

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 28

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
Licht + Luft
in Tübingen

Forschungsprogramm

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

Messperiode

März 2014 bis Februar 2016

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-12.16

im Auftrag

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

bearbeitet von

Prof. Dr. habil. Ursula Eicker
Dr. Tobias Erhart, M.Sc., Dipl.-Ing.(FH)
Hochschule für Technik Stuttgart

Effizienzhaus Plus „Licht und Luft“

Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger:
Hochschule für Technik Stuttgart

Projekträger:
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen: F50-12-1-264

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2013 - 31.12.2016

Datum: 15.11.2016

Projektleitung: Prof. Dr. habil. Ursula Eicker

Autor: Dr. Tobias Erhart, M.Sc., Dipl.-Ing.(FH)
Zentrum für Nachhaltige Energietechnologie - zafh.net
Hochschule für Technik Stuttgart
Schellingstrasse 24
70174 Stuttgart

Dokumentenummer: 122-003-13P V1.1

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Danksagung

Für die gute Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern und Projektbeteiligten möchten wir uns an dieser Stelle ganz herzlich bedanken. An der Umsetzung des Projekts waren folgende Projektpartner und ausführende Firmen beteiligt:

Bauherr:	Baugemeinschaft "Licht + Luft", Tübingen (9 Familien)
Planung:	Wamsler Architekten, Markdorf
Projektsteuerung:	Lucia Landenberger, Tübingen
Bauleitung:	Mey Bauleitung
Tragwerksplanung:	Schneck, Schaal, Braun, Tübingen
TGA-Planer:	TRANSPLAN ,Stuttgart & IB Fischer Tübingen
Vermessung:	Eissler, Nehren
PV-Beratung:	Hartmut Maurus, Konstanz
Drucktest:	IB Fischer (ebök) Tübingen
Zertifizierung:	Berechnung PHPP durch Wamsler Architekten
Zertifizierung:	PHI + PHD, Darmstadt / dena, Berlin
Rohbau:	ROLO, Zwiefalten
Pfahlgründung:	CentrumPfähle, Eggenstein
Abdichtung "WU":	Hydraton, Frickenhausen
Zimmerer:	Holzbau Seeburger, Irslingen
Fassade:	Holzbau Leopold GmbH, Rottweil
Fensterbau:	Wiegand Fensterbau, Hatzfeld-Holzhausen
Dachabdichtung:	Teer-Volz GmbH, Stuttgart
HLS:	Schreiner, Tübingen
Elektro:	Zug, Rottenburg-Weiler
Aufzug:	OTIS, Frau Zumm, Sigmaringendorf
Estrich:	Osterland, Stuttgart - Vaihingen
Schreinerei:	Reihling, Hohenstein - Bernloch
Sonnenschutz:	Reichle Rolladen, Römerstein
Metallbau:	Strasser, Tübingen
Trockenbau:	Böhringer GmbH, Weinstadt (Großheppach)
PV-Anlage:	Ruoff Energietechnik, Riederich
Energiespeicher:	Sonnen GmbH, Wildpoldsried
Ladestationen:	Walther Werke, Eisenberg
HLS-Monitoring:	Molline, Stuttgart
Monitoring:	Relay GmbH, Paderborn Stark Elektronik GmbH, Wittelhofen

Für die Unterstützung während des Projekts geht ein herzliches Dankeschön an Andreas Trinkle (Datenbankprogrammierung), Eric Duminil (Photovoltaikprognose) und Nansi Palla. Für ihren Beitrag zu den Ergebnissen möchten wir auch den beteiligten Masterstudenten danken.

Des Weiteren soll die sehr gute Zusammenarbeit mit der BG bzw. WEG Licht&Luft, speziell mit Herrn Buß und Herrn Dr. Schuhmacher, nicht unerwähnt bleiben.

Inhalt

1	Kurzfassung	5
2	Kontext und Zielsetzung	6
3	Gebäudesteckbrief	7
3.1	Allgemeine Daten	7
3.2	Architektur	8
3.3	Wärmeschutz	12
3.4	Anlagentechnik	14
3.4.1	Thermische Systeme	14
3.4.2	PV-Anlage/ Energiespeicher / Mobilität	14
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	18
3.6	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599	20
4	Monitoring	22
4.1	Messkonzept	22
4.2	Verwendete Messtechnik	25
4.3	Datenverarbeitung	30
5	Meteorologische Randbedingungen	32
5.1	Solarstrahlung	32
5.2	Außenluftbedingungen	33
5.3	Klimabereinigung	34
6	Messergebnisse	36
6.1	Stromverbrauch	36
6.1.1	Stromverbrauch für Hausbetrieb	36
6.1.2	Stromverbrauch des projektspezifischen Anteils	37
6.1.3	Stromverbrauch für Elektromobilität	37
6.1.4	Gegenüberstellung von Stromverbrauch, -gewinnung, Eigenstromnutzung und Speicherbetrieb	37
6.2	Anlagenperformance	42
6.2.1	Wärmeerzeuger	42

6.2.2	Lüftungsanlage	42
7	Wirtschaftlichkeit	43
7.1.1	Baukosten	43
7.1.2	Laufende Kosten und Tarife	44
7.1.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung	45
7.1.4	Kosten Haushaltsgeräte.....	46
8	Bewertung	48
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes.....	48
8.2	Wirtschaftlichkeit.....	48
8.3	Behaglichkeit, Wohnkomfort.....	48
8.4	Luftqualität	51
8.5	Verbesserungspotentiale	54
8.5.1	Lüftung	54
8.5.2	Hohe Temperaturen.....	54
8.5.3	Batterieanpassung	55
8.5.4	Elektromobilität.....	55
9	Literatur	56
10	Anhang A.....	59
11	Anhang B.....	65
12	Anhang C.....	74

1 Kurzfassung

Im Stadtteil Lustnau in Tübingen wurde 2014 ein Mehrfamilienhaus mit neun Wohneinheiten (1228 m² Bezugsfläche A_N) nach dem neuesten Stand der Technik fertiggestellt. Die Wohnungseigentümergeinschaft hatte sich dazu entschlossen mit dem Bau einen Plus-Energiestandard zu erreichen. Baubeginn war im Oktober 2012, die ursprünglich geplante Bauzeit von einem Jahr konnte nicht ganz eingehalten werden. Der Bezug des Hauses fand zwischen Januar und März 2014 statt.

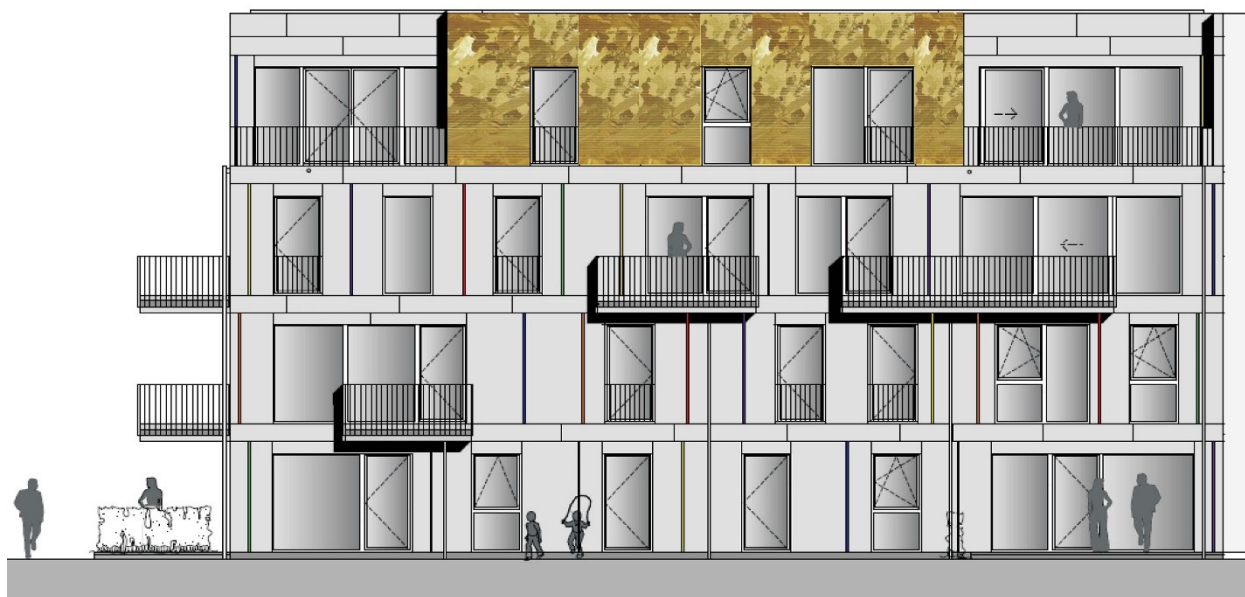


Abbildung 1: Modellvorhaben Licht&Luft in Tübingen Lustnau, Rückansicht [Architekt Wamsler].

Das Wohnkonzept beinhaltet einen Anschluss an das biomassebefeuerte Nahwärmenetz der Stadtwerke Tübingen (Klärgas-BHKW). Das Konzept integriert Photovoltaik (35 kW_p), Elektromobilität (drei Ladeplätze) und elektrische Energiespeicher (Kapazität 40 kWh brutto). Somit soll der solare Deckungsanteil der Stromnutzung maximiert werden.

Die Überwachung des Energiekonzepts wurde im Rahmen eines wissenschaftlichen Begleitprojekts vom Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) durchgeführt. Als Modellvorhaben „Licht&Luft“ nahm die Baugemeinschaft an der Forschungsinitiative „ZukunftBau- Effizienzhaus Plus“ (BMUB) teil. Ziel der Untersuchungen war es alle relevanten Energieströme für Haushalt, Anlagentechnik und Mobilität hochaufgelöst zu erfassen. Zusätzlich wird der Wohnkomfort (Temperatur und relative Feuchte) anhand dreier Wohnzonen (Wohnen, Schlafen, Kinderzimmer bzw. Büro) pro Einheit überprüft. Die so gewonnenen Daten zeigen die Leistungsfähigkeit des Konzepts und bieten Informationen zur weiteren Verbesserung. Nach Abschluss der Bauarbeiten und der Einrichtungsphase wurde das Objekt in einer 24 Monate langen Monitoringphase überwacht und ausgewertet.

Die Auswertungen und Erfahrungen der Monitoringergebnisse zusammengefasst erbrachten folgende Ergebnisse:

- Das Gebäude erreichte bereits im ersten Betriebsjahr einen Primärenergieüberschuss. Ein Überschuss an Endenergie ist bei der Anbindung an Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung nach aktuellen Berechnungsverfahren nicht möglich.
- Der Einbau eines elektrischen Speichers erhöhte den Eigennutzungsanteil von Photovoltaikstrom signifikant.
- Der prognostizierte Bedarf für Trinkwarmwasser und Heizung wurde deutlich unterschritten. Strombedarf, Photovoltaikertrag und Heizwärmebedarf wurden richtig prognostiziert.
- Der größte Einzelverbraucher im Haus ist die Lüftungsanlage. Der Einsatz einer CO₂-geregelten Belüftung könnte den Energiebedarf für Lüftung deutlich reduzieren.
- Die Energieerzeugung und -speicherung ist im vorliegenden Fall nur dann wirtschaftlich, wenn die Strompreise zukünftig stark ansteigen. Dieser Umstand ist auf die Investition in vergleichsweise teure Fassadenmodule zurückzuführen.
- Die Bewohner sind mit dem Wohnkomfort und dem Innenraumklima zufrieden bis sehr zufrieden.
- Das Innenraumklima, die Luftqualität und die Behaglichkeit sind nach den Kriterien der DIN EN 15251 bzw. der DIN EN ISO 7730 als sehr gut zu bewerten.

2 Kontext und Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist die ganzheitliche energetische Analyse eines Plus-Energiehauses und dessen Bewertung und Optimierung. Eingeschlossen ist hierbei auch der Bereich Mobilität. Das Monitoring soll notwendige Informationen liefern, die Rückschlüsse auf das Potential und die Grenzen einzelner Maßnahmen zulassen. Durch eine hohe Datendichte (15-minütiger Zyklus) kann das Verhalten der Bewohner sowie die klimatischen Bedingungen genauestens analysiert werden. Hinzu kommt die engmaschige Wohnklimamessung von mehreren Wohnbereichen.

3 Gebäudesteckbrief

3.1 Allgemeine Daten

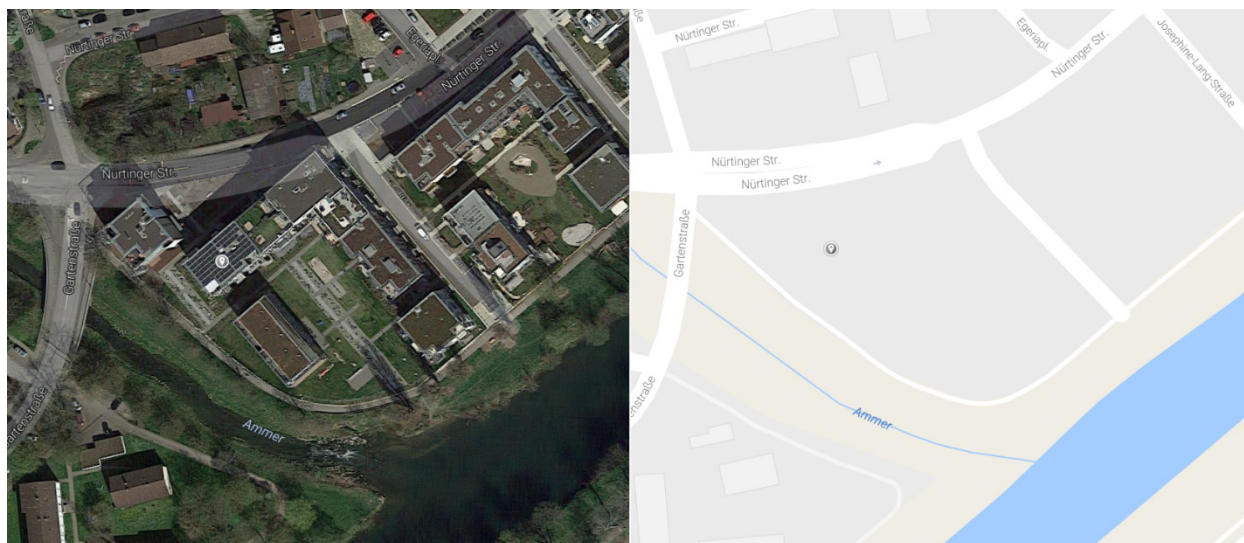


Abbildung 2: Lage des Modellvorhabens Licht&Luft in Tübingen Lustnau [1].

Bauherr: BG-Licht&Luft / WEG-Licht&Luft GbR, Reutlinger Str. 32, 72072 Tübingen

Projektsteuerung: Lucia Landenberger, Alexanderstr. 50/6, 72072 Tübingen

Architekt: Wamsler, Weinsteig 2, 88677 Markdorf

TGA: Transplan, Curiestraße 2, 70563 Stuttgart

Die folgende Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Gebäudedaten des Projekts Licht&Luft.

Tabelle 1: Gebäudeeckdaten [Architekt Wamsler, DWD]

Baujahr	2013
Bruttogrundfläche [m ²]	1049
Bezugsfläche, Gebäudenutzfläche A _N (EnEV) [m ²]	1228
Bezugsfläche, A _{EB} (PHPP) [m ²]	940
Nutzfläche [m ²]	1066
Wohnfläche [m ²]	916
Beheiztes Gebäudevolumen (EnEV) [m ³]	3838
Hüllflächenfaktor A/V [m ² /m ³]	0,38
Fensteranteil [-]	0,32
H _T ' [W/m ² K]	0,25
Breitengrad	48,526 [1]
Längengrad	9,087 [1].
Höhenlage [m ü. NHN]	341

Mittlere Jahrestemperatur [°C]	9,3 [IWU,DWD]
Mittlere Wintertemperatur (Oktober–April) [°C]	4,4 [IWU, DWD]
Gradtagzahl am Standort [Kd]	3761 [IWU]
TRY - Klimazone	5 [18]

3.2 Architektur

Das Gebäude liegt im Areal der „alten Weberei“ in Tübingen-Lustnau an einer Flussabzweigung der Ammer. Im gesamten umliegende Gebiet entsteht seit 2012 neue Bebauung. Das Haus „Licht&Luft“ umsäumt einen u-förmigen gemeinsamen Innenhof mit drei weiteren Gebäuden. Die gemeinsame Basis der Gebäudegruppe bildet das Parkhaus. Im Innenhof befinden sich die Balkone und Terrassen der Anlage sowie ein Kinderspielplatz.



Abbildung 3: Modellvorhaben Licht&Luft in Tübingen-Lustnau, Eckansicht S0 [Architekt Wamsler].



Abbildung 4: Modellvorhaben Licht&Luft in Tübingen Lustnau, Eckansicht SW [Architekt Wamsler].

Die folgende Tabelle 2 listet die Flächen der untersuchten Räume auf. Teilweise sind Wohn- und Essbereich als ein Raum aufgeführt. Eine Auflistung aller Räume, inklusive Nutzflächen findet sich im Anhang C (12).

Tabelle 2: Wohnungsdaten, Räume mit Monitoring

Wohn- einheit	Belegung	Stockwerk		gesamt	Raum 1	Raum 2	Raum 3
	[-]	1	2	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
WE 1	2	EG	-	106,7	43,6	15,3	10,5
WE 2	4	EG	OG1	126,7	46,5	11,4	14,6
WE 3	4	EG	OG1	134,9	63,5	12,8	13,8
WE 4	1	OG1	-	92,1	52,9	15,3	9,8
WE 5	4	OG2	-	111,2	41,7	12,7	18,8
WE 6	2	OG2	-	101,9	29,0	12,4	14,7
WE 7	2	DG	-	105,1	54,9	14,7	10,8
WE 8	2	DG	-	109,2	51,0	16,2	10,0
WE 9	1	OG2	-	27,6	24,6	-	-

Auf den folgenden Abbildung 5 bis Abbildung 8 sind die Grundrisse der einzelnen Wohneinheiten dargestellt. Auf jedem Stockwerk gibt es drei Wohnungseingangstüren. Die Wohnungen 2 und 3 sind mehrgeschossig.

Weitere Details zum Gebäude (Ansichten und Schnitte) lassen sich dem Anhang C (12) entnehmen.



Abbildung 5: Grundriss Erdgeschoss [Wamsler/Erhart].

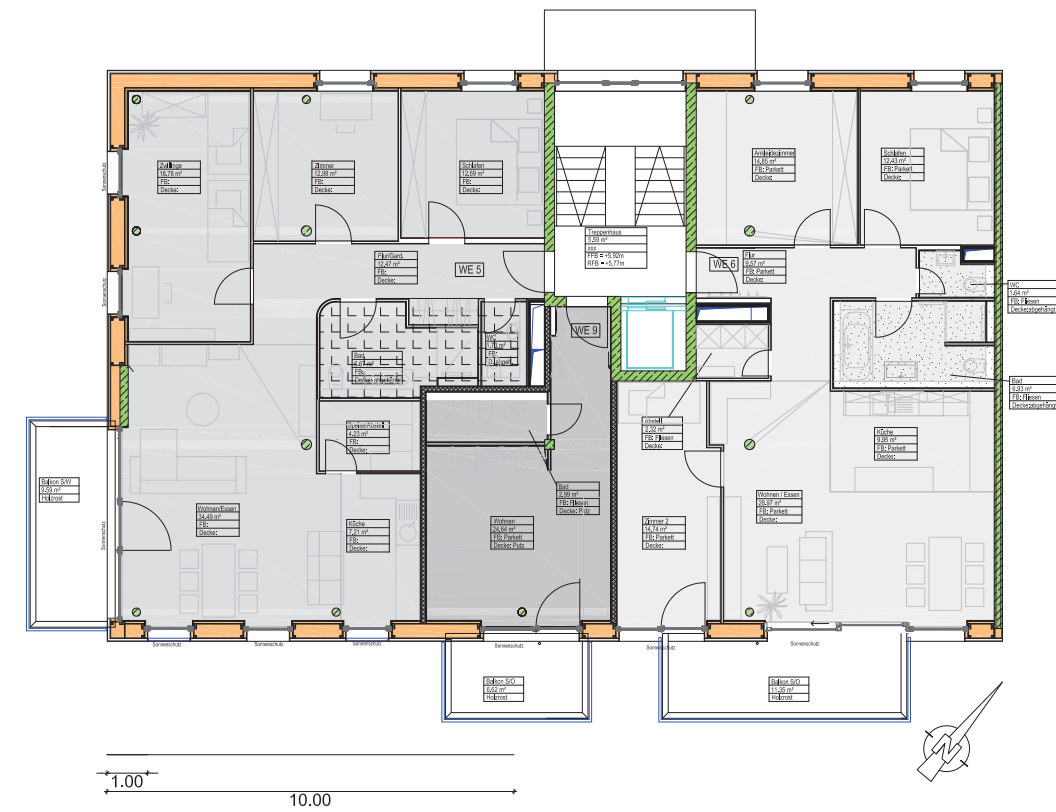


Abbildung 7: Grundriss 2.OG [Wamsler/Erhart].



Abbildung 6: Grundriss 1.OG [Wamsler/Erhart].

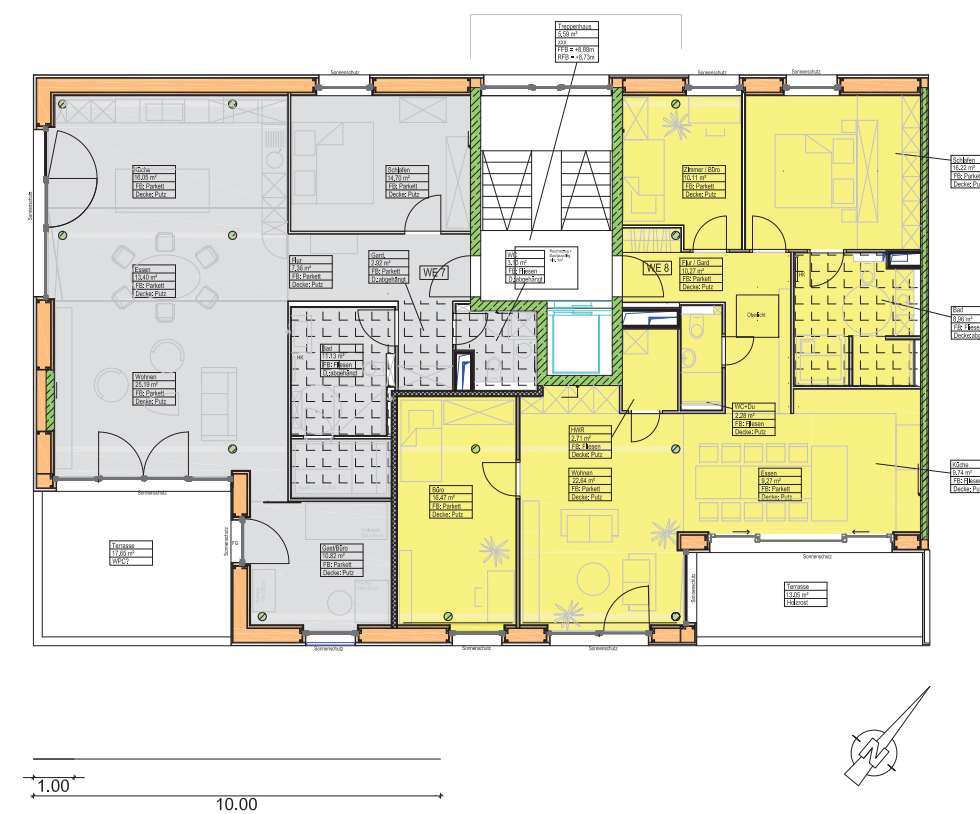


Abbildung 8: Grundriss DG [Wamsler/Erhart].

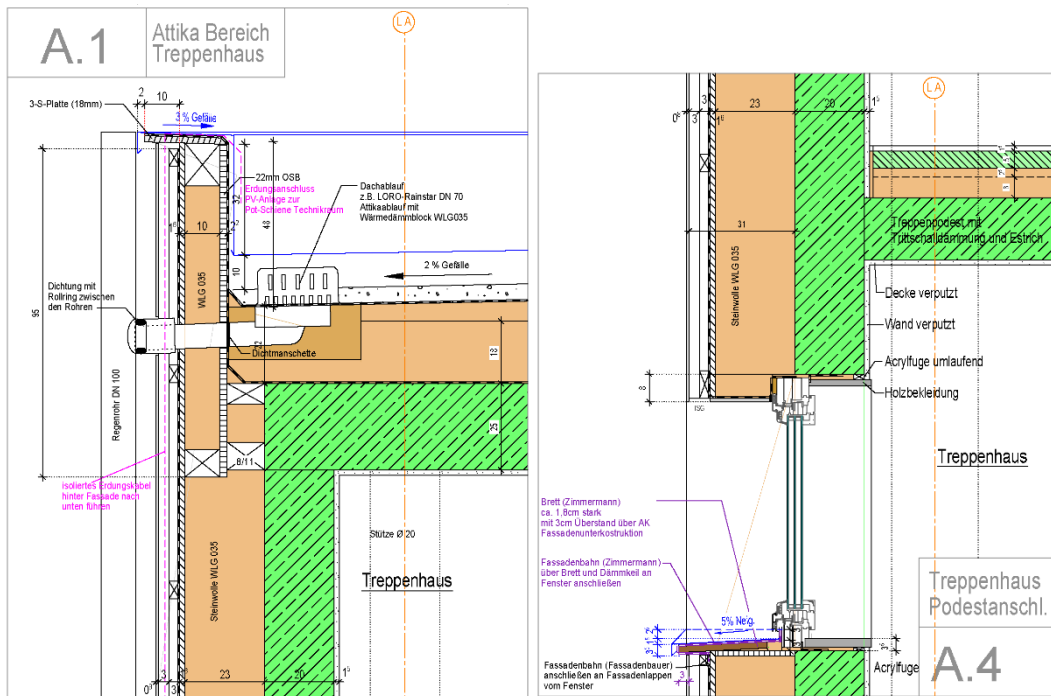


Abbildung 11: Detail Attika (a) und tragende Wand mit Fenster (b) [Architekt Wamsler].

Die Gebäudetrennwand zum angrenzenden Nachbargebäude ist durch eine 6 cm starke Mineralfaserdämmmatte thermisch entkoppelt. Die Geschosdecke über der unbeheizten Tiefgarage wurde mit 30 cm Mineralwolle gedämmt. Die Photovoltaikmodule an den Fassaden des Obergeschosses sind mittels einer Tragkonstruktion aus Holz befestigt. An dieser Stelle wurde die Außenwand in dem entstanden 34 cm starken Balkenzwischenraum mit einer Zellulosedämmung (WLG 035) ausgefüllt.

3.4 Anlagentechnik

Im Folgenden sind die technischen Systeme und ihre Komponenten im Detail beschrieben.

