterrahmen (links) und Bedieneinheit für die Nutzer (rechts). ..	9
Abbildung 4: Abluftkühlgerät TSAK 1700 mit Regelungseinheit (links), LTS Sole-Wasser- Wärmepumpe (Mitte) und Fröling P4 Pelletkessel (rechts) im Heizungsraum des LVV-Gebäudes...	10
Abbildung 5: Blick auf die Photovoltaikanlage auf dem Dach des LVV-Gebäudes [Quelle: http://lavidaver.de/ , abgerufen am 01.06.2015].	13
Abbildung 6: Strangschemata für die Photovoltaikanlage [3].	13
Abbildung 7: Bilanzräume für das Monitoring des LVV-Gebäudes.	20
Abbildung 8: Schema für die Energiebilanzierung des LVV-Gebäudes.	21
Abbildung 9: Foto der Wetterstation (links) und Detailzeichnung der Mast-Befestigung (rechts). ..	22
Abbildung 10: Landis+Gyr Wärmemengenzähler zur Ermittlung der gelieferten Wärmemenge der Wärmepumpe (links) sowie Diehl Metering Wärmemengenzähler zur Bestimmung der Energienmengen von Zirkulation und Verbrauch der Warmwasserbereitung (rechts).	24
Abbildung 11: Zählerkonzept für die elektrische Energieversorgung des LVV-Gebäudes.....	24
Abbildung 12: Zählerkonzept für die elektrische Verbrauchsdatenerfassung im LVV-Gebäude.	25
Abbildung 13: Abluftgerät (links unten), Master für die Wohnungslüftung (links oben) und Regelungseinheit mit angeschlossener Programmierschnittstelle für das Monitoring (rechts).	26
Abbildung 14: Fröling-Connect Webinterface (links) und Pelletkessel im LVV-Gebäude (rechts). ...	27
Abbildung 15: Wechselrichter (links) und Solar-Log-Datenlogger (rechts) der PV-Anlage [Quelle: http://shop.wiregate.de/ , abgerufen am 30.03.2015].	28
Abbildung 16: Exemplarische Darstellung des verwendeten Sensortyps zur Temperatur- und Feuchtemessung der Raumluft [Quelle: http://shop.wiregate.de/ , abgerufen am 08.06.2015].	28
Abbildung 17: Schema für die Grauwasserbereitung mit Sensorpositionierung.	29
Abbildung 18: Schaltschrank zur zentralen Messdatenerfassung.	30
Abbildung 19: Schema für die Leitungsführung im LVV-Gebäude zur automatisierten Datenerfassung [Quelle der hinterlegten Schnittzeichnung: Dr. Beetstra + Körholz].	31
Abbildung 20: Schema für das realisierte Monitoringkonzept im LVV-Gebäude.	32
Abbildung 21: Mittlere monatliche Strahlungsintensitäten im gesamten Messzeitraum	33
Abbildung 22: mittlerer monatliche Außentemperaturen im gesamten Messzeitraum.....	34
Abbildung 23: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch für die technische Gebäudeausrüstung gegliedert nach Verbrauchergruppen.	37
Abbildung 24: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch unterteilt in Verbrauchergruppen.	40
Abbildung 25: Gegenüberstellung von elektrischer Energiegewinnung und /-verbrauch auf Basis von Monatswerten.	42
Abbildung 26: Jahresübersicht elektrische Energie Messperiode 1.....	43