3.4.1 Thermische Systeme

Wärmerzeuger:	Fernwärme, bereitgestellt durch Klärgasverbrennung der Stadtwerke Tübingen SWT. Primärenergiefaktor durch Zertifizierung auf 0,0 festgelegt.
Trinkwasser:	Trinkwassererwärmung durch Fernwärme
Thermischer Speicher:	Rudert RET 200 1HL, 400 Liter
Pumpen:	Biral AXW12, Biral A14-1, Grundfos APHA2 25-40 180
Beheizung:	Beheizung der Wohnräume mit Fußbodenheizung. Luftkonditionierung durch Lüftungsanlage mit WRG und Erdwärmetauscher.
Lüftung:	Exhausto VEX330H-2, Wirkungsgrad 80%-85%, Max. Gesamtwirkungsgrad 52,6%, V_{\min} 120 m ³ /h, V_{\max} 1200 m ³ /h, Wirkungsgrad nach EN308: 82%-94% Nennbetriebspunkt: $P_{\text{nom}}=0,48$ kW, $V_{\text{nom}}=1205$ m ³ /h, $\Delta p_{\text{nom}}=754$ Pa, $U_{\text{nom}}=3670$ 1/min [40]
Lüftungssteuerung:	4 Fan Optimiser COU-A-MP24 [39]

3.4.2 PV-Anlage/ Energiespeicher / Mobilität

Ausrichtung:	Azimuth 230°, Elevation 90° / Azimuth 140°, Elevation 90° / Azimuth 140°, Elevation 9°
Module:	Dachgenerator: Sunpower E20/333 WHT [35] Fassadengenerator: Ertex Solar Poly Gold 149 (Sunways Gold CH50 6X04)
Inverterkonfiguration:	2x 12,4 kW + 2 x 3,68 kW = 32,16 kW
Modulkonfiguration:	(2x4x11)x333.38 W _p → 29337 W _p (1x21+1x19)→3143 W _p + 2844 W _p
Gesamtkonfiguration:	35315 W _p ; PR 1,12
Wechselrichter:	2 x REFUsol 013K, 2 x REFUsol 003K [36][37]
Performance:	Dach 1013 kWh/kW _p , PR 90,5%, 594 MWh (20a) Fassade SO 630 kWh/kW _p , PR 79,8%, 39,6 MWh (20a) Fassade SW 629 kWh/kW _p , PR 79,7%, 38,8 MWh (20a)
Energiespeicher:	Sonnenbatterie PSB-17523, LiFePO ₄ , 40kWh/28,7kWh, DoD 70%, 5000 Zyklen P_{\max} 3x6kW (32A) hier 63A, keine Notstromfunktion Einspeisung dreiphasig, Spitzenlast 18 kW, Dauerlast 15 kW, Reaktionszeit 15 ms, nominaler Wirkungsgrad 96%

Energieverteilung: Wallboxes mit 32 A, 9 vorbereitet, 3 installiert, Zugang über RFID

Abbildung 12 zeigt eine Eckansicht des Gebäudes auf der beide PV-Fassadenflächen zu sehen sind. Die Kollektoren sind eine Spezialanfertigung. Sowohl Farbgestaltung als auch das Modulformat sind speziell auf dieses Projekt zugeschnitten. Abbildung 13 zeigt die Photovoltaikmodule auf dem Dach.



Abbildung 12: Eckansicht mit beiden Fassadenkollektoren [Erhart].



Abbildung 13: Dachkollektoren [Erhart].

Als Ladesystem für die Elektrofahrzeuge wurden in der Tiefgarage drei Wallboxes vom Typ F-Boxx (Fa. Walther) installiert (Abbildung 14). Jedes der Systeme ist via Netzwerk angebunden. Die Konfiguration der Systeme erfolgt über einen integrierten Webserver. Der bezogene Strom wird

zur Abrechnung dem jeweilig verwendeten RFID-Schlüssel zugeordnet. Laden ist somit nicht nur für Hausbewohner möglich, sondern theoretisch auch für externe Nutzer.

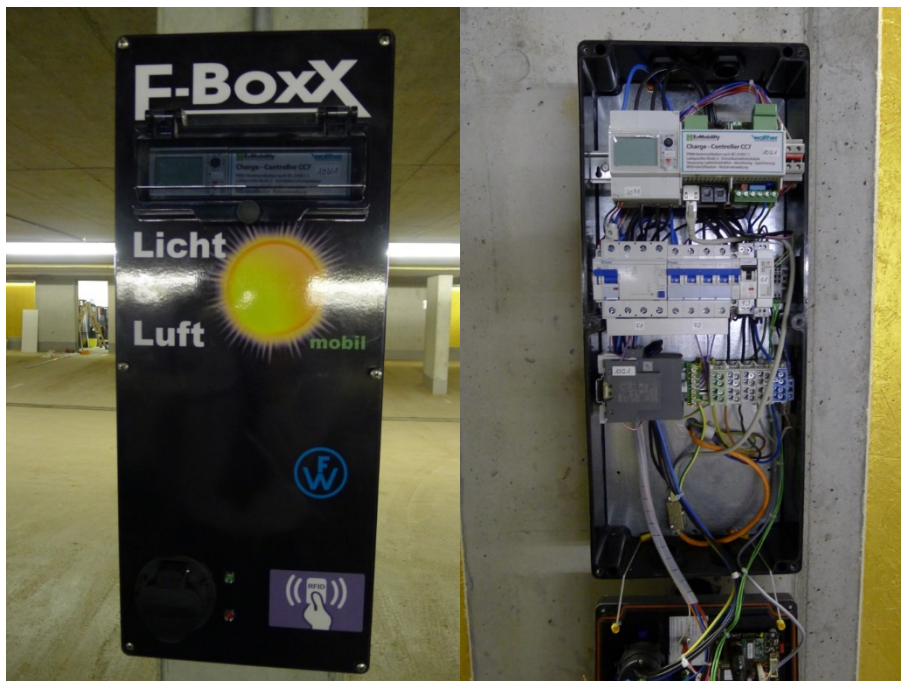


Abbildung 14: (a) Wallbox geschlossen / (b) Wallbox geöffnet [Erhart].

Die Installation des elektrischen Speichers ist auf Abbildung 15 und Abbildung 16 zu sehen. Das System besteht aus einem Hauptschrank mit Wechselrichter und Steuerung sowie zwei Erweiterungsmodulen mit Eisenlithiumphosphat-Akkumulatoren.



Abbildung 15: Elektrisches Speichersystem Sonnenbatterie 40 kWh brutto [Erhart].



Abbildung 16: Elektrisches Speichersystem, Batteriegehäuse (links (a) und Mitte(b)), Wechselrichter mit Steuerungseinheit (rechts (c)) [Erhart].

Abbildung 17 zeigt das Messschema für den Betrieb des Speichersystems. Anhand von Wandlersystemen werden die Energieflüsse zeitlich hochaufgelöst erfasst.

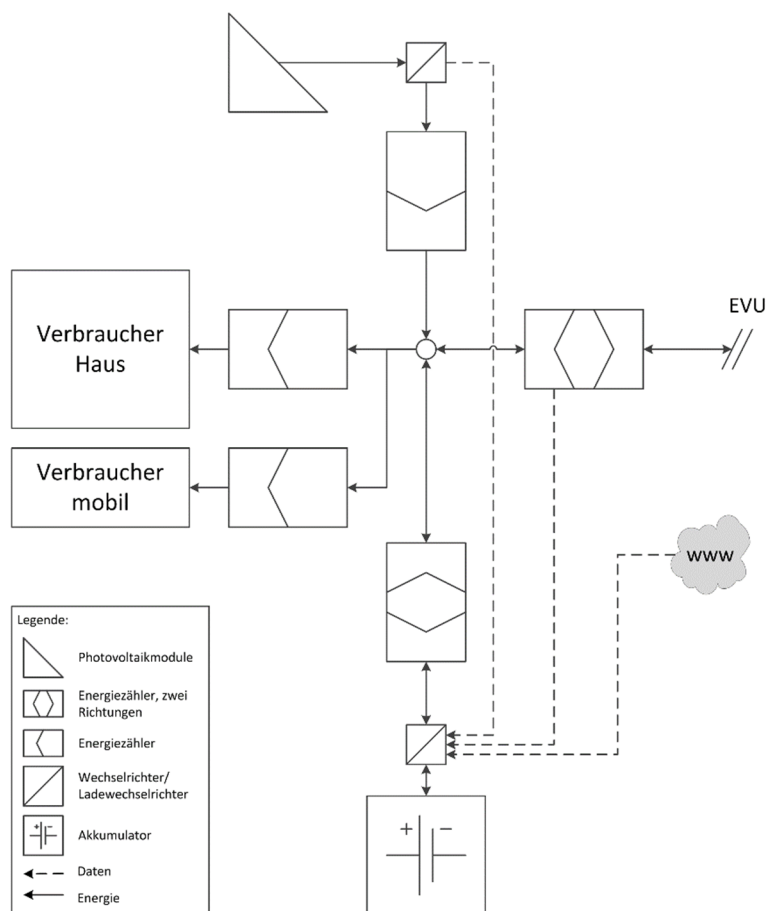


Abbildung 17: Zählerschema der Batterieregelung [Erhart].

In Serie zum Hauptzähler wird der Gesamtbezug bzw. die Gesamteinspeisung gemessen. Zusätzlich wird die Erzeugung durch die Photovoltaikanlage erfasst. Die Be- und Entladeströme

werden am Batteriesystem selbst erfasst. Die Messungen finden Phasengenau statt, d.h. es werden auch einzelne Phasen bilanziert.

3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

Während der Planungsphase wurde eine Energiebedarfsberechnung erstellt. Des weiteren wurden Prognosen zum Energieertrag durchgeführt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Energiebedarf Planungsansatz 2013.

Name	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt + Kochen	sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	11420	20753	4561	0	24560		
Wärme-/Kälteabgabe d. Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	11547	14363	4508	0	0	0	0
Strombedarf [kWh/a]	1384	0	4561	0	24560		
	30505 kWh/a						

[Quelle: Architekt Wamsler, Firma Transplan]

Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Ergebnisse der Ertragsprognose für die Photovoltaikanlage. Über einen Zeitraum von 20 Jahren wurden die Mittelwerte der Performance Ratios der jeweiligen Einzelanlagen und deren Erträge ermittelt.

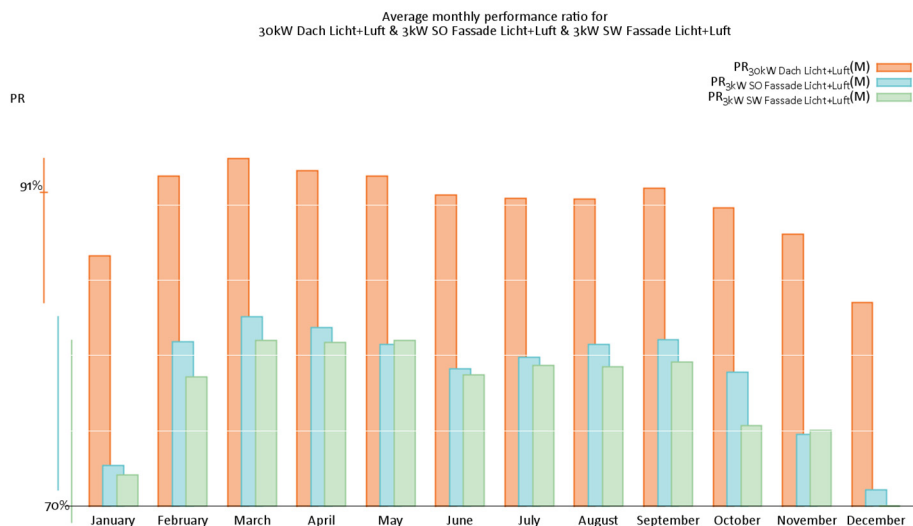


Abbildung 18: Performance Ratios für die drei Teilanlagen im Monatsvergleich [Duminiil, 2013].

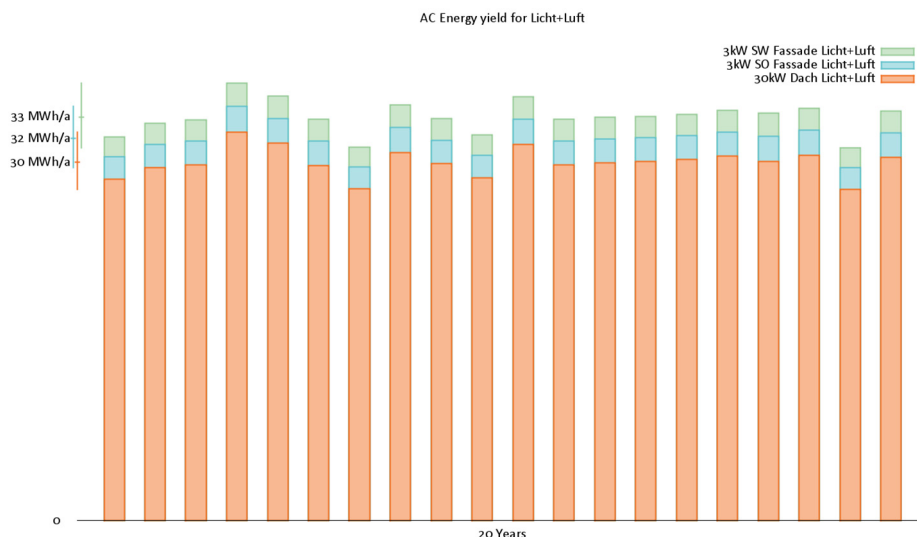


Abbildung 19: Ertragsprognose über 20 Jahre mit mittlerer Abweichung [Duminil, 2013].

Die in der Planungsphase vorgesehenen photovoltaischen Energieerträge zur Deckung des Gebäudebedarfs sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Geplante PV-Deckung, 20 Jahre Durchschnitt.

Deckung (geplant)	
Komponente	[kWh/a]
PV-Dach	29700
PV-Wand 1 (SO)	1980
PV-Wand 2 (SW)	1790
Gesamt	33470

3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Entsprechend der DIN V 18599 wurde eine Bewertung des Gebäudes vorgenommen. In Tabelle 5 sind die Planungswerte den gemessenen Werten gegenübergestellt. Die Berechnungszeiträume entsprechen den Monitoringperioden. Zum Punkt „Primärenergie Haustechnik“ muss angemerkt werden, dass zwei Varianten berechnet wurden. Einmal mit dem Primärenergiefaktor für Netzstrom und des Weiteren für die Anwendung mit gespeichertem Solarstrom wie in diesem Fall.

Tabelle 5: Effizienzberechnung nach DIN 18599.

Teilabschnitt	Erläuterung	geplant		2014		2015	
		Energie / spezifische Energie [kWh/a]/[kWh/m²a]					
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	32173	26,2	22792	18,5	20498	16,7
Erzeuger- abgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	32173	26,2	28401	23,1	25715	20,9
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	1384	1,1	1073	0,9	1076	0,9
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	5945	4,8	5838	4,7	5552	4,5
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik, fp= 0,0	3322	2,7	2575	2,1	2582	2,1
	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik, fp= 2,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0

In Tabelle 6 sind die Aufwandszahlen auf Basis der Werte in Tabelle 5 aufgelistet. Für die Primärenergetische Effizienz sind abermals je zwei Werte angegeben.

Tabelle 6: Aufwandszahlen/Arbeitszahlen nach DIN 18599.

Bewertete Teilabschnitte	geplant		2014		2015	
	Aufwandszahlen/ Arbeitszahlen [kWh/kWh]					
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,00		1,25		1,25	
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,04		0,04		0,04	
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,18		0,26		0,27	
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	5,41		3,90		3,69	
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	23,25		26,47		23,90	
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik/ Nutzenergie) (fp=0,0/2,4)	0,00	0,10	0,00	0,11	0,00	0,13

4 Monitoring

4.1 Messkonzept

Auf der Feldebene sind alle Geräte via M-Bus verbunden. Als Pegelwandler diente ein WebLog250 der Firma Relay. Dieser wurde während der Projektzeit entwickelt und kam als Prototyp zu Einsatz. Folgende Messbereiche wurden erfasst:

- Strom: alle Lieferungen und Bezüge über die Grundstücksgrenze. Verbräuche einzelner Wohneinheiten, wiederum untergliedert in einzelne Zimmer. Stromerfassung von Beleuchtung in einer Wohneinheit.
- Allgemeinstrom: Allgemeinstrom, Lüftungs- und Technikstrom werden separat erfasst.
- Wärme: Gesamtwärmebezug über das Fernwärmenetz, Wärme zur Trinkwassererwärmung, Heizwärmeverbrauch nach Wohneinheit.
- Klima: Außentemperatur, Außenfeuchte, Globalstrahlung in Kollektorebene, horizontal und vertikal.
- Behaglichkeit: Relative Feuchte und Raumtemperatur für alle Wohnräume im Haus.

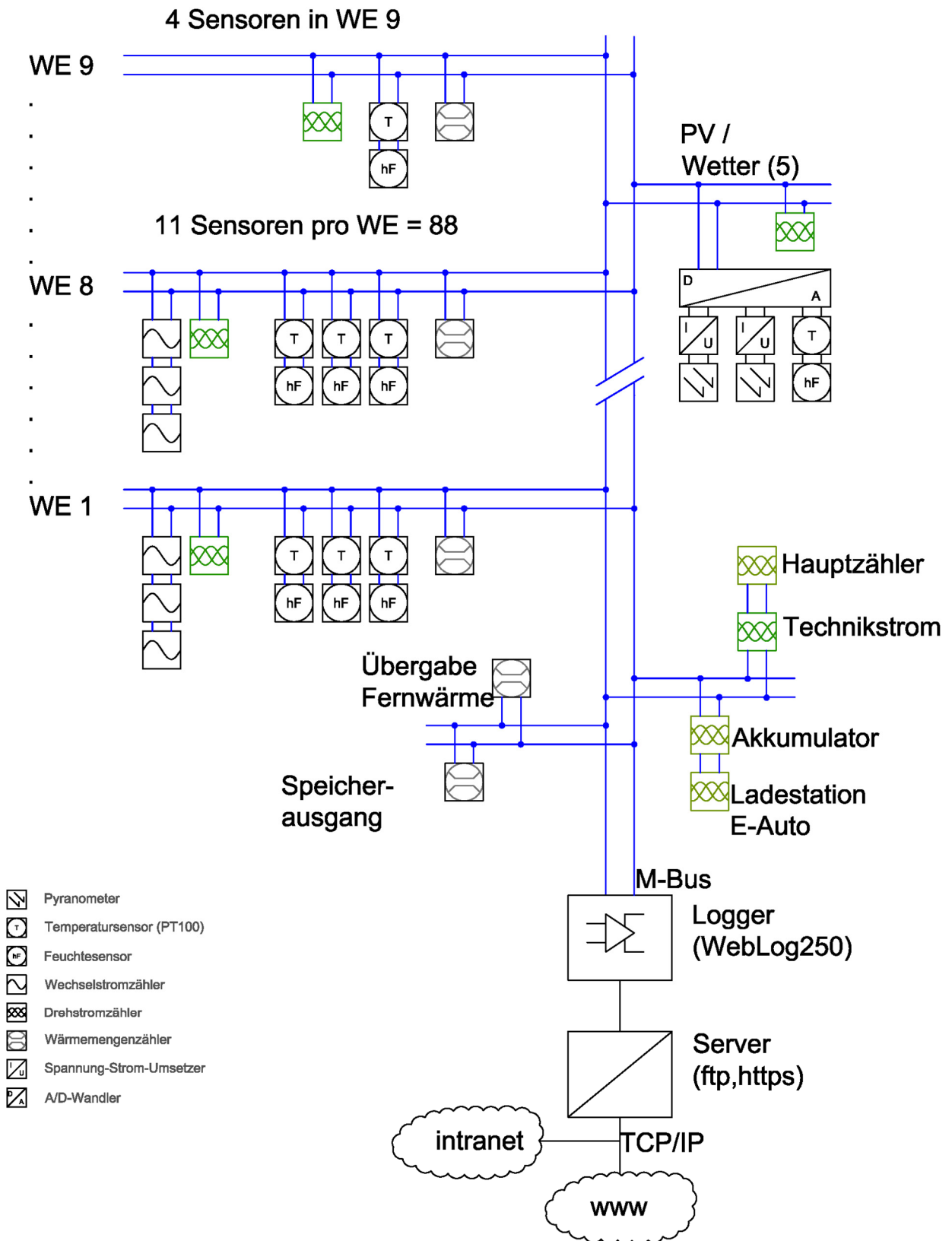


Abbildung 20: Busschema für alle Zähler im M-Bus [Erhart].

Die folgende Abbildung 8 zeigt eine Übersicht aller elektrischen Energiemengenzähler ohne die für die Batterieregelung eingesetzten Zähler.

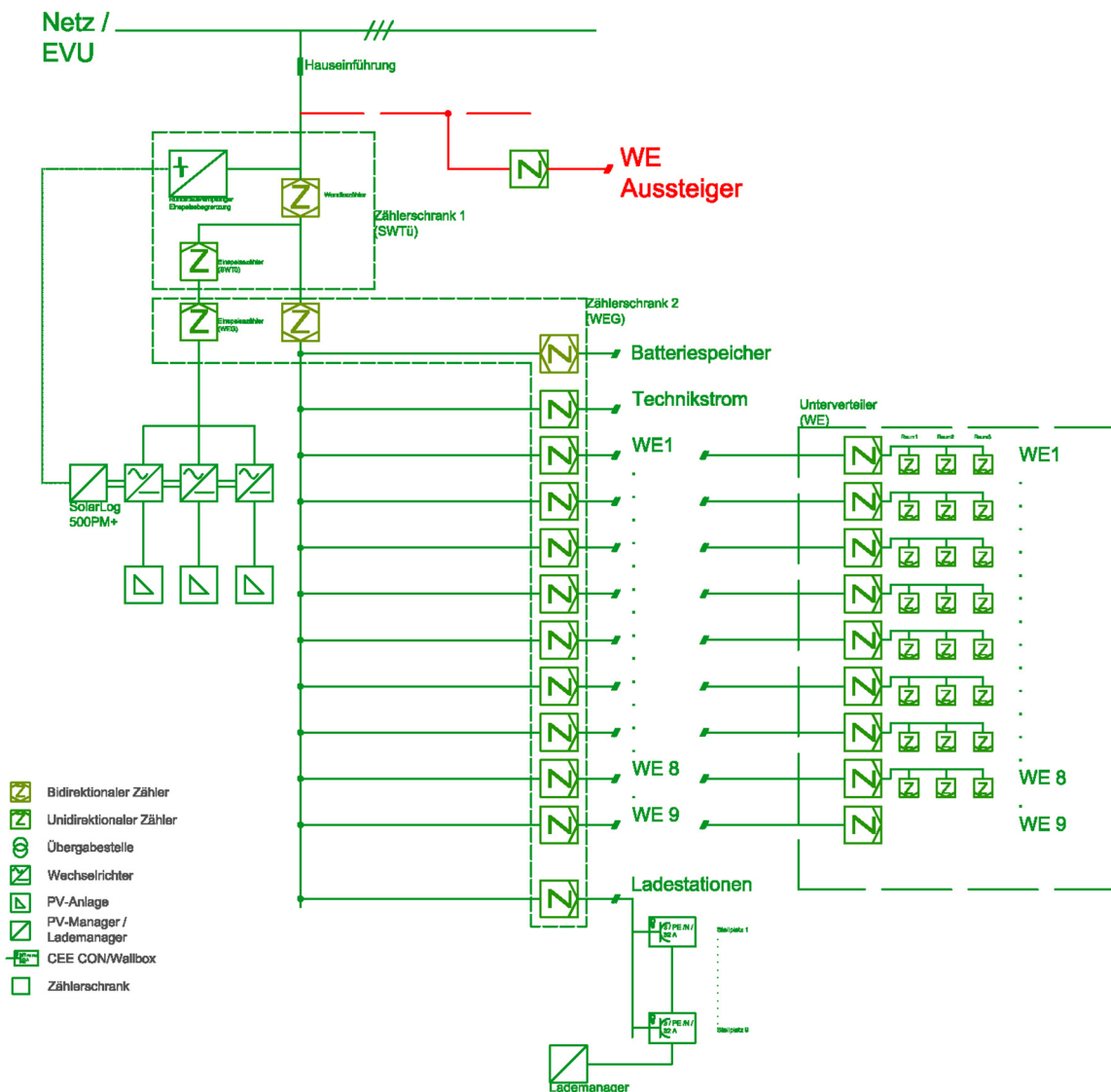


Abbildung 21: Zählerschema für alle elektrischen Energiemengenzähler [Erhart].

4.2 Verwendete Messtechnik

Folgende Messgeräte kommen im Projekt zum Einsatz:

Tabelle 7: Messgeräteliste.

Typ/Anwendung	Hersteller, Modell	Anzahl
Busmaster	WegLog250, Firma Relay [31]	1 Stück
Strom (Wohnung UV):	ALE3D5FM10C3A00, Firma Saia-Burgess Controls [29]	9 Stück
Strom (Erzeugung PV):	ALE3D5FM10C3A00, Firma Saia-Burgess Controls [29]	1 Stück
Strom (Allgemein):	ALE3D5FM10C3A00, Firma Saia-Burgess Controls [29]	1 Stück
Strom (Zimmer UV):	ALD1D5FM00A3A00, Firma Saia-Burgess Controls [30]	24 Stück
NSHV-Zähler:	Q3DA1004-MBUS, Firma EasyMeter,	9 Stück
Hauptzähler EVU	W1E5, 250:5, Firma EMH GmbH & Co. KG	1 Stück
PV-Zähler EVU:	Q3BA, Firma EasyMeter GmbH	1 Stück
Hauptzähler:	MBS EMU 4777-2, Firma EMU Electronic AG [28] Getauscht gegen: B23/B24, Firma ABB AB [26]	1 Stück
Batteriezüher:	MBS EMU 4776-4, Firma EMU Electronic AG [27]	1 Stück
E-mobility:	MBS EMU 4776-4, Firma EMU Electronic AG [27]	1 Stück
Wandler:	ENZR 3010, 200/5, Firma NZR Service GmbH	3 Stück
Behaglichkeit:	THI, Firma Relay GmbH / CMa10, Firma Elvaco AB [21]	24 Stück
Klima	THO, Firma Relay GmbH / CMa20, Firma Elvaco AB [22]	1 Stück
	SPLite2, Firma Kipp&Zonen B.V. [33]	2 Stück
	AmpBox, Firma Kipp&Zonen B.V. [34]	2 Stück
	AnDi2, Firma Relay GmbH [32]	1 Stück
Wärme (Hauptzähler):	2WR5, Firma Siemens AG [38]	1 Stück
Wärme (WW ges.):	Ultraschall-Wärmezähler, Multical 402, Kamstrup A/S [23][24]	9 Stück
	PN16 Q _n 2,4 DN15 G3/4" BL 110 mm	
Wärme (Wohnung):	Ultraschall-Wärmezähler, Multical 402, Kamstrup A/S [23][24]	1 Stück
	PN16 Q _n 0,6 DN15 G3/4" BL 110 mm	

Auf den folgenden Bildern sind die Einbausituationen der einzelnen Erfassungsgeräte exemplarisch dargestellt.