Abbildung 27:Jahresübersicht elektrische Energie Messperiode 2.....	43
Abbildung 28: Eigenverbrauch und Autonomiequote der elektrischen Energiegewinnung	44
Abbildung 29: Monatlicher Wärmeverbrauch unterteilt in Verbrauchergruppen und Erzeugeranteil für die beiden Messperioden zwischen Februar 2015 und Januar 2017	45
Abbildung 30: Übersicht der Wärmeverteilung für Messperiode 1 (alle Werte in kWh). Hinweis: Die Endenergie für Pellets wurde näherungsweise über den thermischen Kesselwirkungsgrad (0,934) aus der Messung für die gelieferte Wärmemenge des Pelletkessels rechnerisch ermittelt.	48
Abbildung 31: Übersicht der Wärmeverteilung für Messperiode 2 (alle Werte in kWh) Hinweis: Die Endenergie für Pellets wurde näherungsweise über den thermischen Kesselwirkungsgrad (0,934) aus der Messung für die gelieferte Wärmemenge des Pelletkessels rechnerisch ermittelt.	48
Abbildung 32: Klimabereinigter Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung unterteilt in die Verbrauchergruppen Heizung, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie. Die dargestellten Bedarfswerte nach DIN 18599 für Heizung und Trinkwarmwasser enthalten den Hilfsenergiebedarf anteilig.	51
Abbildung 33: Wärmeerzeugung und Leistungszahl der Wärmepumpe	52
Abbildung 34: Schema Grauwassertanks und Wärmetauscher.....	52
Abbildung 35: Temperaturen im Grauwassertank	53
Abbildung 36: Zeitreihendiagramm für die elektrische Leistungsaufnahme und den Luftvolumenstrom der Lüftungsanlage. Dargestellt ist der Tagesverlauf am 15.06.2015 in stündlicher Auflösung.....	54
Abbildung 37: Luftfeuchte/Volumenstrom Verhältnis [11].....	55
Abbildung 38: Zeitverlauf Volumenstrom und rel. Feuchte: Stoßlüftung in den Nachtstunden [11]	56
Abbildung 39: Zeitverlauf von Volumenstrom und relativer Feuchte: Feuchtigkeitsanstieg [11]	57
Abbildung 40: Tagesverlauf der Außenlufttemperatur am 02.05.2015 gemessen durch die Wetterstation und durch das Lüftungsgerät (oben) sowie deren Differenz (unten).	58
Abbildung 41: Innenraumtemperaturen Sommer.....	59
Abbildung 42: Innenraumtemperaturen Winter	60
Abbildung 43: Behaglichkeitsdiagramm WE 1.2.....	62
Abbildung 44: Behaglichkeitsdiagramm WE 1.5	62
Abbildung 45: Behaglichkeitsdiagramm WE 2.2	63
Abbildung 46: Behaglichkeitsdiagramm WE 3.1	63
Abbildung 47: Behaglichkeitsdiagramm Winter.....	64
Abbildung 48: Behaglichkeitsdiagramm Sommer	64
Abbildung 49: Erzeugte und verbrauchte Endenergie nach Energieträgern.....	65
Abbildung 50: Benchmark für nutzflächenspezifische Kostenkennzahlen des LVV-Gebäudes mit Referenzbauten der BKI Objektdatenbank.	67
Abbildung 51: Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1	73
Abbildung 52: Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2.....	74
Abbildung 53:Kumulierter und klimabereinigter Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 175	
Abbildung 54:Kumulierter und klimabereinigter Endenergiebezug und -lieferung in Messperiode 275	

Abbildung 55: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1	76
Abbildung 56: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2	76
Abbildung 57: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 1 mit Klimabereinigung und Vergleich mit den prognostizierten Werten	77
Abbildung 58: Primärenergiebezug und -lieferung in Messperiode 2 mit Klimabereinigung und Vergleich mit den prognostizierten Werten.	78
Abbildung 59: Amortisationszeiten der PV-Anlage und der PV-Anlage in Verbindung mit einem Batteriespeicher	79
Abbildung 60: Hydraulisches Schema der Heizzentrale mit Positionierung der Wärmemengenzähler [Quelle: Lufttechnik Schmeisser GmbH, Hinweis: Wärmemengenzähler nachträglich durch die HTW-Berlin eingezeichnet].	89
Abbildung 61: Strangschema für das 1-Wire-Netzwerk im LVV-Gebäude.	93

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Kenndaten des LVV-Gebäudes.	6
Tabelle 2: Berechnete U-Werte und Dämmstärken für Bauteile der thermischen Gebäudehülle.....	8
Tabelle 3: Technische Kenndaten des Abluftkühlgerätes TSAK-1700.	10
Tabelle 4: Kenndaten der eingesetzten Wärmepumpe (Lufttechnik Schmeißer GmbH, Typ 4.0 kW) im LVV-Gebäude.	11
Tabelle 5: Kenndaten des Pellet-Kessels Fröling P4 / 20 im LVV-Gebäude.....	11
Tabelle 6: Technische Eigenschaften der eingesetzten Wärmespeicher.	12
Tabelle 7: Prognostizierter Ertrag und Anlagenperformance der Photovoltaikanlage [3].	13
Tabelle 8: Nutz- und Endenergiebedarf des LVV-Gebäudes	15
Tabelle 9: Energiebedarf, Energieerzeugung und Energiedeckung.....	16
Tabelle 10: Ergebnisse der Bedarfsberechnung nach DIN 18599.....	17
Tabelle 11: Effizienzbewertung für die Teilsysteme der TGA auf Grundlage der Bedarfsberechnung nach DIN 18599.....	17
Tabelle 12: Messgrößen und Kenndaten der Messgeräte für die Wetterstation.....	22
Tabelle 13: Gradtagzahlen am Standort des LVV-Gebäudes.	35
Tabelle 14: Jahressumme für den elektrischen Energieverbrauch für die Haustechnik	38
Tabelle 15: Jahressumme für den elektrischen Energieverbrauch unterteilt in Verbrauchsgruppen 41	
Tabelle 16: Jahressummen und prozentuale Anteile der Wärmeverbraucher (vom Pufferspeicher bezogene Wärmemengen sowie Speicher- und Leitungsverluste).....	46
Tabelle 17: Jahressummen und prozentuale Anteile der Wärmeerzeugung (zum Pufferspeicher gelieferte Wärmemengen)	47
Tabelle 18: Verbrauchte Pelletmenge und Endenergieverbrauch der Wärmeerzeugung für die Messperioden 1 und 2.....	50
Tabelle 19: Bezugsgrößen für die Kostenermittlung.	66
Tabelle 20: Brutto - Baukosten für das LVV-Gebäude. Neben den absoluten Brutto-Kosten sind die spezifischen Werte bezogen auf Wohnfläche, Nutzfläche, Netto- und Brutto-Grundfläche angegeben.	67
Tabelle 21: Benchmark für nutzflächenspezifische Kostenkennzahlen des LVV-Gebäudes mit Referenzbauten der BKI Objektdatenbank.	68
Tabelle 22: Kostenvergleich Gebäudehülle.....	68
Tabelle 23: Energieeinsparung durch Gebäudehülle	69
Tabelle 24: Kostenvergleich Anlagentechnik	69
Tabelle 25: Jährliche Energie- und Betriebskosten	70
Tabelle 26: Investitionskosten und Einsparungen der Energiekosten für 20 Jahre	70
Tabelle 27: Kostenzusammenstellung der bei Bezug des LVV-Gebäudes neu erworbenen Haushaltsgeräte.....	71

Tabelle 28: Übersicht der installierten Wärmemengenzähler im Heizungssystem des LVV-Gebäudes.	90
Tabelle 29: Übersicht der installierten elektrischen Energiezähler im LVV-Gebäude.	91
Tabelle 30: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche und Erzeugung von Februar 2015 bis Januar 2016 (Messperiode 1).	94
Tabelle 31: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche und Erzeugung von Februar 2016 bis Januar 2017 (Messperiode 2).	95
Tabelle 32: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche für Anlagentechnik und projektspezifischen Anteil von Februar 2015 bis Januar 2016 (Messperiode 1).	96
Tabelle 33: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche für Anlagentechnik und projektspezifischen Anteil von Februar 2016 bis Januar 2017 (Messperiode 2).	97
Tabelle 34: Zusammenfassung der thermischen Energieverbräuche von Februar 2015 bis Januar 2016 (Messperiode 1)	98
Tabelle 35: Zusammenfassung der thermischen Energieverbräuche von Februar 2016 bis Januar 2017 (Messperiode 2)	99

Anhang

A.1 Daten-CD

Inhalt der Daten CD:

- EnEV-Nachweis
- Rechnerischer Nachweis der Plus-Energiebilanz
- Dokumente zur Gebäudebeschreibung (Steckbrief, Poster, etc.)
- Technische Dokumentation der TGA (Lüftungsgerät, Wärmepumpe, Pelletkessel, etc.)
- Dokumentationen zum Monitoringsystem und der installierten Messtechnik