Abbildung 22 (a) zeigt den geöffneten Schaltschrank mit dem Übergabepunkt. Hier werden alle drei Phasen mit je einem Wandler für das Monitoring und einem Wandler für die Batteriesteuerung erfasst. In Abbildung 22 (b) ist die Schutzabdeckung geschlossen und der Hutschienenzähler ist zu sehen.



Abbildung 22: Hauptwandlernerfassung am Übergabepunkt ((a)Wandler/ (b)Zähler) [Erhart].

Neben dem Außenfühler für die Lüftungsanlage und die Heizung wurde ein Außenfühler mit Feuchtigkeitssensor installiert. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden beide Fühler wie in Abbildung 23 gezeigt, auf der Nordfassade oberhalb des Eingangsbereichs angebracht.



Abbildung 23: Außenfühler für Temperatur und relative Feuchte [Erhart].

Alle Wohnräume im Haus sind mit einem Temperatursensor und Sollwertgeber für die Lüftungsregelung ausgestattet. In den Räumen die für die Behaglichkeitsmessung ausgewählt wurden, wurde je ein Innenraumsensor (Abbildung 24(a)) installiert. Als Ergänzung für die

Außenfühler wurden zwei Pyranometer auf dem Dach installiert. Sie wurden am selben Mast wie die Wetterstation der Verschattungssteuerung montiert (Abbildung 24 (b)).



Abbildung 24: (a) Behaglichkeitssensoren /- (b) Einstrahlungssensoren [Erhart].



Abbildung 25: (a) Anordnung von M-Bus Klemmenkasten und M-Busmaster / (b) Innenansicht Klemmenkasten mit A/D-Wandler [Erhart].

Auf Abbildung 25 (a) ist die Anordnung der Buskomponenten im Technikraum zu sehen. Der Busklemmenkasten ist oberhalb des Buswandlers angebracht. Details der Busverkabelung sind auf Abbildung 25 (b) zu erkennen. Ein Analog-Digital-Wandler setzt Stromsignale von den Pyranometern in M-Bus-Signale um. Die Einbausituation der Wärmemengenzähler in den Heizverteiltern der Wocheneinheiten ist weitestgehend gleich, exemplarisch hier in Wohneinheit 4 (Abbildung 26).



Abbildung 26: Wärmemengenzähler, Einbausituation im Heizungsverteiler der Fußbodenheizung [Erhart].



Abbildung 27: (a) Energiezähler für PV-Ertrag / (b) Wohnungshauptzähler, hier WE9 [Erhart]..

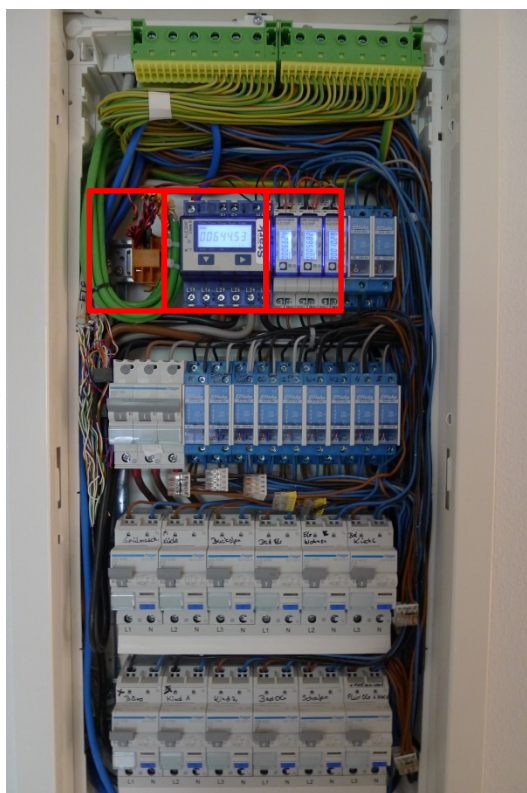


Abbildung 28: Unterverteiler mit Busklemmen sowie Dreh- und Wechselstromzählern [Erhart].

Abbildung 27 (a) zeigt den einen Hutschienenzähler, in diesem Fall für die PV-Anlage. Ein baugleicher Zähler wurde auch für den Allgemiestrom verwendet. Alle Abgänge zu den Wohneinheiten wurden in der NSHV mit einem Modell für Zählerkreuzmontage erfasst, wie in

Abbildung 27 (b) abgebildet für Wohneinheit 9. Um die Zähler in den einzelnen Wohneinheiten zu erfassen wurde eine Busklemme installiert (Abbildung 28, links). Hier laufen die Buszuleitung, und die Abgänge für Wärmemengenzähler, Elektrozähler und Raumsensoren zusammen. In den Wohneinheiten 1 bis 7 und 9 wurden innerhalb der Wohnung je acht Leitungen sternförmig vom Unterverteiler verlegt. Neben der Busklemme (Abbildung 28, mittig und rechts) ist der Drehstromzähler und die drei Wechselstromzähler für Wohn-/Esszimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer zu sehen.

4.3 Datenverarbeitung

Die erfassten Rohdaten aller M-Bus-Geräte werden vom Busmaster (WebLog250) gesammelt und in einer lokalen Datenbank abgelegt. Dieser MySQL-Ringspeicher hat eine Kapazität von circa 500 MB. Dies ist ausreichend um die Daten von sechs Monaten zu erfassen. Täglich werden die aktuellen Datensätze im CSV-Format auf eine FTP-Server geladen. Nach dem Download der Daten vom FTP-Server werden diese mit einem Skript in einzelne Datensätze (nach Zählertyp und -nummer) zerteilt.

Die Messdaten der Wechselrichter werden über eine CAN-Schnittstelle abgerufen und vom SolarLog500 gebündelt. Dieser lädt die Datensätze ebenfalls täglich auf den FTP-Server.

Die Messdaten des Batteriesystems werden zum Server der Firma Sonnenbatterie hochgeladen, von wo sie abgerufen werden können.

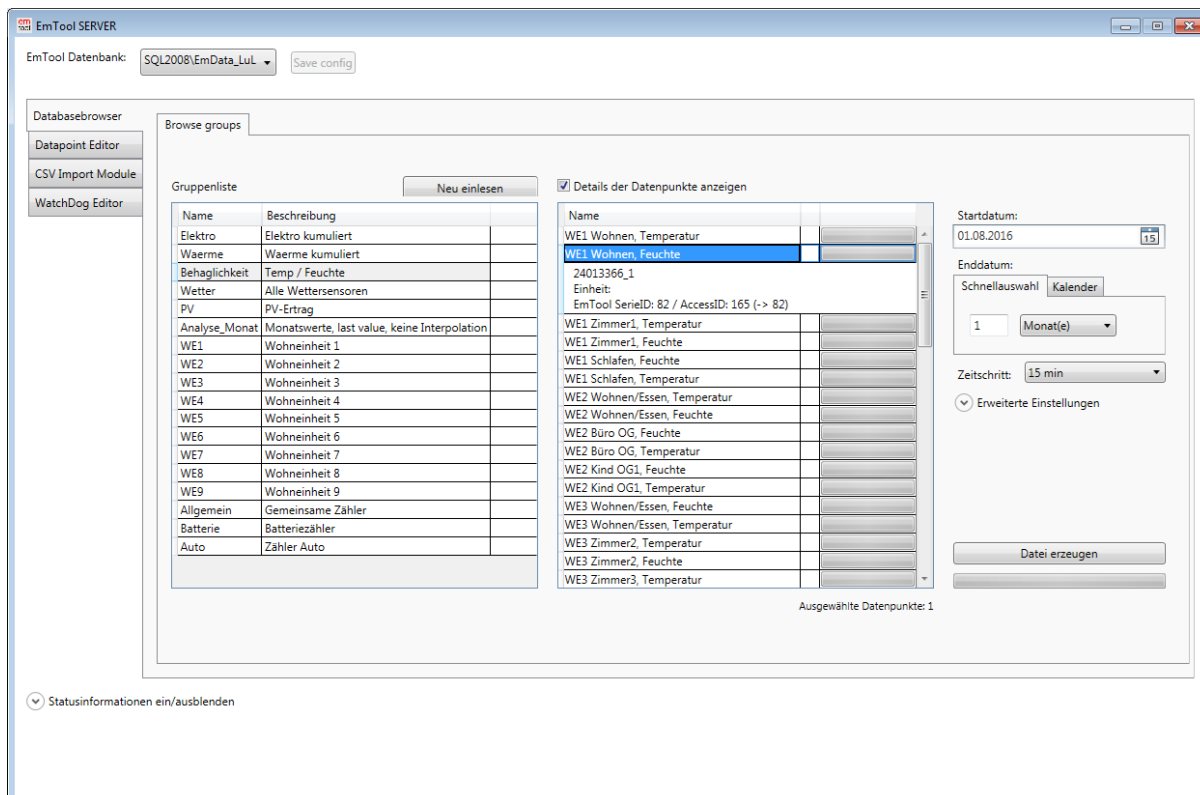


Abbildung 29: Datenauswertung mit EMtool-Server Datenbankprogramm [Trinkle].

Um alle drei Datenquellen zu synchronisieren werden die Messdaten in eine gemeinsame SQL-Datenbank integriert. Hierzu wird die Datenbanksoftware EMtool, eine Eigenentwicklung des zafh.net, verwendet (siehe Abbildung 29).

5 Meteorologische Randbedingungen

5.1 Solarstrahlung

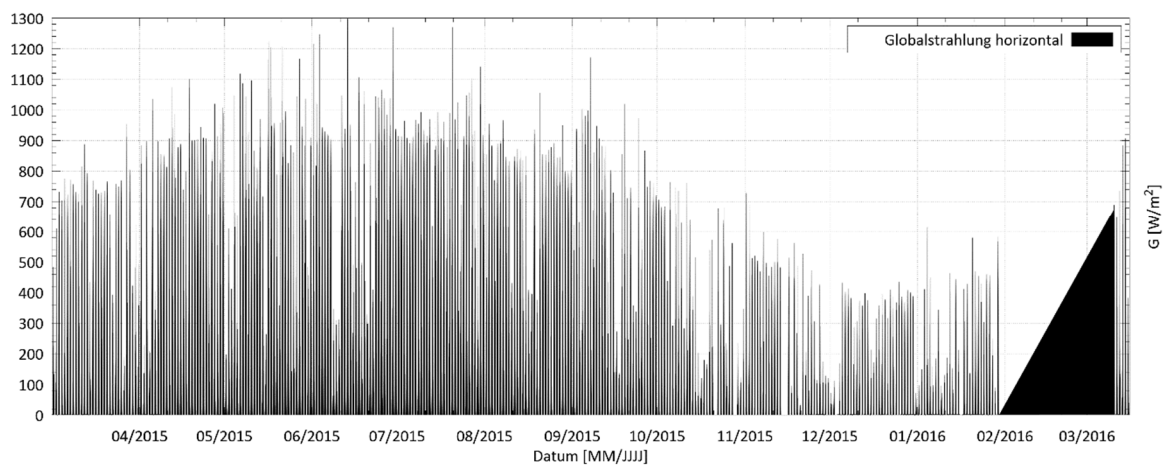
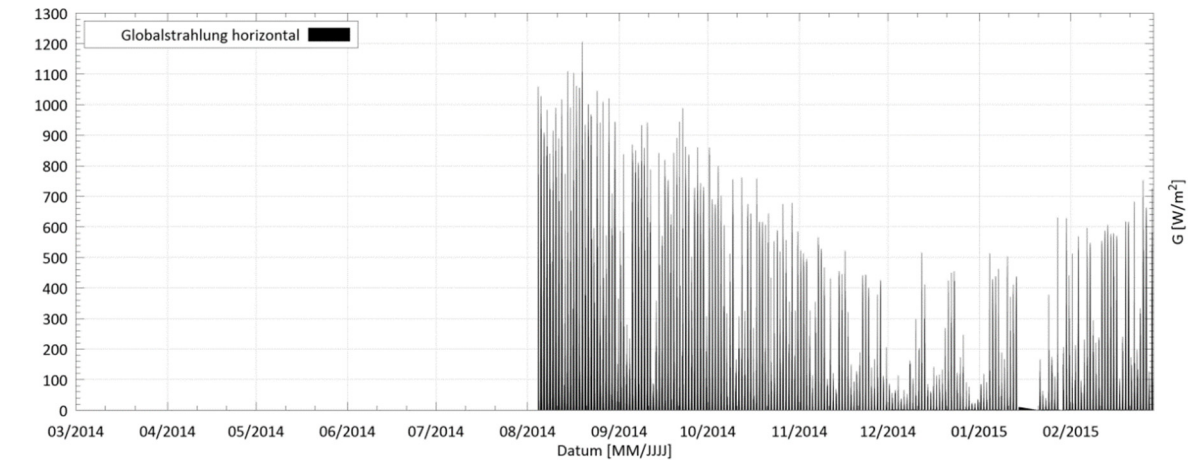
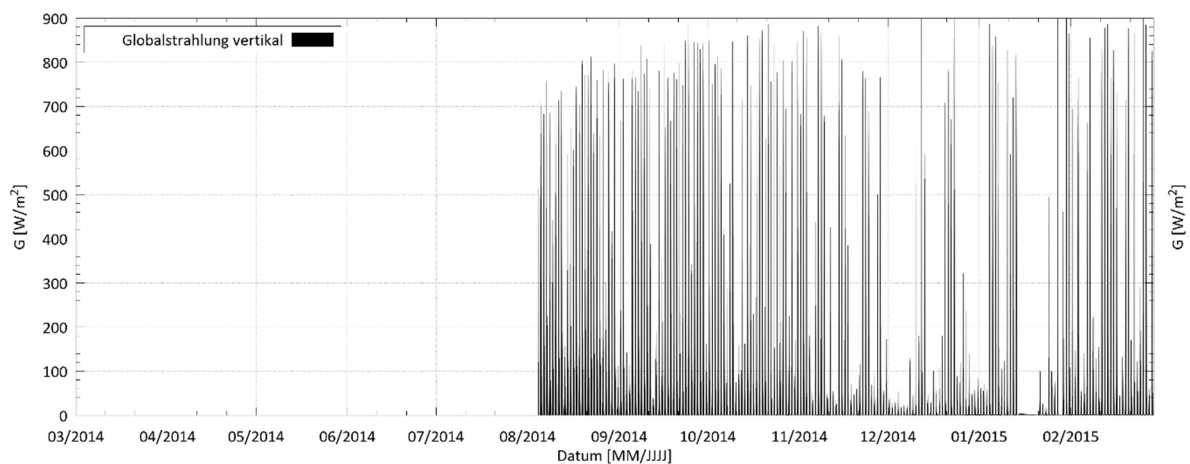


Abbildung 30: Gemessene Globalstrahlung horizontal 9° Elevation, (Projektjahr 1 / 2).



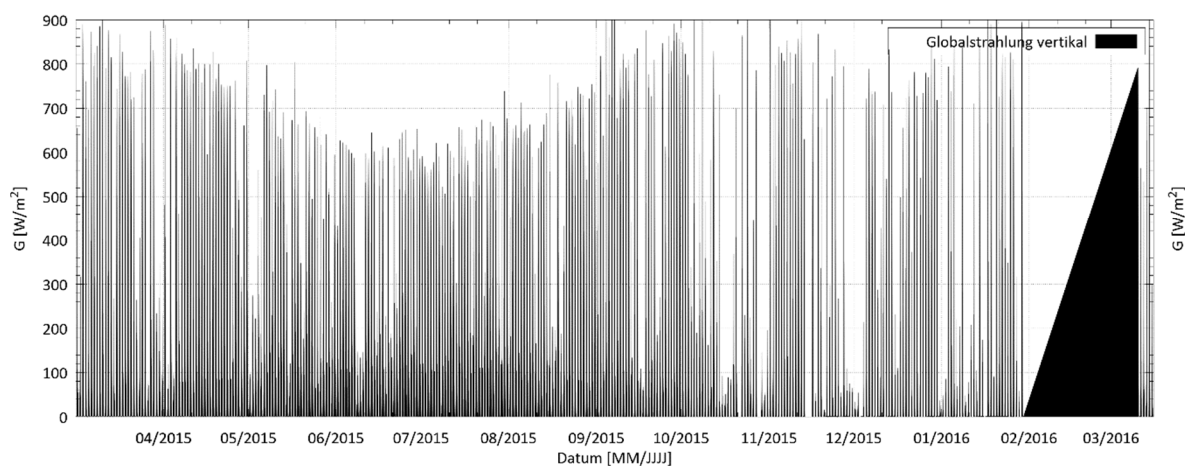


Abbildung 31: Gemessene Globalstrahlung (a) vertikal, (b) süd (Projektjahr 1 / 2).

5.2 Außenluftbedingungen

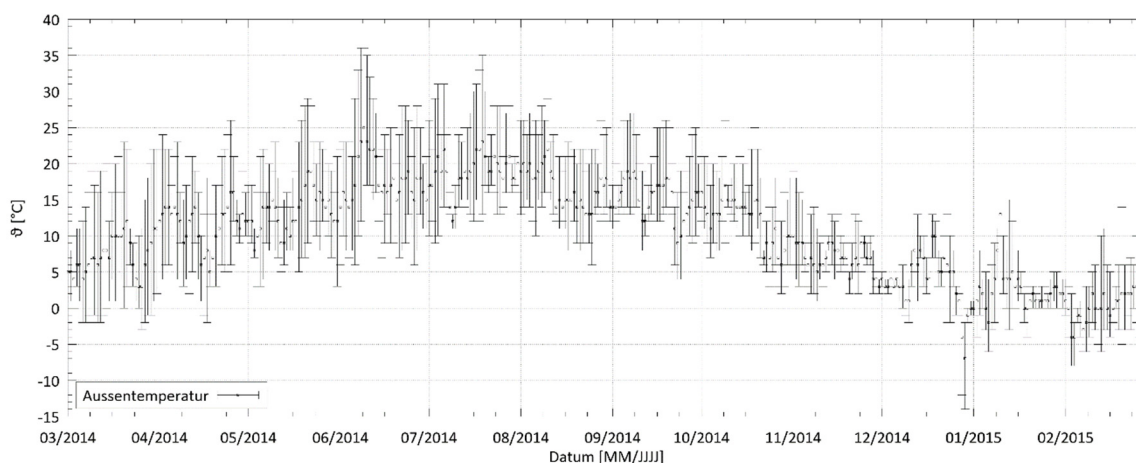


Abbildung 32: Außentemperatur 03/2014-02/2015, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).

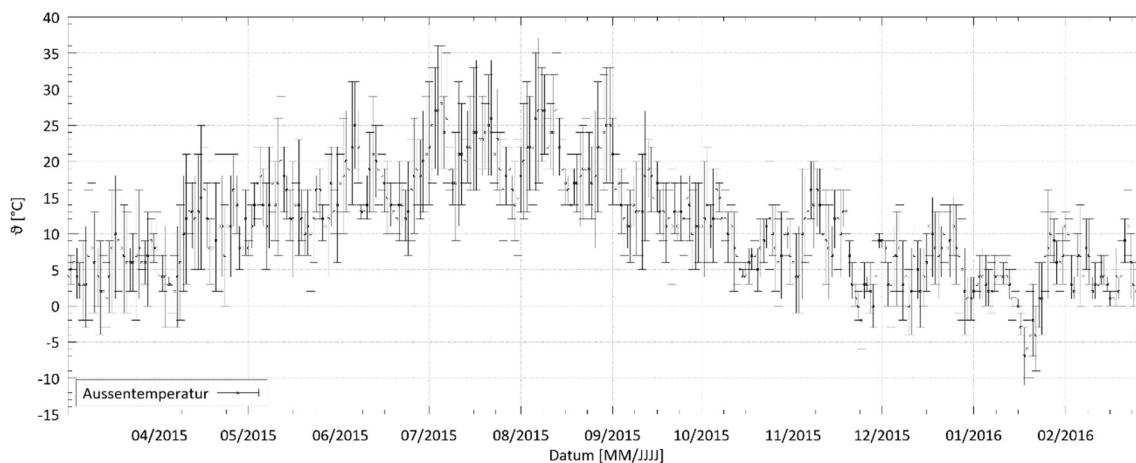


Abbildung 33: Außentemperatur 03/2015-02/2016, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).

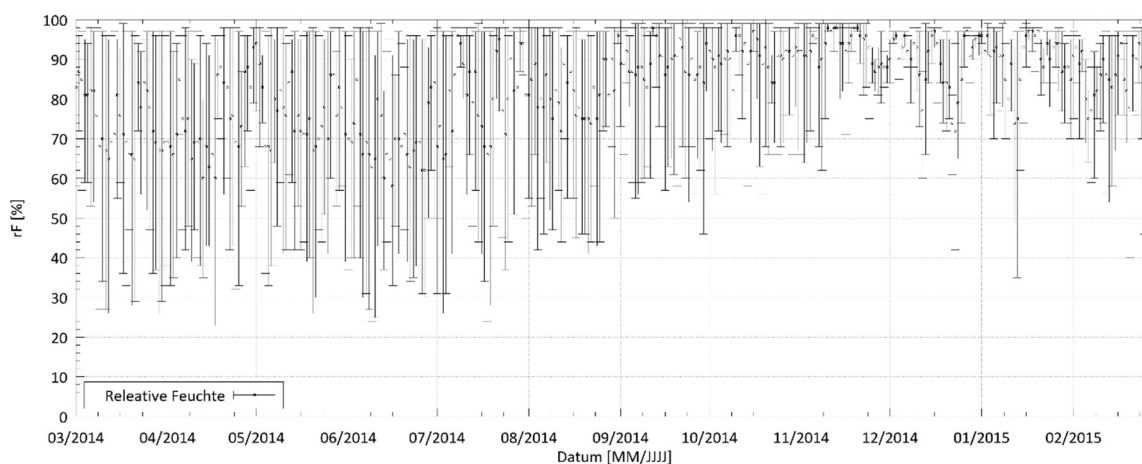


Abbildung 34: Relative Außenfeuchte 03/2014-02/2015, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).

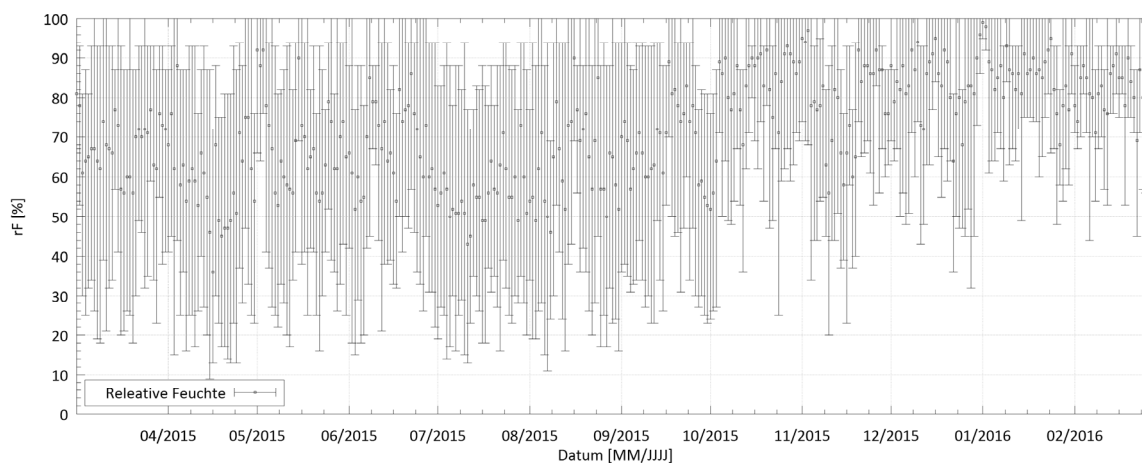


Abbildung 35: Relative Außenfeuchte 03/2015-02/2016, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).

5.3 Klimabereinigung

Tabelle 8: Klimabereinigung Übersicht.

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl 20/15 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Tübingen in der Messperiode von 3/2014 bis 3/2015 bzw. 3/2015 bis 3/2016	3088/3305
Gradtagzahl am Standort Tübingen für das langjährige Mittel (1970 bis 2013/1970 bis 2015)	3761/3737
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3601

- Klimafaktor bezogen auf den Standort:
 $KF_{\text{Standort},2014} = GTZ_{\text{mittel}} / GTZ_{2014} = 1,218$
 $KF_{\text{Standort},2015} = GTZ_{\text{mittel}} / GTZ_{2015} = 1,131$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:
 $KF_{\text{norm},2014} = 3601 \text{ Kd} / 3761 \text{ Kd} = 0,959$
 $KF_{\text{norm},2014} = 3601 \text{ Kd} / 3737 \text{ Kd} = 0,964$

Tabelle 9: Klimabereinigung detailliert (Januar-Januar) [IWU, 2015/2016].

Monat	2014			2015			langj. Mittel 1970-2015		
	GTZ 20/15 [Kd]	Heiz-tage [d]	Außen-temp. [°C]	GTZ 20/15 [Kd]	Heiz-tage [d]	Außen-temp. [°C]	GTZ 20/15 [Kd]	Heiz-tage [d]	Außen-temp. [°C]
Januar	515	31	3,4	541	31	2,6	602	31	0,6
Februar	432	28	4,6	551	28	0,3	526	28	1,4
März	375	31	7,9	428	31	6,2	460	31	5,1
April	242	28	11,6	291	27	9,9	328	28	8,8
Mai	198	25	13,2	138	18	14,1	177	20	13,4
Juni	44	8	17,9	63	10	17,7	79	11	16,6
Juli	20	3	19,4	6	1	22,0	31	5	18,6
August	66	11	16,6	0	0	21,1	33	5	18,2
September	83	11	15,3	161	22	13,8	144	18	14,1
Oktober	209	24	12,3	331	30	9,2	321	29	9,4
November	397	30	6,8	356	28	7,8	464	30	4,5
Dezember	508	31	3,6	440	31	5,8	570	31	1,6
Summe	3088	261	11,1	3305	257	10,9	3737	267	9,4

Tabelle 10: Klimabereinigung detailliert (März-Januar) [IWU, 2015/2016].

Monat	03/2014-02/2015			03/2015-02/2016			langj. Mittel 1970-2015		
	GTZ 20/15 [Kd]	Heiz-tage [d]	Außen-temp. [°C]	GTZ 20/15 [Kd]	Heiz-tage [d]	Außen-temp. [°C]	GTZ 20/15 [Kd]	Heiz-tage [d]	Außen-temp. [°C]
März	375	31	7,9	409	31	6,8	602	31	0,6
April	242	28	11,6	272	27	10,5	526	28	1,4
Mai	198	25	13,2	128	18	14,5	460	31	5,1
Juni	44	8	17,9	45	7	18,1	328	28	8,8
Juli	20	3	19,4	0	0	22,3	177	20	13,4
August	66	11	16,6	0	0	21,7	79	11	16,6
September	83	11	15,3	127	20	14,6	31	5	18,6
Oktober	209	24	12,3	308	29	9,8	33	5	18,2
November	397	30	6,8	347	28	8,2	144	18	14,1
Dezember	508	31	3,6	397	31	7,2	321	29	9,4
Januar	541	31	2,6	518	31	3,3	464	30	4,5
Februar	551	28	0,3	440	29	4,8	570	31	1,6
Summe	3233	261	10,6	2989	251	11,8	3737	267	9,4

6 Messergebnisse

6.1 Stromverbrauch

6.1.1 Stromverbrauch für Hausbetrieb

Der Strom für den Hausverbrauch setzt sich wie folgt zusammen:

- Lüftung: Elektrische Energie für die beiden Ventilatoren (Zuluft und Abluft) sowie die Steuerung und der Fan-Optimiser.
- Pumpen: Umwälzpumpen für das Heizregister, die Fußbodenheizung sowie die Trinkwarmwasserzirkulation.
- Monitoring: Energiebedarf des Buswandlers und der Sensoren (1,5 mA pro Busgerät). Messungen haben hier einen annähernd konstanten Verbrauch von circa 20 W ergeben. Der Stromverbrauch der Zählwerke der Wärmemengenzähler und elektrischen Zähler liegt auf den Unterverteilern der jeweiligen Wohnungen auf. Da diese Geräte nach Heizkostenverordnung in einem Mehrfamilienhaus ohnehin vorgeschrieben sind zählt dieser Anteil nicht in die Kategorie Monitoring.
- Allgemeine Haustechnik: Alle technischen Verbraucher die nicht dem Aufzug oder dem Allgemeinstrom zugeordnet sind, also die Summe aus den Kategorien Lüftung, Pumpen, und Monitoring.
- Haushaltsgeräte: Elektrische Energie für Waschmaschinen und Trockner.
- Sonstiges: Alle elektrischen Energieverbräuche die nicht einer der oben genannten Kategorien entsprechen. Dies umfasst den Verbrauch innerhalb der Wohneinheiten, inklusive Beleuchtung.
- Beleuchtung: Zur Abschätzung des Beleuchtungsstroms wurde in einer Wohneinheit die Beleuchtung separat gemessen.

Über die beiden Messperioden bzw. über das Kalenderjahr 2015 ergibt sich im Bereich Hausverbrauch folgende Bilanz (Tabelle 11)

Tabelle 11: Jahresbilanz des Hausverbrauchs.

Jahr	Hausverbrauch							Summe
	Lüftung	Pumpen	Monitoring	Allgemein Technik	Allgemein gesamt	Haushalts- geräte	sonstiges	
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
Jahr 1	4764	1073	175	6013	8437	2021	15069	25526
Jahr 2	4476	1076	176	5728	7416	1923	13010	22349
Jahr 2015	4909	1073	175	6157	8063	2071	14438	24572

Eine detaillierte monatsweise Aufstellung der Werte befindet sich im Anhang A in der Tabelle 15. In Tabelle 12 sind dieselben Verbräuche anteilig am Gesamtverbrauch und flächenspezifisch aufgelistet.

Tabelle 12: Jahresbilanz des Hausverbrauchs, anteilig und spezifisch.

Jahr	Hausverbrauch							Summe
	Lüftung	Pumpen	Monitoring	Allgemein Technik	Allgemein gesamt	Haushaltsgeräte	sonstiges	
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	
Jahr 1	18,7%	4,2%	0,7%	23,6%	33,1%	7,9%	59,0%	100,0%
	3,88	0,87	0,14	4,89	6,86	1,64	12,26	20,77
Jahr 2	20,0%	4,8%	0,8%	25,6%	33,2%	8,6%	58,2%	100,0%
	3,64	0,88	0,14	4,66	6,03	1,56	10,59	18,18
Jahr 2015	20,0%	4,4%	0,7%	25,1%	32,8%	8,4%	58,8%	100,0%
	3,99	0,87	0,14	5,01	6,56	1,69	11,75	19,99

6.1.2 Stromverbrauch des projektspezifischen Anteils

Der projektspezifische Anteil reduziert sich auf den elektrischen Bedarf des M-Bus Pegelwandlers. Dieser beträgt 175,2 kWh/a bzw. 175,7 kWh/a (0,14 kWh/m²a).

6.1.3 Stromverbrauch für Elektromobilität

Bis zum Sommer 2016 sind keine Verbräuche für Elektromobilität entstanden, da kein Elektrofahrzeug zur Verfügung stand.

6.1.4 Gegenüberstellung von Stromverbrauch, -gewinnung, Eigenstromnutzung und Speicherbetrieb

Tabelle 13: Gegenüberstellung von Erzeugung, Speicherung und Verbrauch.

Jahr	Erzeugung, Speicherung und Verbrauch					
	Netzbezug	PV-Ertrag	Einspeisung	Eigenverbrauch	Batterie Beladung	Batterie Entladung
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jahr 1	16710	33342	23452	9890	587	523
Jahr 2	10104	33197	17329	15869	6848	6362
Jahr 2015	11316	32744	17751	14993	6333	5833

Tabelle 14: Gegenüberstellung von Eigenverbrauchsquote, Autarkiegrad und Speicherwirkungsgrad.

Jahr	EV-Quote	Autarkiegrad	Batterie-WG
	[-]	[-]	[-]
Jahr 1	29,7%	37,2%	89,0%
Jahr 2	47,8%	61,1%	92,9%
Jahr 2015	45,8%	57,0%	92,1%

Die in den Monitoringperioden erfassten PV-Erträge liegen im Bereich von 32744 kWh/a bis 33342 kWh/a. Dies entspricht 927 kWh/(a kW_p) bis 944 kWh/(a kW_p) bezogen auf die Gesamtanlage. Die Dachanlage mit zweimal 14,6 kW_p hat im ersten Messzeitraum einen spezifischen Ertrag von 974,3 kWh/(a kW_p) respektive 995,47 kWh/(a kW_p) umgesetzt. Die Fassadengeneratoren schneiden mit 2262,6 kWh/a (711 kWh/(a kW_p)) und 1897,9 kWh/a (668 kWh/(a kW_p)) natürlich deutlich schlechter ab. Mit Blick auf die gesamte Anlagenkonfiguration, ist der Ertrag zufriedenstellend und hat die Prognosen erfüllt. Die langjährige Prognose lag bei 33470 kWh/a. Vor dem Hintergrund, dass die Durchschnittstemperaturen deutlich höher waren als im langjährigen Mittel und die Simulationsgenauigkeit bei +0%/-2% liegt, sind die Ergebnisse mit einer Abweichung von -0,4% bis 2,2% sehr gut. Im selben Zeitraum wurde ein Stromverbrauch aller Verbraucher im Haus von 25526 kWh/a gemessen. Dieser wurde durch einen Netzbezug von 16710 kWh/a und einen Eigenverbrauch von 9601 kWh/a gedeckt. Dies entspricht einem Jahresautarkiegrad von 36,49% und einer Jahreseigenverbrauchsquote von 29,7%.

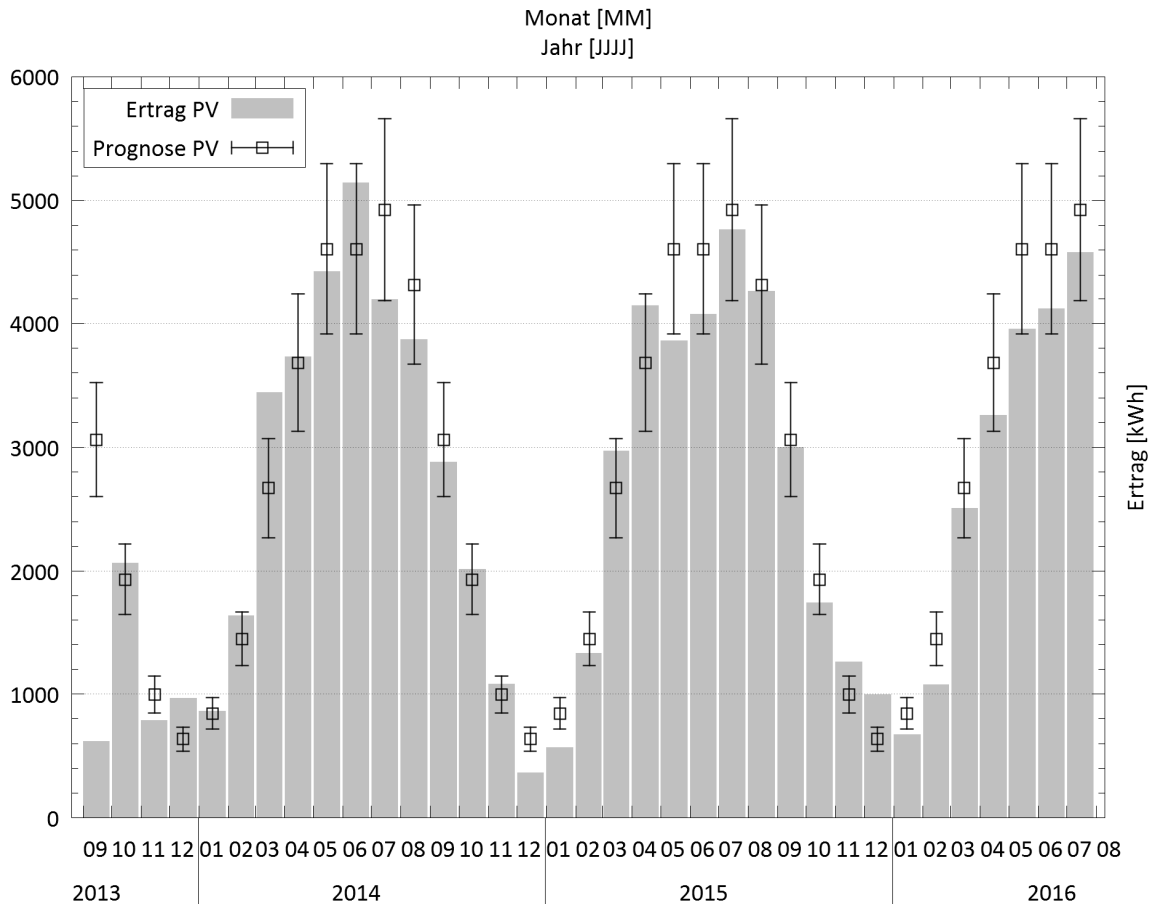


Abbildung 36: Vergleich Monatswerte der PV-Erzeugung mit Prognose (August 2013 bis Juli 2016).

Im ersten Messzeitraum (03/2014 bis 02/2015) konnte der Einfluss des elektrischen Speichersystems auf die Erhöhung des Eigenanteils noch nicht beurteilt werden. Das Speichersystem wurde erst im Januar 2015 geliefert. Durch anfängliche Softwareprobleme war erst im März ein Dreiphasenbetrieb möglich. Im Verlauf zeigt sich dann, dass der Hauptzähler der Batterie falsch angeschlossen worden war. Ein störungsfreier Regelbetrieb des Systems war erst ab 9. April 2015 möglich. Der Vergleich der Eigenverbrauchsquote und des Autarkiegrads in Tabelle 14 zeigt eine deutliche Steigerung im zweiten Monitoringjahr. Die folgenden drei Abbildungen zeigen typische Lastfälle des Batteriespeichers als Wochenverlauf, die zeitliche Verschiebung von Lasten ist jeweils schraffiert dargestellt:

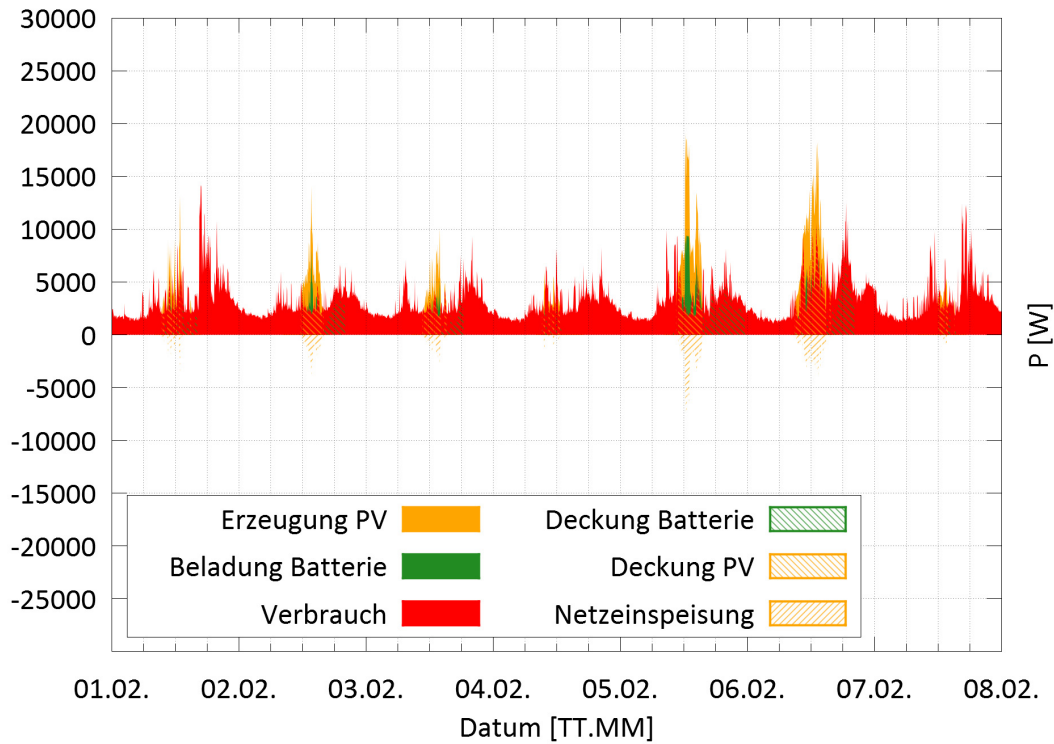


Abbildung 39

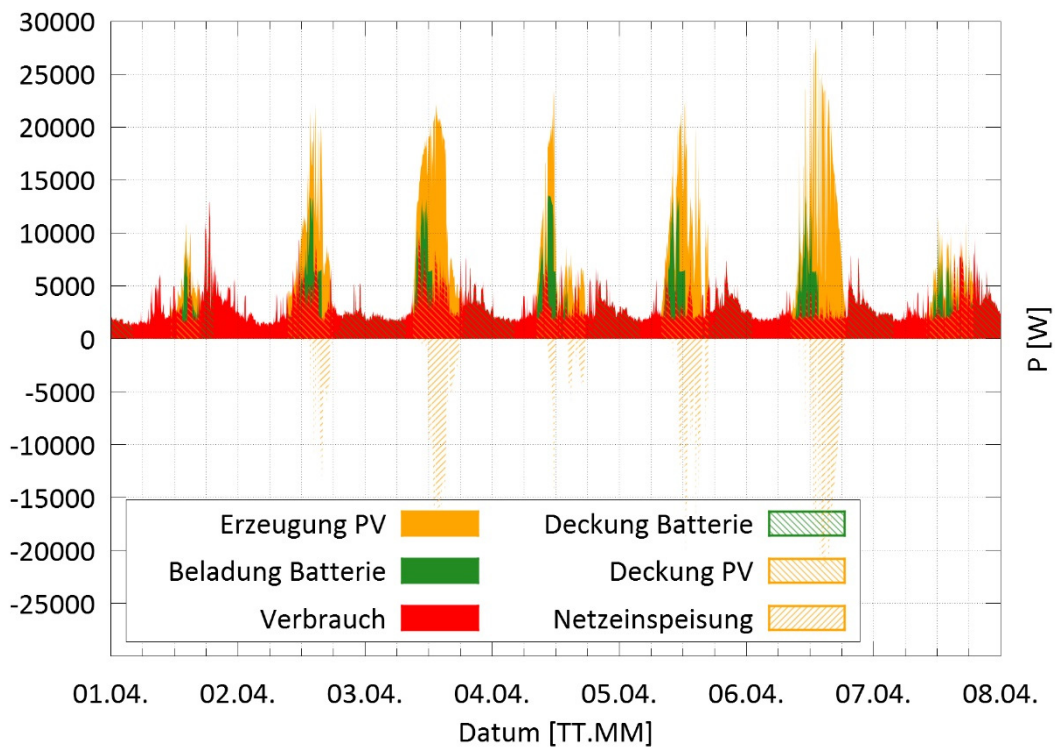


Abbildung 37: Be- und Entladung mit Lastgang, erste Woche im April 2016.

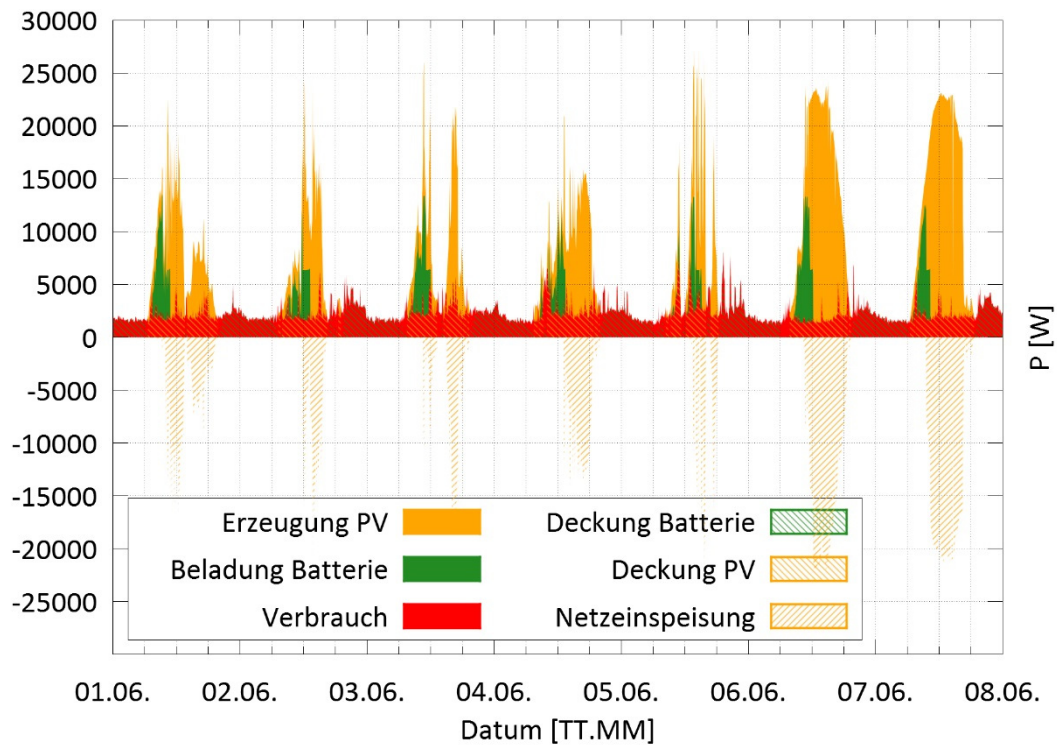


Abbildung 38: Be- und Entladung mit Lastgang, erste Woche im Juni 2016.

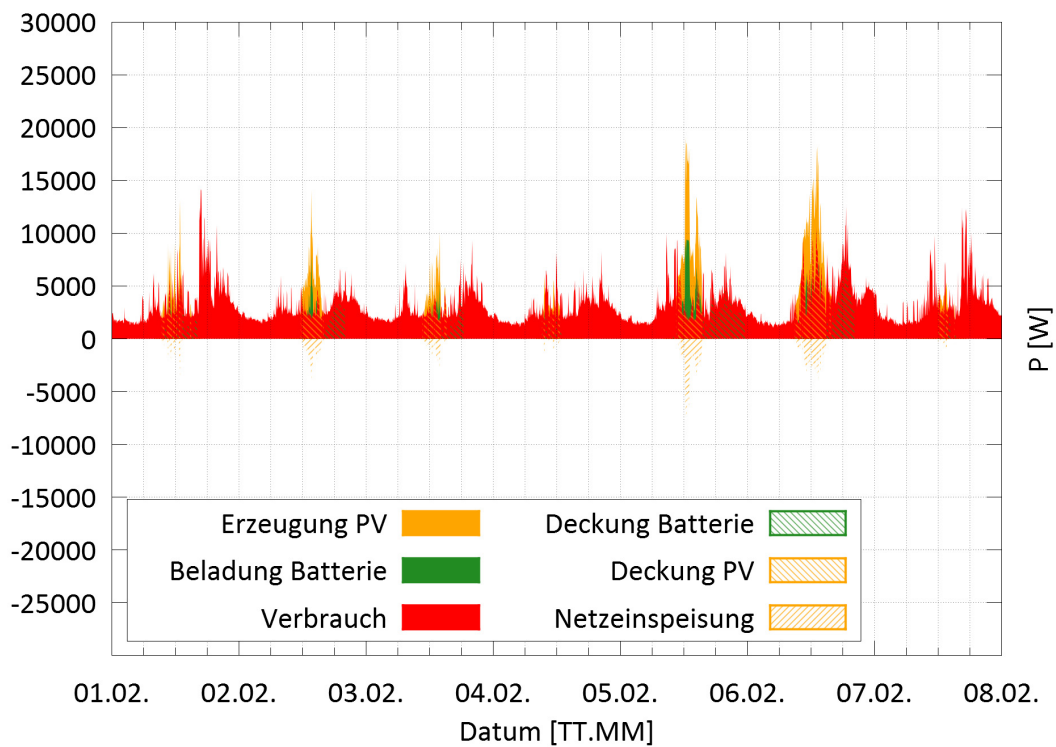


Abbildung 39: Be- und Entladung mit Lastgang, erste Woche im Februar 2016.

6.2 Anlagenperformance

6.2.1 Wärmeerzeuger

Eine Besonderheit im Vergleich zu vielen Projekthäusern innerhalb der Förderprogramms, stellt der Wärmebezug über die Nahwärme dar. Die Klärgas-BHKW Anlage speist am gegenüberliegenden Neckarufer in das lokale Wärmeversorgungsnetz ein. Innerhalb des Quartiers werden die neu erstellten Gebäude weitestgehend mit diesem System versorgt. Das System hat für den Zeitraum des Projekts einen zertifizierten Primärenergiefaktor von 0,0.

6.2.2 Lüftungsanlage

Um die Leistungsfähigkeit der Lüftungsanlage zu prüfen wurde im Rahmen einer Messkampagne die Luftqualität in Wohn- und Schlafräumen nachgemessen. Anlass für die Untersuchung waren Rückmeldungen der Bewohner nachdem in manchen Wohneinheiten störende Lüftungsgeräusche durch vermeintlich zu hohe Zulufraten gemeldet wurden. Teilweise gab es auch Hinweise auf mangelnde Luftqualität in den Schlafräumen. Diese Indizien für eine ungleiche Luftverteilung innerhalb des Hauses waren der Grund für weitergehende Untersuchungen.



Abbildung 40: Messkampagne Luftqualität und CO₂.

Wie in Abbildung 40 gezeigt wurde für die Messkampagne ein batteriegepuffertes Handmessgerät (Alborn Almemo 2690) verwendet. Das Gerät erfasste Temperatur, relative Feuchte und CO₂-Ghalt der Raumluft und speicherte sie in Zeitschritten von zehn Sekunden. Die Messung fand im

Zeitraum vom 01.06.2015 bis zum 12.07.2015 statt. Die Erkenntnisse aus der Messkampagne sind in Kapitel 8.3 (Behaglichkeit, Wohnkomfort) detailliert aufgeführt.

7 Wirtschaftlichkeit

7.1.1 Baukosten

Die Gesamtkosten für das Bauvorhaben beliefen sich in der KG 300 auf 1437450 € und in der KG 400 auf 699605 €. Die einzelnen Unterkostengruppen gliedern sich wie folgt auf:

Tabelle 15: Baukosten [Projektsteuerung Landenberger].