A.2 Projektbeschreibung LaVidaVerde / Leitgedanke

Mit dem Projekt LaVidaVerde realisieren die Bewohnerinnen und Bewohner eine gemeinsam entwickelte Idee von zukunftsorientiertem Wohnen und Leben in Berlin. Beispielhaft zeigen sie im Berliner Weitlingkiez, wie man aktuelle ökologische und soziale Herausforderungen mit einem Wohnprojekt angehen kann. Gebaut wurde ein Effizienzhaus Plus für eine heterogene Gruppe engagierter junger und alter Menschen, die sich bewusst für ein Projekt entschieden haben, das gemeinschaftliches Wohnen ebenso ermöglicht wie ressourcenschonendes Leben und politisches Arbeiten im und für den Kiez. Dabei beschränkt sich die Gemeinschaft nicht nur auf das Zusammenleben im Haus, sondern wird auch in der Realisierung gemeinsamer Ziele sichtbar. LaVidaVerde versteht sich als Leuchtturmprojekt, das seine Lösungen zu technischen und organisatorischen Fragen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich machen möchte. Dass ein Effizienzhaus Plus-Haus gebaut werden sollte, stand zunächst nicht im Vordergrund. Vielmehr ging es der Bewohner/innengruppe darum,

- Wohnraum selbst zu verwalten und eigenverantwortlich zu handeln
- Gemeinschaftlich zu leben im Kiez
- einen bewussten Umgang mit Energie im Wohnbereich zu fördern
- Wohnraum so zu gestalten, dass Ressourcen gespart werden
- Selbst Energie zu erzeugen und
- Mittelfristig über eine Kiez-Energie-Initiative ein Beispiel dafür zu entwickeln, dass eine dezentrale Energieversorgung möglich ist.

Da das Haus den KfW40 Standard erfüllen sollte, war klar, dass ein ambitioniertes Energieversorgungskonzept umgesetzt werden muss. Die Effizienzhaus Plus-Ausschreibung lieferte letztlich einen guten Rahmen, das Konzept zu konkretisieren und noch ein wenig zu erweitern. Die Gruppe wertet das Programm sehr positiv. Insbesondere das Monitoring und die enge Zusammenarbeit mit der HTW-Berlin waren von Anfang an ein Motivator, da davon ausgegangen werden muss, dass auch LaVidaVerde wie jedes Pilotprojekt seine Anfangsprobleme haben wird und Optimierungspotenziale birgt. Auch der Austausch während des Monitorings ist wichtig für die Gruppe, weil eine Diskussion über Energieverbräuche und Luftwechselraten notwendig ist, um das Haus zu verstehen.

Aktuell schreibt die Gruppe an einer „Gebrauchsanweisung“ für das Haus, die auch die Grundlage wird für die geplanten und ungeplanten Hausführungen, die bestimmt noch kommen werden.

Zitat LaVidaVerde: „Der Klimawandel findet statt. Wir wollen und können nicht darauf warten, dass sich Regierungen auf ein Reduktionsziel einigen und Maßnahmen ergreifen, sondern möchten mit gutem Beispiel vorangehen“.

LaVidaVerde arbeitet mit der Architektin Irmina Körholz und dem Projektsteuerer Ferdinand Beetstra zusammen, die über langjährige Erfahrungen mit Hausprojekten und der Bauplanung und -realisierung verfügen. Seit September 2013 ist mit Jörg Mauer ein weiterer Projektplaner an Bord, der LaVidaVerde bei Ausschreibungen, Vertragsverhandlungen und der Einhaltung des Kosten- und Zeitplans unterstützt. Weiterhin arbeitet LaVidaVerde mit dem Energiebüro Berlin zusammen, das ebenfalls zahlreichen Hausprojekte betreut.

A.4 Tabellarische Übersicht der installierten Wärmemengenzähler

Tabelle 28: Übersicht der installierten Wärmemengenzähler im Heizungssystem des LVV-Gebäudes.

Nr.	M-Bus Sekundäradresse	Versorgungsbereich	Hersteller	Q _n
				m ³ /h
1	68009061	Wohneinheit 0.1	Landis+Gyr T230	0,6
2	68009057	Wohneinheit 0.2	Landis+Gyr T230	0,6
3	68009055	Wohneinheit 0.3	Landis+Gyr T230	0,6
4	68009062	Wohneinheit 0.4	Landis+Gyr T230	0,6
5	68009065	Wohneinheit 0.5	Landis+Gyr T230	0,6
6	68009059	Wohneinheit 1.1	Landis+Gyr T230	0,6
7	68009054	Wohneinheit 1.2	Landis+Gyr T230	0,6
8	68009063	Wohneinheit 1.3	Landis+Gyr T230	0,6
9	68009058	Wohneinheit 1.4	Landis+Gyr T230	0,6
10	68009052	Wohneinheit 1.5	Landis+Gyr T230	0,6
11	68009066	Wohneinheit 2.1	Landis+Gyr T230	0,6
12	68009050	Wohneinheit 2.2	Landis+Gyr T230	0,6
13	68009060	Wohneinheit 2.3	Landis+Gyr T230	0,6
14	68009067	Wohneinheit 2.4	Landis+Gyr T230	0,6
15	68009053	Wohneinheit 3.1	Landis+Gyr T230	0,6
16	68009064	Wohneinheit 3.2	Landis+Gyr T230	0,6
17	68009056	Wohneinheit 3.3	Landis+Gyr T230	0,6
18	68009051	Wohneinheit 3.4	Landis+Gyr T230	0,6
19	8103994	Heizkreis	Landis+Gyr T230	2,5
20	68280110	WP Sekundär Kondensator Heißgas	Landis+Gyr T230	0,6
21	8103990	WP Sekundär Kondensator	Landis+Gyr T230	1,5
22	68103993	Erzeugung Pelletkessel	Landis+Gyr T230	2,5
23	68103992	WP Primär gesamt	Landis+Gyr T230	1,5
24	8103991	WP Primär Grauwasser	Landis+Gyr T230	1,5
25	49783307	WW Zirkulation	Diehl Hydrus / F8	1,5
26	49783296	WW Verbrauch	Diehl Hydrus / F8	6,3

A.5 Tabellarische Übersicht der installierten elektrischen Energiezähler

Tabelle 29: Übersicht der installierten elektrischen Energiezähler im LVV-Gebäude.

Nr.	M-Bus Sekundär- resse	Versorgungsbereich / Verbraucher	Hersteller	Typ
1	00800546	WE 0.5 Herd	Eltako	DSZ
2	13007593	WE 0.5 Beleuchtung	Finder	SZ
3	13007604	WE 0.5 Durchlauferhitzer	Finder	SZ
4	13007602	WE 0.5 Steckdosen Küche	Finder	SZ
5	00800596	WE 1.2 Herd	Eltako	DSZ
6	13007598	WE 1.2 Beleuchtung	Finder	SZ
7	13007592	WE 1.2 Durchlauferhitzer	Finder	SZ
8	13007628	WE 1.2 Steckdosen Küche	Finder	SZ
9	00800575	WE 1.5 Herd	Eltako	DSZ
10	13007601	WE 1.2 Beleuchtung	Finder	SZ
11	13007605	WE 1.2 Durchlauferhitzer	Finder	SZ
12	13007606	WE 1.2 Steckdosen Küche	Finder	SZ
13	00800583	WE 2.1 Herd	Eltako	DSZ
14	13007629	WE 2.2 Beleuchtung	Finder	SZ
15	13007626	WE 2.2 Durchlauferhitzer	Finder	SZ
16	13007627	WE 2.2 Steckdosen Küche	Finder	SZ
17	00800620	WE 2.3 Herd	Eltako	DSZ
18	13007801	WE 2.3 Beleuchtung	Finder	SZ
19	13007797	WE 2.3 Durchlauferhitzer	Finder	SZ
20	13007784	WE 2.3 Steckdosen Küche	Finder	SZ
21	00800571	WE 3.1 Herd	Eltako	DSZ
22	13007625	WE 3.1 Beleuchtung	Finder	SZ
23	13007624	WE 3.1 Durchlauferhitzer	Finder	SZ
24	13007613	WE 3.1 Steckdosen Küche	Finder	SZ
25	11012470	Wohneinheit 0.1 gesamt	Finder	DSZ
26	11012289	Wohneinheit 0.2 gesamt	Finder	DSZ
27	11012290	Wohneinheit 0.3 gesamt	Finder	DSZ
28	11012288	Wohneinheit 0.4 gesamt	Finder	DSZ
29	11012287	Wohneinheit 0.5 gesamt	Finder	DSZ
30	11012280	Wohneinheit 1.1 gesamt	Finder	DSZ