Position	Hauptauftrag	Nachtrag	Abgerechnet	Freigabe/Skonto	Szenario Passiv	Szenario Plus
Grundstück	11 276,56 €	469 350,00 €	480 620,56 €	480 620,56 €	480 620,56 €	480 620,56 €
SUMME KGR 100	11 276,56 €	469 350,00 €	480 620,56 €	480 620,56 €	480 620,56 €	480 620,56 €
Erschliessung Wasser	4 171,40 €		4 171,40 €	4 149,98 €	4 171,40 €	4 171,40 €
Erschliessung Wärme	10 876,60 €		10 876,60 €	10 876,60 €	10 876,60 €	10 876,60 €
Erschliessung Telefon	511,77 €		511,77 €	511,77 €	511,77 €	511,77 €
Erschliessung Strom	3 188,01 €		3 209,43 €	3 209,43 €	3 209,43 €	3 209,43 €
SUMME KGR 200	18 747,78 €		18 769,20 €	18 747,78 €	18 769,20 €	18 769,20 €
Gründung	16 792,09 €		17 202,64 €	16 636,50 €	17 202,64 €	17 202,64 €
Erd-+Rohbauarbeiten	423 318,80 €	334,18 €	403 456,62 €	388 733,05 €	403 456,62 €	403 456,62 €
Zimmerer	110 547,50 €	18 948,13 €	115 280,99 €	112 053,09 €	115 280,99 €	115 280,99 €
Zimmerer -Fassade	86 813,70 €	774,36 €	83 156,76 €	79 468,88 €	83 156,76 €	83 156,76 €
Klempner	14 344,26 €	950,91 €	9 656,53 €	9 406,61 €	9 656,53 €	9 656,53 €
Abdichtung Sicherungssystem	74 652,53 €	16 715,01 €	72 503,55 €	70 641,26 €	72 503,55 €	72 503,55 €
Gerüst	18 693,71 €	618,80 €	17 349,55 €	16 610,73 €	17 349,55 €	17 349,55 €
Sonnenschutz	22 790,88 €	15 681,17 €	36 078,10 €	34 995,75 €	36 078,10 €	36 078,10 €
Fenster	164 039,24 €	4 814,31 €	168 574,64 €	163 866,67 €	168 574,64 €	168 574,64 €
Fenster-Nachtrag	697,34 €		697,34 €	677,92 €	697,34 €	697,34 €
Schlosser	57 315,95 €	1 168,13 €	64 541,91 €	62 055,17 €	64 541,91 €	64 541,91 €
Schlosser-Nachträge	3 241,55 €		5 851,92 €	5 630,95 €	5 851,92 €	5 851,92 €
Estrich	35 008,43 €		31 606,46 €	30 403,38 €	31 606,46 €	31 606,46 €
Beschläge	3 616,99 €		4 065,53 €	4 033,00 €	4 065,53 €	4 065,53 €
Fliesen	52 734,11 €	20 230,00 €	73 003,64 €	70 601,09 €	73 003,64 €	73 003,64 €
Schreiner (Türen+Simsen)	32 243,57 €	3 570,00 €	39 654,56 €	38 628,31 €	39 654,56 €	39 654,56 €
Kellerabtrennungen	3 257,21 €	862,93 €	4 120,14 €	3 807,59 €	4 120,14 €	4 120,14 €
Wohnungseingangstüren	9 670,65 €		10 570,29 €	9 740,53 €	10 570,29 €	10 570,29 €
Parkett	66 934,23 €		67 940,31 €	65 374,88 €	67 940,31 €	67 940,31 €
Trockenbau	105 713,11 €	2 028,95 €	100 792,56 €	95 851,63 €	100 792,56 €	100 792,56 €
Maler	28 380,07 €	17 850,00 €	50 929,88 €	48 461,72 €	50 929,88 €	50 929,88 €
Nassputz	40 572,62 €		42 205,17 €	40 341,66 €	42 205,17 €	42 205,17 €
Reinigung 1	565,25 €		4 121,57 €	4 121,57 €	4 121,57 €	4 121,57 €
Strom und Maschinen	1 570,80 €		1 419,18 €	1 419,18 €	1 419,18 €	1 419,18 €
Bauwasseranschluss SWT	202,30 €		181,90 €	181,90 €	181,90 €	181,90 €
Reinigung 2	595,00 €		497,66 €	497,66 €	497,66 €	497,66 €
Bauschild	1 779,05 €		1 779,05 €	1 779,05 €	1 779,05 €	1 779,05 €
Trocknung Hagelschaden	2 106,30 €		2 106,30 €	2 106,30 €	2 106,30 €	2 106,30 €
Bautrocknung 1	6 692,56 €		6 401,01 €	6 401,01 €	6 401,01 €	6 401,01 €
Bautrocknung 2	1 071,00 €		1 071,00 €	1 071,00 €	1 071,00 €	1 071,00 €
Hagelschaden - Elektro	703,53 €		633,19 €	578,57 €	633,19 €	633,19 €
SUMME KGR 300	1 386 664,33 €	104 546,88 €	1 437 449,95 €	1 386 176,61 €	1 437 449,95 €	1 437 449,95 €

H-L-S	239 547,00 €	63 108,59 €	300 605,10 €	292 135,22 €	300 605,10 €	300 605,10 €
Elektro	98 175,00 €	44 625,00 €	131 719,71 €	125 469,02 €	131 719,71 €	131 719,71 €
Elektro (LED-Beleuchtung)	8 306,08 €		7 866,61 €	7 473,28 €	- €	7 866,61 €
Löscheinrichtung	595,00 €		595,00 €	595,00 €	595,00 €	595,00 €
Küche	45 000,00 €		44 999,99 €	44 999,99 €	44 999,99 €	44 999,99 €
Aufzug	40 103,00 €		40 103,00 €	40 065,37 €	40 103,00 €	40 103,00 €
PV-Anlage			130 417,00 €	130 025,75 €	- €	130 417,00 €
Batteriespeicher	43 298,15 €		43 298,15 €	43 298,15 €	- €	43 298,15 €
Nachträge 400						
SUMME KGR 400	475 024,23 €	107 733,59 €	699 604,56 €	684 061,78 €	518 022,80 €	699 604,56 €
Aussenanlagen	18 793,16 €		18 229,36 €	17 864,77 €	18 229,36 €	18 229,36 €
SUMME KGR 500	18 793,16 €		18 229,36 €	17 864,77 €	18 229,36 €	18 229,36 €
Ausstattung + Kunstwerke	1 190,00 €					
SUMME KGR 600	1 190,00 €					
Projektssteuerung	107 196,51 €		107 196,51 €	107 196,51 €	107 196,51 €	107 196,51 €
Architekt	221 254,72 €	46 442,51 €	235 573,57 €	235 573,57 €	235 573,57 €	235 573,57 €
Tragwerksplanung	44 625,00 €		40 931,06 €	40 931,06 €	40 931,06 €	40 931,06 €
Prüfstatik	11 560,11 €		11 560,10 €	11 560,10 €	11 560,10 €	11 560,10 €
Vermessung	1 071,00 €		2 017,05 €	2 017,05 €	2 017,05 €	2 017,05 €
TGA-Planung	66 958,92 €		64 401,73 €	64 401,73 €	64 401,73 €	64 401,73 €
Elektroplanung	4 284,00 €		6 074,24 €	6 074,24 €	6 074,24 €	6 074,24 €
PV-Planung	8 925,00 €		9 591,40 €	9 591,40 €	- €	9 591,40 €
PHI-Zertifizierung	8 330,00 €		8 092,00 €	8 092,00 €	8 092,00 €	8 092,00 €
Blower-Door, Thermografie	2 296,70 €		2 296,70 €	2 296,70 €	2 296,70 €	2 296,70 €
Schallschutz + Akustik	4 165,00 €		4 165,00 €	4 165,00 €	4 165,00 €	4 165,00 €
Genehmigungen aller Art	18 928,14 €		18 928,14 €	18 928,14 €	18 928,14 €	18 928,14 €
Freianlagen	4 245,12 €		4 245,12 €	4 245,12 €	4 245,12 €	4 245,12 €
SIGEKO	4 641,00 €		4 641,00 €	4 641,00 €	4 641,00 €	4 641,00 €
Beratung Elektro	3 665,20 €		3 665,20 €	3 665,20 €	3 665,20 €	3 665,20 €
Versicherung	4 388,01 €		4 388,01 €	4 388,01 €	4 388,01 €	4 388,01 €
TG-Planungsumlage	8 087,60 €		8 087,60 €	8 087,60 €	8 087,60 €	8 087,60 €
Rechtsberatung	4 184,75 €		4 184,75 €	4 184,75 €	- €	4 184,75 €
Consulting	2 255,05 €		2 255,05 €	2 255,05 €	- €	2 255,05 €
Nachträge: SWT, KSK, Ertex	23 602,40 €		5 367,02 €	5 367,02 €	- €	5 367,02 €
SUMME KGR 700	554 664,23 €	46 442,51 €	547 661,25 €	547 661,25 €	526 263,03 €	547 661,25 €
GESAMTSUMME	2 465 170,29 €	728 072,98 €	3 202 334,88 €	3 135 132,75 €	2 999 354,90 €	3 202 334,88 €

Aus allen Kostenkategorien ergibt sich für das Gebäude eine Bruttogesamtsumme von 3,202 Mio. €.

7.1.2 Laufende Kosten und Tarife

Für die Betriebskosten gelten folgende Annahmen:

- Die Anschlussgebühr für einen Haushaltszähler beträgt 102 € pro Jahr.
- Die jährliche Zählergebühr für den Einspeisezähler beträgt 15,2 € netto.
- Der Einspeisefaktor liegt bei der Anlage bei 90%, d.h. nur 90% des eingespeisten Stroms werden verrechnet.
- Der Tarif für die Einspeiseleistung bis 10 kW_p betrug nach EEG 15,35 ct/kWh.
- Der Tarif für die Einspeiseleistung über 10 kW_p betrug nach EEG 14,65 ct/kWh
- Der Tarif für den Wärmebezug betrug 8,45 ct/kWh
- Die Grundkosten des Fernwärmeanschlusses betragen 2250 €/a.

- Der Leistungsfaktor für die beiden obigen Tarife beträgt 10/36.
- Die Eigenkapitalquote für die Finanzierung des Hauses ist auf 30% festgelegt.
- Der effektive Jahreszins der Finanzierung beläuft sich auf 2,4%, die Laufzeit beträgt 20 Jahre.

7.1.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden fünf Basisszenarien miteinander verglichen:

- Szenario 0: Ein zertifiziertes Passivhaus ohne Photovoltaikanlage und ohne elektrischen Energiespeicher mit Nahwärmeanschluss.
- Szenario 1: Ein zertifiziertes Passivhaus mit Photovoltaikanlage aber ohne elektrischen Energiespeicher mit Nahwärmeanschluss. Die Eigenverbrauchsquote beträgt 29%.
- Szenario 2: Ein zertifiziertes Passivhaus mit Photovoltaikanlage und mit elektrischem Energiespeicher sowie Nahwärmeanschluss. Die Eigenverbrauchsquote beträgt 45%.
- Szenario 3: Ein zertifiziertes Passivhaus mit Photovoltaikanlage und mit elektrischem Energiespeicher sowie Nahwärmeanschluss. Die Eigenverbrauchsquote beträgt 60%.
- Szenario 4: Jedes Basisszenario wird unter der Annahme von stabilen Energiepreisen und einer Steigerung von 2% und 5% pro Jahr als Variante gerechnet.
- Ein Vergleichsszenario (4) mit einem zertifizierten Passivhaus mit Photovoltaikanlage ausschließlich auf dem Dach und ohne elektrischen Energiespeicher mit Nahwärmeanschluss. Die Eigenverbrauchsquote beträgt 60%.

Bei den genannten Szenarien gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Die Deckung des Wärmebedarfs erfolgt in allen Szenarien via Fernwärme, da im vorliegenden Fall die lokale Bauordnung einen Anschlusszwang vorsieht.
- Die Gebäudehülle bleibt von der Betrachtung unberührt, da die Einhaltung des Passivhaus-Standards in beiden Fällen nur mit dem vorliegenden Dämmstandard erreicht werden kann.
- Im Plus-Energie-Szenario werden die Investitionen für die Energieerzeugung (Photovoltaik), Energiespeicherung (Batteriesystem), Monitoringgeräte, sowie die hiermit verbundenen Beratungs- und Planungskosten einbezogen.
- Die laufenden Energiekosten (Strom) werden in der Passivhausvariante mit einem Satz von 26,65 ct/kWh angesetzt.
- Eine erste Betrachtung zeigt einen Jahresvergleich für die zurückliegende Monitoringperiode.
- Unter Annahme von Preissteigerungen beim Strom wird noch eine Parameterstudie durchgeführt.
- Die Versicherungsbeiträge für die PV-Anlage werden in den Vergleichen vernachlässigt.

Basierend auf den oben genannten Punkten ergeben sich für die Szenarien folgende Kosten:

Tabelle 16: Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Szenario	Laufzeit	Beschreibung	Strompreissteigerung	Eigenstromquote	Strombezugs-kosten	Grundkosten	Betriebskosten-gesamt	Stromerlös	zusätzliche Investitions-/Kapital-kosten	Gesamt-kosten	spezifische Kosten	relativ zu Szenario 0.1	relativ zu Szenario 0.2	relativ zu Szenario 0.3
Szenario 0.1	20	Ohne PV oder Batterie, Strompreis stabil	0,0%	0,0%	-135 915	-21 848	-157 763	0	0	-157 763	-128	-	-	-
Szenario 0.2	20	Ohne PV oder Batterie, Strompreis +2%/a	2,0%	0,0%	-168 285	-21 848	-190 134	0	0	-190 134	-155	-32 370	-	-
Szenario 0.3	20	Ohne PV oder Batterie, Strompreis +5%/a	5,0%	0,0%	-187 879	-21 848	-209 727	0	0	-209 727	-171	-51 964	-19 593	-
Szenario 1.1	20	Mit PV ohne Batterie, Strompreis stabil	0,0%	29,0%	-83 773	-1 662	-85 435	76 128	-159 497	-168 804	-137	-11 040	21 330	40 923
Szenario 1.2	20	Mit PV ohne Batterie, Strompreis +2%/a	2,0%	29,0%	-103 636	-1 662	-105 298	76 128	-159 497	-188 667	-154	-30 904	1 467	21 060
Szenario 2.1	20	Mit PV mit Batterie, EQ 45%, Strompreis stabil	0,0%	45,0%	-56 297	-1 662	-57 959	58 974	-259 788	-258 773	-211	-101 009	-68 639	-49 046
Szenario 2.2	20	Mit PV mit Batterie, EQ 45%, Strompreis +2%/a	2,0%	45,0%	-69 260	-1 662	-70 922	58 974	-259 788	-271 736	-221	-113 972	-81 602	-62 009
Szenario 3.1	20	Mit PV mit Batterie, EQ 60%, Strompreis stabil	0,0%	60,0%	-30 539	-1 662	-32 201	42 890	-259 788	-249 098	-203	-91 335	-58 965	-39 371
Szenario 3.2	20	Mit PV mit Batterie, EQ 60%, Strompreis +2%/a	2,0%	60,0%	-37 032	-1 662	-38 694	44 510	-259 788	-253 972	-207	-96 209	-63 839	-44 245
Szenario 3.3	20	Mit PV mit Batterie, EQ 40%, Strompreis +5%/a	5,0%	45,0%	-96 216	-1 662	-97 878	58 974	-259 788	-298 691	-243	-140 928	-108 558	-88 964
Szenario 3.4	20	Mit PV mit Batterie, EQ 60%, Strompreis +5%/a	5,0%	60,0%	-50 534	-1 662	-52 196	42 890	-259 788	-269 094	-219	-111 330	-78 960	-59 367
Szenario 4	20	Günstige PV mit Batterie, EQ 60%, Strompreis +5%/a	5,0%	60,0%	-68 807	-1 662	-70 469	38 601	-174 296	-206 164	-168	-48 400	-16 030	3 563

Der Vergleich der verschiedenen Szenarien zeigt, dass Strompreissteigerungen ein extremes Risiko darstellen. Diesem Risiko kann man begegnen indem man dieses auf sichere Zins und Investitionskosten verschiebt. Umso höher der Eigenanteil an verbrauchtem Strom umso geringer fällt auch der Risikohebel der Energiepreissteigerungen aus. Eine Besonderheit im vorliegenden Fall ist die hohe Investitionssumme in die Fassadenphotovoltaik. Hier zeigt sich, dass der Mehrertrag von circa 10% nicht die Mehrinvestition von 50000 € zuzüglich entstehender Zinskosten rechtfertigt. Die Nutzung von Standardmodulen wäre hier vorteilhaft gewesen. Im Vergleich hat nur das Szenario 4 eine schwach positive Wirtschaftlichkeit.

7.1.4 Kosten Haushaltsgeräte

Die folgende Liste zeigt die aktuell in Benutzung befindlichen Haushaltsgeräte deren Verbrauch erfasst wird.

Tabelle 17: Zusammenstellung der Haushaltsgeräte.

WE	Gerät	Typ	Hersteller	Modell	E-Klasse	Preis
1	1	Kochfeld	Neff	TD 4340 N	-	-
	2	Backofen	Neff	SHH 8542	-	-
	3	Geschirrspüler	Neff	GX 963	A++	-
	4	Dunstesse	Neff	DBS 7966 N	-	-
	5	Kühl/Gefrier	Neff	KG 734 T	A++	-
	6	Gefrierschrank	Liebherr	-	-	999,00 €

2	1	Waschmaschine	Bosch	Logixx8 ecoSpar	A, 1,20 kWh	799,00 €
	2	Geschirrspüler	Neff	GV 669	A+++ 237kWh/Jahr	539,00 €
	3	Kühlschrank	Liebherr	3640-28	B	969,00 €
	4	Gefrierschrank	Liebherr	1423-24	A+ (superA)	449,00 €
	5	Induktionsherd	Ikea	Äventyrlig	k. A. Induktion	599,00 €
	6	Backofen	Siemens	HB 28055	-20% (o. G.)	899,00 €
	7	Dunstabzugshaube	-	-	-	-
3	1	Kochfeld	Siemens	EH645EB11/Induktion		1 371,00 €
	2	Ofen	Siemens	HB23AB520	A	710,00 €
	3	Geschirrspüler	Siemens	SN66NO97EK	A++	1 178,00 €
	4	Kühlschrank	Siemens	KI38LA65	A++	1 405,00 €
	5	Kühltruhe	Liebherr	GT2131/20	A++	420,00 €
4	1	Backofen	IKEA	Framtid Lagan	Energieklasse A	-
	2	Kochfeld	IKEA	Ceran	-	-
	3	Kühlgefrierkombi	Bosch	KGN36 XL 41	A+++	700,00 €
	4	Spülmaschine	Bosch	SPV 69 T 20 EU 20	A++	500,00 €
5	1	Herd	IKEA	Smaklig 202.228.30	-	459,00 €
	2	Ofen	IKEA	Bejublad 002.451.92	A	499,00 €
	3	Kühlgefrierkombi	Siemens	KG39NXI40	A+++	879,00 €
	4	Spülmaschine	Siemens	SN66N093EU	A++	638,00 €
	5	Dunstabzug	Siemens	LF91BB542	A	1 218,00 €
7	1	Kühlschrank	Liebherr	IK BP 3554-20	A+++	-
	2	Herd	Neff	TT 5586 X	-	-
	3	Geschirrspüler	Neff	GX 769	A+++ -10%	-
	4	Backofen	Miele	H6160 BP	A+	-
	5	Dampfgarer	Miele	DG 6100	-	-
	6	Waschmaschine	Miele	W 3371 WPS	A++	-
	7	Trockner	Bosch	WTW 86391	A+	-
	8	Sauna Blockbohlen	Bemberg	8 KW	-	-
	9	TV	Samsung	UE 40F 8090 SLX	-	-
	10	Dunstabzug	Berbel	BEH 90 FL	-	-
	11	Tiefkühler	Liebherr	GP 1486	A+++	-
8	1	Herd(Kochfeld)	Neff	-	-	-
	2	Backofen	Neff	B16P72.3	-	-
	3	Dampfgarer	Miele	DGC 5070	-	-
	4	Kühlschrank	Liebherr	ICBN 3356	A++	-
	5	Waschmaschine	Privileg	Dynamik 78616	-	-
	6	Spülmaschine	Siemens	506P1S	A++	-
	7	Wärmeschublade	Neff	N21H4/N22/H4	-	450,00 €
	8	Sauna	Bemberg	-	-	-
9	1	Waschmaschine	Bosch	EcoLogixx8	A+++	760,00 €
	2	Trockner	Miele	Softttronic W1914	A+++	900,00 €
	3	Waschmaschine	Bosch	EcoLogixx 7S	A++	519,00 €
	4	Trockner	Siemens	iQ500	A++	450,00 €
	5	Waschmaschine	Miele	Edition 111 W3371	A++	670,00 €
	6	Trockner	Bosch	Logixx 8 EcoSpar	A+++	570,00 €
	7	Waschmaschine	Siemens	iQ 700	A+++	700,00 €
	8	Trockner	AEG	74650 A3	A	570,00 €
	9	Waschmaschine	AEG	59852	A-40%	599,00 €

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

Primärenergetisch betrachtet hat das Gebäude im ersten Messzeitraum ein Plus an elektrischer Energie von 7816 kWh/a erreicht, im zweiten Messzeitraum sogar 10848 kWh/a. Der Heizwärmeverbrauch in den ersten 12 Betriebsmonaten lag inklusive des erhöhten Bedarfs durch Bautrocknung (Wasserschaden nach Einzug in drei Wohneinheiten) bei 12132 kWh. Ohne diese Trocknungsphase ergibt sich für den ersten Messzeitraum ein Heizwärmebedarf der Wohnungen von 7573 kWh. Im zweiten Messzeitraum konnte der Messwert für den Februar auf Grund eines Serverdefekts nicht ermittelt werden, dennoch lag dieser unter dem Vorjahreswert.

Der berechnete Bedarf nach DIN V 18599 war im Vorfeld mit 11420 kWh/a prognostiziert worden. Der Verbrauch für Warmwasserbereitung fiel mit 15219 kWh/a und 16335 kWh/a deutlich niedriger aus als der Bedarf von 20753 kWh/a. Dies ist teilweise durch die relativ geringe Belegung der Wohnungen zu erklären.

8.2 Wirtschaftlichkeit

Die Photovoltaikanlage wurde bereits im Jahr 2013 (Juni) an das Netz gekoppelt. Die Vergütung für die Anlage beträgt somit 17,64 ct/kWh. Allerdings sind bis zum Bezug keine Einspeisevergütungen erwirtschaftet worden, diese wurden dem Folgejahr zugeschlagen. Für das Jahr 2013 entstanden allerdings Aufwendungen von 2873 € für Wartung, Hilfsstrom und Nutzungsgebühr. Im Abrechnungsjahr 2014 sind 25061 kWh eingespeist worden, hierdurch entstanden Einnahmen von 4420 €. Diese standen Aufwendungen von 697 € gegenüber. Somit wurden 3723 € Erlöst. Für die Hauseigentümer erhöhte sich der Bezugspreis für Strom in der Mischkalkulation von 26,69 ct/kWh auf 27,74 ct/kWh. Für das Jahr 2015 ging der PV-Erlös auf 3131 € zurück. Bei gleichbleibenden Fixkosten ergibt sich ein Gewinn von 2434 €.

8.3 Behaglichkeit, Wohnkomfort

Befragungen der Bewohner haben ein durchweg positives Stimmungsbild ergeben. Insgesamt wird der Wohnkomfort subjektiv als sehr gut empfunden. Die Bewohner sind mit den Innentemperaturen zufrieden auch wenn grundsätzlich angemerkt wurde, dass diese im Winter deutlich höher liegen als in den zuvor bewohnten Gebäuden. Die Monatsmittelwerte für die Behaglichkeit können den Tabellen in Anhang B entnommen werden. In der folgenden Abbildung 41 sind die Monatsmittelwerte der beiden vergangenen Messperioden für alle Räume im Haus in einem Behaglichkeitsdiagramm nach Frank aufgetragen.

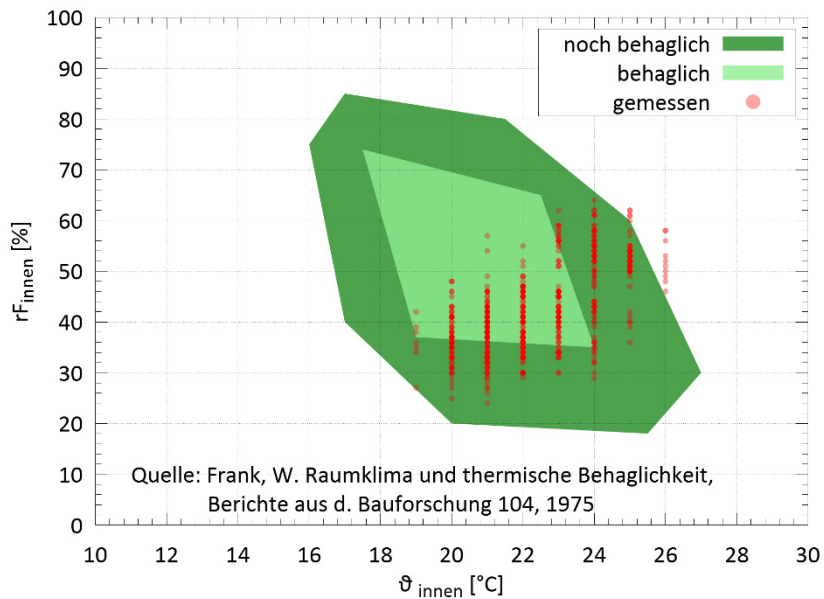


Abbildung 41: Gemessene Behaglichkeitswerte, Monatsmittelwerte nach Frank.

Im Rahmen der CO₂-Messung wurden weitere Behaglichkeitsparameter erfasst. Die Auftragung in Abbildung 42 zeigt die 10-Sekundenwerte dieser Messkampagne (02.06.2015-02.07.2015).

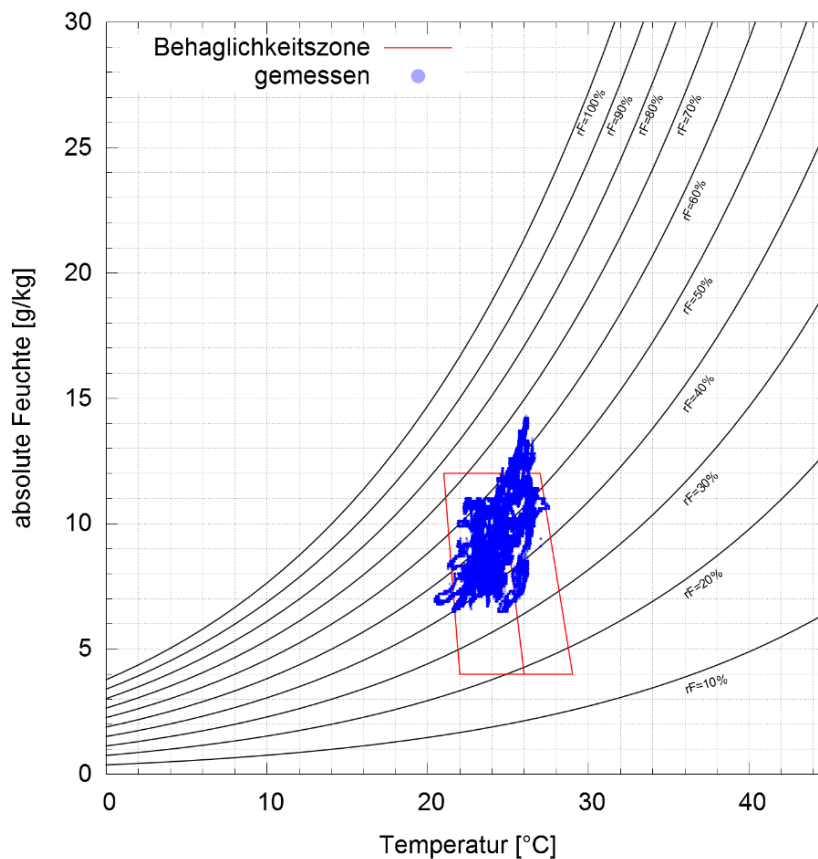


Abbildung 42: Gemessene Behaglichkeitswerte, WE1, WE4, WE6 und WE8.

Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen die Temperaturverläufe der heißesten Woche des Jahres 2015 in WE1 und WE2. Hierbei zeigt sich, dass die Temperaturen vorwiegend im Bereich des Komfortbands der Kategorie I liegen.

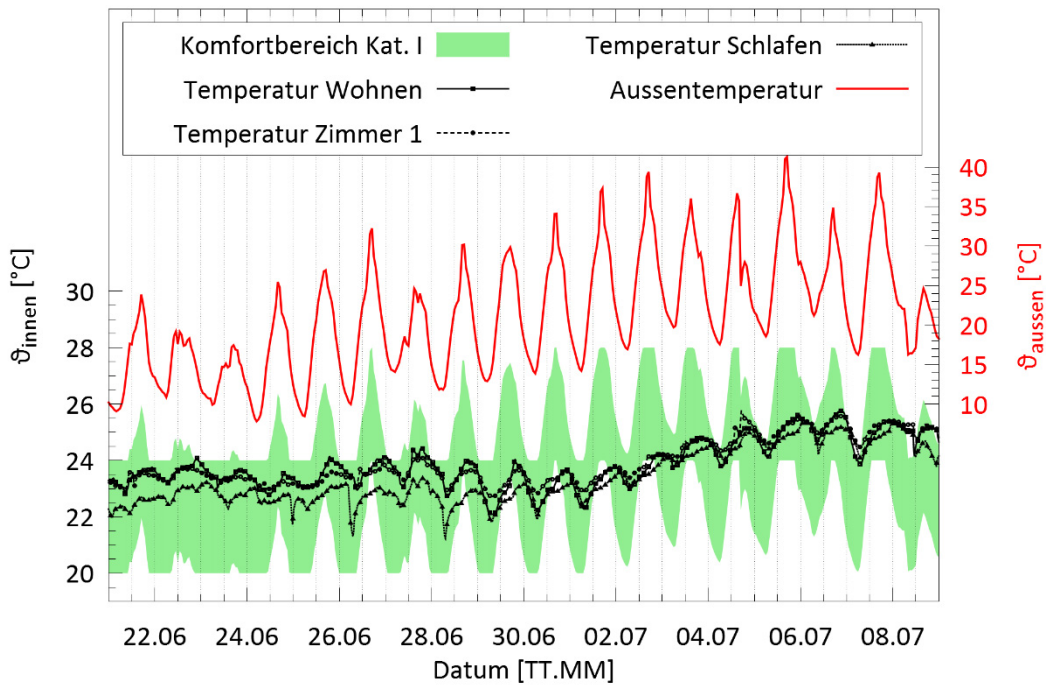


Abbildung 43: Gemessene Behaglichkeitswerte, WE1 heißeste Woche des Jahres.