Nr.	M-Bus Sekundäradresse	Versorgungsbereich / Verbraucher	Hersteller	Typ
31	11012281	Wohneinheit 1.2 gesamt	Finder	DSZ
32	11012283	Wohneinheit 1.3 gesamt	Finder	DSZ
33	11012285	Wohneinheit 1.4 gesamt	Finder	DSZ
34	11012284	Wohneinheit 1.5 gesamt	Finder	DSZ
35	11012473	Wohneinheit 2.1 gesamt	Finder	DSZ
36	11012469	Wohneinheit 2.2 gesamt	Finder	DSZ
37	11012466	Wohneinheit 2.3 gesamt	Finder	DSZ
38	11012467	Wohneinheit 2.4 gesamt	Finder	DSZ
39	11012286	Wohneinheit 3.1 gesamt	Finder	DSZ
40	11012464	Wohneinheit 3.2 gesamt	Finder	DSZ
41	11012277	Wohneinheit 3.3 gesamt	Finder	DSZ
42	11012276	Wohneinheit 3.4 gesamt	Finder	DSZ
43	11012471	UV Heizung	Finder	DSZ
44	11012475	UV Waschmaschinen	Finder	DSZ
45	11012279	UV Garten	Finder	DSZ
46	11012468	UV Hauslicht / IT / Messtechnik	Finder	DSZ
47	(noch nicht in Betrieb)	UV Wasser	Finder	DSZ
48	(noch nicht in Betrieb)	Aufzug	Finder	DSZ
49	13007632	Lüftung	Finder	SZ
50	13007630	Pelletkessel	Finder	SZ
51	00800579	Wärmepumpe	Eltako	DSZ
52	13007631	Steuerung Heizung / Pumpen	Finder	SZ
53	14038600	HA Wirkenergie Bezug	Diehl M-Bus Schnittstelle	IMP
54	14038601	HA Wirkenergie Lieferung	Diehl M-Bus Schnittstelle	IMP
55	14038602	PV Wirkenergie Bezug	Diehl M-Bus Schnittstelle	IMP
56	14038603	PV Wirkenergie Lieferung	Diehl M-Bus Schnittstelle	IMP
Legende: WE – Wohneinheit, UV – Unterverteilung, HA – Hausanschluss, PV – Photovoltaik, SZ – Stromzähler einphasig, DSZ – Stromzähler dreiphasig, IMP – Impulszähler				

LaVidaverde: 1-Wire Strangschema



Abbildung 61: Strangschemata für das 1-Wire-Netzwerk im LVV-Gebäude.

A.7 Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse

Tabelle 30: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche und Erzeugung von Februar 2015 bis Januar 2016 (Messperiode 1).

Monat	Bezug		Photovoltaik		Anteil Verbrauchergruppen						Gesamt- verbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Ein- speisung	PV-Eigen- verbrauch	Hilfsenergie Anlagen- technik	Beleuchtung / IT- und Mo- nitoringtech- nik	Gemein- schafts- waschma- schinen	Summe Wohnungs- verbrauch	Grauwasser- aufbereitung	Garten	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Feb 15	1.466	3.697	2.846	851	563	148	128	1.253	-	2	2.317
Mrz 15	1.563	6.033	4.754	1.279	1.075	158	136	1.303	-	1	2.842
Apr 15	1.173	9.404	7.928	1.476	1.070	169	114	1.069	-	1	2.649
Mai 15	1.063	9.938	8.040	1.898	1.062	334	141	1.177	-	-	2.961
Jun 15	801	9.476	7.995	1.481	715	204	125	1.138	-	1	2.282
Jul 15	771	9.615	8.204	1.411	722	180	133	1.039	-	7	2.182
Aug 15	791	10.088	8.921	1.167	676	159	101	920	-	8	1.958
Sep 15	1.054	6.949	5.868	1.081	553	168	129	1.169	-	23	2.135
Okt 15	1.916	4.288	3.295	993	1.033	160	155	1.464	-	8	2.909
Nov 15	2.221	1.769	1.057	712	578	149	322	1.781	-	9	2.933
Dez 15	2.084	1.374	807	567	271	154	130	1.995	-	7	2.651
Jan 16	2.152	1.091	637	454	324	183	145	1.856	-	7	2.606
Summe	17.054	73.722	60.352	13.370	8.642	2.166	1.759	16.163	-	73	30.425