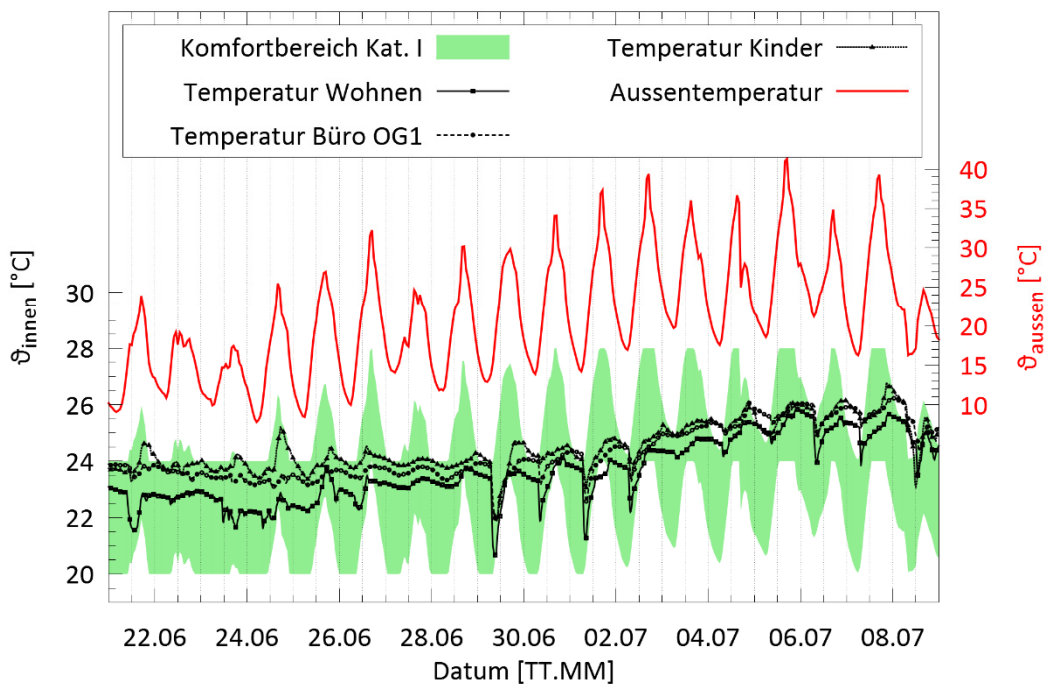


Abbildung 44: Gemessene Behaglichkeitswerte, WE2 heißeste Woche des Jahres.

8.4 Luftqualität

In den folgenden Abbildungen sind die Messungen der CO₂-Konzentrationen in verschiedenen Wohneinheiten aufgetragen. Abbildung 45 zeigt die erste Messung, durchgeführt in Wohneinheit 1.

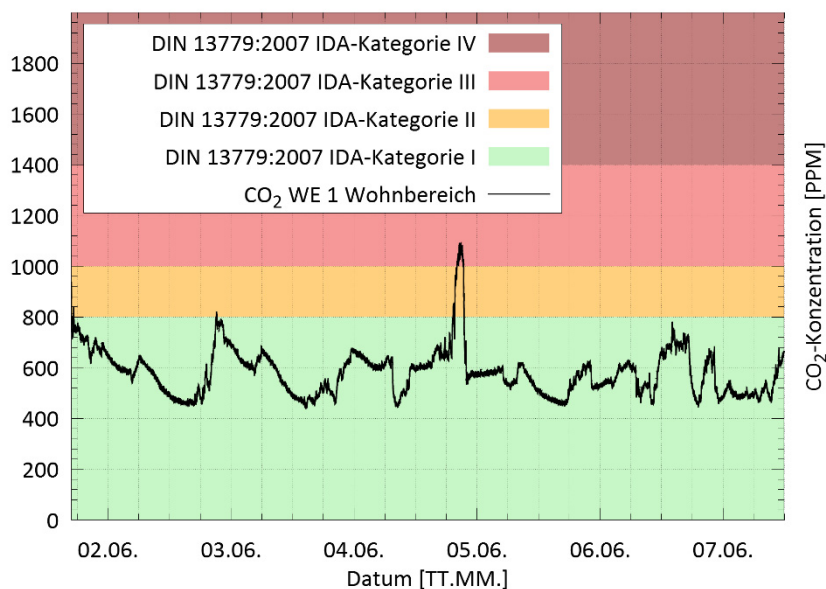


Abbildung 45: CO₂-Messung Wohneinheit 1, Wohnbereich.

Innerhalb des Messzeitraums gab es zwei Überschreitungen der Kategorie I. Die erste Überschreitung zu Beginn der Messung bleibt außer Acht - sie wurde zu Testzwecken herbeigeführt. Der Peak am 4.09. ist durch ein Abendessen mit fünf Anwesenden verursacht. Während der restlichen Messung lag die Belegung zwischen ein und zwei Personen. Bis auf Ausnahmen ist das Innenraumklima von WE1 mit „sehr gut“ zu bewerten.

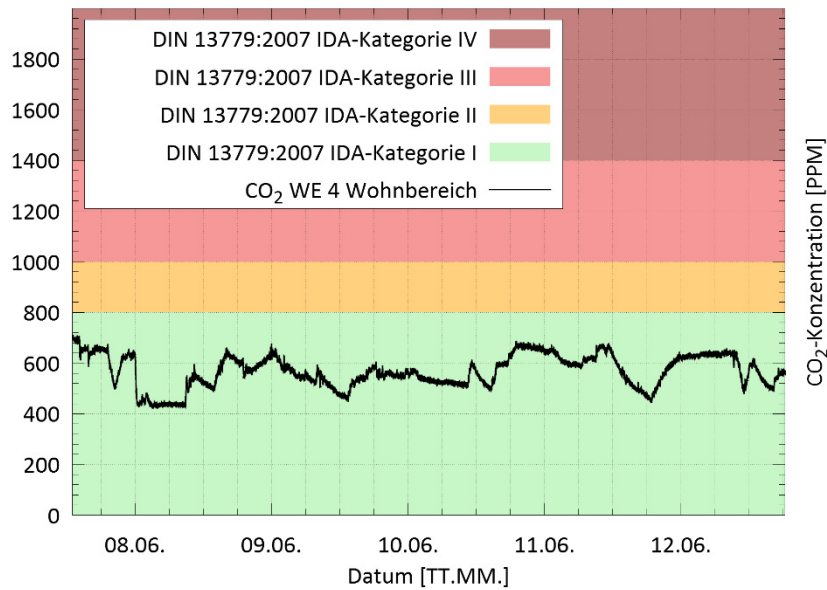


Abbildung 46: CO₂-Messung Wohneinheit 4, Wohnbereich.

Abbildung 46 zeigt, dass in Wohneinheit 4, auch auf Grund geringer Belegung mit nur einer Person, durchweg eine sehr gute Innenraumluftqualität herrscht.

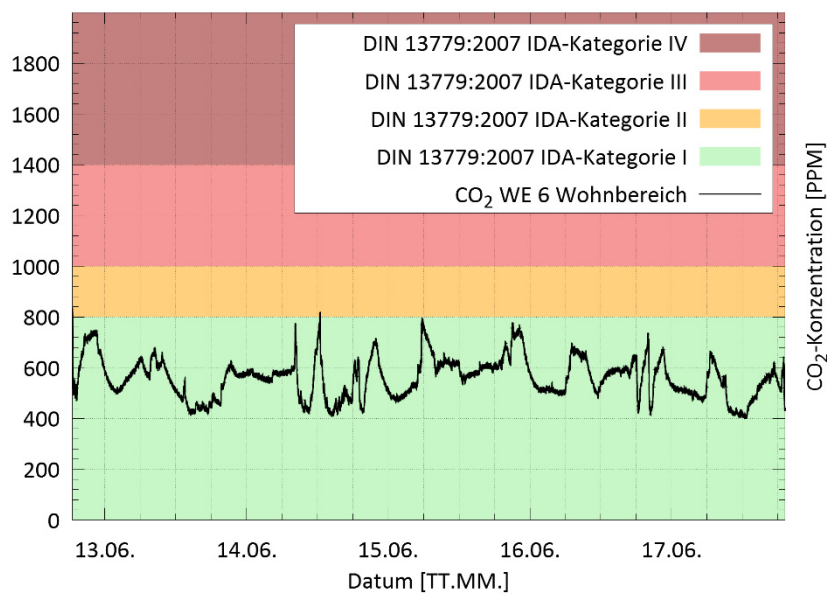


Abbildung 47: CO₂-Messung Wohneinheit 6, Wohnbereich.

Abbildung 47 und Abbildung 48 bestätigen eine bereits geäußerte Vermutung der Bewohner. Im Elternschlafzimmer in Wohneinheit 6 gibt es Probleme mit der Lüftungsanlage. Die notwendige Luftmenge wird vom System nicht bereitgestellt. Auf Grund der Messungen wurden die Zu- und Abluftdüsen des betroffenen Bereichs überprüft und neu eingestellt.

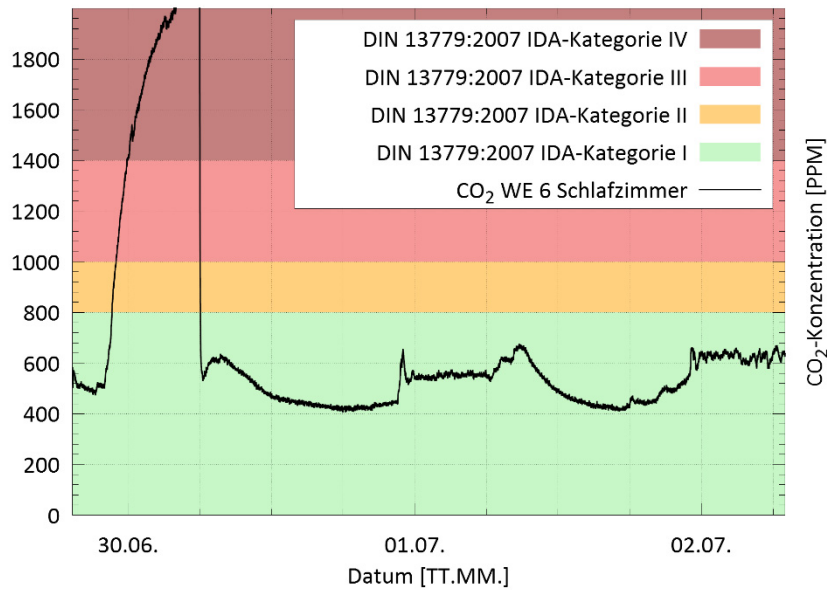


Abbildung 48: CO₂-Messung Wohneinheit 6, Schlafzimmer.

Abbildung 49 zeigt die Messdaten von Wohneinheit 8. Hier sind je zwei Ausreißer in die Kategorie II und Kategorie III innerhalb von 10 Tagen zu sehen. Im entsprechenden Zeitraum waren nach Angaben der Bewohner fünf Personen anwesend.

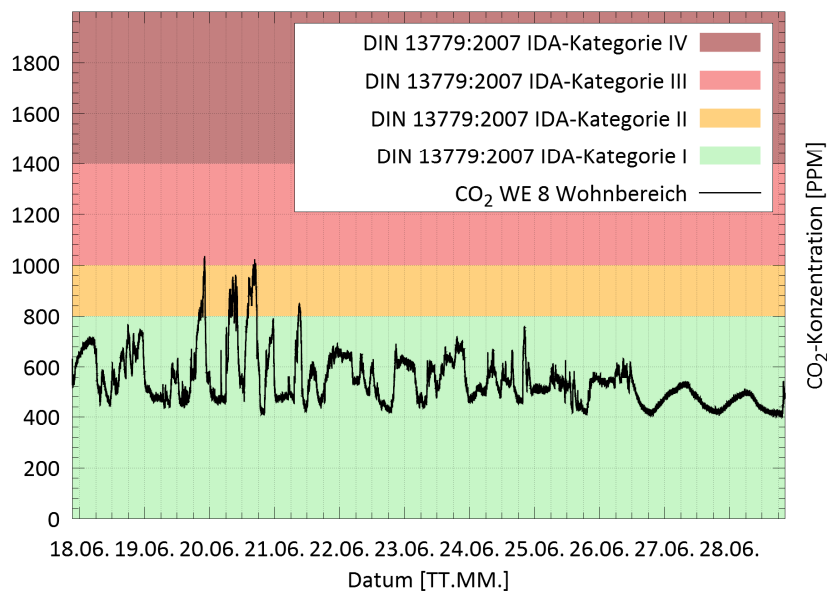


Abbildung 49: CO₂-Messung Wohneinheit 8, Wohnbereich.

8.5 Verbesserungspotentiale

8.5.1 Lüftung

Die Luftqualität wurde von den Bewohnern ausdrücklich gelobt. Die meisten Bewohner sind aus Altbauten mit niedrigerem zu erwartendem Wohnkomfort in den Neubau umgezogen. Allerdings wurde der bisher zu hohe Stromverbrauch für Lüftung moniert. Dies führte zu näheren Untersuchungen im Bereich der Lüftung.

Die Messungen im vorangegangenen Kapitel zeigen neben einigen Einstellungsproblemen vor allem das Potential einer geregelten Lüftung. Obwohl im Mittel ein reduzierter Luftwechsel von 70% der Nennluftwechsels eingestellt ist, erreichen die Wohneinheiten ein Niveau von Kategorie I (<790 ppm) nach DIN EN 13779. Durch eine gezielte und gesteuerte Reduzierung der Luftwechselraten kann hier Energie eingespart werden. Aus diesem Grund wurden Alternativszenarien mit < 900 ppm und < 1000 ppm als maximaler Zielkonzentration untersucht.

Basierend auf der Annahme einer Hausbelegung mit 22 Personen und einer spezifischen CO₂-Emission von 20 l/h (DIN EN ISO 16000-26), erreicht die Lüftung im Auslegungspunkt (1205 m³/h) eine CO₂-Konzentration von 790 ppm. Hier sind weder Undichtigkeiten noch Fensterlüftung oder eine reduzierte CO₂-Abgabe im Schlaf berücksichtigt.

Tabelle 18: Einsparpotentiale einer CO₂-geregelten Lüftungssteuerung.

Sollwert		< 1000 ppm	< 900 ppm	~790 ppm
Volumenstrom	[m ³ /h]	767	927	1205
Luftwechsel	[1/h]	0,34	0,41	0,53
Faktor	[-]	0,26	0,46	1,00
Ventilatorleistung	[W]	124	218	480
Ventilatorenergie	[kWh/a]	1082	1911	4200
Einsparung		74%	54%	0%

Tabelle 18 zeigt, dass bereits eine Absenkung der Raumluftanforderungen um 110 ppm den erforderlichen durchschnittlichen Volumenstrom der Anlage deutlich senkt. Hieraus ergibt sich eine Reduktion der mechanischen Ventilatorleistung um 54%.

8.5.2 Hohe Temperaturen

Die relativ hohen Innenraumtemperaturen, im Sommer wie auch im Winter, wurden bisher nicht negativ angemerkt. Dennoch wird im weiteren Verlauf ein Augenmerk auf diesen Umstand gelegt werden. Zudem zeigte sich ein teilweise sehr trockenes Innenraumklima, was in Zukunft noch näher zu betrachten ist.

8.5.3 Batterieanpassung

Eine Analyse der Messwerte im Rahmen des Monitorings des Speichersystems zeigte, dass zur Regelung der Ladestrategie nur die Messung einer Phase herangezogen wurde. Nach Änderung der Software wurden im weiteren Betrieb alle drei Netzphasen berücksichtigt.

8.5.4 Elektromobilität

Leider hat sich trotz der vorhandenen Infrastruktur keine Nutzung der Ladestationen etabliert. Für die Bewohner des Hauses standen bis dato Investitionshemmnisse im Vordergrund. Die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs ist mit Risiken (Wertverlust, Wartung, Ersatzteile) behaftet. Als wahrscheinlichste Variante erscheint die Nutzung der Ladestationen für E-Bikes oder Überlassung an einen Anbieter.

9 Literatur

- [1] Google Maps;
<https://www.google.de/maps/place/Reutlinger+Str.,+72072+T%C3%BCbingen/@48.5263177,9.0868808,268m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x4799faa5578c4f47:0xcd248c562ddfb72e!8m2!3d48.5117161!4d9.0849627>; 2016.
- [2] Dietmar Eberle, Florian Aicher: be baumschlagler eberle 2226 - die Temperatur der Architektur - Portrait eines energieoptimierten Hauses; ISBN 978-3-0356-0388-0; Birkhäuser; Berlin; 2015.
- [3] DIN EN 13779(2007): Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme.
- [4] DIN EN 16798-3(2015): Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Anforderungen an die Leistung von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsystemen
- [5] ASHRAE, Handbook of Fundamentals., Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2009
- [6] DIN EN 15242(2007): Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration; 2007
- [7] DIN EN ISO 7730(2005): Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [8] EN ISO 13791(2012): Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden- Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik- Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.
- [9] EN ISO 13786(2007): Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- [10] DIN EN 13465(2009): Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen.
- [11] DIN 1946-6(2009): Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung.
- [12] IEA-ECBCS Annex 35. (2002). State-of-the-art Review Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, A. Delsante & T. A. Vik (Eds.), Retrieved from <http://www.hybvent.civil.aau.dk/>

- [13] IEA-ECBCS Annex 35. (2002). Principles of Hybrid Ventilation Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, P. Heiselberg (Ed.) Retrieved from <http://www.hybvent.civil.aau.dk/>
- [14] IEA-ECBCS Annex 35. (2002). Hybrid Ventilation and Control Strategies in the Annex 35 Case Studies Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, S. Aggerholm (Ed.) Technical Report (pp. 31). Retrieved from <http://www.hybvent.civil.aau.dk/>
- [15] IEA-ECBCS Annex 35. (2002). Advanced Control Strategy Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings, P. Michel & M. El Mankibi (Eds.), Technical Report (pp. 11). Retrieved from <http://www.hybvent.civil.aau.dk/>
- [16] Fanger, P. O.: Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering; New York, USA; McGraw-Hill; 1972.
- [17] DIN EN 15251(2012): Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.
- [18] VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung.
- [19] AkkP 15: Passivhaus-Sommerfall; Protokollband Nr. 15 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase II; Darmstadt; Passivhaus Institut; 1999.
- [20] AkkP 22: Lüftungsstrategien für den Sommer; Protokollband Nr. 22 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III; Darmstadt; Passivhaus Institut; 2003.
- [21] AkkP 23: Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum; Protokollband Nr. 23 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III; Darmstadt; Passivhaus Institut; 2003.
- [22] Relay GmbH; THI - M-Bus Sensor für Innentemperatur und Feuchte; Datenblatt; Rev 2.0; 2012.
- [23] Relay GmbH; THO - M-Bus Temperatur- und Feuchtesensor für außen; Datenblatt; Rev 1.0; 2012.
- [24] Kamstrup A/S; Technische Beschreibung MULTICAL® 402; 4025512-743 DE; Rev. J1; 05.2013.
- [25] Kamstrup A/S; Datenblatt MULTICAL® 402; 5810726-D3 DE; 06.2013.
- [26] EasyMeter GmbH; Betriebsanleitung EasyMeter Q3D; Easy-10059-DE; 2013.
- [27] ABB AB; B23/B24 User Manual; Document ID: 2CMC485003M0201; Rev. A; 20.06.2013.

- [28] EMU Elektronik AG, EMU Professional & Allrounder - Technische Beschreibung M-BUS Schnittstelle für 3-Phasen Zähler; Rev. 1.4; 26.07.2012.
- [29] EMU Elektronik AG, Betriebsanleitung EMU Professional; 15.08.2012.
- [30] Saia-Burgess Controls AG; Datenblatt - Energiezähler mit integrierter M-Bus Schnittstelle ALD1; P+P26/530 DE02; 12. 2012.
- [31] Saia-Burgess Controls AG; Datenblatt - Energiezähler mit integrierter M-Bus Schnittstelle ALE3; P+P26/520 DE03; 12. 2012.
- [32] Relay GmbH; WebLog 250; Bedienungsanleitung Rev. 0.2; 09.2014.
- [33] Relay GmbH; AnDi 1 bis AnDi 4 - A/D Umsetzer für M-Bus; Bedienungsanleitung; Version 1.2; 03.09.2001
- [34] Kipp&Zonen B.V.; SP Lite2 Silizium Pyranometer; 1141396-V1104; 2012
- [35] Kipp&Zonen B.V.; AMPBOX - 4-20 mA Signal Amplifier for Solar Radiometers; 4414355-V1201; 2012
- [36] SunPower Corporation; Solarmodule E20/333 und E20/327, Datenblatt; Dokument Nr. 001-65483; Rev. A; 2011.
- [37] REFUsol GmbH; REFUsol 008K-020K; Datenblatt; DE-V11-20130919; 2013.
- [38] REFUsol GmbH; REFUsol 008K-020K; Datenblatt; DE-V11-20130919; 2013.
- [39] Siemens AG; Static Heat Meter Ultraheat 2WR5 (UH 502-101a); Rev. 2.12; 01.02.2002.
- [40] Belimo Stellantriebe Vertriebs GmbH; Systemdokumentation Fan Optimiser Cou24-A-MP, Rev. 2.2;11.2008.
- [41] EXHAUSTO GmbH; VEX330HX Betriebsanleitung; DN 3004684; 02.05.2013.

10 Anhang A

Tabelle 19: Monatliche Aufstellung des Hausverbrauchs (Hellgrau=Monitoringperiode 1, Dunkelgrau=Monitoringperiode 2).

Monat / Jahr	Hausverbrauch											
	Netz-bezug	PV-Ertrag	Ein-speisung	Eigen-verbrauch	Lüftung	Pumpen	Monitoring	Allgemein Technik	Allgemein-gesamt	Haushalts-geräte	sonstiges	Summe
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan 14	205	862	177	684	267	91	15	373	746	-	-	890
Feb 14	879	1301	900	401	173	82	13	269	538	-	-	1280
Mrz 14	1406	3446	2570	876	256	91	15	362	432	39	969	1439
Apr 14	1106	3800	2823	977	262	88	14	365	635	169	1257	2062
Mai 14	1047	4482	3411	1072	411	91	15	517	717	200	1220	2137
Jun 14	816	5131	4011	1121	398	88	14	500	652	171	1142	1965
Jul 14	921	4229	3131	1099	436	91	15	542	741	189	1096	2026
Aug 14	970	3903	2910	993	460	91	15	566	758	151	1056	1965
Sep 14	1282	2906	2048	858	431	88	14	534	705	195	1239	2139
Okt 14	1666	2061	1353	708	460	91	15	566	842	198	1409	2450
Nov 14	1771	1064	466	598	371	88	14	474	701	194	1378	2273
Dez 14	2259	371	84	287	413	91	15	519	770	182	1606	2558
Jan 15	2093	610	178	432	416	91	15	522	770	178	1476	2424
Feb 15	1373	1339	469	871	450	82	13	546	715	154	1219	2088
Mrz 15	931	2994	1678	1317	506	91	15	612	758	170	1176	2104
Apr 15	714	4180	2712	1469	492	88	14	594	721	145	1161	2026
Mai 15	542	3893	2272	1621	535	91	15	641	756	165	1066	1987
Jun 15	582	4176	2424	1753	689	88	14	791	911	157	1056	2124

Jul 15	316	4823	3203	1621	262	91	15	368	521	193	1097	1811
Aug 15	62	4146	2498	1649	295	91	15	401	510	190	910	1610
Sep 15	282	3187	1464	1723	329	88	14	432	530	168	994	1692
Okt 15	851	1752	438	1315	275	91	15	381	574	191	1244	2009
Nov 15	1312	1273	335	938	247	88	14	349	527	178	1433	2139
Dez 15	1419	1004	15	989	279	91	15	385	533	190	1511	2234
Jan 16	1803	682	65	617	311	91	15	417	541	176	1361	2078
Feb 16	1292	1087	227	860	256	85	14	355	535	0	0	535
Mrz 16	638	2531	950	1581	302	91	15	408	538	374	2706	3618
Apr 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Jahr 1	16710	33342	23452	9890	4764	1073	175	6013	8437	2021	15069	25526
Jahr 2	10104	33197	17329	15869	4476	1076	176	5728	7416	1923	13010	22349
Jahr 2015	11316	32744	17751	14993	4909	1073	175	6157	8063	2071	14438	24572

Tabelle 20: Monatliche Aufstellung von Erzeugung und Speicherung (Hellgrau=Monitoringperiode 1, Dunkelgrau=Monitoringperiode 2).

Monat / Jahr	Erzeugung und Speicherung								
	Netz-bezug	PV-Ertrag	Ein-speisung	Eigen-verbrauch	Batterie Beladung	Batterie Entladung	EV-Quote	Autarkie-grad	Batterie-WG
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]
Jan 14	205	862	177	684	-	-	79%	77%	-
Feb 14	879	1301	900	401	-	-	31%	31%	-
Mrz 14	1406	3446	2570	876	-	-	25%	38%	-
Apr 14	1106	3800	2823	977	-	-	26%	47%	-
Mai 14	1047	4482	3411	1072	-	-	24%	51%	-
Jun 14	816	5131	4011	1121	-	-	22%	58%	-
Jul 14	921	4229	3131	1099	-	-	26%	54%	-
Aug 14	970	3903	2910	993	-	-	25%	51%	-
Sep 14	1282	2906	2048	858	-	-	30%	40%	-
Okt 14	1666	2061	1353	708	-	-	34%	30%	-
Nov 14	1771	1064	466	598	-	-	56%	25%	-
Dez 14	2259	371	84	287	-	-	77%	11%	-
Jan 15	2093	610	178	432	124	102	71%	17%	82%
Feb 15	1373	1339	469	871	463	420	65%	39%	91%
Mrz 15	931	2994	1678	1317	497	435	44%	59%	87%
Apr 15	714	4180	2712	1469	525	490	35%	67%	93%
Mai 15	542	3893	2272	1621	630	570	42%	75%	90%
Jun 15	582	4176	2424	1753	668	608	42%	75%	91%
Jul 15	316	4823	3203	1621	613	554	34%	84%	90%
Aug 15	62	4146	2498	1649	857	786	40%	96%	92%
Sep 15	282	3187	1464	1723	842	802	54%	86%	95%

Okt 15	851	1752	438	1315	667	646	75%	61%	97%
Nov 15	1312	1273	335	938	446	421	74%	42%	94%
Dez 15	1419	1004	15	989	498	487	98%	41%	98%
Jan 16	1803	682	65	617	294	272	90%	26%	93%
Feb 16	1292	1087	227	860	310	292	79%	40%	94%
Mrz 16	638	2531	950	1581	775	707	62%	71%	91%
Apr 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jahr 1	16710	33342	23452	9890	587	523	30%	37%	89%
Jahr 2	10104	33197	17329	15869	6848	6362	48%	61%	93%
Jahr 2015	11316	32744	17751	14993	6333	5833	46%	57%	92%

**Tabelle 21: Monatliche Aufstellung von Trinkwarmwasser, Heizung und Lüftung
(Hellgrau=Monitoringperiode 1, Dunkelgrau=Monitoringperiode 2).**

Monat / Jahr					
	TWW	Heizung gesamt	Heizung Wohnung	Belüftung, Verluste	Gesamt
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Jan 14	-	-	-	-	1314
Feb 14	6040	-3835	6690	-10525	2205
Mrz 14	856	1635	173	1462	2491
Apr 14	722	994	82	912	1716
Mai 14	677	962	20	942	1639
Jun 14	1317	109	23	86	1426
Jul 14	1323	130	17	113	1453
Aug 14	1101	132	38	94	1233
Sep 14	1319	155	70	85	1474
Okt 14	1498	228	108	120	1726
Nov 14	1529	660	548	112	2189
Dez 14	1743	2690	2123	567	4433
Jan 15	1654	2753	2240	513	4407
Feb 15	1480	2734	2131	603	4214
Mrz 15	1458	890	565	325	2348
Apr 15	1384	346	94	252	1730
Mai 15	1325	210	15	195	1535
Jun 15	1241	175	7	168	1416
Jul 15	1308	168	0	168	1476
Aug 15	1055	151	7	144	1206
Sep 15	1077	186	16	170	1263
Okt 15	1397	277	159	118	1674
Nov 15	1458	856	422	434	2314
Dez 15	1660	1452	1074	378	3112
Jan 16	1374	2552	1804	748	3926
Feb 16	1598	2117	0	2117	3715
Mrz 16	1485	1594	3296	-1702	3079
Apr 16	-	-	-	-	-
Jahr 1					
Jahr 1	15219	13182	7573	5609	28401
Jahr 2					
Jahr 2	16335	9380	4163	5217	25715
Jahr 2015					
Jahr 2015	16580	11436	7779	3657	28016

	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Jahr 1	12,4	10,7	6,2	4,6	23,1
Jahr 2	13,3	7,6	3,4	4,2	20,9
Jahr 2015	13,5	9,3	6,3	3,0	22,8

Anmerkung: spezifische Werte beziehen sich auf die Energiebezugsfläche von 1228 m².

11 Anhang B

Tabelle 22: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE1 (grau=Heizperiode).

WE 1	Zimmer 1		Wohnen		Schlafen	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	24,58	61,71	24,54	61,87	24,04	64,29
Sep 14	24,46	55,59	24,25	55,25	23,87	56,59
Okt 14	24,35	57,22	24,32	57,12	23,53	59,25
Nov 14	23,14	47,08	22,85	46,56	22,26	47,07
Dez 14	21,87	38,52	22,06	36,33	21,17	37,63
Jan 15	21,90	36,07	20,06	34,05	19,91	34,32
Feb 15	21,83	35,06	20,05	31,38	20,43	46,62
Mrz 15	21,92	32,80	20,50	32,67	20,68	33,75
Apr 15	21,75	38,44	21,50	34,70	21,32	40,51
Mai 15	23,25	35,69	23,14	34,85	22,51	36,14
Jun 15	23,92	45,45	23,61	45,41	22,76	49,16
Jul 15	23,53	56,88	23,55	55,90	23,20	56,53
Aug 15	24,28	49,38	24,17	44,29	23,73	46,27
Sep 15	25,24	53,92	25,36	52,57	24,93	54,11
Okt 15	22,17	36,20	22,13	33,06	22,12	33,51
Nov 15	22,14	46,93	21,96	46,94	21,34	57,94
Dez 15	22,09	41,00	21,50	41,20	21,49	41,26
Jan 16	21,87	39,09	20,88	35,12	20,75	41,58
Feb 16	23,40	34,61	21,40	34,75	21,70	36,61
Mrz 16	22,84	30,33	21,38	29,65	21,73	30,39

Tabelle 23: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE2 (grau=Heizperiode).

WE 2	Wohnen/Essen		Kind OG1		Büro OG1	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	24,52	62,44	25,20	58,21	25,51	57,89
Sep 14	23,32	58,91	24,56	54,89	24,48	50,33
Okt 14	23,55	62,39	24,78	58,71	24,94	58,04
Nov 14	22,13	51,61	23,08	47,18	23,59	45,60
Dez 14	20,43	48,98	21,49	40,21	21,51	42,49
Jan 15	21,21	41,64	21,10	36,79	21,19	33,64
Feb 15	21,14	39,70	21,18	35,86	21,62	33,21
Mrz 15	20,92	41,81	21,65	43,07	21,28	38,29
Apr 15	21,38	42,63	22,84	39,10	22,82	37,81
Mai 15	22,35	36,75	23,40	35,48	23,90	34,32
Jun 15	23,42	45,21	24,45	42,94	24,90	43,68
Jul 15	23,85	57,08	24,35	57,31	24,52	62,77
Aug 15	23,91	44,45	24,23	44,57	24,72	42,83
Sep 15	25,42	53,34	25,31	53,17	25,50	51,61
Okt 15	22,62	40,58	23,33	34,95	23,94	34,27
Nov 15	21,66	49,32	22,59	44,05	22,38	43,95
Dez 15	20,53	48,03	21,61	45,08	21,22	41,05
Jan 16	22,35	46,38	22,19	40,06	22,02	41,88
Feb 16	21,39	42,48	21,69	37,98	22,15	35,50
Mrz 16	20,71	37,17	21,29	32,29	21,64	31,35
Heizperiode	21,54	46,97	22,30	42,99	22,42	41,30

Tabelle 24: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE3 (grau=Heizperiode).

WE 3	Wohnen/Essen		Zimmer 2		Zimmer 3	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	25,05	62,79	25,45	60,14	25,13	62,03
Sep 14	24,49	56,77	24,44	53,90	24,54	53,85
Okt 14	24,34	59,94	24,36	59,55	24,57	58,63
Nov 14	22,39	48,51	22,96	47,35	23,41	46,51
Dez 14	21,96	42,30	24,44	40,91	22,80	47,13
Jan 15	21,90	41,24	22,38	34,54	22,96	36,07
Feb 15	22,74	35,09	22,40	32,98	22,06	36,29
Mrz 15	23,30	34,31	21,98	29,30	22,24	36,41
Apr 15	22,20	38,11	21,84	33,21	22,64	37,17
Mai 15	23,89	38,01	24,21	35,02	24,19	40,10
Jun 15	23,45	42,28	23,41	40,23	23,30	41,60
Jul 15	24,24	55,25	24,70	54,67	24,19	54,15
Aug 15	24,45	44,68	24,85	44,32	24,13	43,56
Sep 15	25,41	54,00	25,41	52,42	24,99	53,88
Okt 15	23,66	40,35	23,69	35,00	23,52	39,06
Nov 15	22,34	47,67	22,43	45,61	22,63	46,14
Dez 15	23,30	43,72	23,50	40,07	22,82	44,82
Jan 16	22,83	40,61	22,75	34,47	22,47	39,66
Feb 16	23,53	37,66	22,78	36,14	22,97	38,63
Mrz 16	23,89	34,24	24,15	30,66	22,51	34,21
Heizperiode	22,69	42,79	22,91	39,69	22,95	42,60

Tabelle 25: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE4 (grau=Heizperiode).

WE 4	Wohnen		Kind OG1		Schlafen	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sep 14	25,55	52,85	24,65	54,18	24,99	52,75
Okt 14	25,01	54,14	24,76	53,70	24,52	53,98
Nov 14	23,97	45,91	23,48	45,34	23,08	46,96
Dez 14	21,81	40,05	21,40	38,78	21,19	40,70
Jan 15	20,30	41,15	19,62	35,85	19,80	39,26
Feb 15	20,03	41,70	19,76	38,54	19,84	36,93
Mrz 15	20,65	33,38	20,09	31,33	20,25	31,97
Apr 15	22,94	37,38	22,57	35,95	22,34	37,69
Mai 15	24,91	34,35	24,61	32,39	24,30	33,55
Jun 15	25,37	41,95	25,01	40,48	24,61	41,59
Jul 15	24,88	52,31	24,67	51,80	24,70	50,98
Aug 15	25,42	40,54	25,15	39,45	24,98	39,74
Sep 15	25,97	55,03	25,65	54,19	25,51	54,57
Okt 15	24,45	35,68	23,62	30,92	23,86	36,92
Nov 15	22,48	42,16	21,55	38,79	21,85	43,90
Dez 15	21,27	39,90	20,29	37,45	20,69	40,71
Jan 16	21,79	38,27	21,28	36,35	21,07	37,81
Feb 16	21,66	37,37	20,54	33,64	20,92	39,28
Mrz 16	21,30	32,35	20,22	28,60	21,22	33,83
Heizperiode	22,10	41,96	21,67	39,93	21,57	41,07

Tabelle 26: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE5 (grau=Heizperiode).

WE 5	Wohnen OG2		Kind OG2		Schlafen OG	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	26,18	58,08	26,13	56,02	26,03	58,70
Sep 14	24,69	55,13	24,94	53,06	24,68	53,46
Okt 14	24,40	58,09	24,96	55,76	24,95	58,57
Nov 14	23,32	46,91	23,68	43,30	23,42	45,58
Dez 14	21,26	39,84	20,92	41,87	20,81	37,23
Jan 15	20,00	39,90	21,56	46,72	20,02	45,24
Feb 15	20,60	38,79	20,75	38,67	20,08	42,58
Mrz 15	21,16	40,93	21,40	37,76	20,97	42,89
Apr 15	22,66	41,19	22,83	41,24	22,56	40,98
Mai 15	23,71	37,86	24,15	36,84	23,51	39,33
Jun 15	24,47	47,64	24,92	43,98	24,37	44,44
Jul 15	25,27	55,77	24,89	52,03	23,82	55,10
Aug 15	24,36	43,05	23,81	41,85	24,47	47,28
Sep 15	25,17	54,16	26,30	51,45	25,95	52,05
Okt 15	23,76	38,34	24,48	37,80	24,36	35,38
Nov 15	22,72	46,74	22,54	47,40	22,52	45,57
Dez 15	21,45	44,63	20,99	46,92	21,00	45,00
Jan 16	21,02	54,76	22,51	46,66	21,76	46,01
Feb 16	21,28	43,33	22,23	45,64	21,76	40,57
Mrz 16	20,96	37,56	22,32	36,25	21,50	35,30
Heizperiode	21,91	43,66	22,30	43,62	21,83	44,72

Tabelle 27: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter W6 (grau=Heizperiode).

WE 6	Wohnen OG1		Zimmer 2		Schlafen	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	25,48	61,11	25,72	61,10	25,63	58,85
Sep 14	23,97	52,34	24,42	61,11	22,99	52,82
Okt 14	23,87	56,37	24,28	55,54	24,00	56,73
Nov 14	22,85	45,12	22,96	45,13	22,94	47,41
Dez 14	22,18	37,17	21,89	36,49	21,94	39,92
Jan 15	21,87	31,28	21,76	31,88	21,22	33,22
Feb 15	22,23	33,32	22,45	36,49	21,18	34,74
Mrz 15	21,74	30,41	22,10	30,05	21,10	32,52
Apr 15	22,62	35,54	23,11	33,99	22,50	37,10
Mai 15	23,91	34,30	24,18	32,58	23,43	36,29
Jun 15	23,94	42,60	24,18	41,83	24,28	48,57
Jul 15	25,20	50,15	25,76	47,24	25,13	51,73
Aug 15	24,72	43,89	25,10	42,80	24,68	42,75
Sep 15	25,88	52,54	26,28	53,05	25,74	53,29
Okt 15	24,07	36,87	24,07	34,80	23,39	37,89
Nov 15	22,00	49,37	22,15	49,62	22,22	47,47
Dez 15	21,18	43,02	21,22	42,96	21,60	40,88
Jan 16	20,97	43,23	20,83	43,54	21,47	41,00
Feb 16	22,37	38,38	22,39	38,87	21,82	38,48
Mrz 16	22,57	33,22	22,25	33,84	21,89	34,61
Heizperiode	22,48	38,46	22,65	38,51	22,13	40,24

Tabelle 28: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE7 (grau=Heizperiode).

WE 7	Wohnen		Zimmer 1 DG		Schlafen DG	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	25,15	55,54	0,00	0,00	25,87	55,26
Sep 14	24,13	49,95	24,15	50,35	23,60	51,54
Okt 14	24,02	57,23	24,16	56,63	23,45	59,17
Nov 14	22,51	43,44	22,20	44,07	21,80	44,18
Dez 14	21,81	38,31	21,83	35,02	20,92	36,69
Jan 15	22,26	38,59	22,19	33,14	20,11	30,69
Feb 15	21,66	30,93	21,62	27,83	20,69	33,10
Mrz 15	21,68	27,68	21,89	26,60	20,28	27,82
Apr 15	21,70	32,50	21,56	32,74	21,08	33,55
Mai 15	23,18	34,65	23,14	34,52	23,06	34,72
Jun 15	23,48	39,50	23,62	39,94	22,84	42,14
Jul 15	24,06	53,44	24,51	52,73	24,44	53,05
Aug 15	23,87	43,82	24,00	42,84	23,96	41,37
Sep 15	25,06	50,94	25,65	49,84	25,19	51,89
Okt 15	23,08	33,01	23,23	33,61	22,30	33,66
Nov 15	22,38	41,26	22,15	41,28	22,12	41,44
Dez 15	22,02	36,73	22,12	35,94	20,74	38,43
Jan 16	22,90	37,08	22,48	37,46	20,65	33,55
Feb 16	22,30	34,86	22,47	35,45	20,69	33,84
Mrz 16	22,45	29,25	21,96	30,11	20,66	29,54
Heizperiode	22,23	38,38	22,21	36,57	21,19	37,89

Tabelle 29: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE8 (grau=Heizperiode).

WE 8	Wohnen DG		Schlafen DG		Büro DG	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	26,36	52,55	25,80	55,13	25,88	53,69
Sep 14	23,88	52,46	23,79	54,03	23,96	51,54
Okt 14	23,47	57,91	23,11	59,60	23,46	58,04
Nov 14	22,39	43,95	21,94	45,93	22,34	43,42
Dez 14	20,52	39,00	20,86	40,40	20,64	36,29
Jan 15	21,60	32,91	20,54	36,56	20,80	31,90
Feb 15	20,69	34,71	20,94	35,47	20,66	33,45
Mrz 15	21,04	32,47	20,78	35,83	20,92	32,95
Apr 15	22,38	40,19	22,44	40,87	22,37	36,77
Mai 15	22,98	33,14	23,00	34,42	22,88	32,40
Jun 15	23,84	40,76	23,66	42,90	23,68	41,39
Jul 15	25,85	50,63	25,68	52,01	25,64	50,54
Aug 15	23,31	42,06	23,52	43,22	23,62	41,56
Sep 15	26,67	49,31	25,87	52,74	26,36	50,69
Okt 15	22,62	34,39	22,76	36,74	22,68	33,21
Nov 15	21,66	47,30	22,12	55,01	21,94	46,97
Dez 15	19,90	42,59	20,06	43,13	20,06	41,90
Jan 16	20,58	36,50	20,55	38,38	20,72	36,10
Feb 16	21,44	34,22	21,16	37,93	21,20	35,95
Mrz 16	22,81	30,54	20,90	34,88	21,17	32,69
Heizperiode	21,73	40,17	21,52	42,09	21,60	38,98

Tabelle 30: Zusammenstellung der Behaglichkeitsparameter WE9 (grau=Heizperiode).

WE 9	Wohnen OG2		-		-	
	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte	Temperatur	rel. Feuchte
Mrz 14						
Apr 14						
Mai 14						
Jun 14						
Jul 14						
Aug 14	0,00	0,00				
Sep 14	24,47	48,67				
Okt 14	24,32	56,48				
Nov 14	22,36	41,91				
Dez 14	20,91	30,58				
Jan 15	19,95	27,55				
Feb 15	20,76	25,86				
Mrz 15	21,24	24,97				
Apr 15	22,77	30,15				
Mai 15	24,16	29,18				
Jun 15	24,78	36,23				
Jul 15	26,11	46,38				
Aug 15	25,55	36,69				
Sep 15	26,03	48,71				
Okt 15	23,69	30,12				
Nov 15	21,79	38,48				
Dez 15	20,63	37,11				
Jan 16	20,75	30,29				
Feb 16	21,23	31,26				
Mrz 16	21,69	28,49				
Heizperiode	21,76	33,93				

12 Anhang C

Tabelle 31: Auflistung aller Räume im Gebäude mit Nutzflächen, Teil 1.

Wohn- einheit	Wohnen	Essen	Küche	Bad	WC	Garderobe	Flur	Schlafen
	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
WE 1	33,17		10,39	6,85	1,70	1,88	14,49	15,34
WE 2	35,46		9,51	8,81	4,06	2,15	8,26	14,32
WE 3	38,19	13,14	7,82	6,57	1,80	21,87		-
WE 4	24,51	-	-	5,50	1,80	-	19,29	15,31
WE 5	34,49		7,21	6,67	1,73	-	12,47	12,69
WE 6	28,97		9,95	6,93	1,64	-	9,57	12,43
WE 7	25,19	13,40	16,05	11,13	3,10	2,92	7,36	14,70
WE 8	22,64	9,27	9,74	8,96	2,28	-	10,27	16,22
WE 9	24,64			2,99		-	-	-

Tabelle 32: Auflistung aller Räume im Gebäude mit Nutzflächen, Teil 2.

Wohn- einheit	Kind1/ Zimmer1	Kind2/ Zimmer2	Kleider- schrank	Zimmer N	Terrasse / Balkon	Speise	Gast	Büro
	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
WE 1	10,51	10,56	-	-	15,00	-	-	-
WE 2	14,60	14,40	-	-	15,00	3,70	-	11,37
WE 3	13,42	12,84	-	13,42	15,00	-	8,02	-
WE 4	-	-	6,90	-	8,10	-	-	-
WE 5	12,98	18,78	-	-	9,59	4,23	-	-
WE 6	14,85	14,74	-	-	11,35	2,32	-	-
WE 7	-	-	-	-	17,65	-	10,82	-
WE 8	10,11	-	-	-	13,05	2,71	-	16,47
WE 9	-	-	-	-	-	-	-	-

Abbildung 1: Modellvorhaben Licht&Luft in Tübingen Lustnau, Rückansicht [Architekt Wamsler].	5
Abbildung 2: Lage des Modellvorhabens Licht&Luft in Tübingen Lustnau [1].....	7
Abbildung 3: Modellvorhaben Licht&Luft in Tübingen-Lustnau, Eckansicht S0 [Architekt Wamsler].	8
Abbildung 4: Modellvorhaben Licht&Luft in Tübingen Lustnau, Eckansicht SW [Architekt Wamsler].	9
Abbildung 5: Grundriss Erdgeschoss [Wamsler/Erhart].	11
Abbildung 6: Grundriss 1.OG [Wamsler/Erhart].	11
Abbildung 7: Grundriss 2.OG [Wamsler/Erhart].	11
Abbildung 8: Grundriss DG [Wamsler/Erhart].	11
Abbildung 9: Detail Bodenaufbau und Balkonanschluss (a) / Balkonkante (b) [Architekt Wamsler].	12
Abbildung 10: Detail nichttragende Außenwand mit Fassaden-PV [Architekt Wamsler].	12
Abbildung 11: Detail Attika (a) und tragende Wand mit Fenster (b) [Architekt Wamsler].	13
Abbildung 12: Eckansicht mit beiden Fassadenkollektoren [Erhart].	15
Abbildung 13: Dachkollektoren [Erhart].	15
Abbildung 14: (a) Wallbox geschlossen / (b) Wallbox geöffnet [Erhart].	16
Abbildung 15: Elektrisches Speichersystem Sonnenbatterie 40 kWh brutto [Erhart].	16
Abbildung 16: Elektrisches Speichersystem, Batteriegehäuse (links (a) und Mitte(b)), Wechselrichter mit Steuerungseinheit (rechts (c)) [Erhart].	17
Abbildung 17: Zählerschema der Batterieregelung [Erhart].	17
Abbildung 18: Performance Ratios für die drei Teilanlagen im Monatsvergleich [Duminil, 2013].	18
Abbildung 19: Ertragsprognose über 20 Jahre mit mittlerer Abweichung [Duminil, 2013].	19
Abbildung 20: Busschema für alle Zähler im M-Bus [Erhart].	23
Abbildung 21: Zählerschema für alle elektrischen Energiezähler [Erhart].	24
Abbildung 22: Hauptwandlermessung am Übergabepunkt ((a)Wandler/ (b)Zähler) [Erhart].	26
Abbildung 23: Außenfühler für Temperatur und relative Feuchte [Erhart].	26
Abbildung 24: (a) Behaglichkeitssensoren /- (b) Einstrahlungssensoren [Erhart].	27
Abbildung 25: (a) Anordnung von M-Bus Klemmenkasten und M-Busmaster / (b) Innenansicht Klemmenkasten mit A/D-Wandler [Erhart].	27
Abbildung 26: Wärmeenergiezähler, Einbausituation im Heizungsverteiler der Fußbodenheizung [Erhart].	28
Abbildung 27: (a) Energiezähler für PV-Ertrag / (b) Wohnungshauptzähler, hier WE9 [Erhart].	29
Abbildung 28: Unterverteiler mit Busklemmen sowie Dreh- und Wechselstromzählern [Erhart].	29
Abbildung 29: Datenauswertung mit EMtool-Server Datenbankprogramm [Trinkle].	30

Abbildung 30: Gemessene Globalstrahlung horizontal 9° Elevation, (Projektjahr 1 / 2).	32
Abbildung 31: Gemessene Globalstrahlung (a) vertikal, (b) süd (Projektjahr 1 / 2).	33
Abbildung 32: Außentemperatur 03/2014-02/2015, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).	33
Abbildung 33: Außentemperatur 03/2015-02/2016, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).	33
Abbildung 34: Relative Außenfeuchte 03/2014-02/2015, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).....	34
Abbildung 35: Relative Außenfeuchte 03/2015-02/2016, Tageswerte (Minimum, Maximum, Mittelwert).....	34
Abbildung 36: Vergleich Monatswerte der PV-Erzeugung mit Prognose (August 2013 bis Juli 2016).	39
Abbildung 37: Be- und Entladung mit Lastgang, erste Woche im April 2016.	40
Abbildung 38: Be- und Entladung mit Lastgang, erste Woche im Juni 2016.	41
Abbildung 40: Be- und Entladung mit Lastgang, erste Woche im Februar 2016.	41
Abbildung 40: Messkampagne Luftqualität und CO ₂	42
Abbildung 41: Gemessene Behaglichkeitswerte, Monatsmittelwerte nach Frank.	49
Abbildung 42: Gemessene Behaglichkeitswerte, WE1, WE4, WE6 und WE8.	49
Abbildung 43: Gemessene Behaglichkeitswerte, WE1 heißeste Woche des Jahres.	50
Abbildung 44: Gemessene Behaglichkeitswerte, WE2 heißeste Woche des Jahres.	50
Abbildung 45: CO ₂ -Messung Wohneinheit 1, Wohnbereich.	51
Abbildung 46: CO ₂ -Messung Wohneinheit 4, Wohnbereich.	52
Abbildung 47: CO ₂ -Messung Wohneinheit 6, Wohnbereich.	52
Abbildung 48: CO ₂ -Messung Wohneinheit 6, Schlafzimmer.	53
Abbildung 49: CO ₂ -Messung Wohneinheit 8, Wohnbereich.	53
Abbildung 50: Energieflussschema Monitoringperiode 2	77
Abbildung 51: Außenansicht Südost	78
Abbildung 52: Außenansicht Südwest.....	79
Abbildung 53: Schnitt A-A durch die Mittelachse des Gebäudes (Wamsler)	80
Abbildung 54: Schnitt B-B durch das Gebäude (Wamsler)	81
Abbildung 55: Dachaufsicht mit Photovoltaikanlage (Wamsler).....	82
Abbildung 56: Kellergeschoss mit Ausschnitt der Tiefgarage (Wamsler).....	83