Tabelle 31: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche und Erzeugung von Februar 2016 bis Januar 2017 (Messperiode 2).

Monat	Bezug		Photovoltaik		Anteil Verbrauchergruppen						Gesamt- verbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Ein- speisung	PV-Eigen- verbrauch	Hilfsenergie Anlagen- technik	Beleuchtung / IT- und Moni- toring- technik	Gemein- schafts- waschma- schinen	Summe Wohnungs- verbrauch	Grauwasser- aufbereitung	Garten	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Feb 16	1.338	2.614	1.910	704	278	150	138	1.380	-	5	2.042
Mrz 16	1.104	4.941	4.016	925	291	163	150	1.342	-	6	2.029
Apr 16	762	7.925	6.788	1.137	274	162	144	1.223	-	6	1.899
Mai 16	724	10.152	8.785	1.367	455	164	144	1.209	-	16	2.091
Jun 16	518	9.905	8.824	1.081	197	163	113	1.026	-	15	1.599
Jul 16	520	8.772	7.690	1.082	221	158	132	992	-	13	1.602
Aug 16	588	8.440	7.517	923	222	151	118	924	-	6	1.511
Sep 16	823	8.030	7.105	925	215	144	147	1.134	-	7	1.748
Okt 16	1.300	2.680	1.949	731	278	148	156	1.350	-	6	2.031
Nov 16	1.526	2.029	1.399	630	412	147	145	1.398	-	8	2.156
Dez 16	1.987	1.190	707	483	525	159	149	1.551	-	9	2.470
Jan 17	2.302	1.277	740	537	742	163	154	1.692	-	5	2.839
Summe	13.490	67.955	57.430	10.525	4.111	1.875	1.691	15.220	-	103	24.015

Tabelle 32: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche für Anlagentechnik und projektspezifischen Anteil von Februar 2015 bis Januar 2016 (Messperiode 1).

Monat	Hilfsenergie Anlagentechnik (Summe in Tabelle 29)				Projektspezifischer Verbraucher
	Lüftung	Heizkessel	Heizungssteuerung und Pumpen	Wärmepumpe	Grauwasser-aufbereitung
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Feb 15	118	76	52	318	-
Mrz 15	285	65	52	672	-
Apr 15	425	34	33	577	-
Mai 15	436	8	11	605	-
Jun 15	282	-	5	427	-
Jul 15	364	-	5	353	-
Aug 15	358	-	5	309	-
Sep 15	141	-	5	405	-
Okt 15	159	21	38	813	-
Nov 15	136	41	38	361	-
Dez 15	164	60	42	3	-
Jan 16	180	85	53	3	-
Summe	3.049	390	338	4.846	-

Tabelle 33: Zusammenfassung der elektrischen Energieverbräuche für Anlagentechnik und projektspezifischen Anteil von Februar 2016 bis Januar 2017 (Messperiode 2).

Monat	Hilfsenergie Anlagentechnik (Summe in Tabelle 30)				Projektspezifischer Verbraucher
	Lüftung	Heizkessel	Heizungssteuerung und Pumpen	Wärmepumpe	Grauwasser-aufbereitung
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Feb 16	152	71	50	3	-
Mrz 16	164	75	46	3	-
Apr 16	165	66	38	3	-
Mai 16	175	26	13	238	-
Jun 16	158	27	5	5	-
Jul 16	171	40	5	3	-
Aug 16	177	34	5	3	-
Sep 16	163	42	5	3	-
Okt 16	177	46	33	20	-
Nov 16	179	65	36	128	-
Dez 16	194	81	33	209	-
Jan 17	195	89	40	416	-
Summe	2.069	663	309	1.036	-

Tabelle 34: Zusammenfassung der thermischen Energieverbräuche von Februar 2015 bis Januar 2016 (Messperiode 1)

Monat	Erzeuger- anteil Pelletkessel	prozen- tual	Erzeugeran- teil Wärme- pumpe	prozen- tual	Summe	Zirkulation Warmwasser	Verbrauch Warmwasser	Verbrauch Heizung	Speicher- und Leitungsver- luste
	kWh	%	kWh	%	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Feb. 15	7690,00	0,87	1154,26	0,13	8844,26	55,00	1092,20	7164,00	533,06
Mrz. 15	4163,00	0,63	2466,98	0,37	6629,98	41,00	1105,90	5255,00	228,08
Apr. 15	2793,00	0,61	1757,00	0,39	4550,00	61,00	951,90	3212,00	325,10
Mai. 15	101,00	0,06	1629,00	0,94	1730,00	56,00	1057,30	365,00	251,70
Jun. 15	0,00	0,00	1239,00	1,00	1239,00	57,00	955,60	0,00	226,40
Jul. 15	0,00	0,00	1042,00	1,00	1042,00	59,00	775,50	0,00	207,50
Aug. 15	0,00	0,00	936,00	1,00	936,00	54,00	678,40	0,00	203,60
Sep. 15	0,00	0,00	1145,00	1,00	1145,00	61,00	870,30	0,00	213,70
Okt. 15	2209,00	0,46	2614,00	0,54	4823,00	66,00	1023,40	3500,00	233,60
Nov. 15	4298,00	0,81	1037,00	0,19	5335,00	40,00	1137,00	3995,00	163,00
Dez. 15	7328,40	1,00	0,00	0,00	7328,40	26,44	1181,70	5898,10	222,16
Jan. 16	9068,60	1,00	0,00	0,00	9068,60	10,56	1030,40	7849,90	177,74
Summe	37.651,00	0,71	15.020,24	0,29	52.671,24	587,00	11859,60	37239,00	2985,64

Tabelle 35: Zusammenfassung der thermischen Energieverbräuche von Februar 2016 bis Januar 2017 (Messperiode 2)

Monat	Erzeuger- anteil Pelletkessel	prozen- tual	Erzeugeran- teil Wärme- pumpe	prozen- tual	Summe	Zirkulation Warmwasser	Verbrauch Warmwasser	Verbrauch Heizung	Speicher- und Leitungsver- luste
	kWh	%	kWh	%	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Feb. 16	7998,00	1,00	0,00	0,00	7998,00	17,00	958,60	6844,00	178,40
Mrz. 16	7524,00	1,00	0,00	0,00	7524,00	38,00	1036,70	6231,00	218,30
Apr. 16	3436,00	1,00	0,00	0,00	3436,00	36,00	1032,20	2154,00	213,80
Mai. 16	965,00	0,61	630,00	0,39	1595,00	49,00	973,00	317,00	256,00
Jun. 16	1062,00	1,00	4,00	0,00	1066,00	30,00	693,50	0,00	342,50
Jul. 16	1338,00	1,00	0,00	0,00	1338,00	71,00	798,20	0,00	468,80
Aug. 16	1221,00	1,00	0,00	0,00	1221,00	71,00	670,50	1,00	478,50
Sep. 16	1369,00	1,00	0,00	0,00	1369,00	73,00	842,00	0,00	454,00
Okt. 16	5572,55	1,00	15,76	0,00	5588,31	184,76	1074,75	4084,18	244,62
Nov. 16	7720,45	0,98	122,24	0,02	7842,69	178,24	1139,65	6428,82	95,98
Dez. 16	9207,00	0,98	191,00	0,02	9398,00	183,00	1149,70	7763,00	302,30
Jan. 17	10319,00	0,90	1106,00	0,10	11425,00	191,00	1357,50	9662,00	214,50
Summe	57.732,00	0,97	2.069,00	0,03	59.801,00	1122,00	11726,30	43485,00	3467,70