Energiebilanz EffizienzhausPlus Licht&Luft Periode 2: 2015/03 - 2016/02

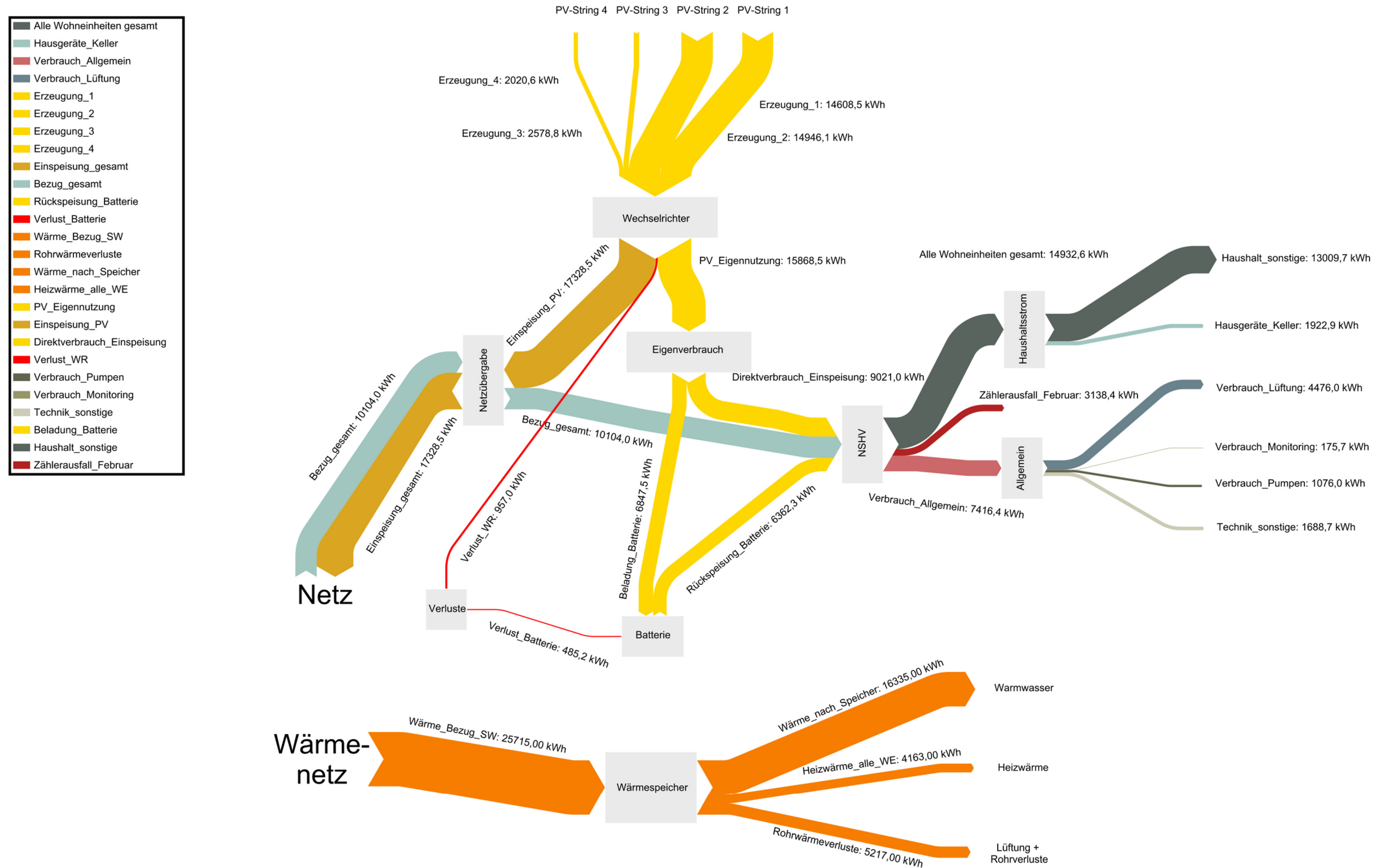
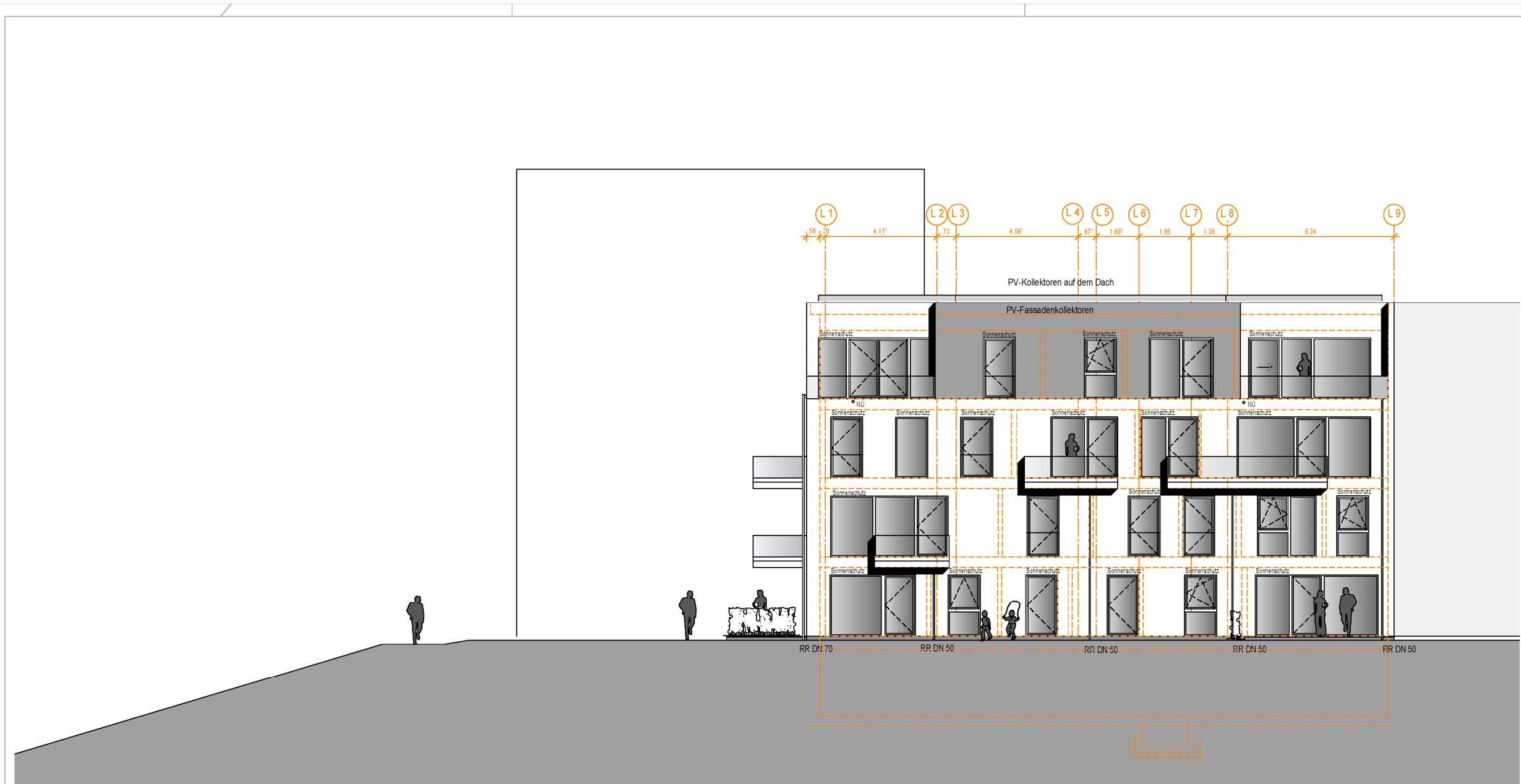


Abbildung 50: Energieflussschema Monitoringperiode 2.



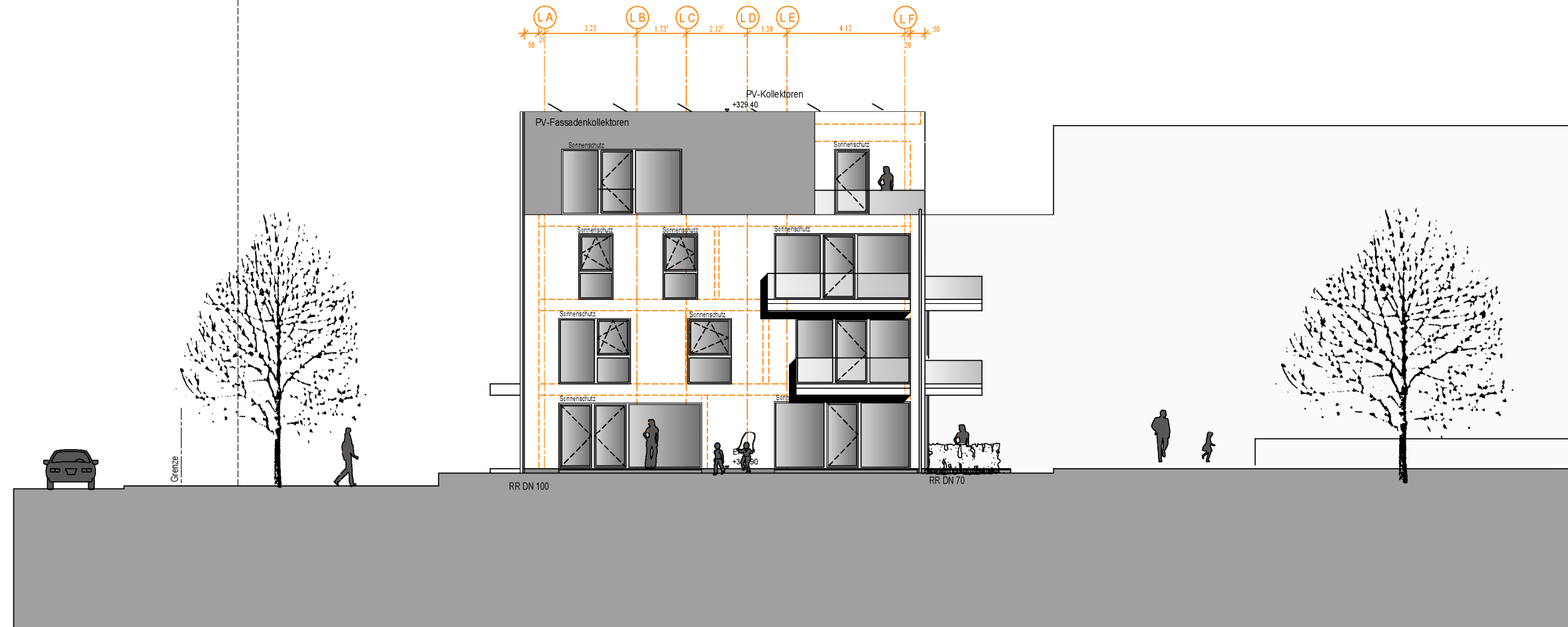
ANSICHT SÜDOST

BAUVORHABEN		
PLUSENERGIEHAUS DER BAUGEMEINSCHAFT "LICHT UND LUFT"		
BAUHERR		
Baugemeinschaft "Licht und Luft" c/o Lucia Landenberger Alexanderstrasse 50/6 72072 Tübingen Tel.: 0160-94666070		
ARCHITEKT		
Wamsler Architekten Weinsteig 2 88677 Markdorf Tel.: 07544 - 8104 Fax: 07544 - 72434		
MASSTAB	PROJ.NR.	PLAN.NR.
1 : 100	1016	4.12
PLANBEZEICHNUNG		DATUM
Ansicht SÜDOST		13.02.12

H/B = 420.0 / 594.0 (0.25m²)

Allplan

Abbildung 51: Außenansicht Südost [Architekt Wamsler].



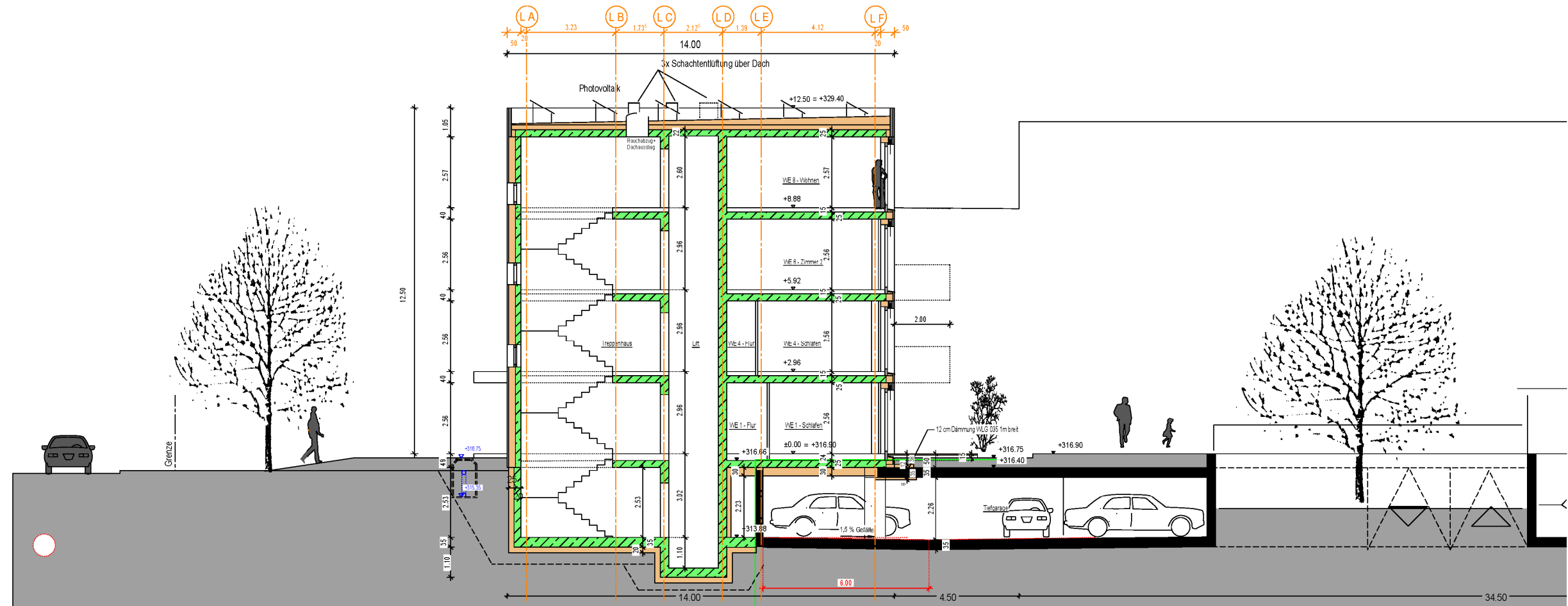
ANSICHT SÜDWEST

BAUVORHABEN		
PLUSENERGIEHAUS DER BAUGEMEINSCHAFT "LICHT UND LUFT"		
BAUHERR		
Baugemeinschaft "Licht und Luft" c/o Lucia Landenberger Alexanderstrasse 50/6 72072 Tübingen Tel.: 0160-94666070		
ARCHITEKT		
Wamsler Architekten Weinsteig 2 88677 Markdorf Tel.: 07544 - 8104 Fax: 07544 - 72434		
MASSTAB	PROJ.NR.	PLAN.NR.
1 : 100	1016	4.11
PLANBEZEICHNUNG		DATUM
Ansicht SÜDWEST		13.02.12

H/B = 420.0 / 594.0 (0.25m²)

Allplan

Abbildung 52: Außenansicht Südwest [Architekt Wamsler].



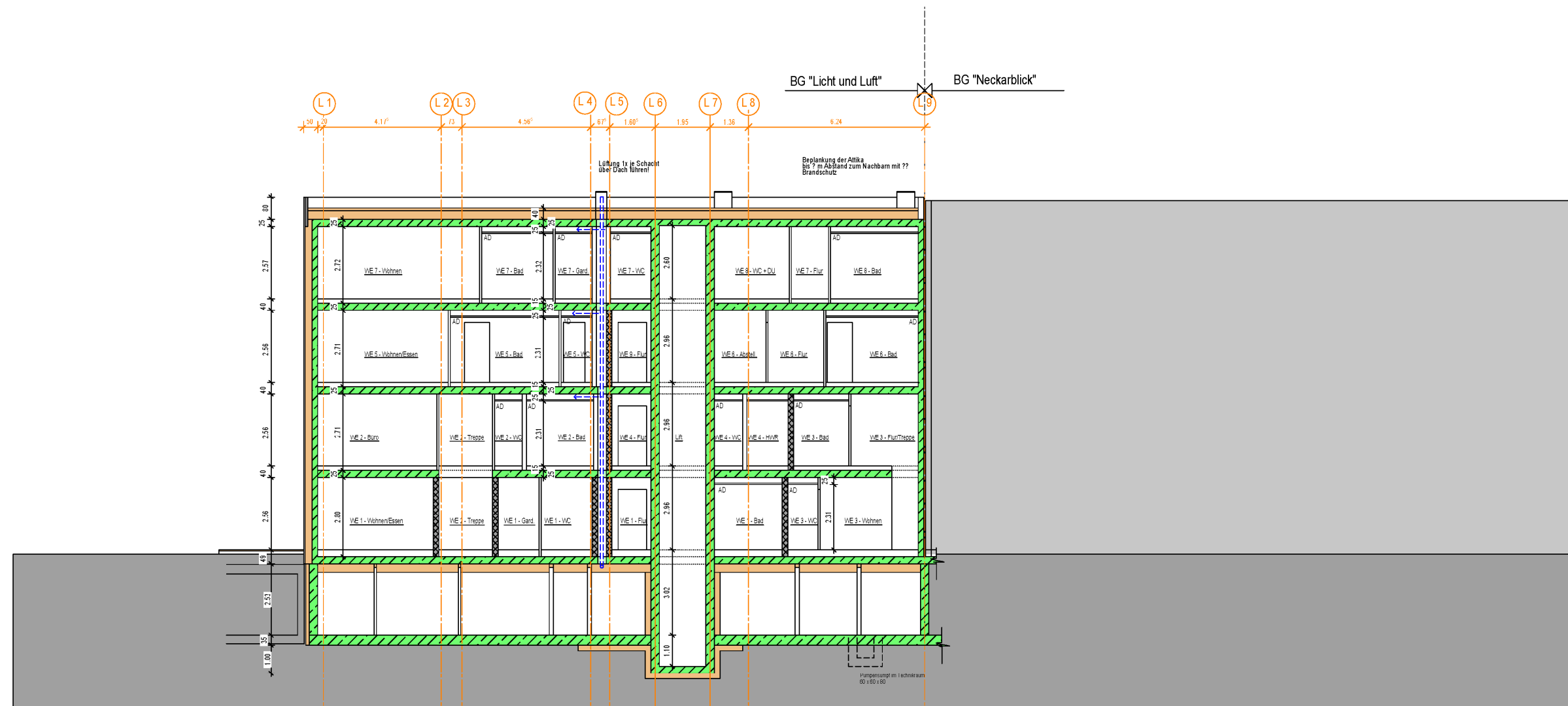
SCHNITT A - A

BAUVORHABEN		
PLUSENERGIEHAUS DER BAUGEMEINSCHAFT "LICHT UND LUFT"		
BAUHERR		
Baugemeinschaft "Licht und Luft" c/o Lucia Landenberger Alexanderstrasse 50/6 72072 Tübingen Tel.: 0160-94666070		
ARCHITEKT		
Wamsler Architekten Weinstieg 2 88677 Markdorf Tel.: 07544 - 8104 Fax: 07544 - 72434		
MASSTAB	PROJ.NR.	PLAN.NR.
1 : 100	1016	4.08
PLANBEZEICHNUNG		DATUM
Schnitt A - A		13.02.12

H/B = 420.0 / 594.0 (0.25m²)

Allplan

Abbildung 53: Schnitt A-A durch die Mittelachse des Gebäudes [Architekt Wamsler].



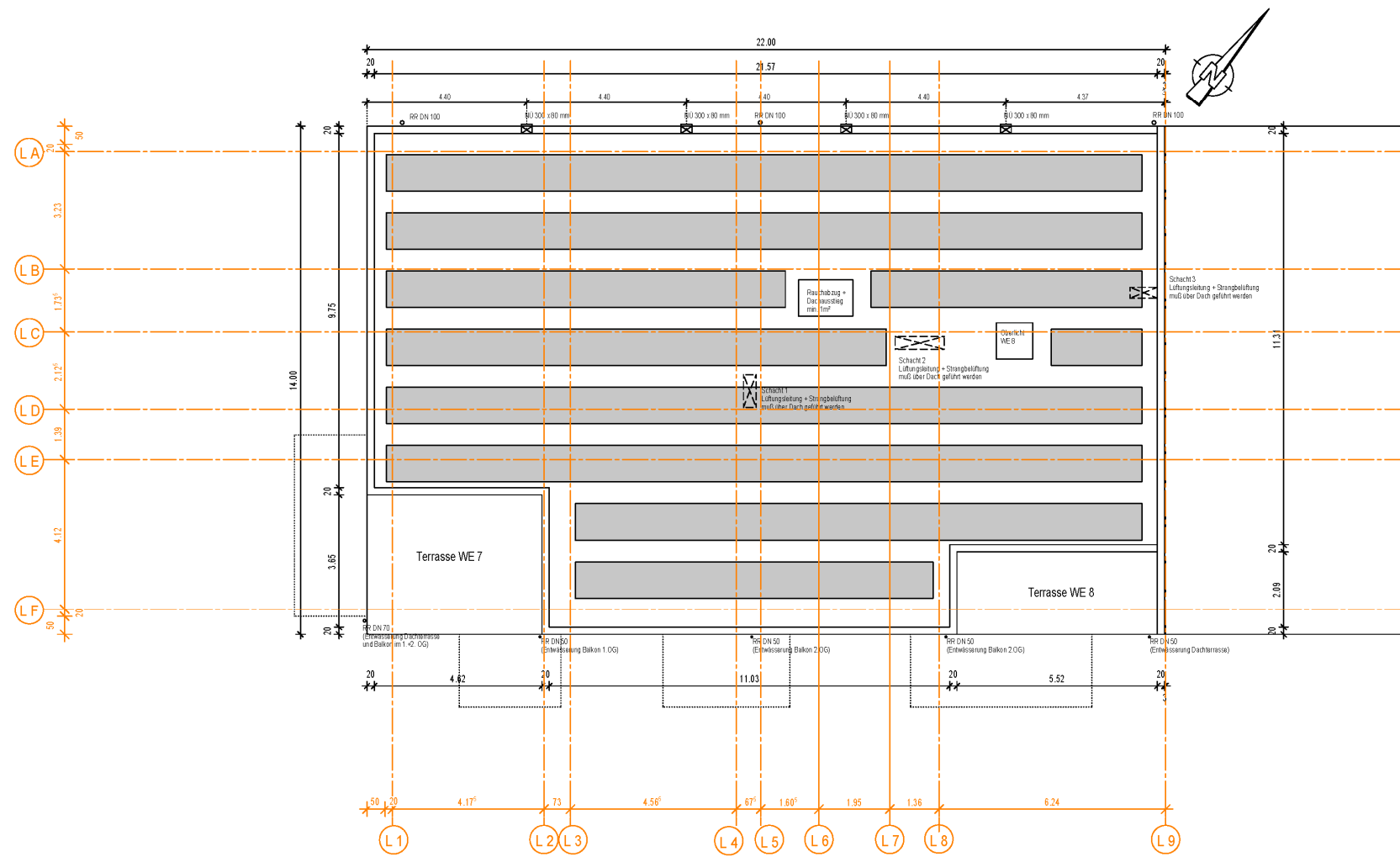
SCHNITT B - B

BAUVORHABEN		
PLUSENERGIEHAUS DER BAUGEMEINSCHAFT "LICHT UND LUFT"		
BAUHERR		
Baugemeinschaft "Licht und Luft" c/o Lucia Landenberger Alexanderstrasse 50/6 72072 Tübingen Tel.: 0160-94666070		
ARCHITEKT		
Wamsler Architekten Weinsteig 2 88677 Markdorf Tel.: 07544 - 8104 Fax: 07544 - 72434		
MASSTAB	PROJ.NR.	PLAN.NR.
1 : 100	1016	4.09
PLANBEZEICHNUNG		DATUM
Schnitt B - B		13.02.12

H/B = 420.0 / 594.0 (0.25m²)

Allplan

Abbildung 54: Schnitt B-B durch das Gebäude [Architekt Wamsler].

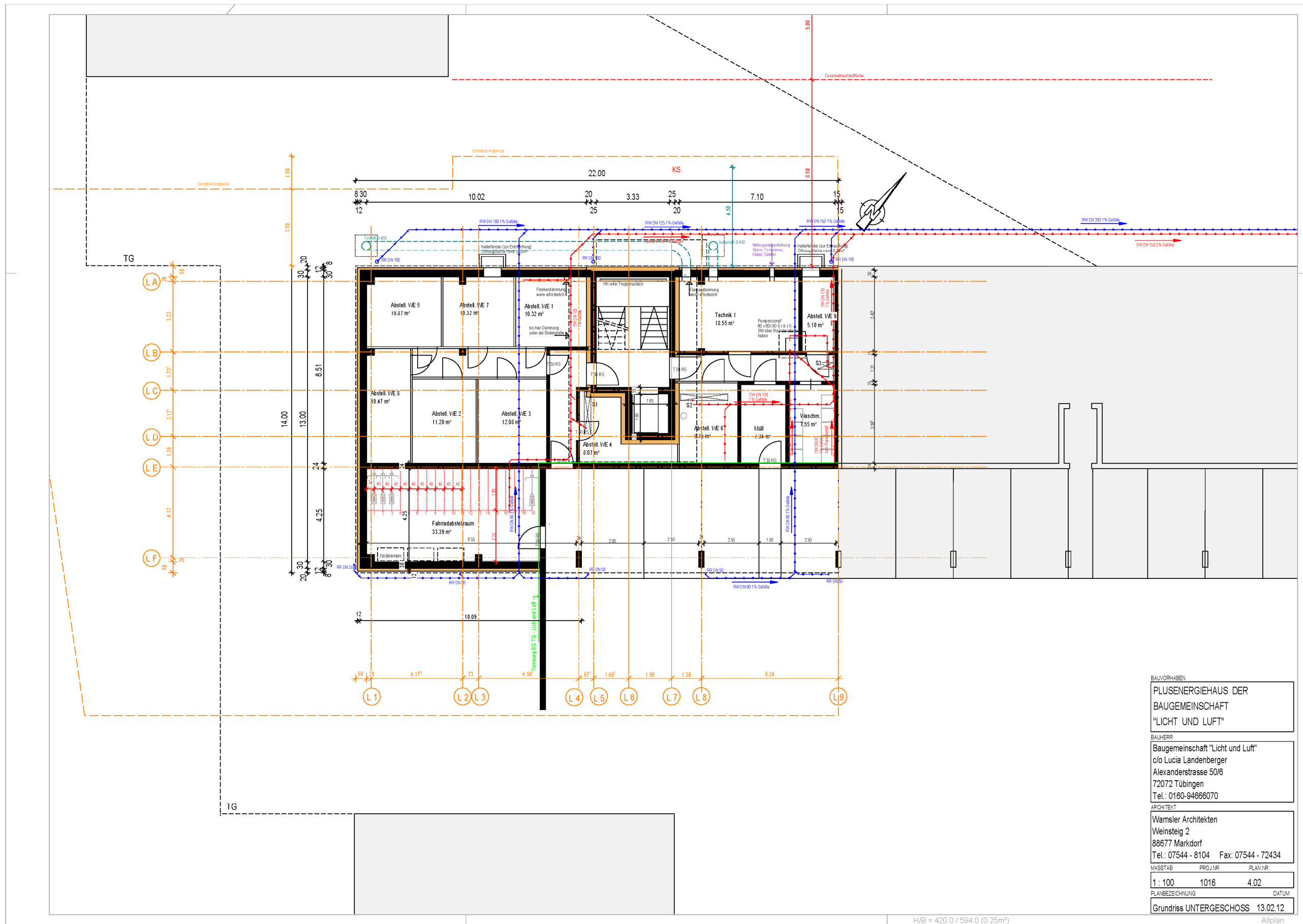


BAUVORHABEN		
PLUSENERGIEHAUS DER BAUGEMEINSCHAFT "LICHT UND LUFT"		
BAUHERR		
Baugemeinschaft "Licht und Luft" c/o Lucia Landenberger Alexanderstrasse 50/6 72072 Tübingen Tel.: 0160-94666070		
ARCHITEKT		
Wamsler Architekten Weinstieg 2 88677 Markdorf Tel.: 07544 - 8104 Fax: 07544 - 72434		
MASSTAB	PROJ.NR.	PLAN.NR.
1 : 100	1016	4.07
PLANBEZEICHNUNG		DATUM
DACHAUF SICHT		13.02.12

H/B = 420.0 / 594.0 (0.25m²)

Allplan

Abbildung 55: Dachaufsicht mit Photovoltaikanlage [Architekt Wamsler].



BAUVORHABEN		
PLUSENERGIEHAUS DER BAUGEMEINSCHAFT "LICHT UND LUFT"		
BAUHERR		
Baugemeinschaft "Licht und Luft" c/o Lucia Landenberger Alexanderstrasse 50/6 72072 Tübingen Tel.: 0160-94666070		
ARCHITEKT		
Wamsler Architekten Weinsteig 2 88677 Markdorf Tel.: 07544 - 8104 Fax: 07544 - 72434		
MASSTAB	PROJ.NR.	PLAN.NR.
1 : 100	1016	4.02
PLANBEZEICHNUNG		DATUM
Grundriss UNTERGESCHOSS		13.02.12

H/B = 420.0 / 594.0 (0.25m²)

Allplan

Abbildung 56: Kellergeschoss mit Ausschnitt der Tiefgarage [Architekt Wamsler].